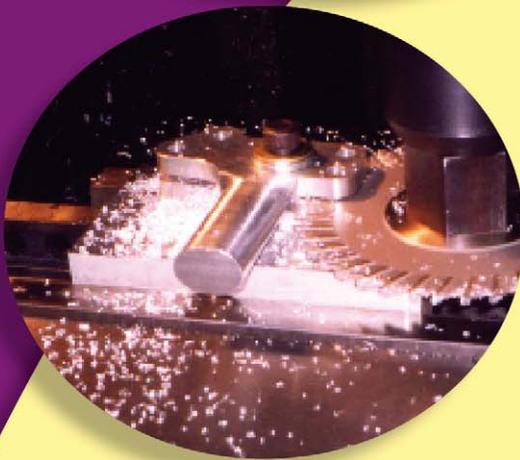




Wirawan Sumbodo, dkk.

Teknik Produksi Mesin Industri JILID 3

untuk
Sekolah Menengah Kejuruan



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional



Wirawan Sumbodo dkk

TEKNIK PRODUKSI MESIN INDUSTRI

SMK

JILID 3



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

TEKNIK PRODUKSI MESIN INDUSTRI

Untuk SMK
JILID 3

Penulis : Wirawan Sumbodo

Pendukung : Sigit Pujiono
Agung Pambudi
Komariyanto
Samsudin Anis
Widi Widayat

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

SUM SUMBODO, Wirawan
t Teknik Produksi Mesin Industri untuk SMK Jilid 3 /oleh
Wirawan Sumbodo, Sigit Pujiono, Agung Pambudi, Komariyanto,
Samsudin Anis, Widi Widayat ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan
Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen
Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan
Nasional, 2008.
xii, 206 hlm
Daftar Pustaka : LAMPIRAN A.
Glosarium : LAMPIRAN D.
Indeks : LAMPIRAN E.
ISBN : 978-979-060-139-0
ISBN : 978-979-060-139-2

Diterbitkan oleh

Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit di dapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khususnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para peserta didik kami ucapkan selamat belajar dan semoga dapat memanfaatkan buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, 17 Agustus 2008
Direktur Pembinaan SMK

KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan buku dengan judul “Teknik Produksi Industri Mesin” dengan baik.

Teknik produksi industri mesin mempunyai peranan yang penting. Perkembangan dunia industri mendorong kemajuan yang pesat dalam teknik industri, mulai dari penggunaan perkakas tangan, mesin konvensional hingga mesin perkakas yang berbasis komputer dan yang otomatis. Buku ini disusun guna membantu peningkatan pengetahuan maupun skill dalam teknik produksi industri mesin baik di dunia pendidikan maupun non pendidikan.

Bersama ini Penulis sampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi baik material maupun spiritual dari persiapan hingga terbentuknya buku ini.

Meskipun penulis telah berupaya semaksimal mungkin untuk penyempurnaan buku ini, namun tentu masih terdapat kesalahan atau kurang sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun.

Semoga buku ini bermanfaat bagi perkembangan teknik produksi industri mesin pada khususnya dan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada umumnya.

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
KATA SAMBUTAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
PETA KOMPETENSI	xii

JILID 1

BAB I MEMAHAMI DASAR-DASAR KEJURUAN

1. Statika dan Tegangan	1
1.1 Statika	1
1.2 Tegangan	9
2. Mengenal Komponen/Elemen Mesin	14
2.1 Poros	14
3. Mengenal Material dan Mineral	20
3.1 Berbagai Macam Sifat Logam	20
3.2 Mineral	21
3.3 Berbagai Jenis Sumber Daya Mineral	22
3.4 Pemurnian Mineral	22
4. Rangkuman	25

BAB II MEMAHAMI PROSES-PROSES DASAR KEJURUAN 29

1. Mengenal Proses Pengecoran Logam	29
1.1 Pengertian	29
1.2 Pembuatan Cetakan Manual	30
1.3 Pengolahan pasir Cetak	32
1.4 Pengecoran Cetakan <i>Ekspandable</i> (<i>Ekspandable Mold Casting</i>)	32
1.5 Pengecoran dengan Gips	33
1.6 Pengecoran dengan Pasir (<i>Sand Casting</i>)	33
1.7 Pengecoran dengan Gips (<i>Plaster Casting</i>)	34
1.8 Pengecoran dengan Gips, Beton, atau Plastik Resin.....	35
1.9 Pengecoran Sentrifugal (<i>Centrifugal Casting</i>).....	35
1.10 Die Casting.....	36
1.11 Kecepatan Pendinginan.....	38
2. Mengenal Proses Pembentukan Logam	39
2.1 Pengolahan Logam (<i>Metal Working</i>)	39
3. Mengenal Proses Mesin Konversi Energi	43
3.1 Pengertian Energi	43
3.2 Macam-Macam Energi	44
3.3 Klasifikasi Mesin Konversi Energi	47
4. Rangkuman	51
5. Tes Formatif	51

BAB III MEREALISASIKAN KERJA AMAN BAGI MANUSIA, ALAT DAN LINGKUNGAN

1. Mengenal Regulasi K3	55
1.1 Pengertian	55
1.2 Sasaran Undang-Undang	55
1.3 Tugas dan Tanggung Jawab Perusahaan	56
1.4 Tugas dan Tanggung Jawab Pegawai	56
1.5 Komite Keselamatan dan Kesehatan Kerja	57
2. Menguasai Prosedur Penerapan K3	57
2.1 Simbol Keselamatan Kerja	57
3. Menerapkan Prosedur K3 Secara Tepat dan Benar	60
3.1 Tanggungjawab Perusahaan pada Lingkungan Kerja	60
3.2 Rehabilitasi	61
4. Rangkuman	62

BAB IV GAMBAR TEKNIK

1. Mengenal Alat Menggambar Teknik	65
1.1 Kertas Gambar	65
1.2 Pensil Gambar	66
1.3 Rapido	67
1.4 Penggaris	68
1.5 Jangka	69
1.6 Penghapus dan alat Pelindung Penghapus	70
1.7 Alat-alat Penunjang Lainnya	71
1.8 Meja Gambar	72
1.9 Mesin Gambar	73
2. Lembar Kerja	74
2.1 Alat	74
2.2 Bahan	74
2.3 Kesehatan dan Keselamatan Kerja	74
2.4 Langkah Kerja	74
3. Membaca Gambar Teknik	75
3.1 Proyeksi Piktorial	75
3.2 Proyeksi Isometris	75
3.3 Proyeksi Dimentris	78
3.4 Proyeksi Miring (Sejajar)	79
3.5 Gambar Perspektif	79
3.6 Macam-macam Pandangan	81
3.7 Bidang-Bidang Proyeksi	81
3.8 Simbol Proyeksi dan Anak Panah	86
3.9 Penentuan Pandangan	87
3.10 Gambar Potongan	92
3.11 Garis Arsiran	102
3.12 Ukuran pada Gambar Kerja	105
3.13 Penulisan Angka Ukuran	108
3.14 Pengukuran Ketebalan	113
3.15 Toleransi	123
3.16 Suaian	128
4. Rangkuman	130
5. Soal Latihan (tes formatif)	135

BAB V PROSES PRODUKSI DENGAN PERKAKAS TANGAN

1. Kerja Bangku	137
1.1 Mengikir	137
1.2 Melukis	150
1.3 Mengebor	169
1.4 Mereamer	177
1.5 Menggergaji	179
1.6 Memahat.....	184
1.7 Menyetempel	190
1.8 Mengetap dan Menyenei	192
1.9 Menyekerap	197
1.10 Menggerinda	199
2. Kerja Pelat	208
2.1 Membengkok, melipat, dan menekuk.....	208
2.2 Menyambung	211
3. Lembar Pekerjaan.....	215
3.1 Alas penindih kertas	215
3.2 Mal mata bor.....	216
3.3 Pengepasan Persegi	217
3.4 Pengepasan Ekor Burung.....	218
3.5 Kotak.....	219
3.6 Pengasahan penitik,penggores,pahat tangan dan mata bor..	220
4. Rangkuman	222
5. Tes Formatif	224
5.1 Soal-soal	224
5.2 Kunci Jawaban	224

JILID 2

BAB VI PROSES PRODUKSI DENGAN MESIN KONVENSIONAL

1. Mesin Bubut Konvensional	227
1.1 Pengertian Mesin Bubut Konvensional	227
1.2 Fungsi Mesin Bubut Konvensional	227
1.3 Jenis-jenis Mesin Bubut Konvensional	229
1.4 Bagian-bagian Utama Mesin Bubut Konvensional (Biasa)	238
1.5 Dimensi Utama Mesin Bubut.....	246
1.6 Perbedaan Mesin Bubut Konvensional dengan CNC.....	247
1.7 Alat Kelengkapan Mesin Bubut.....	247
1.8 Alat potong.....	253
1.9 Kecepatan Potong (<i>Cutting Speed</i>).....	260
1.10 Waktu Pengerjaan	262
1.11 Cara Membubut.....	265
1.12 Tes Formatif.....	276
2. Mesin Frais Konvensional	278
2.1 Pengertian	278
2.2 Jenis-jenis Mesin Frais	280
2.3 Alat-alat Potong (<i>cutter</i>) Mesin Frais	286
2.4 Jenis-jenis Bahan Pisau.....	294
2.5 Perlengkapan Mesin Frais	295

2.6	Penggunaan Kepala Pembagi (<i>Dividing Head</i>).....	300
2.7	Penggunaan Rotary Table	301
2.8	Kecepatan Potong (<i>Cutting Speed</i>).....	301
2.9	Waktu Pengerjaan	303
2.10	Langkah-langkah pengoperasian Mesin Frais	305
2.11	Jenis-jenis Pemotongan/pemakanan pada Mesin Frais.....	306
2.12	Pisau Roda Gigi (<i>Gear Cutters</i>).....	320
3.	Teknik Pengukuran pada Proses Produksi	331
3.1	Jenis Pengukuran	331
3.2	Metode Pengukuran	331
3.3	Alat Ukur Mistar Geser (<i>Vernier Caliper</i>) dan Mikrometer Luar (<i>Outside Micrometer</i>)	332
4.	Pembacaan Toleransi pada Gambar Kerja	337
4.1	Pengkodean Toleransi.....	337
5.	Keselamatan Kerja Pada Saat Proses Produksi.....	345
5.1	Peralatan Keselamatan Kerja pada Proses Produksi.....	345
5.2	Resiko-resiko dalam mengoperasikan mesin perkakas dan cara menghindarinya.....	346
6.	Rangkuman	350

BAB VII PROSES PRODUKI BERBASIS KOMPUTER

1.	Computer Aided Design (CAD)	353
1.1	Pengertian CAD	349
1.2	Cara Kerja	354
1.3	Sistem Koordinat Absolut, Relatif, Polar.....	354
1.4	Perintah Menggambar Pada AutoCAD	356
1.5	Membuat Gambar Solid 3D dengan AutoCAD	386
2.	Computer Numerically Controlled (CNC)	402
2.1	Sejarah Mesin CNC.....	402
2.2	Dasar-dasar Pemrograman Mesin CNC.....	405
2.3	Gerakan Sumbu Utama pada Mesin CNC.....	409
2.4	Standarisasi Pemrograman Mesin Perkakas CNC.....	409
2.5	Siklus Pemrograman	421
2.6	Menentukan titik koordinat benda Kerja.....	428
2.7	Kecepatan Potong dan Kecepatan Asutan.....	433
2.8	Mengoperasikan mesin CNC EMCO TU 2A.....	434
2.9	Membuat Benda Kerja Menggunakan mesin CNC.....	436
2.10	Membuat Benda Kerja Berbasis <i>Software</i> AutoCAD	442
2.11	Soal Formatif.....	443
3.	EDM (<i>Electrical Discharge Machining</i>)	465
3.1	EDM Konvensional	366
3.2	Pembuatan alat cetak logam (<i>coinage de making</i>)	466
3.3	Drilling EDM.....	467
3.4	Kabel EDM (<i>Wire Cut EDM</i>)	467
4.	Rangkuman	468

JILID 3

BAB VIII SISTEM PNEUMATIK DAN HYDROLIK

1. Pengertian Pneumatik	469
2. Karakteristik Udara Kempa	469
3. Aplikasi Penggunaan Pneumatik	469
4. Efektifitas Pneumatik	470
5. Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Udara Kempa	471
5.1 Keuntungan	471
5.2 Kerugian/Kelemahan Pneumatik	472
6. Klasifikasi Sistem Pneumatik	473
7. Peralatan Sistem Pneumatik	474
7.1 Kompresor (Pembangkit Udara Kempa)	474
7.2 Unit Pengolahan Udara Bertekanan (<i>Air Service Unit</i>)	480
7.3 Pemeriksaan Udara Kempa dan Peralatan	484
7.4 Konduktor dan Konektor	485
7.5 Katup-Katup Pneumatik	487
7.6 Unit Penggerak (<i>Working Element = Aktuator</i>)	493
7.7 Air Motor (<i>Motor Pneumatik</i>)	496
7.8 Jenis-Jenis Katup Pneumatik	497
7.9 Model Pengikat (<i>Type of Mounting</i>)	509
8. Sistem Kontrol Pneumatik	510
8.1 Pengertian Sistem Kontrol Pneumatik	510
9. Dasar Perhitungan Pneumatik	511
9.1 Tekanan Udara	513
9.2 Analisa Aliran Fluida (V)	514
9.3 Kecepatan Torak	514
9.4 Gaya Torak (F)	515
9.5 Udara yang Diperlukan	515
9.6 Perhitungan Daya Kompresor	516
9.7 Pengubahan Tekanan	516
10. Analisis Kerja Sistem Pneumatik	517
10.1 Pengendalian Langsung Silinder Sederhana	517
10.2 Pengendalian Tak Langsung Silinder Penggerak Ganda	518
10.3 Pengendalian Gerak Otomatis Silinder Penggerak Ganda	520
11. Aplikasi Pneumatik dalam Proses Produksi	521
11.1 Pintu Bus	521
11.2 Penahan/Penjepit Benda (ragum).....	535
11.3 Pemotong Plat	535
11.4 Membuat Profil Plat	535
11.5 Pengangkat dan Penggeser Benda	536
12. Pengangkat dan Penggeser Material Full Pneumatik	537
12.1 Cara Kerja	537
13. Tes Formatif	538
13.1 Soal-soal	538
13.2 Kunci Jawaban	538
14. System Hidrolik	541
14.1 Cairan Hidrolik.....	541
14.2 Komponen Hidrolik.....	551
15. Pengendalian Hidrolik	555
15.1 Klasifikasi Pengendalian Hidrolik.....	555
15.2 Katup Pengatur Tekanan.....	556

16. Dasar-Dasar Perhitungan Hidrolik	556
16.1 Prinsip Hukum Pascal	556
16.2 Perhitungan Kecepatan Torak	558
16.3 Pemeliharaan Cairan Hidrolik	559
16.4 Pompa Roda Gigi dalam Tipe Crescent	561
16.5 Pompa Roda Gigi dalam Tipe Geretor	561
16.6 <i>Balanced Vane</i> (Pompa Kipas <i>Balanced</i>)	562
16.7 Pompa Torak Radial (<i>Radial Piston Pump</i>)	563
16.8 <i>Bent Axis Piston</i> (Pompa Torak dengan Poros Tekuk)	563
16.9 Instalasi Pompa Hidrolik	564
16.10 Pengetesan Efisiensi Pompa Hidrolik	566
16.11 Unit Pengatur (<i>Control Element</i>)	567
17. Soal Formatif	568
17.1 Soal-soal	568
17.2 Kunci jawaban	568
18. Rangkuman	570

BAB IX PROSES PRODUKSI INDUSTRI MODERN

1. Sejarah Perkembangan Otomasi Industri	573
2. Otomasi Teknik Produksi	575
3. PLC (<i>Programmable Logic Controller</i>)	577
3.1 Sejarah PLC	577
3.2 Pengenalan Dasar PLC	578
3.3 Instruksi-instruksi Dasar PLC	580
3.4 Device Masukan	585
3.5 Modul Masukan	586
3.6 Device Masukan Program	587
3.7 Device Keluaran	588
3.8 Modul Keluaran	589
3.9 Perangkat Lunak PLC	589
3.10 Perangkat Keras PLC	589
3.11 <i>Ladder Logic</i>	590
3.12 Hubungan <i>Input/Output (I/O)</i> dengan Perangkat Lunak	590
3.13 <i>Processor</i>	591
3.14 Data dan Memory PLC	593
3.15 Programan Dasar PLC OMRON dengan Komputer	596
3.16 Cara pengoperasian SYSWIN	596
3.17 Penggunaan Fungsi Bit Kontrol	602
3.18 Contoh Aplikasi dan Pembuatan Diagram Ladder Menggunakan Syswin	605
4. Rangkuman	616

BAB X TEKNOLOGI ROBOT

1. Pengenalan Robot	619
1.1 Istilah Robot	620
1.2 Komponen Dasar	621
1.3 Gerakan Robot	625
1.4 Tingkatan Teknologi	627
2. Operasi dan Fitur Manipulator	629
2.1 Sistem Koordinat Lengan Robot (<i>Arm Geometry</i>)	629

2.2	Rotasi Wrist	634
2.3	Sistem Penggerak Manipulator	634
2.4	Jangkauan Kerja	635
3.	Aplikasi Robot	637
3.1	Penanganan Material	638
3.2	Perakitan	640
3.3	Pengecatan	640
3.4	Pengelasan	642
4.	Efektor	643
4.1	<i>Gripper</i>	643
4.2	Klasifikasi <i>Gripper</i>	644
4.3	Jenis <i>Gripper</i>	644
4.4	Sensor dan Transduser	647
4.5	Sensor Kontak	648
4.6	Sensor Non-Kontak	648
4.7	Sensor Gaya dan Momen	651
4.8	Sensor Temperatur	652
4.9	Sensor Cair dan Gas	655
4.10	Sensor Jarak dan Sudut	657
4.11	<i>Linear Position</i>	658
4.12	Sensor Kimia	659
5.	Aktuator	660
5.1	Solenoids	660
5.2	Katup	661
5.3	Silinders	661
5.4	Motor Listrik	662
6.	Tes Formatif	666
7.	Rangkuman	669

BAB XI PENUTUP

1.	Kesimpulan	671
2.	Saran	674

LAMPIRAN A. DAFTAR PUSTAKA

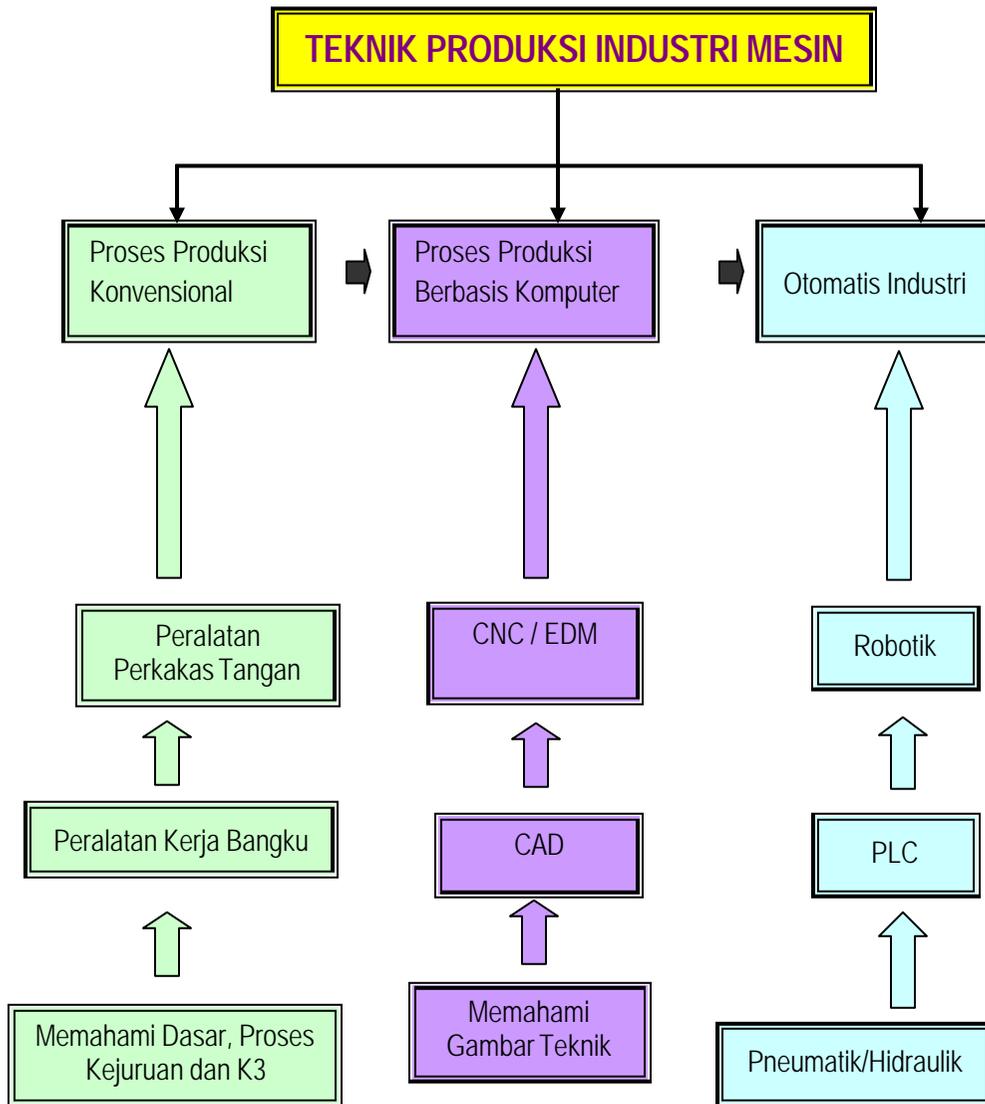
LAMPIRAN B. DAFTAR TABEL

LAMPIRAN C. DAFTAR GAMBAR

LAMPIRAN D. GLOSARIUM

LAMPIRAN E. INDEX

PETA KOMPETENSI



BAB VIII

SISTEM PNEUMATIK DAN HYDROLIK

1. Pengertian Pneumatik

Istilah pneumatik berasal dari bahasa Yunani, yaitu '*pneuma*' yang berarti napas atau udara. Istilah pneumatik selalu berhubungan dengan teknik penggunaan udara bertekanan, baik tekanan di atas 1 atmosfer maupun tekanan di bawah 1 atmosfer (*vacum*). Sehingga pneumatik merupakan ilmu yang mempelajari teknik pemakaian udara bertekanan (udara kempa). Jaman dahulu kebanyakan orang sering menggunakan udara bertekanan untuk berbagai keperluan yang masih terbatas, antara lain menambah tekanan udara ban mobil/motor, melepaskan ban mobil dari peleknya, membersihkan kotoran, dan sejenisnya. Sekarang, sistem pneumatik memiliki aplikasi yang luas karena udara pneumatik bersih dan mudah didapat. Banyak industri yang menggunakan sistem pneumatik dalam proses produksi seperti industri makanan, industri obat-obatan, industri pengepakan barang maupun industri yang lain. Belajar pneumatik sangat bermanfaat mengingat hampir semua industri sekarang memanfaatkan sistem pneumatik.

2. Karakteristik Udara Kempa

Udara dipermukaan bumi ini terdiri atas campuran dari bermacam-macam gas. Komposisi dari macam-macam gas tersebut adalah sebagai berikut : 78 % vol. gas 21 % vol. nitrogen, dan 1 % gas lainnya seperti *carbon dioksida*, *argon*, *helium*, *krypton*, *neon* dan *xenon*. Dalam sistem pneumatik udara difungsikan sebagai media transfer dan sebagai penyimpan tenaga (daya) yaitu dengan cara dikempa atau dimampatkan. Udara termasuk golongan zat fluida karena sifatnya yang selalu mengalir dan bersifat *compressible* (dapat dikempa). Sifat-sifat udara senantiasa mengikuti hukum-hukum gas. Karakteristik udara dapat diidentifikasi sebagai berikut : a) Udara mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah, b) Volume udara tidak tetap. c) Udara dapat dikempa (dipadatkan), d) Berat jenis udara 1,3 kg/m³, e) Udara tidak berwarna

3. Aplikasi Penggunaan Pneumatik

Penggunaan udara bertekanan sebenarnya masih dapat dikembangkan untuk berbagai keperluan proses produksi, misalnya untuk melakukan gerakan mekanik yang selama ini dilakukan oleh tenaga manusia, seperti menggeser, mendorong, mengangkat, menekan, dan lain sebagainya. Gerakan mekanik tersebut dapat dilakukan juga oleh komponen pneumatik, seperti silinder pneumatik, motor pneumatik, robot pneumatik translasi, rotasi maupun gabungan

keduanya. Perpaduan dari gerakan mekanik oleh aktuator pneumatik dapat dipadu menjadi gerakan mekanik untuk keperluan proses produksi yang terus menerus (*continue*), dan *flexibel*.

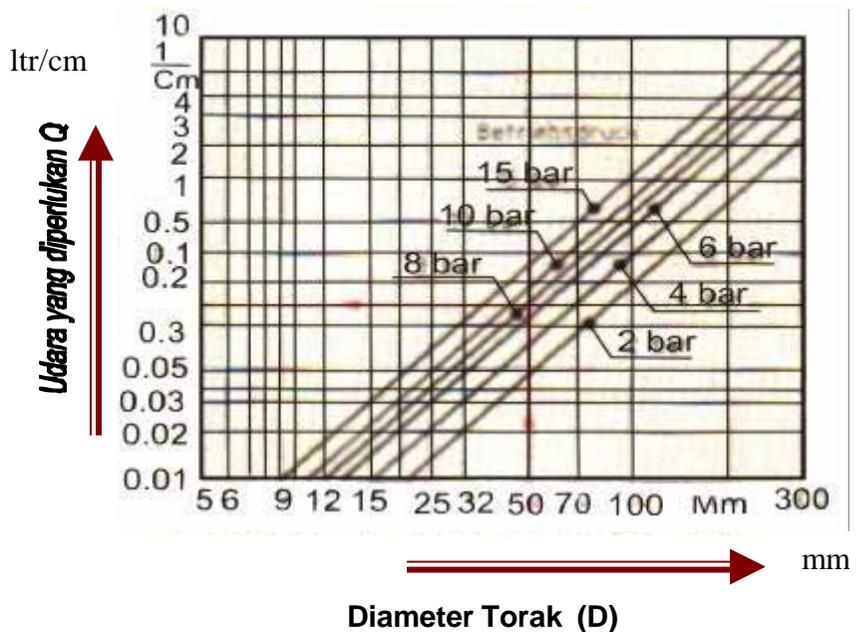
Pemakaian pneumatik dibidang produksi telah mengalami kemajuan yang pesat, terutama pada proses perakitan (*manufacturing*), elektronika, obat-obatan, makanan, kimia dan lainnya. Pemilihan penggunaan udara bertekanan (pneumatik) sebagai sistim kontrol dalam proses otomasinya, karena pneumatik mempunyai beberapa keunggulan, antara lain: mudah diperoleh, bersih dari kotoran dan zat kimia yang merusak, mudah didistribusikan melalui saluran (selang) yang kecil, aman dari bahaya ledakan dan hubungan singkat, dapat dibebani lebih, tidak peka terhadap perubahan suhu dan sebagainya.

Udara yang digunakan dalam pneumatik sangat mudah didapat/diperoleh di sekitar kita. Udara dapat diperoleh dimana saja kita berada, serta tersedia dalam jumlah banyak. Selain itu udara yang terdapat di sekitar kita cenderung bersih dari kotoran dan zat kimia yang merugikan. Udara juga dapat dibebani lebih tanpa menimbulkan bahaya yang fatal. Karena tahan terhadap perubahan suhu, maka pnumatik banyak digunakan pula pada industri pengolahan logam dan sejenisnya.

Secara umum udara yang dihisap oleh kompresor, akan disimpan dalam suatu tabung penampung. Sebelum digunakan udara dari kompresor diolah agar menjadi kering, dan mengandung sedikit pelumas. Setelah melalui regulator udara dapat digunakan menggerakkan katub penggerak (aktuator), baik berupa silinder/stang torak yang bergerak translasi, maupun motor pneumatik yang bergerak rotasi. Gerakan bolak balik (*translasi*), dan berputar (*rotasi*) pada aktuator selanjutnya digunakan untuk berbagai keperluan gerakan yang selama ini dilakukan oleh manusia atau peralatan lain.

4. Efektifitas Pneumatik

Sistim gerak dalam pneumatik memiliki optimalisasi/efektifitas bila digunakan pada batas-batas tertentu. Adapun batas-batas ukuran yang dapat menimbulkan optimalisasi penggunaan pneumatik antara lain: diameter piston antara 6 s/d 320 mm, anjang langkah 1 s/d 2.000 mm, tenaga yang diperlukan 2 s/d 15 bar, untuk keperluan pendidikan biasanya berkisar antara 4 sampai dengan 8 bar, dapat juga bekerja pada tekanan udara di bawah 1 atmosfer (*vacuum*), misalnya untuk keperluan mengangkat plat baja dan sejenisnya melalui katup karet hisap *flexibel*. Adapun efektifitas penggunaan udara bertekanan dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 1. Efektifitas udara bertekanan (Werner Rohrer, 1990)

Penggunaan silinder pneumatik biasanya untuk keperluan antara lain: mencekam benda kerja, menggeser benda kerja, memposisikan benda kerja, mengarahkan aliran material ke berbagai arah. Penggunaan secara nyata pada industri antara lain untuk keperluan: membungkus (*verpacken*), mengisi material, mengatur distribusi material, penggerak poros, membuka dan menutup pada pintu, transportasi barang, memutar benda kerja, menumpuk/menyusun material, menahan dan menekan benda kerja. Melalui gerakan rotasi pneumatik dapat digunakan untuk, mengebor, memutar mengencangkan dan mengendorkan mur/baut, memotong, membentuk profil plat, menguji, proses finishing (gerinda, pasah, dll.)

5. Keuntungan dan Kerugian Penggunaan udara Kempa

5.1 Keuntungan

Penggunaan udara kempa dalam sistim pneumatik memiliki beberapa keuntungan antara lain dapat disebutkan berikut ini :

- **Ketersediaan yang tak terbatas**, udara tersedia di alam sekitar kita dalam jumlah yang tanpa batas sepanjang waktu dan tempat.
- **Mudah disalurkan**, udara mudah disalurkan/pindahkan dari satu tempat ke tempat lain melalui pipa yang kecil, panjang dan berliku.
- **Fleksibilitas temperatur**, udara dapat fleksibel digunakan pada berbagai temperatur yang diperlukan, melalui peralatan

yang dirancang untuk keadaan tertentu, bahkan dalam kondisi yang agak ekstrem udara masih dapat bekerja.

- **Aman**, udara dapat dibebani lebih dengan aman selain itu tidak mudah terbakar dan tidak terjadi hubungan singkat (*kotsleiting*) atau meledak sehingga proteksi terhadap kedua hal ini cukup mudah, berbeda dengan sistim elektrik yang dapat menimbulkan *kostleting* hingga kebakaran.
- **Bersih**, udara yang ada di sekitar kita cenderung bersih tanpa zat kimia yang berbahaya dengan jumlah kandungan pelumas yang dapat diminimalkan sehingga sistem pneumatik aman digunakan untuk industri obat-obatan, makanan, dan minuman maupun tekstil
- **Pemindahan daya dan Kecepatan** sangat mudah diatur. udara dapat melaju dengan kecepatan yang dapat diatur dari rendah hingga tinggi atau sebaliknya. Bila *Aktuator* menggunakan silinder pneumatik, maka kecepatan torak dapat mencapai 3 m/s. Bagi motor pneumatik putarannya dapat mencapai 30.000 rpm, sedangkan sistim motor turbin dapat mencapai 450.000 rpm.
- **Dapat disimpan**, udara dapat disimpan melalui tabung yang diberi pengaman terhadap kelebihan tekanan udara. Selain itu dapat dipasang pembatas tekanan atau pengaman sehingga sistim menjadi aman.
- **Mudah dimanfaatkan**, udara mudah dimanfaatkan baik secara langsung misal untuk membersihkan permukaan logam dan mesin-mesin, maupun tidak langsung, yaitu melalui peralatan pneumatik untuk menghasilkan gerakan tertentu.

5.2 Kerugian/Kelemahan Pneumatik

Selain memiliki kelebihan seperti di atas, pneumatik juga memiliki beberapa kelemahan antara lain:

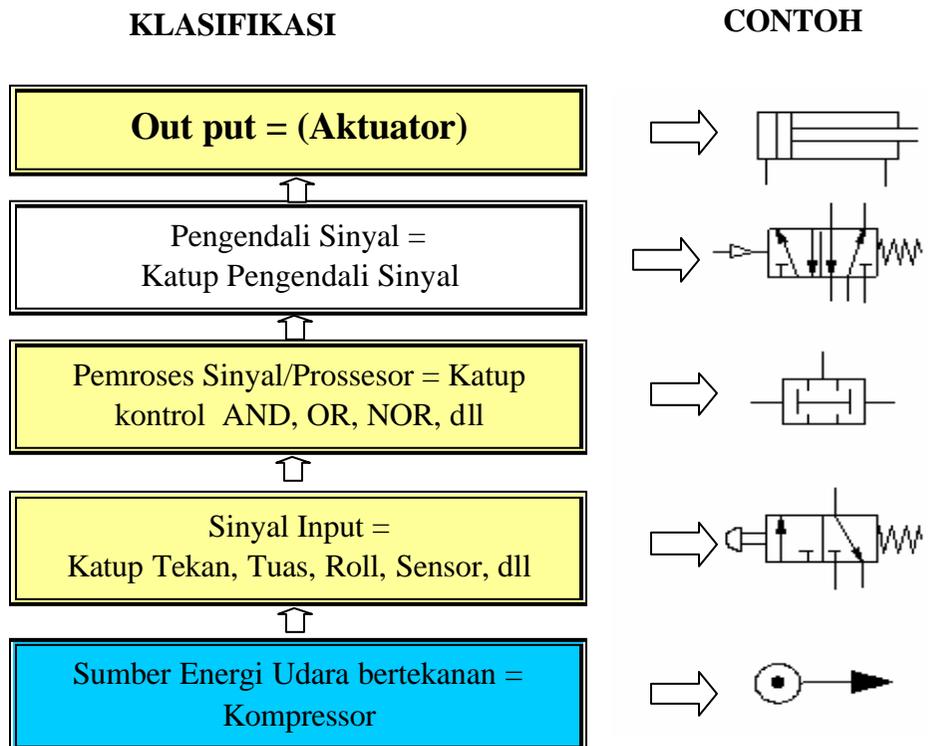
- **Memerlukan instalasi peralatan penghasil udara.** Udara kempa harus dipersiapkan secara baik hingga memenuhi syarat. memenuhi kriteria tertentu, misalnya kering, bersih, serta mengandung pelumas yang diperlukan untuk peralatan pneumatik. Oleh karena itu sistem pneumatik memerlukan instalasi peralatan yang relatif mahal, seperti kompresor, penyaring udara, tabung pelumas, pengeering, regulator, dll.
- **Mudah terjadi kebocoran,** Salah satu sifat udara bertekanan adalah ingin selalu menempati ruang yang kosong dan tekanan udara susah dipertahankan dalam waktu bekerja. Oleh karena itu diperlukan seal agar udara tidak bocor. Kebocoran seal dapat menimbulkan kerugian energi. Peralatan pneumatik harus dilengkapi dengan peralatan kedap udara agar kebocoran pada sistim udara bertekanan dapat ditekan seminimal mungkin.

- **Menimbulkan suara bising**, Pneumatik menggunakan sistim terbuka, artinya udara yang telah digunakan akan dibuang ke luar sistim, udara yang keluar cukup keras dan berisik sehingga akan menimbulkan suara bising terutama pada saluran buang. Cara mengatasinya adalah dengan memasang peredam suara pada setiap saluran buangnya.
- **Mudah Mengembun**, Udara yang bertekanan mudah mengembun, sehingga sebelum memasuki sistem harus diolah terlebih dahulu agar memenuhi persyaratan tertentu, misal kering, memiliki tekanan yang cukup, dan mengandung sedikit pelumas agar mengurangi gesekan pada katup-katup dan aktuator.

Diharapkan setelah diketahuinya keuntungan dan kerugian penggunaan udara kempa ini kita dapat membuat antisipasi agar kerugian-kerugian ini dapat dihindari.

6. Klasifikasi Sistim Pneumatik

Sistim elemen pada pneumatik memiliki bagian-bagian yang mempunyai fungsi berbeda. Secara garis besar sistim elemen pada pneumatik dapat digambarkan pada skema berikut :



Gambar 2. Klasifikasi Elemen Sistim Pneumatik (FESTO FluidSIM)

7. Peralatan Sistem Pneumatik

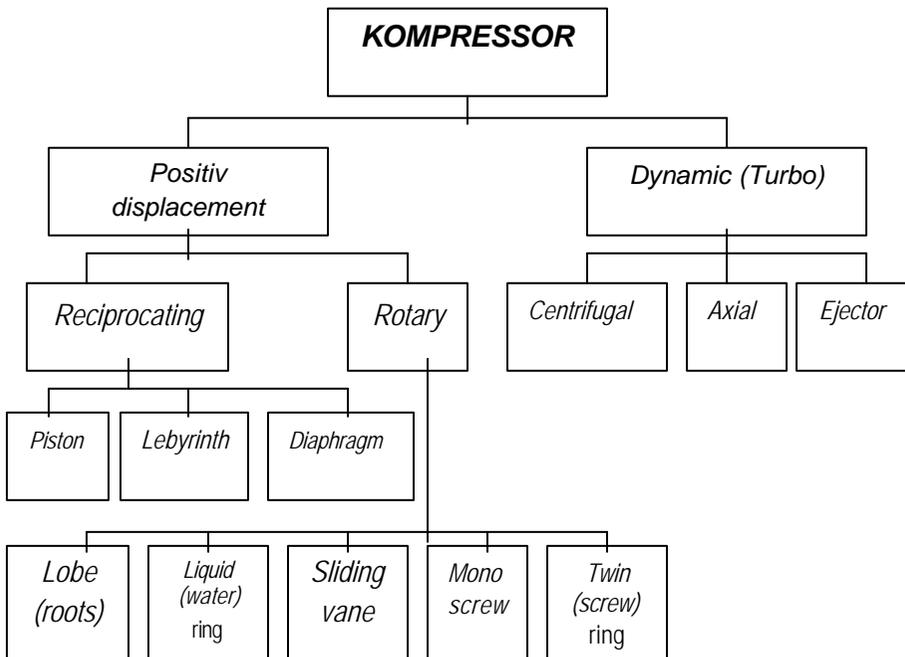
7.1 Kompresor (Pembangkit Udara Kempa)

Kompresor berfungsi untuk membangkitkan/menghasilkan udara bertekanan dengan cara menghisap dan memampatkan udara tersebut kemudian disimpan di dalam tangki udara kempa untuk disuplai kepada pemakai (sistem pneumatik). Kompresor dilengkapi dengan tabung untuk menyimpan udara bertekanan, sehingga udara dapat mencapai jumlah dan tekanan yang diperlukan. Tabung udara bertekanan pada kompresor dilengkapi dengan katup pengaman, bila tekanan udaranya melebihi ketentuan, maka katup pengaman akan terbuka secara otomatis.

Pemilihan jenis kompresor yang digunakan tergantung dari syarat-syarat pemakaian yang harus dipenuhi misalnya dengan tekanan kerja dan volume udara yang akan diperlukan dalam sistem peralatan (katup dan silinder pneumatik). Secara garis besar kompresor dapat diklasifikasikan seperti di bawah ini.

7.1.1 Klasifikasi Kompresor

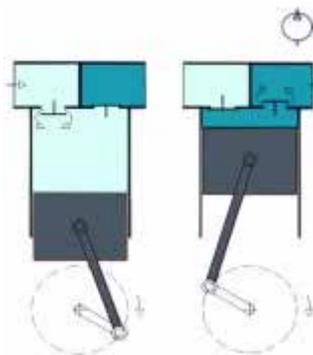
Secara garis besar kompresor dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu *Positive Displacement kompresor*, dan *Dynamic kompresor*, (Turbo), *Positive Displacement kompresor*, terdiri dari *Reciprocating* dan *Rotary*, sedangkan *Dynamic kompresor*, (turbo) terdiri dari *Centrifugal*, *axial* dan *ejector*, secara lengkap dapat dilihat dari klasifikasi di bawah ini:



Gambar 3. Klasifikasi Kompresor (Majumdar,2001)

7.1.1.1 Kompresor Torak Resiprokal (*reciprocating kompressor*)

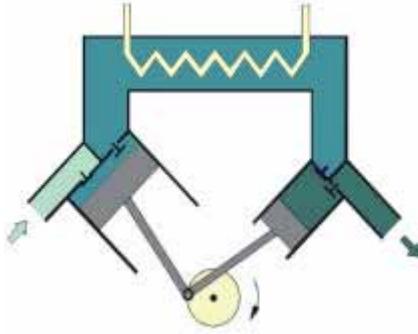
Kompresor ini dikenal juga dengan kompresor torak, karena dilengkapi dengan torak yang bekerja bolak-balik atau gerak *resiprokal*. Pemasukan udara diatur oleh katup masuk dan dihisap oleh torak yang gerakannya menjauhi katup. Pada saat terjadi pengisapan, tekanan udara di dalam silinder mengecil, sehingga udara luar akan masuk ke dalam silinder secara alami. Pada saat gerak kompresi torak bergerak ke titik mati bawah ke titik mati atas, sehingga udara di atas torak bertekanan tinggi, selanjutnya di masukkan ke dalam tabung penyimpanan udara. Tabung penyimpanan dilengkapi dengan katup satu arah, sehingga udara yang ada dalam tangki tidak akan kembali ke silinder. Proses tersebut berlangsung terus-menerus hingga diperoleh tekanan udara yang diperlukan. Gerakan mengisap dan mengkompresi ke tabung penampung ini berlangsung secara terus menerus, pada umumnya bila tekanan dalam tabung telah melebihi kapasitas, maka katup pengaman akan terbuka, atau mesin penggerak akan mati secara otomatis.



Gambar 4. Kompresor Torak Resiprokal

7.1.1.2 Kompresor Torak Dua Tingkat Sistem Pendingin Udara

Kompresor udara bertingkat digunakan untuk menghasilkan tekanan udara yang lebih tinggi. Udara masuk akan dikompresi oleh torak pertama, kemudian didinginkan, selanjutnya dimasukkan dalam silinder kedua untuk dikompresi oleh torak kedua sampai pada tekanan yang diinginkan. Pemampatan (pengompresian) udara tahap kedua lebih besar, temperatur udara akan naik selama terjadi kompresi, sehingga perlu mengalami proses pendinginan dengan memasang sistem pendingin. Metode pendinginan yang sering digunakan misalnya dengan sistem udara atau dengan sistem air bersirkulasi.



Gambar 5. Kompresor Torak dua Tingkat Sistem Pendinginan Udara

Batas tekanan maksimum untuk jenis kompresor torak resiprokal antara lain, untuk kompresor satu tingkat tekanan hingga 4 bar, sedangkan dua tingkat atau lebih tekanannya hingga 15 bar.

7.1.1.3 Kompresor Diafragma (*diaphragma compressor*)

Jenis Kompresor ini termasuk dalam kelompok kompresor torak. Namun letak torak dipisahkan melalui sebuah membran diafragma. Udara yang masuk dan keluar tidak langsung berhubungan dengan bagian-bagian yang bergerak secara resiprokal. Adanya pemisahan ruangan ini udara akan lebih terjaga dan bebas dari uap air dan pelumas/oli. Oleh karena itu kompresor diafragma banyak digunakan pada industri bahan makanan, farmasi, obat-obatan dan kimia.

Prinsip kerjanya hampir sama dengan kompresor torak. perbedaannya terdapat pada sistem kompresi udara yang akan masuk ke dalam tangki penyimpanan udara bertekanan. Torak pada kompresor diafragma tidak secara langsung menghisap dan menekan udara, tetapi menggerakkan sebuah membran (*diafragma*) dulu. Dari gerakan *diafragma* yang kembang Kempis itulah yang akan menghisap dan menekan udara ke tabung penyimpan..

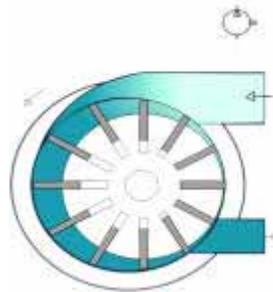


Gambar 6. Kompresor Diafragma

7.1.1.4 Kompresor Putar (*Rotary Compressor*)

7.1.1.4.1 Kompresor Rotari Baling-baling Luncur

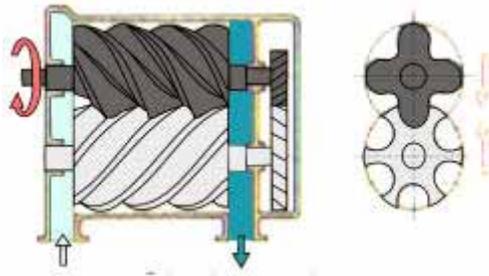
Secara eksentrik rotor dipasang berputar dalam rumah yang berbentuk silindris, mempunyai lubang-lubang masuk dan keluar. Keuntungan dari kompresor jenis ini adalah mempunyai bentuk yang pendek dan kecil, sehingga menghemat ruangan. Bahkan suaranya tidak berisik dan halus dalam , dapat menghantarkan dan menghasilkan udara secara terus menerus dengan mantap. Baling-baling luncur dimasukkan ke dalam lubang yang tergabung dalam rotor dan ruangan dengan bentuk dinding silindris. Ketika rotor mulai berputar, energi gaya sentrifugal baling-balingnya akan melawan dinding. Karena bentuk dari rumah baling-baling itu sendiri yang tidak sepusat dengan rotornya maka ukuran ruangan dapat diperbesar atau diperkecil menurut arah masuknya (mengalirnya) udara.



Gambar 7. Kompresor Rotari Baling-baling Luncur (*FESTO Transparan*)

7.1.1.5 Kompresor Sekrup (*Screw*)

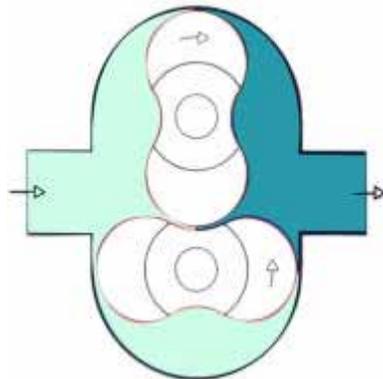
Kompresor Sekrup memiliki dua rotor yang saling berpasangan atau bertautan (*engage*), yang satu mempunyai bentuk cekung, sedangkan lainnya berbentuk cembung, sehingga dapat memindahkan udara secara aksial ke sisi lainnya. Kedua rotor itu identik dengan sepasang roda gigi *helix* yang saling bertautan. Jika roda-roda gigi tersebut berbentuk lurus, maka kompresor ini dapat digunakan sebagai pompa hidrolis pada pesawat-pesawat hidrolis. Roda-roda gigi kompresor sekrup harus diletakkan pada rumah-rumah roda gigi dengan benar sehingga betul-betul dapat menghisap dan menekan fluida.



Gambar 8. Kompresor Sekrup (*Gottfried Nist, 1994*)

7.1.1.6 Kompresor *Root Blower* (Sayap Kupu-kupu)

Kompresor jenis ini akan mengisap udara luar dari satu sisi ke sisi yang lain tanpa ada perubahan volume. Torak membuat penguncian pada bagian sisi yang bertekanan. Prinsip kompresor ini ternyata dapat disamakan dengan pompa pelumas model kupu-kupu pada sebuah motor bakar. Beberapa kelemahannya adalah: tingkat kebocoran yang tinggi. Kebocoran terjadi karena antara baling-baling dan rumahnya tidak dapat saling rapat betul. Berbeda jika dibandingkan dengan pompa pelumas pada motor bakar, karena fluidanya adalah minyak pelumas maka film-film minyak sendiri sudah menjadi bahan perapat antara dinding rumah dan sayap-sayap kupu-kupu itu. Dilihat dari konstruksinya, Sayap kupu-kupu di dalam rumah pompa digerakan oleh sepasang roda gigi yang saling bertautan juga, sehingga dapat berputar tepat pada dinding.



Gambar 9. Kompresor Model *Root Blower*

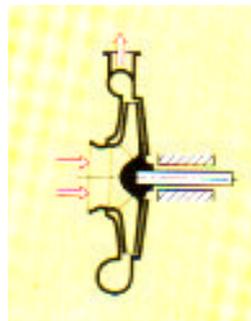
7.1.1.7 Kompresor Aliran (*turbo kompresor*)

Jenis kompresor ini cocok untuk menghasilkan volume udara yang besar. Kompresor aliran udara ada yang dibuat dengan arah masuknya udara secara aksial dan ada yang secara radial. Arah aliran udara dapat dirubah dalam satu roda turbin atau lebih untuk

menghasilkan kecepatan aliran udara yang diperlukan. Energi kinetik yang ditimbulkan menjadi energi bentuk tekanan.

7.1.1.8 Kompresor Aliran Radial

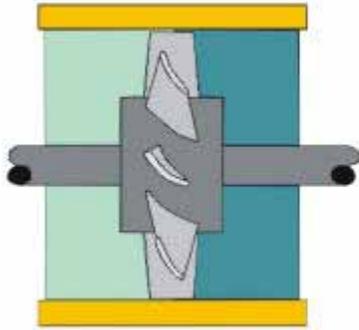
Percepatan yang ditimbulkan oleh kompresor aliran radial berasal dari ruangan ke ruangan berikutnya secara radial. Pada lubang masuk pertama udara dilemparkan keluar menjauhi sumbu. Bila kompresornya bertingkat, maka dari tingkat pertama udara akan dipantulkan kembali mendekati sumbu. Dari tingkat pertama masuk lagi ke tingkat berikutnya, sampai beberapa tingkat sesuai yang dibutuhkan. Semakin banyak tingkat dari susunan sudu-sudu tersebut maka akan semakin tinggi tekanan udara yang dihasilkan. Prinsip kerja kompresor radial akan mengisap udara luar melalui sudu-sudu rotor, udara akan terisap masuk ke dalam ruangan isap lalu dikompresi dan akan ditampung pada tangki penyimpanan udara bertekanan hingga tekanannya sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 10. Kompresor Aliran Radial (*Gottfried Nist, 1994*)

7.1.1.9 Kompresor Aliran Aksial

Pada kompresor aliran aksial, udara akan mendapatkan percepatan oleh sudu yang terdapat pada rotor dan arah alirannya ke arah aksial yaitu searah (sejajar) dengan sumbu rotor. Jadi pengisapan dan penekanan udara terjadi saat rangkaian sudu-sudu pada rotor itu berputar secara cepat. Putaran cepat ini mutlak diperlukan untuk mendapatkan aliran udara yang mempunyai tekanan yang diinginkan. Teringat pula alat semacam ini adalah seperti kompresor pada sistem turbin gas atau mesin-mesin pesawat terbang turbo propeller. Bedanya, jika pada turbin gas adalah menghasilkan mekanik putar pada porosnya. Tetapi, pada kompresor ini tenaga mekanik dari mesin akan memutar rotor sehingga akan menghasilkan udara bertekanan.



Gambar 11. Kompresor Aliran Aksial

7.1.2 Penggerak Kompresor

Penggerak kompresor berfungsi untuk memutar kompresor, sehingga kompresor dapat bekerja secara optimal. Penggerak kompresor yang sering digunakan biasanya berupa motor listrik dan motor bakar seperti gambar 12. Kompresor berdaya rendah menggunakan motor listrik dua phase atau motor bensin. sedangkan kompresor berdaya besar memerlukan motor listrik 3 phase atau mesin diesel. Penggunaan mesin bensin atau diesel biasanya digunakan bilamana lokasi disekitarnya tidak terdapat aliran listrik atau cenderung *non stasioner*. Kompresor yang digunakan di pabrik-pabrik kebanyakan digerakkan oleh motor listrik karena biasanya terdapat instalasi listrik dan cenderung stasionar (tidak berpindah-pindah).



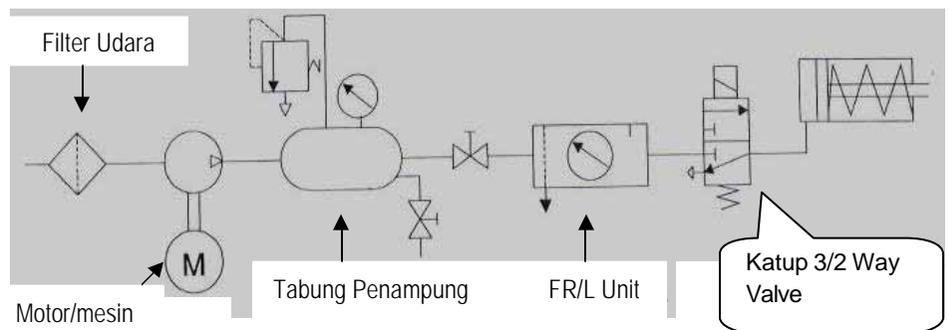
Gambar 12. Kompresor Torak berpindah (*Moveble*)

7.2 Unit Pengolahan Udara Bertekanan (*Air Service Unit*)

Udara bertekanan (kempa) yang akan masuk dalam sistem pneumatik harus diolah terlebih dahulu agar memenuhi persyaratan, antara lain; a) tidak mengandung banyak debu yang dapat merusak keausan komponen-komponen dalam sistem pneumatik, b) mengandung kadar air rendah, kadar air yang tinggi dapat menimbulkan korosi dan kemacetan pada peralatan pneumatik,

c) mengandung pelumas, pelumas sangat diperlukan untuk mengurangi gesekan antar komponen yang bergerak seperti pada katup-katup dan aktuator.

Secara lengkap suplai udara bertekanan memiliki urutan sebagai berikut: Filter udara, sebelum udara atmosfer dihisap kompresor, terlebih dahulu disaring agar tidak ada partikel debu yang merusak kompresor. Kompresor digerakkan oleh motor listrik atau mesin bensin/diesel tergantung kebutuhan. Tabung penampung udara bertekanan akan menyimpan udara dari kompresor, selanjutnya melalui katup satu arah udara dimasukkan ke FR/L unit, yang terdiri dari Filter, Regulator dan *Lubrication*/pelumasan agar lebih memenuhi syarat. Setelah memenuhi syarat kemudian baru ke sistim rangkaian pneumatik, seperti tertera dalam bagan di bawah ini:

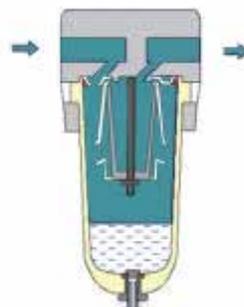


Gambar 13. Distribusi Sistem Pengolahan Udara Bertekanan

7.2.1 Peralatan Pengolahan Udara Bertekanan

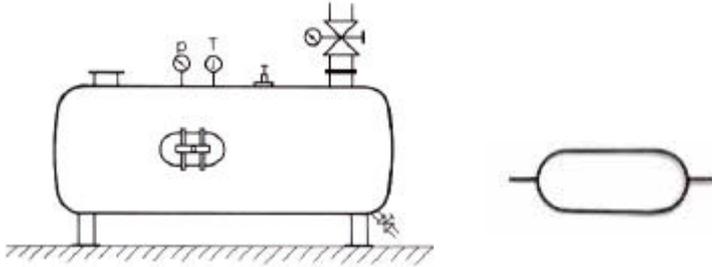
Pengolahan udara bertekanan agar memenuhi persyaratan diperlukan peralatan yang memadai, antara lain :

- **Filter Udara (*air filter*)**, berfungsi sebagai alat penyaring udara yang diambil dari udara luar yang masih banyak mengandung kotoran. Filter berfungsi untuk memisahkan partikel-partikel yang terbawa seperti debu, oli residu, dsb.



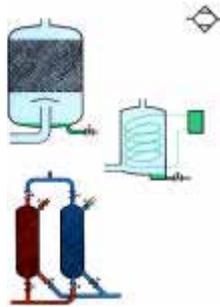
Gambar 14. Filter Udara

- **Tangki udara** , Berfungsi untuk menyimpan udara bertekanan hingga pada tekanan tertentu hingga pengisian akan berhenti, kemudian dapat digunakan sewaktu-waktu diperlukan



Gambar 15. Tangki Udara

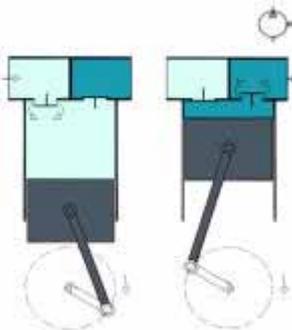
- **Pengering udara (air dryer)**



Gambar 16. Pengering Udara

- **Kompresor**

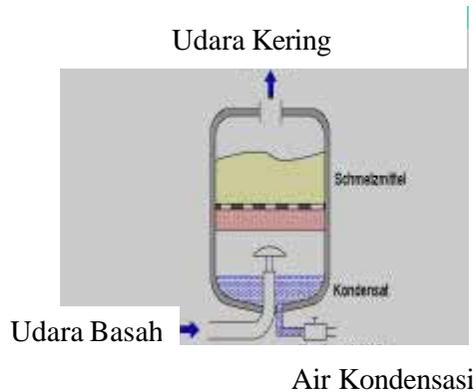
berfungsi untuk menghisap udara atmosfer kemudian dimampatkan ke tabung penyimpan hingga tekanan tertentu. Sebelum digunakan harus ada sistem pengolahan udara bertekanan untuk membersihkan dan mengeringkan sebelum digunakan.



Gambar 17. Kompresor Torak

- **Pemisah air**

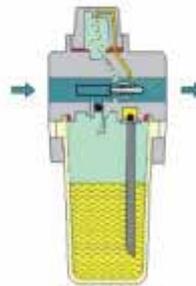
udara bertekanan yang keluar melalui filter masih mengandung uap air. Kelembaban dalam udara bertekanan dapat menyebabkan korosi pada semua saluran, sambungan, katup, alat-alat yang tidak dilindungi sehingga harus dikeringkan dengan cara memisahkan air melalui tabung pemisah air.



Gambar 18. Pemisah Air

- **Tabung pelumas**

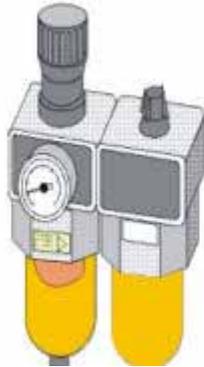
Komponen sistim pneumatik memerlukan pelumasan (*lubrication*) agar tidak cepat aus, serta dapat mengurangi panas yang timbul akibat gesekan. Oleh karena itu udara bertekanan/mampat harus mengandung kabut pelumas yang diperoleh dari tabung pelumas pada regulator.



Gambar 19. Tabung Pelumas

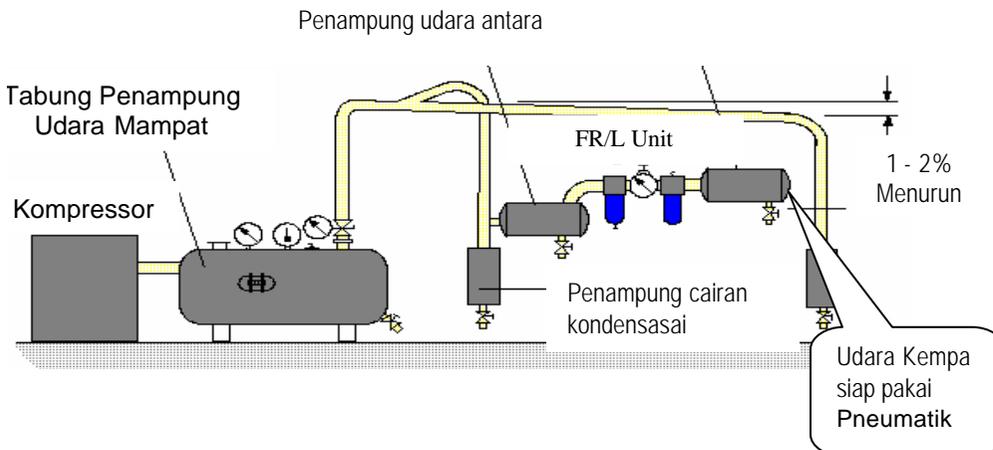
- **Regulator udara bertekanan**

Udara yang telah memenuhi persyaratan, selanjutnya akan disalurkan sesuai dengan kebutuhan. Untuk mengatur besar kecilnya udara yang masuk, diperlukan keran udara yang terdapat pada regulator, sehingga udara yang disuplai sesuai dengan kebutuhan kerjanya. Adapun unit pengolahan udara dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 20. Tabung Pelumas

Unit pengolahan udara bertekanan memiliki jaringan instalasi perpipaan yang sudah dirancang agar air dapat terpisah dari udara. Air memiliki masa jenis (*Rho*) yang lebih tinggi sehingga cenderung berada di bagian bawah. Untuk menjebaknya maka instalasi pipa diberi kemiringan, air akan mengalir secara alami ke tabung penampung air, selanjutnya dibuang. Sedangkan udara kering diambil dari bagian atas instalasi agar memiliki kadar air yang rendah. Secara lengkap unit pengolahan udara bertekanan dapat dilihat dalam skema berikut :



Gambar 21. Unit Pengolahan Udara Bertekanan (Gottfried Nist, 1994)

7.3 Pemeriksaan Udara Kempa dan Peralatan

Sebelum mengaktifkan sistem pneumatik, udara kempa dan peralatannya perlu diperiksa terlebih dahulu. Prosedur pemantauan penggunaan udara kempa yang perlu diperhatikan antara lain sebagai berikut: a) Frekuensi pemantauan, misalnya setiap akan memulai bekerja perlu memantau kebersihan udara, kandungan air embun, kandungan oli pelumas dan sebagainya. b) Tekanan udara perlu

dipantau apakah sesuai dengan ketentuan. c) Pengeluaran udara buang apakah tidak berisik/bising, d) Udara buang perlu dipantau pencampurannya, e) Katup pengaman/regulator tekanan udara perlu dipantau apakah bekerja dengan baik, g) Setiap sambungan (konektor) perlu dipantau agar dipastikan cukup kuat dan rapat karena udara kempa cukup berbahaya.

Peralatan sistim pneumatik seperti *valve*, silinder dan lain-lain umumnya dirancang untuk tekanan antara 8 -10 bar. Pengalaman praktik menunjukkan bahwa tekanan kerja pada umumnya sekitar 6 bar. Kehilangan tekanan dalam perjalanan udara kempa karena bengkokan (*bending*), bocoran *restriction* dan gesekan pada pipa dapat menimbulkan kerugian tekanan yang diperkirakan antara 0,1 s.d 0,5 bar. Dengan demikian kompressor harus membangkitkan tekanan 6,5 - 7 bar. Apabila suplai udara kempa tidak sesuai dengan syarat-syarat tersebut di atas maka berakibat kerusakan seperti berikut : a) Terjadi cepat aus pada seal (perapat) dan bagian-bagian yang bergerak di dalam silinder atau *valve* (katup-katup), b) Terjadi *oiled-up* pada *valve*, d) Terjadi pencemaran (kontaminasi) pada *silencers*.

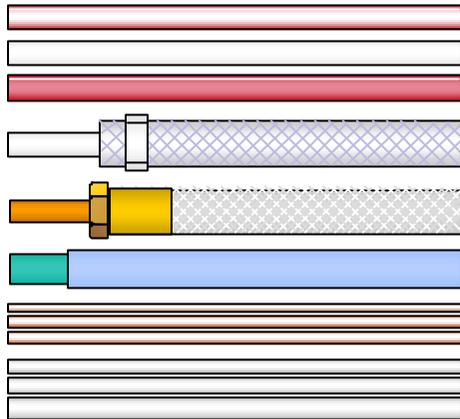
7.4 Konduktor dan Konektor

7.4.1 Konduktor (Penyaluran)

Penginstalan sirkuit pneumatik hingga menjadi satu sistem yang dapat dioperasikan diperlukan konduktor, sehingga dapat dikatakan bahwa fungsi konduktor adalah untuk menyalurkan udara kempa yang akan membawa/mentransfer tenaga ke aktuator.

Macam-macam konduktor :

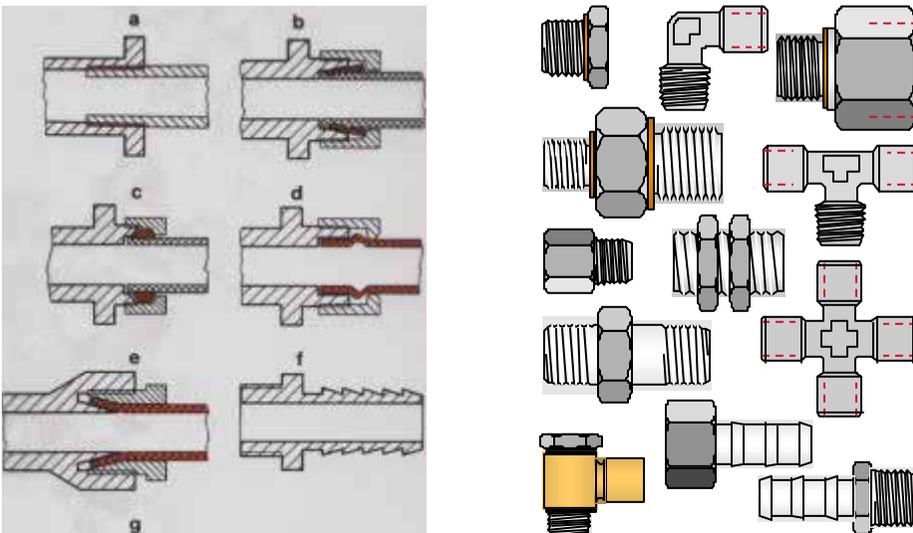
- Pipa yang terbuat dari tembaga, kuningan, baja, galvanis atau *stainless steel*. Pipa ini juga disebut konduktor kaku (*rigid*) dan cocok untuk instalasi yang permanen.
- Tabung (*tube*) yang terbuat dari tembaga, kuningan atau aluminium. Ini termasuk konduktor yang semi fleksible dan untuk instalasi yang sesekali dibongkar-pasang.
- Selang fleksible yang biasanya terbuat dari piastik dan biasa digunakan untuk instalasi yang frekuensi bongkar-pasangnya lebih tinggi.



Gambar 22. Jenis-Jenis Konduktor

7.4.2 Konektor

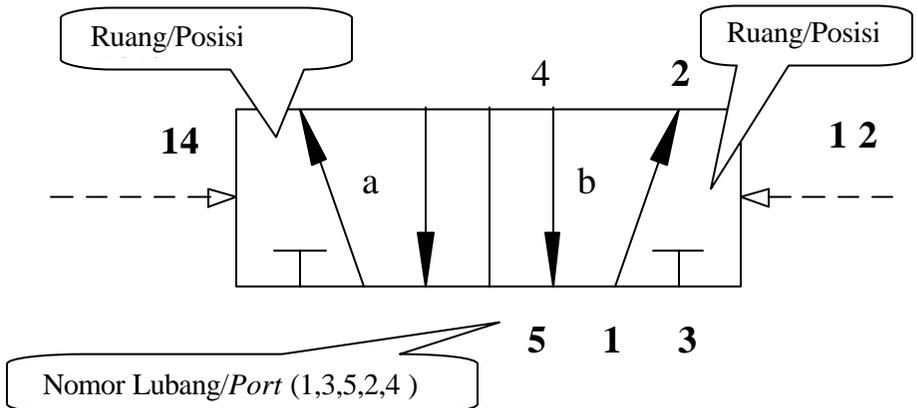
Konektor berfungsi untuk menyambungkan atau menjepit konduktor (selang atau pipa) agar tersambung erat pada bodi komponen pneumatik. Bentuk ataupun macamnya disesuaikan dengan konduktor yang digunakan. Adapun macam-macam konektor dapat kita lihat pada gambar berikut.



Gambar 23. Macam-Macam Konektor

7.5 Katup-Katup Pneumatik

Katup berfungsi untuk mengatur atau mengendalikan arah udara kempa yang akan bekerja menggerakkan aktuator, dengan kata lain katup ini berfungsi untuk mengendalikan arah gerakan aktuator. Katup-katup pneumatik diberi nama berdasarkan pada: a) Jumlah lubang/saluran kerja (*port*), b) Jumlah posisi kerja, d) Jenis penggerak katup, dan d) Nama tambahan lain sesuai dengan karakteristik katup. Berikut ini contoh-contoh penamaan katup yang pada umumnya disimbolkan sebagai berikut :



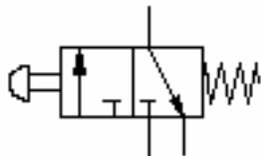
Gambar 24. Detail Pembacaan Katup 5/2

Dari simbol katup di atas menunjukkan jumlah lubang/*port* bawah ada tiga (1,3,5) sedangkan di bagian output ada 2 port (2,4). Katup tersebut juga memiliki dua posisi/ruang yaitu a dan b. Penggerak katup berupa udara bertekanan dari sisi 14 dan 12. Sisi 14 artinya bila disisi tersebut terdapat tekanan udara, maka tekanan udara tersebut akan menggeser katup ke kanan sehingga udara bertekanan akan mengalir melalui *port* 1 ke *port* 4 ditulis 14. Demikian pula sisi 12 akan mengaktifkan ruang b sehingga port 1 akan terhubung dengan port 2 ditulis 12.

Berdasarkan pada data-data di atas, maka katup di atas diberi nama :

KATUP 5/2 penggerak udara bertekanan

Contoh lain :



Katup ini memiliki tiga *port* dan dua posisi/ruang, penggerak knop dan pembalik pegas, maka katup tersebut diberi nama :

Gambar 25. Katup 3/2 knop, pembalik pegas

Katup-katup pneumatik memiliki banyak jenis dan fungsinya. Katup tersebut berperan sebagai pengatur/pengendali di dalam sistem pneumatik. Komponen-komponen kontrol tersebut atau biasa disebut katup-katup (*Valves*) menurut desain konstruksinya dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Katup Poppet (*Poppet Valves*)
 - Katup Bola (*Ball Seat Valves*)
 - Katup Piringan (*Disc Seat Valves*)
- b. Katup Geser (*Slide valves*)
 - *Longitudinal Slide*
 - *Plate Slide*

Sedangkan menurut fungsinya katup-katup dikelompokkan sebagai berikut :

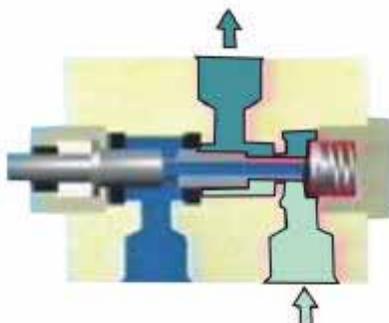
- a) Katup Pengarah (*Directional Control Valves*)
- b) Katup Satu Arah (*Non Return Valves*)
- c) Katup Pengatur Tekanan (*Pressure Control Valves*)
- d) Katup Pengontrol Aliran (*Flow Control Valves*)
- e) Katup buka-tutup (*Shut-off valves*)

Sedangkan susunan urutannya dalam sistem pneumatik dapat kita jelaskan sebagai berikut :

- Sinyal masukan atau *input element* mendapat energi langsung dari sumber tenaga (udara kempa) yang kemudian diteruskan ke pemroses sinyal.
- Sinyal pemroses atau *processing element* yang memproses sinyal masukan secara logic untuk diteruskan ke *final control element*.
- Sinyal pengendalian akhir (*final control element*) yang akan mengarahkan output yaitu arah gerakan aktuator (*working element*) dan ini merupakan hasil akhir dari sistem pneumatik.

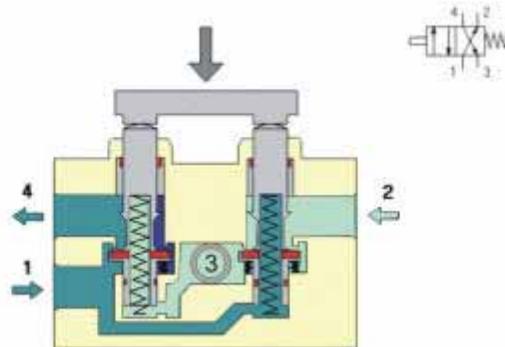
7.5.1 Katup Pengarah (*Directional Control Valves*)

Katup 3/2 Way valve (WV) penggerak plunyer, pembalik pegas (*3/2 DCV plunger actuated, spring centered*), termasuk jenis katup piringan (*disc valves*) *normally closed (NC)*.



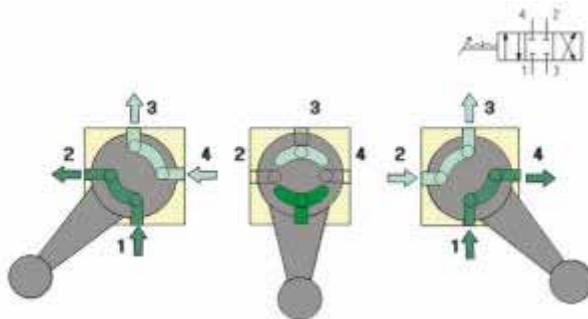
Gambar 26. Katup 3/2 Knop Pembalik Pegas

Katup 4/2 penggerak plunyer, kembali pegas (4/2 DCV plunger actuated, spring centered), termasuk jenis katup piringan (disc seat valves)



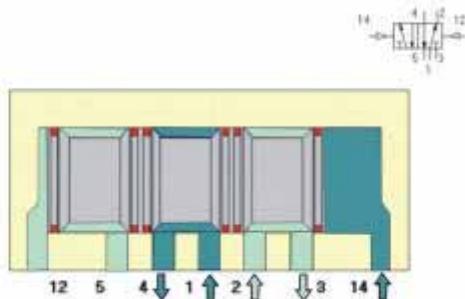
Gambar 27. Katup 4/2 Plunyer Pembalik Pegas

Katup 4/3 *manually* jenis *plate slide valves*.



Gambar 28. Katup 4/3 Plunyer Pembalik Pegas

Katup 5/2, DCV-air port jenis *longitudinal slide*.



Gambar 29. Katup 5/2 Plunyer Penggerak Udara Bertekanan

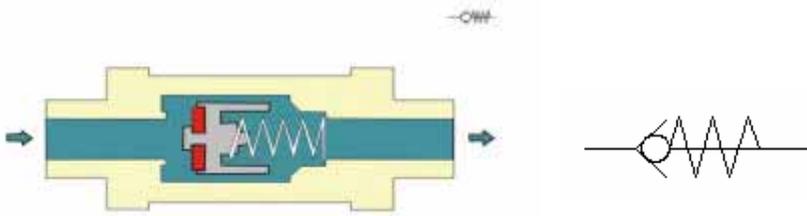
7.5.2 Katup Satu Arah (Non Return Valves)

Katup ini berfungsi untuk mengatur arah aliran udara hanya satu arah saja yaitu bila udara telah melewati katup tersebut maka udara tidak dapat berbalik arah. Sehingga katup ini juga digolongkan pada katup pengarah khusus.

Macam-macam katup searah :

7.5.2.1 Katup Satu Arah Pembalik Pegas

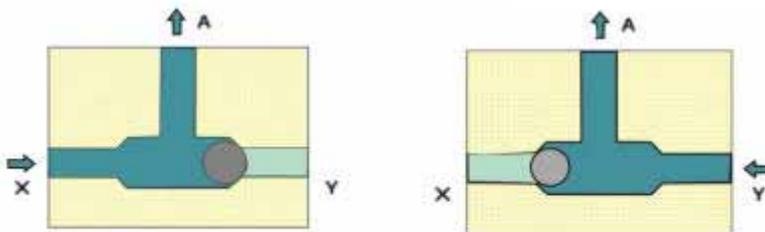
Katup satu arah hanya bisa mengalirkan udara hanya dari satu sisi saja. Udara dari arah kiri (lihat gambar 30) akan menekan pegas sehingga katup terbuka dan udara akan diteruskan ke kanan. Bila udara mengalir dari arah sebaliknya, maka katup akan menutup dan udara tidak bisa mengalir kearah kiri. Katup satu arah dalam sistem elektrik identitik dengan fungsi dioda yang hanya mengalirkan arus listrik dari satu arah saja.



Gambar 30. Katup satu arah dan simbolnya

7.5.2.2 Shuttle Valve

Katup ini akan mengalirkan udara bertekanan dari salah satu sisi, baik sisi kiri saja atau sisi kanan saja. Katup ini juga disebut katup "OR" (Logic OR function).

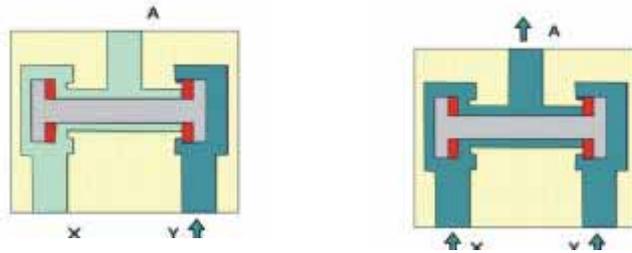


Gambar 31. Shuttle Valve

7.5.3 Katup Dua Tekan

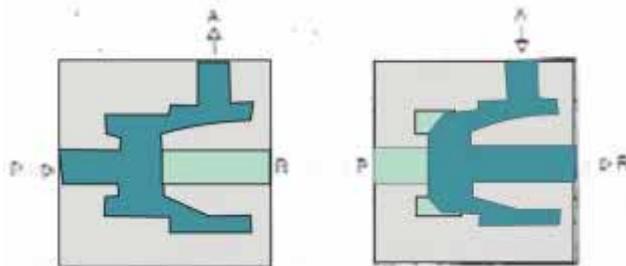
Katup ini dapat bekerja apabila mendapat tekanan dari kedua saluran masuknya, yaitu saluran X, dan saluran Y secara bersamaan (lihat gambar 32). Bila udara yang mengalir dari satu sisi saja, maka katup akan menutup, namun bila udara mengalir secara

bersamaan dari kedua sisinya, maka katup akan membuka, sehingga katup ini juga disebut “AND” (*Logic AND function*).



Gambar 32. Katup Dua Tekan

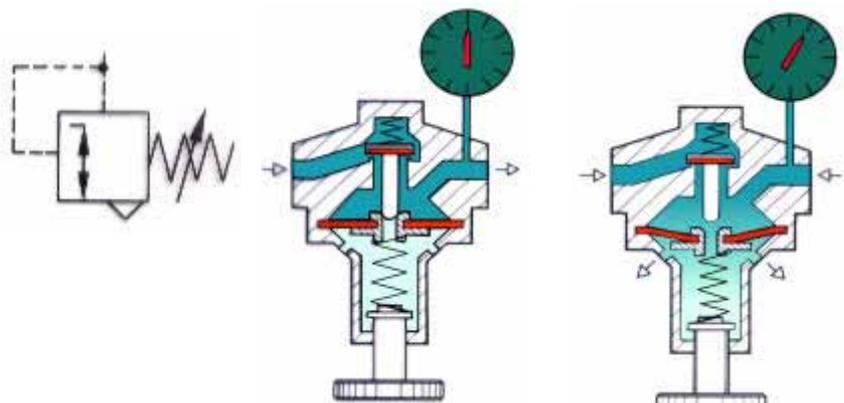
7.5.4 Katup Buang Cepat (*Quick Exhaust Valve*)



Gambar 33. Katup Buang Cepat

7.5.5 Katup Pengatur Tekanan

Pressure Regulation Valve, katub ini berfungsi untuk mengatur besar-kecilnya tekanan udara kempa yang akan keluar dari *service unit* dan bekerja pada sistim pneumatik (tekanan kerja).



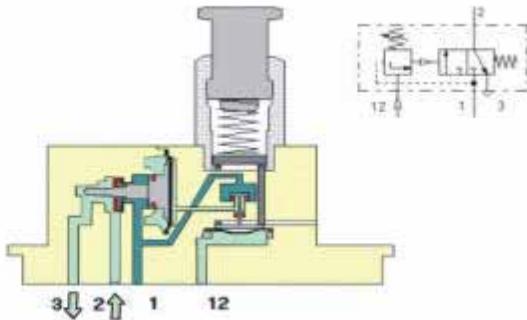
Gambar 34. *Pressure Regulation Valve*

7.5.6 Katup Pembatas Tekanan/Pengaman (*Pressure Relief Valve*)

Katup ini berfungsi untuk membatasi tekanan kerja maksimum pada sistem. Apabila terjadi tekanan lebih maka katup *out-let* akan terbuka dan tekanan lebih dibuang, jadi tekanan udara yang mengalir ke sistem tetap aman.

7.5.7 *Sequence Valve*

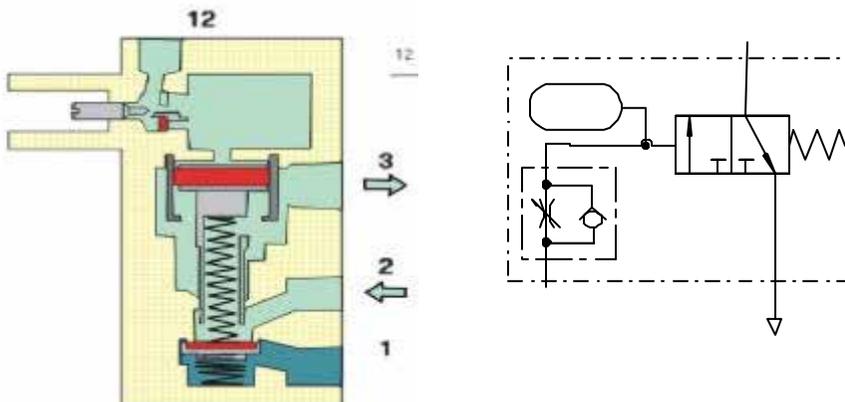
Prinsip kerja katup ini hampir sama dengan *relief valve*, hanya fungsinya berbeda yaitu untuk membuat urutan kerja dari sistem. Perhatikan gambar berikut :



Gambar 35. *Sequence Valve*

7.5.8 *Time Delay Valve* (Katup Penunda)

Katup ini berfungsi untuk menunda aliran udara hingga pada waktu yang telah ditentukan. Udara akan mengalir dahulu ke tabung penyimpanan, bila suda penuh baru akan mengalir ke saluran lainnya. Katup penunda ini juga dikenal pula dengan timer.

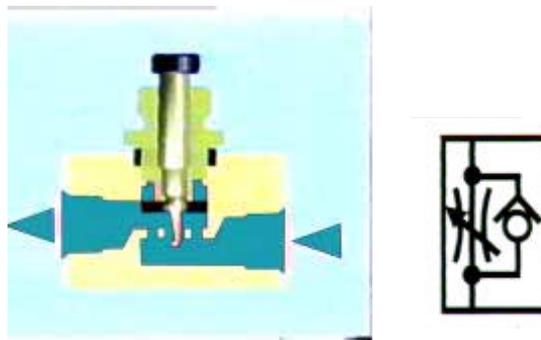


Gambar 36. *Time Delay Valve*

7.5.9 Katup Pengatur Aliran (*Flow Control Valve*)

Katup ini berfungsi untuk mengontrol/mengendalikan besar-kecilnya aliran udara kempa atau dikenal pula dengan katup cekik, karena akan mencekik aliran udara hingga akan menghambat aliran udara. Hal ini diasumsikan bahwa besarnya aliran yaitu jumlah volume udara yang mengalir akan mempengaruhi besar daya dorong udara tersebut.

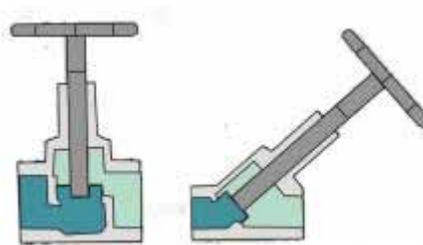
Macam-macam *flow control*: a) *Fix flow control* yaitu besarnya lubang laluan tetap (tidak dapat disetel), b) *Adjustable flow control* yaitu lubang laluan dapat disetel dengan baut penyetel., c) *Adjustable flow control* dengan *check valve by pass*. Adapun penampang dan simbol *flow control valve* adalah sebagai berikut:



Gambar 37. Katup Pengatur Aliran Udara

7.5.10 Shut of Valve

Katup ini berfungsi untuk membuka dan menutup aliran udara. Lihat gambar berikut :



Gambar 38. Shut of Valve

7.6 Unit Pengerak (*Working Element = Aktuator*)

Unit ini berfungsi untuk menghasilkan gerak atau usaha yang merupakan hasil akhir atau *output* dari sistim pneumatik.

Macam-macam aktuator :

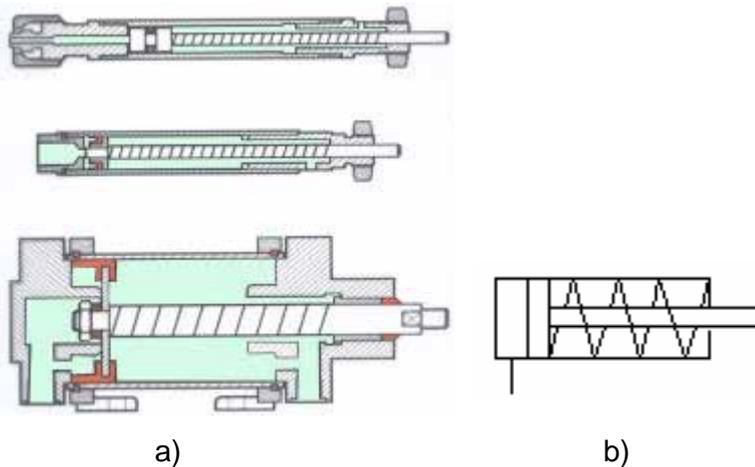
- a) *Linear Motion Aktuator* (Pengerak Lurus)
 - *Single Acting Cylinder* (Silinder Kerja Tunggal)

- *Double Acting Cylinder* (Penggerak Putar)
- b) *Rotary Motion Actuator (Limited Rotary Aktuator)*
- *Air Motor* (Motor Pneumatik)
- *Rotary Aktuator (Limited Rotary Aktuator)*

Pemilihan jenis aktuator tentu saja disesuaikan dengan fungsi, beban dan tujuan penggunaan sistim pneumatik.

7.6.1 *Single Acting Cylinder*

Silinder ini mendapat suplai udara hanya dari satu sisi saja. Untuk mengembalikan keposisi semula biasanya digunakan pegas. Silinder kerja tunggal hanya dapat memberikan tenaga pada satu sisi saja. Gambar berikut ini adalah gambar silinder kerja tunggal.

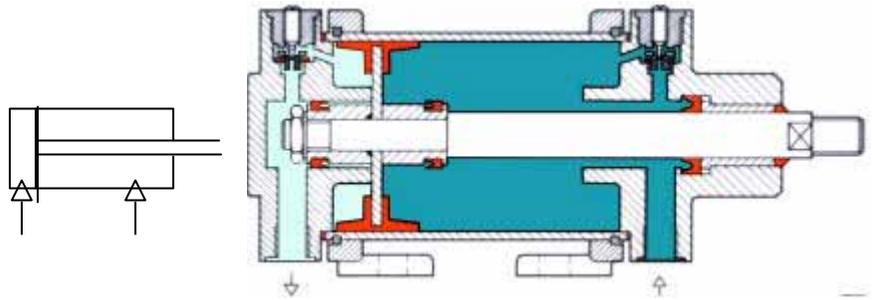


Gambar 39. Jenis *Single Acting Cylinder* (a) dan Simbolnya (b)

Silinder Pneumatik sederhana terdiri dari beberapa bagian, yaitu torak, seal, batang torak, pegas pembalik, dan silinder. Silinder sederhana akan bekerja bila mendapat udara bertekanan pada sisi kiri, selanjutnya akan kembali oleh gaya pegas yang ada di dalam silinder pneumatik. Secara detail silinder pneumatik sederhana pembalik pegas dapat dilihat pada gambar 39a.

7.6.2 *Silinder Penggerak Ganda (Double Acting Cylinder)*

Silinder ini mendapat suplai udara kempa dari dua sisi. Konstruksinya hampir sama dengan silinder kerja tunggal. Keuntungannya adalah bahwa silinder ini dapat memberikan tenaga kepada dua belah sisinya. Silinder kerja ganda ada yang memiliki batang torak (*piston rod*) pada satu sisi dan ada pada kedua pula yang pada kedua sisi. Konstruksinya yang mana yang akan dipilih tentu saja harus disesuaikan dengan kebutuhan.

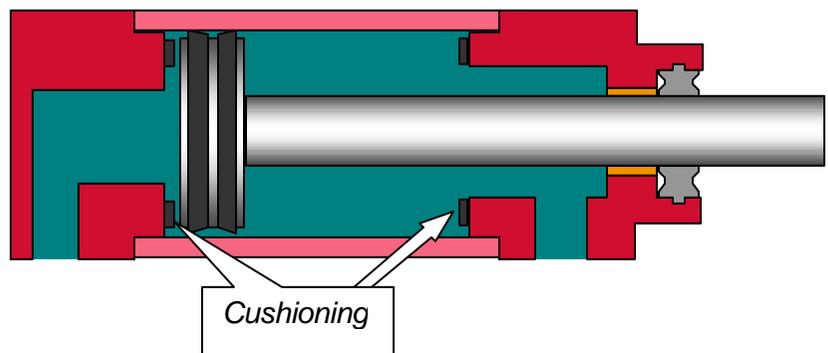


Gambar 40. *Double Acting Cylinder* dan simbolnya

Silinder pneumatik penggerak ganda akan maju atau mundur oleh karena adanya udara bertekanan yang disalurkan ke salah satu sisi dari dua saluran yang ada. Silinder pneumatik penggerak ganda terdiri dari beberapa bagian, yaitu torak, seal, batang torak, dan silinder. Sumber energi silinder pneumatik penggerak ganda dapat berupa sinyal langsung melalui katup kendali, atau melalui katup sinyal ke katup pemroses sinyal (*processor*) kemudian baru ke katup kendali. Pengaturan ini tergantung pada banyak sedikitnya tuntutan yang harus dipenuhi pada gerakan aktuator yang diperlukan. Secara detail silinder pneumatik dapat dilihat seperti gambar 40.

7.6.2.1 *Double Acting Cylinder With Cushioning*

Cushion ini berfungsi untuk menghindari kontak yang keras pada akhir langkah. Jadi dengan sistem *cushion* ini kita memberikan bantalan atau pegas pada akhir langkah.

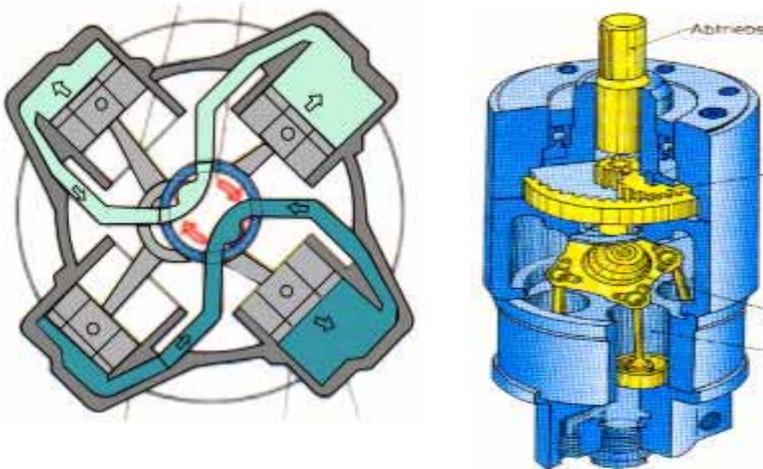


Gambar 41. *Double Acting Cylinder with Cushioning*

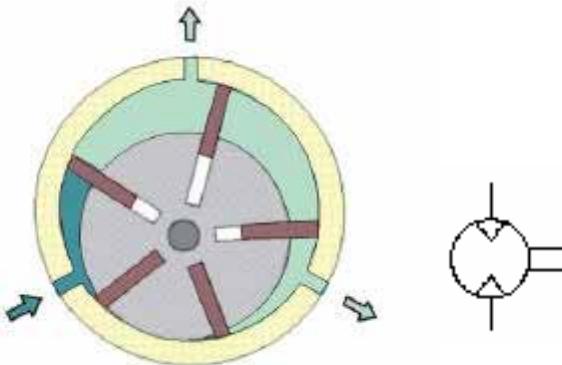
7.7 Air Motor (Motor Pneumatik)

Motor pneumatik mengubah energi pneumatik (udara kempa) menjadi gerakan putar mekanik yang kontinyu. Motor pneumatik ini telah cukup berkembang dan penggunaannya telah cukup meluas.

Macam-macam motor pneumatik, antara lain: a) Piston Motor Pneumatik, b) *Sliding Vane Motor*, c) *Gear Motor*. d) *Turbines (High Flow)*. Berikut contoh-contoh motor pneumatik.

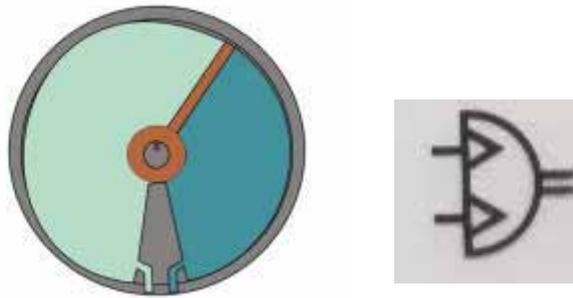


Gambar 42. Motor Piston Radial dan Motor Axial



Gambar 43. Rotari Vane Motor

Menurut bentuk dan konstruksinya, motor pneumatik dibedakan menjadi : a) Motor torak, b) Motor baling-baling luncur, c) Motor roda gigi, d) Motor aliran. Cara kerja motor pneumatik berupa piston translasi kemudian dikonversi menjadi gerakan berputar/rotasi dimana udara bertekanan dialirkan melalui torak atau baling-baling yang terdapat pada porosnya.



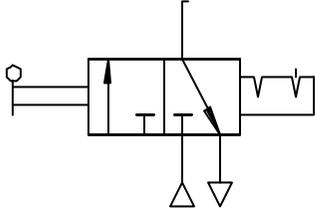
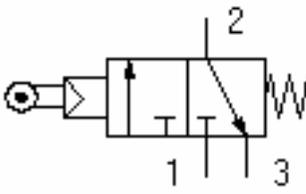
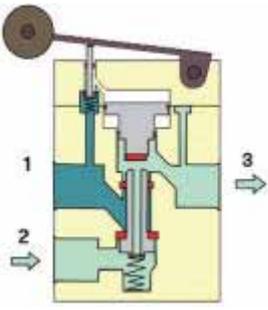
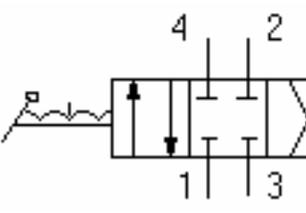
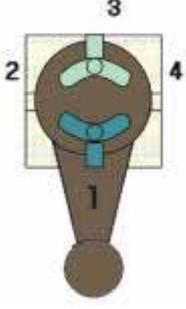
Gambar 44. Jenis dan Simbol Motor Pneumatik/*Rotary Actuator*

Ada beberapa kelebihan penggunaan motor pneumatik, antara lain: a) Kecepatan putaran dan tenaga dapat diatur secara tak terbatas, b) Batas kecepatan cukup lebar, c) Ukuran kecil sehingga ringan, d) Ada pengaman beban lebih, e) Tidak peka terhadap debu, cairan, panas dan dingin, f) Tahan terhadap ledakan, g) Mudah dalam pemeliharaan, h) Arah putaran mudah dibolak-balik.

7.8 Jenis-jenis Katup Pneumatik

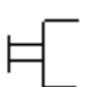
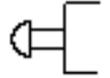
Tabel 1. Simbol dan Gambar Katup Sinyal Pneumatik

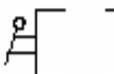
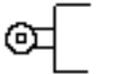
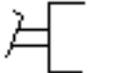
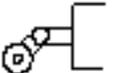
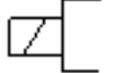
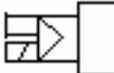
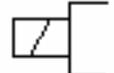
LAMBANG	PENAMPANG	NAMA
		Katup tekan 3/2 dengan pegas pembalik
		Katup NOT 3/2 dengan pegas pembalik

	=	Katup tuas 3/2 dengan penahan
		Katup Roll 3/2
		Katup tuas 4/2 dengan penahan/tuas

Simbol penekan katup sinyal memiliki beberapa jenis, antara lain penekan manual, roll, tuas, dan lain-lain. Sesuai dengan standar *Deutsch Institut fur Normung* (DIN) dan ISO 1219, terdapat beberapa jenis penggerak katup, antara lain:

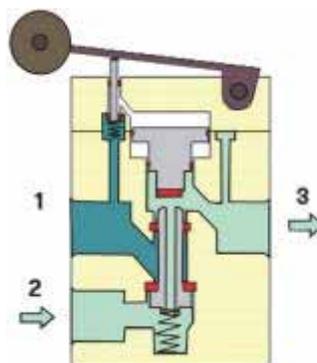
Tabel 2. Jenis-jenis penggerak katup

SIMBOL	KETERANGAN	SIMBOL	KETERANGAN
	Penekan pada umumnya		Melalui sentuhan
	Penggerak katup oleh knop		Penggerak katup oleh pegas

	Penggerak katup oleh tuas		Penggerak katup oleh roll
	Penggerak katup oleh pedal kaki		Penggerak katup oleh roll tak langsung (berlengan)
	Penggerak katup oleh udara		Penggerak katup oleh magnet
	Penggerak katup magnet/ mekanik dua sisi		Penggerak katup oleh magnet dua sisi

7.8.1.1 Katup 3/2 dengan Penekan Roll

Katup ini sering digunakan sebagai saklar pembatas yang dilengkapi dengan roll sebagai tombol. Katup ini bekerja bila tombol roll pada katup tertekan secara manual melalui nok yang terdapat pada silinder Pneumatik atau karena adanya sistim mekanik lainnya. Saat posisi katup *pneumatik* belum tertekan yaitu saat katup tidak dioperasikan, saluran 2 berhubungan dengan 3, dan lubang 1 tertutup sehingga tidak terjadi kerja apa-apa. Katup akan bekerja dan memberikan reaksi apabila ujung batang piston (batang penekan) sudah mendekat dan menyentuh pada *roller*-nya. Saat *rooler* tertekan maka terlihat bahwa lubang 1 berhubungan dengan saluran 2, sedangkan saluran 3 menjadi tertutup. Hal ini akan berakibat bahwa udara bertekanan dari lubang 1 akan diteruskan ke saluran 2. Aplikasinya nanti adalah saluran 2 itu akan dihubungkan pada katup pemroses sinyal berikutnya. Saluran 2 akan berfungsi sebagai pemberi sinyal pada katup berikutnya.



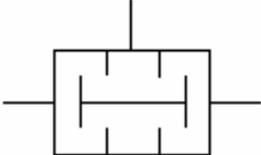
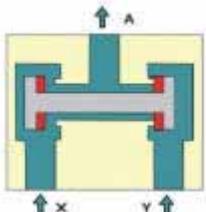
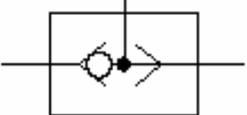
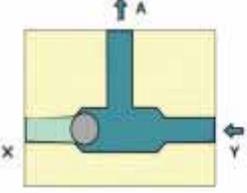
Gambar 45. Katup Sinyal Roll 3/2

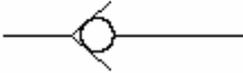
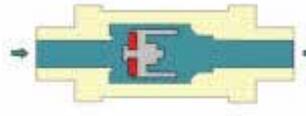
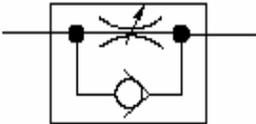
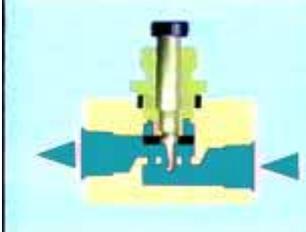
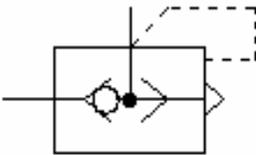
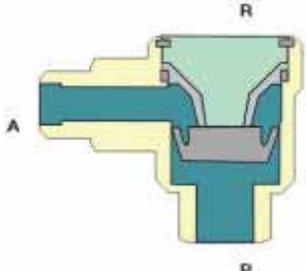
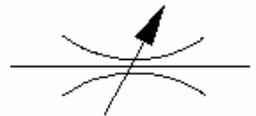
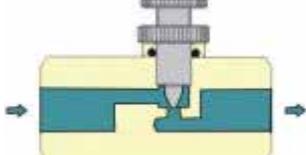
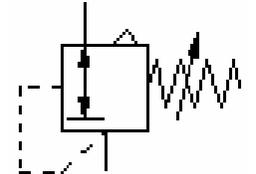
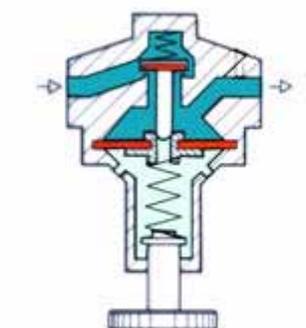
Katup sinyal roll ini akan bekerja apabila ujung roller tertekan oleh nok aktuator atau lainnya. Katup semacam ini dapat berfungsi sebagai pembatas gerakan atau pencegah gerakan yang berlebihan. Katup *pneumatik* pada dasarnya identik dengan saklar pada rangkaian listrik, maka katup tersebut juga disebut saklar pembatas.

7.8.2 Katup Pemroses Sinyal (*Prosesor*)

Output yang dihasilkan oleh katup sinyal akan diproses melalui katup pemroses sinyal (*prosesor*). Sebagai pengolah *input*/masukan dari katup sinyal, maka hasil pengolahan sinyal akan dikirim ke katup kendali yang akan diteruskan ke aktuator agar menghasilkan gerakan yang sesuai dengan harapan. Katup pemroses sinyal terletak antara katup sinyal dan katup pengendalian. Beberapa katup pemroses sinyal dapat pula dipasang sebelum aktuator, namun terbatas pada katup pengatur aliran/cekik yang mengatur kecepatan torak, saat maju atau mundur. Katup pemroses sinyal terdiri dari beberapa jenis, antara lain katup dua tekan (AND), katup satu tekan (OR), katup NOT, katup pengatur aliran udara (cekik) satu arah, katup pembatas tekanan, dan lain-lain, seperti yang tampak dalam simbol dan gambar penampang berikut ini:

Tabel 3. Jenis dan Simbol Katup Pemroses Sinyal Pneumatik

LAMBANG	PENAMPANG	NAMA
		Katup dua tekan (AND)
		Katup satu tekan (OR)
		Katup aliran satu arah dengan pembalik pegas

		<p>Katup aliran satu arah tanpa pegas</p>
		<p>Katup pengatur aliran (Cekik) satu arah</p>
		<p>Katup OR dengan tekanan tertentu</p>
		<p>Cekik dua arah</p>
		<p>Katup Pengatur tekanan udara penyetel pegas</p>

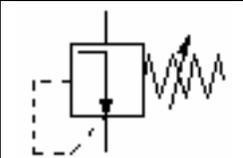
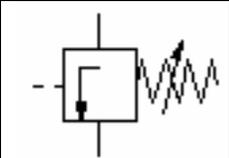
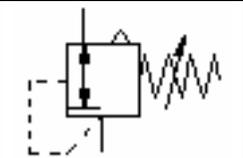
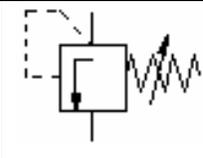
Secara detail fungsi dan mekanisme kerja katup pemroses sinyal dapat dijelaskan sebagai berikut:

7.8.3 Katup Pengatur Tekanan (*Pressure Control Valve*)

Katup pengatur tekanan digunakan untuk mengatur tekanan udara yang akan masuk ke dalam sistem pneumatik. Katup pengatur tekanan udara akan bekerja pada batas-batas tekanan tertentu. Katup

pengatur tekanan udara berfungsi mengatur tekanan agar penggerak pneumatik dapat bekerja sesuai dengan tekanan yang diharapkan. Bila telah melewati tekanan yang diperlukan maka katup ini akan membuka secara otomatis, udara akan dikeluarkan, hingga tekanan yang diperlukan tidak berlebihan. Untuk mendapatkan tekanan yang sesuai dengan keperluan dapat dilakukan dengan cara mengatur putaran pegas yang ada. Sesuai fungsinya katup pengatur tekanan dapat disimbolkan sebagai berikut :

Tabel 4. Jenis dan Simbol Katup Pembatas Tekanan

			
<i>Pressure regulator</i>	<i>Pressure relief valve</i>	<i>Pressure regulator with self relieving</i>	<i>Sequence valve</i>

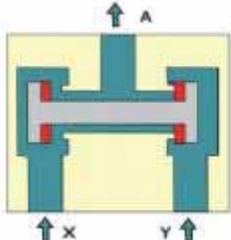
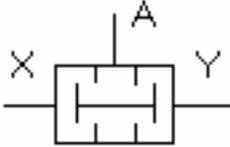
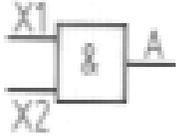
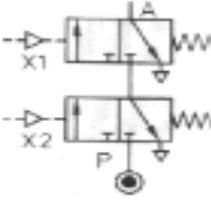
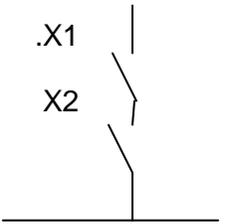
7.8.4 Katup Pengatur Aliran (*Flow Control Valve*)

Katup ini digunakan untuk mengatur volume aliran yang berarti mengatur kecepatan gerak piston (aktuator). Biasanya dikenal juga dengan istilah cekik. Fungsi dari pemasangan *flow control valve* pada rangkaian pneumatik antara lain untuk membatasi kecepatan maksimum gerakan piston/motor pneumatik, untuk membatasi daya yang bekerja, serta untuk menyeimbangkan aliran yang mengalir pada cabang-cabang rangkaian pneumatik.

7.8.4.1 Katup AND (*Two Pressure Valve*)

Katup dua tekan akan bekerja apabila mendapat tekanan dari dua sisi secara bersama-sama. Apabila katup ini mendapat tekanan dari arah X (1,2) saja atau dari arah Y (1,4) saja maka katup tidak akan bekerja (udara tidak dapat keluar ke A). Tetapi apabila mendapat tekanan dari X (1,2) dan Y (1,4) secara bersama-sama maka katup ini akan dapat bekerja sesuai fungsinya. Secara simbolik dapat dituliskan sebagai berikut :

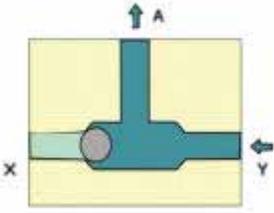
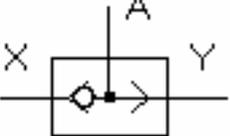
Tabel 5. Simbol dan Tabel Logika katup AND

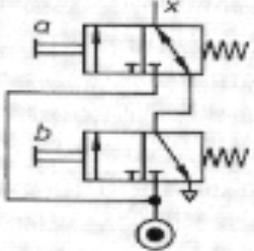
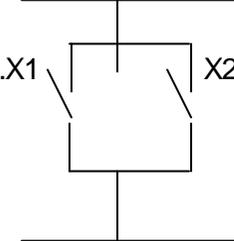
PENAMPANG	SIMBOL	SIMBOL LOGIKA															
																	
RANG. PNUAMATIK	ELEKTRIK	TABEL LOGIKA															
		<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1020 581 1094 649">X1</th> <th data-bbox="1094 581 1190 649">X2</th> <th data-bbox="1190 581 1273 649">A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1020 649 1094 716">0</td> <td data-bbox="1094 649 1190 716">0</td> <td data-bbox="1190 649 1273 716">0</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1020 716 1094 784">0</td> <td data-bbox="1094 716 1190 784">1</td> <td data-bbox="1190 716 1273 784">0</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1020 784 1094 852">1</td> <td data-bbox="1094 784 1190 852">0</td> <td data-bbox="1190 784 1273 852">0</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1020 852 1094 908">1</td> <td data-bbox="1094 852 1190 908">1</td> <td data-bbox="1190 852 1273 908">1</td> </tr> </tbody> </table>	X1	X2	A	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
X1	X2	A															
0	0	0															
0	1	0															
1	0	0															
1	1	1															

7.8.4.2 Katup OR (One Pressure Valve)

Katup OR akan bekerja bila dari salah satu sisi katup terdapat udara bertekanan, baik dari sisi kiri X atau (X1) atau sisi kanan Y atau (Y2), atau kedua-duanya. Dalam sistim elektrik katup OR diidentikkan dengan rangkaian parallel. Arus listrik dapat mengalir pada salah satu penghantar. Demikian pula pada pneumatik, udara bertekanan dapat dialirkan pada salah satu sisi atau kedua sisinya secara bersamaan. Katup OR dapat digambarkan dan disimpulkan sebagai berikut:

Tabel 6. Simbol dan Tabel Logika katup OR

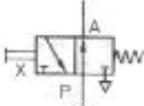
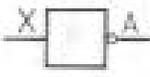
PENAMPANG	SIMBOL	SIMBOL LOGIKA
 <p style="text-align: center;">Wechselventil</p>		

RANGKAIAN PNEUMATIK	ELEKTRIK	TABEL LOGIKA		
		X1	X2	A
		0	0	0
		0	1	1
		1	0	1
		1	1	1

7.8.4.3 Katup NOT (*Negations Valve*)

Katup ini akan selalu bekerja berlawanan dengan sinyal yang masuk, bila sinyal dalam kondisi ON maka *outputnya* (A) akan OFF (mati), sedangkan pada posisi OFF maka *outputnya* akan ON. Dalam pneumatik katup NOT dapat diartikan bahwa udara bertekanan akan mengalir melalui katup NOT bila tidak diberi aksi, namun sebaliknya udara bertekanan tidak dapat diteruskan bila katup NOT diberi aksi. Katup ini biasanya dipakai untuk *Emergency*.

Tabel 7. Simbol dan Tabel Logika katup NOT

Simbol Pneumatik	Logik Kontrol	Tabel Logika	
		X	A
		0	1
		1	0

7.8.4.4 Katup NOR (*Not OR*)

Katup ini akan bekerja selalu berlawanan dengan *output* katup OR, bila *output* OR adalah ON, maka *output* NOR berupa OFF, demikian pula sebaliknya. Tabel Logika katup NOR dapat dijelaskan dalam tabel logika berikut:

Tabel 8. Logika katup NOR

X1	X2	A (OR)	A (NOR)
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

7.8.4.5 Katup NAND (*Not AND*)

Katup ini akan bekerja selalu berlawanan dengan *output* katup AND, bila *output katup* AND adalah ON, maka *output* NAND berupa OFF, demikian pula sebaliknya. Dalam pneumatik, udara bertekanan akan diteruskan ke sistim pneumatik bila outputnya tidak AND, dan akan berhenti bila inputnya AND. Katup NAND dapat digambarkan sebagai berikut :

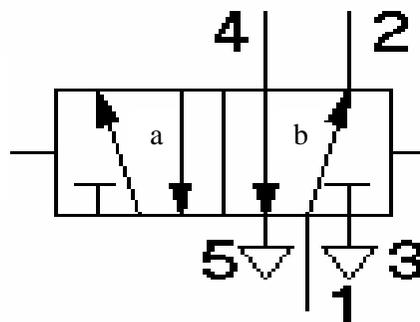
Tabel 9. logika katup NAND

X1	X2	A (AND)	A (NAND)
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

7.8.5 Katup Pengendali Sinyal

Sinyal yang telah diolah atau diproses selanjutnya akan dikirim ke katup pengendali. Letak katup pengendali biasanya sebelum aktuator. Katup ini akan secara langsung mengendalikan aktuator baik berupa silinder pneumatik maupun motor pneumatik. Katup pengendalian biasanya memiliki dua kemungkinan, yaitu mengaktifkan aktuator maju (*setzen/S*) atau mengembalikan aktuator ke posisi semula/mundur (*rucksetzen/R*).

Katup pengendali sinyal terdiri dari beberapa jenis, antar lain, katup 5/2, 5/3, 4/2, 3/2, dan sebagainya. Salah satu contoh cara pembacaan katup pengendali adalah sebagai berikut:



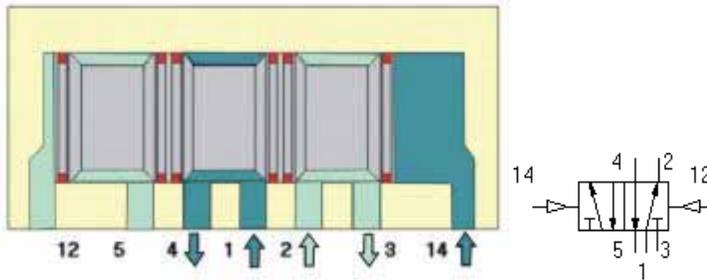
Gambar 46. Katup Kendali 5/2

Katup di atas terdiri dari 2 ruang, yaitu sisi kiri ruang a, dan sisi kanan ruang b. Setiap ruang terdiri dari 5 saluran/*port*, yaitu saluran 1, 2, 3, 4, dan 5. Pada sisi kiri dan kanannya terdapat kode penggerak katup tersebut misalnya penggerak udara bertekanan, penggerak mekanik, penggerak elektrik, penggerak hidrolik, dan lain-lain. Dilihat

dari jenis penggerak katupnya, katup pengendali sinyal terdiri dari beberapa jenis antara lain:

7.8.5.1 Katup Kendali 5/2 penggerak udara kempa

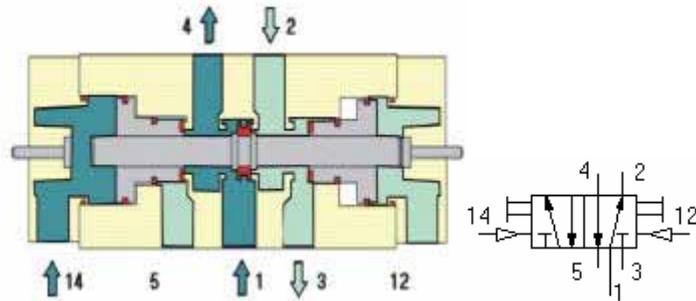
Katup kendali 5/2 penggerak udara kempa ini terdiri dari lima *port*, masing-masing diberi nomor. Pada bagian bawah (*input*) terdapat saluran masuk udara kempa yang diberi kode nomor 3, dan dua saluran buang yang diberi kode 3 dan 5. sedangkan bagian atas (*output*) terdapat dua saluran (*port*) yang diberi kode nomor 2 dan 4. Kedua saluran genap tersebut akan dihubungkan dengan aktuator. Selain itu terdapat dua ruang yang diberi nama ruang a dan ruang b. Kedua ruang diaktifkan/digeser oleh udara bertekanan dari sisi 14, dan sisi 12. Pada umumnya sisi 14 akan mengaktifkan ruang a sehingga *port* 1 terhubung dengan port 4, aktuator bergerak maju. Sisi 12 untuk mengaktifkan ruangan b yang berdampak saluran 1 terhubung dengan saluran 2, sehingga aktuator bergerak mundur.



Gambar 47. Penampang dan Simbol Katup Kendali 5/2 Penggerak Udara Kempa

7.8.5.2 Katup Kendali 5/2 penggerak udara kempa dan Mekanik

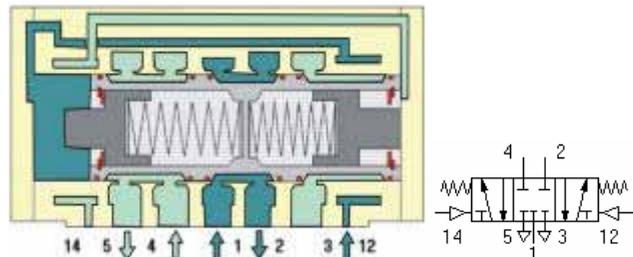
Katup kendali 5/2 penggerak udara kempa dan mekanik ini terdiri dari lima *port*, masing-masing diberi nomor 1, 2, 3, 4, dan 5. Pada bagian bawah (*input*) terdapat saluran masuk udara kempa yang diberi kode nomor 3, dan dua saluran buang yang diberi kode 3 dan 5. Bagian atas (*output*) terdapat dua saluran (*port*) yang diberi kode nomor 2 dan 4 yang akan dihubungkan dengan aktuator. Selain itu terdapat dua ruang yang diberi nama ruang a dan ruang b. Perbedaannya dengan katup di atas adalah Kedua ruang dapat diaktifkan/digeser oleh tenaga mekanik dan oleh udara bertekanan. Biasanya penggerak mekanik difungsikan untuk melakukan cheking apakah katup dapat berfungsi dengan baik atau tidak.



Gambar 48. Penampang dan Simbol Katup Kendali 5/2 Penggerak Mekanik dan Udara Kempa

7.8.5.2 Katup Kendali 5/2 Penggerak Udara Kempa dan Pegas

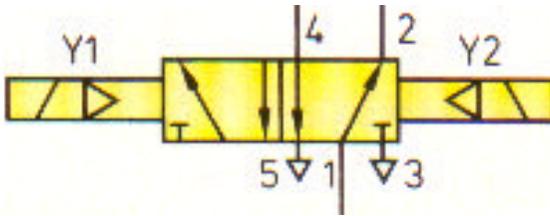
Katup kendali 5/2 penggerak udara kempa dan pembalik pegas ini prinsipnya sama dengan katup kendali sebelumnya. Perbedaannya katup ini dilengkapi pegas, yang berfungsi untuk mengembalikan katup ke posisi semula secara otomatis bila udara bertekanan penggerak katup tersebut terputus. Biasanya pembalik pegas ini difungsikan untuk mempertahankan katup agar tetap ke posisi semula setelah bergeser.



Gambar 49. Penampang dan Simbol Katup Kendali 5/2 Penggerak Mekanik Udara Kempa dan Pembalik Pegas

7.8.5.3 Katup Kendali 5/2 penggerak Magnet

Katup kendali 5/2 penggerak udara magnet ini prinsipnya sama dengan katup kendali sebelumnya. Perbedaannya katup ini dilengkapi kumparan/spull yang dililitkan ke inti besi. Bila kumparan dilalui arus, maka inti besi akan menjadi magnet. Magnet ini akan mengeser ruangan katup sesuai dengan gerakan yang diinginkan. Biasanya katup ini digunakan untuk sistem elektropneumatik atau elektro hidrolik.

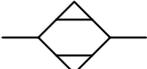
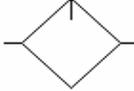
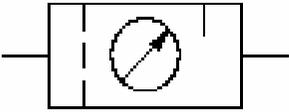
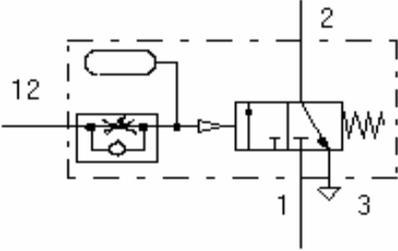


Gambar 50. Simbol Katup Kendali 5/2 Penggerak Magnet

Selain sistem penggerak katup, jenis dan simbol komponen pneumatik lainnya juga terdiri dari berbagai jenis seperti dapat dilihat pada tabel berikut:

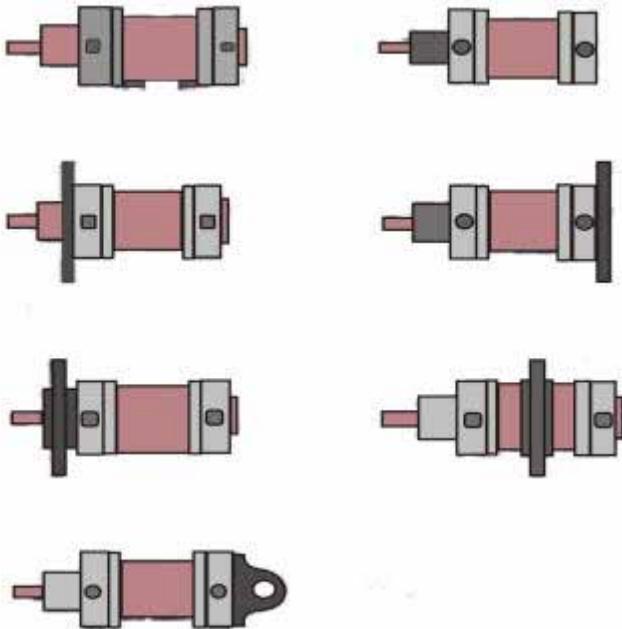
Tabel 10. Jenis dan Simbol Komponen Sistem Pneumatik Lainnya
(FESTO FluidSIM)

Simbol	Nama	Keterangan
<p>atau</p>	Sumber udara bertekanan	Sumber udara bertekanan berasal dari kompresor
	Saluran Kontrol	Saluran kontrol antar peralatan pneumatik
	Saluran tenaga/kerja	Saluran kerja dari kompresor
	Saluran berhubungan	Dua, tiga atau lebih saluran udara yang saling berhubungan
	Saluran bersilangan	Dua, tiga atau lebih saluran udara yang saling bersilangan
	Filter udara	Berfungsi sebagai peredam suara agar tidak bising
	Tangki penampung udara	Penampung udara bertekanan
	Filter udara	Dipasang sebelum masuk ke penampung

	Pemisah air	Befungsi untuk memisahkan air dari udara
	Pemanas udara	Pengering udara sebelum masuk ke instalasi pneumatik
	Pelumasan	Pencampuran udara dengan pelumas agar mengurangi keausan pada peralatan pneumatik
	FR/L Unit	FR/L unit merupakan Unit pelayanan udara bertekanan yang terdiri dari <i>Filter</i> , <i>Regulator</i> dan <i>Lubrication</i>
		Katup timer/tunda waktu, berfungsi untuk mengaktifkan aktuator setelah waktu tertentu

7.9 Model Pengikat (*Types Of Mounting*)

Cara-cara pengikat silinder (aktuator) pada mesin atau pesawat dapat dilaksanakan/dirancang dengan pengikat permanen atau remanen tergantung keperluan. Berikut ini gambar-gambar cara pengikatan.



Gambar 51. Tipe-Tipe Mounting

8. Sistim Kontrol Pneumatik

Komponen yang ada dalam rangkaian sistim pneumatik harus dapat bekerja sama satu dengan lainnya agar menghasilkan gerakan *output* aktuator yang sesuai dengan kebutuhan. Bagian ini akan mendiskripsikan tentang komponen-komponen sistim kontrol pneumatik, seperti katup sinyal, katup pemroses sinyal, dan katup kendali. Selain itu untuk memudahkan secara teoritis, akan dijelaskan pula tentang *Karnaught Diagram*.

8.1 Pengertian Sistim Kontrol Pneumatik

Sistim udara bertekanan tidak terlepas dari upaya mengendalikan aktuator baik berupa silinder maupun motor pneumatik, agar dapat bekerja sebagaimana yang diharapkan. Masukan (*input*) diperoleh dari katup sinyal, selanjutnya diproses melalui katup pemroses sinyal kemudian ke katup kendali sinyal. Bagian pemroses sinyal dan pengendali sinyal dikenal dengan bagian kontrol. Bagian kontrol akan mengatur gerakan aktuator (*output*) agar sesuai dengan kebutuhan. Sistim kontrol pneumatik merupakan bagian pokok sistim pengendalian yang menjadikan sistem pneumatik dapat bekerja secara otomatis. Adanya sistim kontrol pneumatik ini akan mengatur hasil kerja baik gerakan, kecepatan, urutan gerak, arah

gerakan maupun kekuatannya. Dengan sistem kontrol pneumatik ini sistem pneumatik dapat didesain untuk berbagai tujuan otomasi dalam suatu mesin industri.

Fungsi dari sistem kontrol pneumatik ini untuk mengatur atau mengendalikan jalannya tenaga fluida hingga menghasilkan bentuk kerja (usaha) yang berupa tenaga mekanik melalui silinder pneumatik maupun motor pneumatik. Bentuk-bentuk dari sistem kontrol pneumatik ini berupa katup (*valve*) yang bermacam-macam. Menurut fungsinya katup-katup tersebut dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu: a) Katup Sinyal (*sensor*), b) Katup pemroses sinyal (*processor*), dan c) Katup pengendalian. Katup-katup tersebut akan mengendalikan gerakan aktuator agar menghasilkan sistem gerakan mekanik yang sesuai dengan kebutuhan.

Katup sinyal adalah suatu alat yang menerima perintah dari luar untuk mengalirkan, menghentikan atau mengarahkan fluida yang melalui katup tersebut. Perintah tersebut berupa aksi, bisa melalui penekan, roll, tuas, baik secara mekanik maupun elektrik yang akan menimbulkan reaksi pada sistem kontrol pneumatik. Unit katup sinyal merupakan gabungan dari berbagai katup yang berfungsi memberikan *input* (sinyal) pada suatu unit prosesor (pemroses sinyal) agar menghasilkan gerakan aktuator yang sesuai dengan kebutuhan.

Katup sinyal akan menghasilkan sinyal/sensor sebagai masukan (*input*) guna diproses ke katup pemroses sinyal. Katup sinyal dilambangkan dengan katup yang terdiri dari beberapa ruangan (misal: ruang a, b, c) dan saluran udara yang dituliskan dalam bentuk angka, misal saluran 1, 2, 3, dan seterusnya. Sedangkan jenis penekannya (aksi) mempunyai beberapa pilihan misal, melalui penekan manual, tuas, roll, dan sebagainya., seperti contoh berikut ini:

9. Dasar Perhitungan Pneumatik

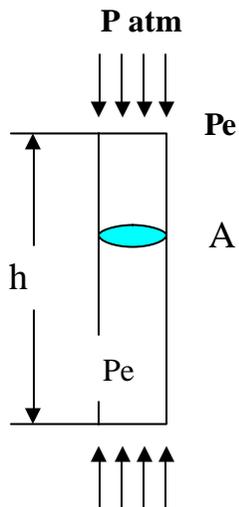
Dasar perhitungan pneumatik merupakan bagian yang akan membahas tentang perhitungan dasar dalam pneumatik. Bagian ini akan mendeskripsikan tentang perhitungan tekanan udara (P), perhitungan debit aliran udara (Q), kecepatan torak (V), Gaya Torak (F) dan dasar perhitungan daya motor. Sebelum melaksanakan perhitungan pneumatik terlebih dahulu harus mengetahui konversi-konversi satuan yang sering dipakai dalam perhitungan dasar pneumatik. Adapun konversi satuan tersebut antara lain : a) satuan panjang, b) satuan volume, c) satuan tekanan, d) satuan massa, e) satuan energi, f) satuan gaya dan g) satuan temperatur. Selengkapnya dapat dilihat di bawah ini :

- **Satuan panjang**
 - 1 ft = 0.3084 m
 - 1 inch = 2.540 cm
 - 1 mile = 5280 ft = 1.6093 km
 - 1 km = 1000 m
 - 1 m = 100 cm
 - 1 cm = 0.3937 inch = 7.4805 gal
- **Volume**
 - 1 liter = $10^{-3} \text{ m}^3 = 1 \text{ dm}^3$
 - 1 gal = 3.7854 liter
 - 1 ft³ = 28.317 liter
 - 1 inch³ = 16.387 cm³
- **Massa**
 - 1 lb_(m) = 0.45359237 kg = 7000 grain
 - 1 kg = 1000 g
 - 1 ton = 1000 kg
 - 1 slug = 32.174 lb_m = 14.5939 kg = 444,800 dyne
- **Gaya**
 - 1 lb_f = 4.4482 N
 - 1 N = 1 kg·m/s²
 - 1 ton = 0.22481 lb_f
- **Tekanan**
 - 1 kPa = 1000 N/m² = 20.886 lbf /ft²
 - 1 atm = 760 torr = 1.01325 x 10⁵ N/m²
 - 1 Pa = 1 N/m²
 - 1 bar = 1.10⁵ Pa
 - 1 bar = 0.9869 atm
- **Energi**
 - 1 torr = 1 mm Hg
 - 1 J = 1 kg·m² /s² = 1.933 x 10⁻² psi
 - 1 mm Hg = 0.01934 lbf /in² = 10.7 erg
 - 1 erg = 1 dyne·cm
 - 1 kalori = 4.186 J
 - 1 Btu = 252.16 kal
 - 1 in. Hg = 0.491 lbf /in² = 1.05504 kJ
 - 1 ft·lbf = 1.3558 J
 - 1 dyne/cm² = 10⁻¹ N/m²
 - 1 ev = 1.602 x 10⁻¹⁹ J
 - 1 W = 1 J/s
- **Temperatur/suhu**

C = 5 R = 4 F = 9

 - °R = 4/5 x °C
 - °C = 5/4 x °R
 - °F = (9/5 x °C) + 32°
 - °C = 5/9 x (°F - 32°)
 - 1 °K = 1.8 °R
 - °K = °C + 273.15

9.1 Tekanan Udara



$$A \cdot P_e = A \cdot P_{atm} + W,$$

Dimana :

$$W = \text{berat benda} = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g = \rho \cdot A \cdot h \cdot g$$

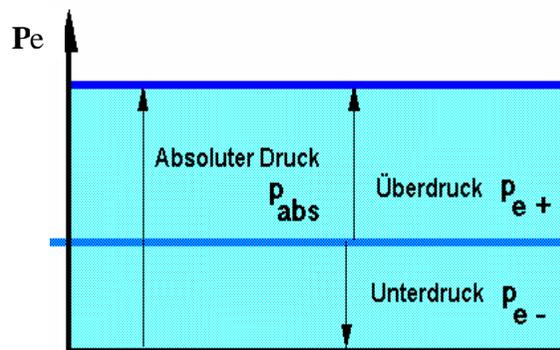
A = luas penampang

P_{atm} = tekanan atmosfer

P_e = tekanan pengukuran

Dengan mengeliminasi A, maka $P_1 = \rho \cdot g \cdot h$

$$\rho \cdot P = P_e - P_{atm} = \rho \cdot g \cdot h - 1 = \rho \cdot g \cdot h \text{ (kPa)}$$



Gambar 52. Sistem Tekanan dalam Pneumatik

Udara yang mengalir ke saluran sistem pneumatik akan mengalami penurunan tekanan (*head losses*) akibat adanya gesekan sepanjang saluran dan belokan. Penurunan tekanan tersebut menurut Majumdar: 2001, memiliki persamaan :

$$\Delta P = \frac{1,6 \times 10^3 \times Q^{1,85} \times L}{d^5 \times P_{abs}} \text{ Pa}$$

Dimana : L = panjang saluran (m)

D = Diameter dalam saluran (m)

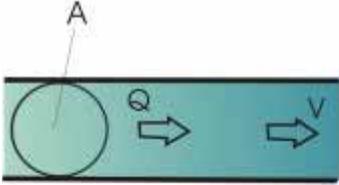
Q = Debit aliran udara (m^3/s)

P_{abs} = Tekanan absolute dalam Pa (N/m^2)

Catatan : 1 bar = 10^5 (N/m^2) = 10^5 Pa (Pascal)

9.2 Analisa Aliran Fluida (V)

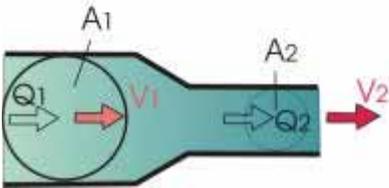
Udara yang melewati saluran dengan luas penampang A (m^2) dengan kecepatan udara mengalir V (m/dtk), maka akan memiliki debit aliran Q (m^3/dtk) sebesar A (m^2) \times V (m/dtk).



Debit Aliran Udara (Q)

$$Q_{(m^3/dtk)} = A_{(m^2)} \cdot V_{(m/dtk)}$$

Bila melewati melalui saluran yang memiliki perbedaan luas penampang A , maka debit udara akan tetap, namun kecepatannya akan berubah, sebandang dengan perubahan luas penampangnya

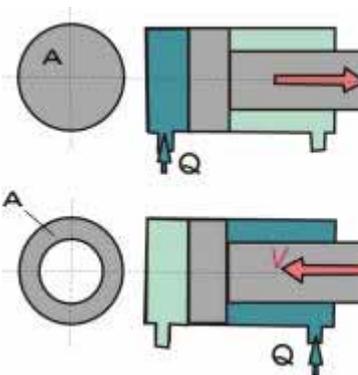


$$Q_1 = Q_2, \text{ sehingga } \frac{V_1}{V_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Gambar 53. Analisa Debit Udara

9.3 Kecepatan Torak (V)

Suatu silinder pneumatik memiliki torak dengan luas dan memiliki luas penampang stang torak, maka kecepatan torak saat maju akan lebih kecil dibandingkan dengan saat torak bergerak mundur.



$$V_{\text{maju}} = \frac{Q}{A}$$

$$V_{\text{mundur}} = \frac{Q}{A_n}$$

Dimana :

V = kecepatan torak (m/s)

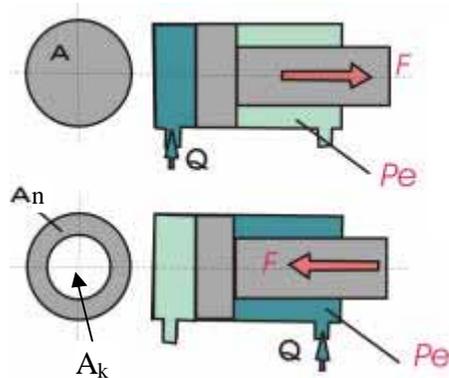
Q = debit aliran udara (ltr/mnt)

A = luas Penampang Torak (m^2)

$A_n = A - A_k$ (m^2)

Gambar 54. Analisis Kecepatan Torak

9.4 Gaya Torak (F)



$$F_{\text{maju}} = P_e \cdot A \cdot \eta \dots (\text{N})$$

$$F_{\text{mundur}} = P_e \cdot A_n \cdot \eta \dots (\text{N})$$

Gambar 55. Analisis Gaya Torak

Dimana:

F = Gaya torak (N)

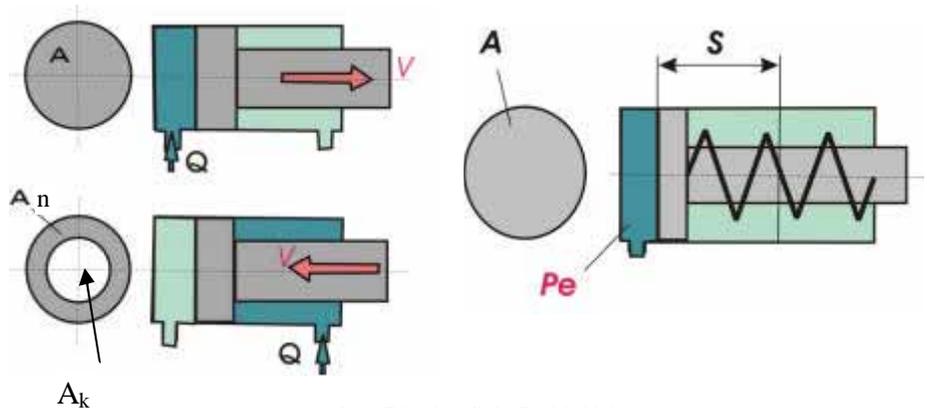
P_e = Tekanan kerja/effektif (N/m^2)

A = Luas Penampang (m^2)

$A_n = A - A_k$ (m^2)

A_k = Luas batang torak (m^2)

9.5 Udara yang Diperlukan (Q)



Gambar 56. Analisis Debit Udara

$$Q_{\text{maju}} = A \cdot S \cdot n \cdot \frac{(P_e + P_{\text{atm}})}{P_{\text{atm}}} = \dots (\text{ltr}/\text{mn})$$

$$Q_{\text{mundur}} = A_n \cdot S \cdot n \cdot \frac{(P_e + P_{\text{atm}})}{P_{\text{atm}}} \quad (\text{ltr}/\text{mnt})$$

Dimana:

S = Langkah torak (m)

Pe = Tekanan (N/m²)

A = Luas Penampang (m²)

A_n = A - A_k (m²)

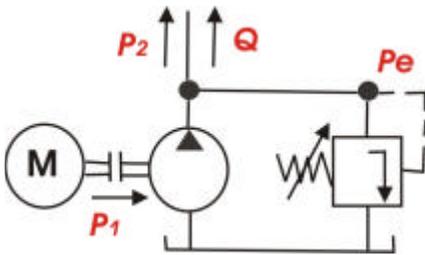
A_k = Luas batang torak (m²)

n = Banyaknya langkah (kali/menit)

Kebutuhan udara bertekanan yang diperlukan (Q) juga dapat dicari melalui rumus:

$$Q = 0,7854 \frac{D^2 \cdot S}{t} \frac{(P + 101,3 \times 10^3)}{101,3} \times 10^{-12} \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{Majumdar, 2001})$$

9.6 Perhitungan Daya Kompresor



$$P_2 = Q \cdot P_e$$

$$P_2 = \frac{Q \cdot P_e}{600}$$

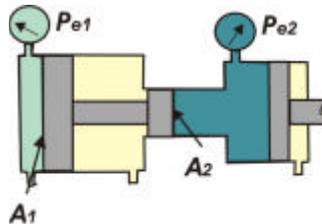
$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}$$

Gambar 57. Analisis Daya Pompa

P_2 = Daya *output* pompa (kW)

P_1 = Daya Motor (kW)

9.7 Pengubahan Tekanan



Gambar 58. Analisis Tekanan pada Penampang Berbeda

$$Pe_2 = Pe_1 \cdot \frac{A_1}{A_2} \cdot \eta$$

Dimana :

Pe_1 = Tekanan awal (N/m^2)

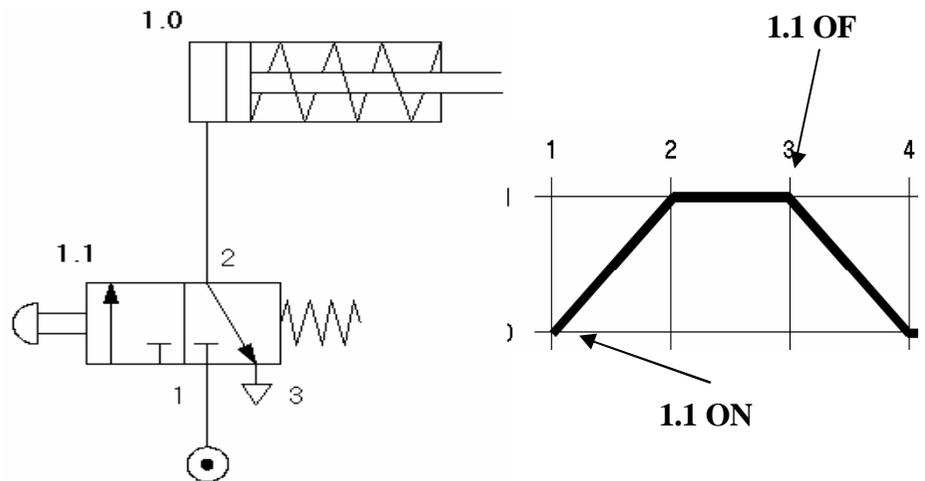
Pe_2 = Tekanan akhir (N/m^2)

A_1 = Luas Penampang 1

A_2 = Luas Penampang 2

10. Analisis Kerja Sistem Pneumatik

10.1 Pengendalian Langsung Silinder Sederhana



Gambar 59. Pengendalian Silinder Sederhana Secara Langsung

Cara Kerja :

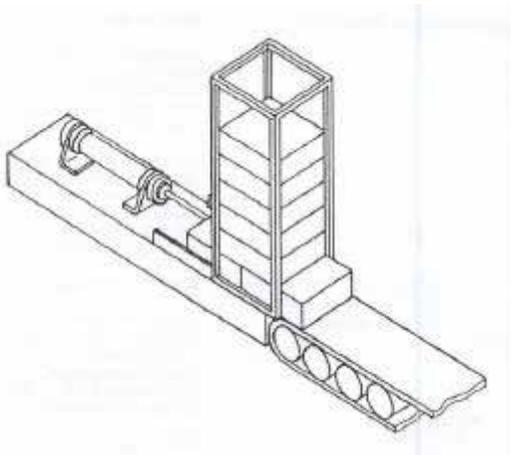
Bila katup sinyal/sensor ditekan secara manual, maka udara bertekanan dari kompresor akan mengalir ke katup tekan 3/2 pembalik pegas (1.1) melalui saluran 1 ke saluran 2. Udara bertekanan akan diteruskan ke silinder sederhana pembalik pegas (1.0), sehingga bergerak ke kanan (ON). Bila katup 1.1 di lepas, maka silinder 1.1 akan kembali dengan sendirinya akibat adanya gaya pegas di dalamnya. Udara sisa yang ada di dalam silinder 1.0 akan dikeluarkan melalui katup 1.1 melalui saluran 2 ke saluran 3 selanjutnya dikembalikan ke udara luar (atmosfer). Rangkaian tersebut termasuk dalam kategori pengendalian langsung, karena tanpa melalui katup pemroses sinyal. Rangkaian ini hanya dapat digunakan untuk menggeser/ mengangkat benda kerja paling sederhana.

Tabel 11. Logika untuk sistim di atas adalah sebagai berikut:

Katup 1.1 (S1)	Silinder 1.0 (A)
0	0
1	1

Rangkaian ini dapat juga disebut *identity*, karena bila diberi sinyal, silinder langsung bekerja, dan bila tidak diberi sinyal, silinder tidak bergerak. Rangkaian ini dapat digunakan untuk menggeser benda kerja, namun agar dapat bekerja secara otomatis, rangkaian tersebut masih harus banyak mengalami penyempurnaan. Penggunaan silinder pneumatik sederhana pembalik pegas pada mesin ini sangat rawan, karena saat silinder harus kembali ke posisi semula memerlukan tenaga besar.

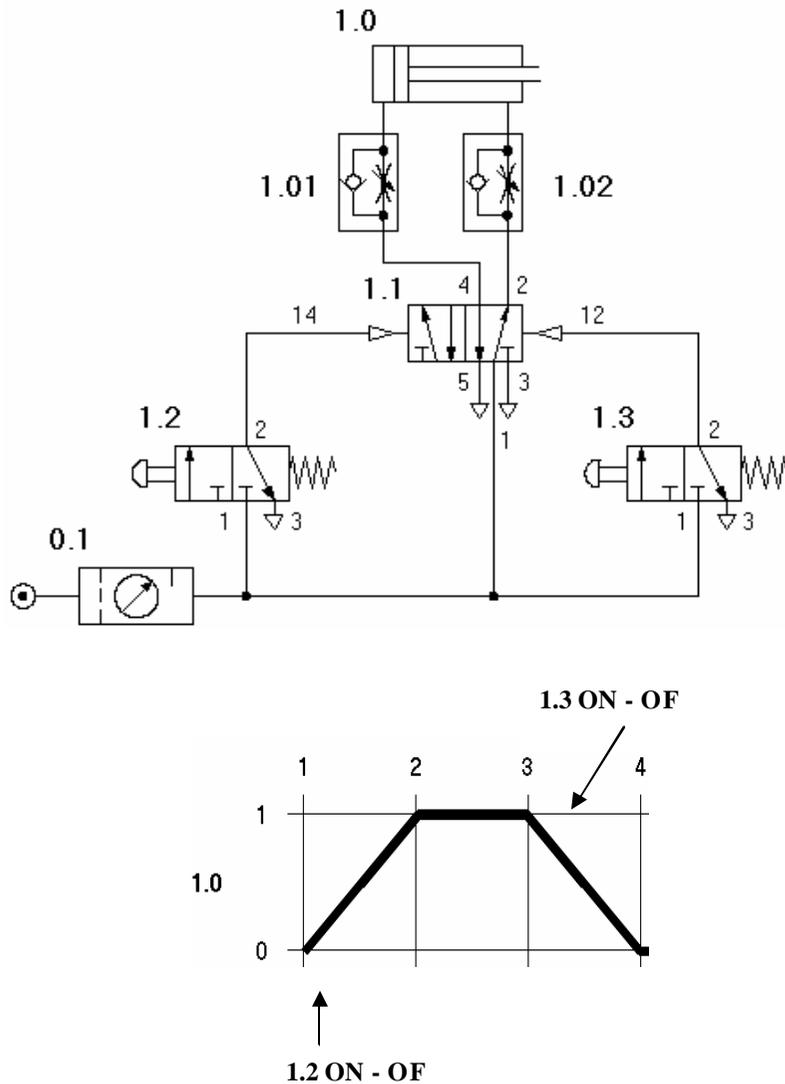
Rangkaian tersebut dapat digunakan bilamana bendanya ringan dan gesekan benda seminal mungkin, sehingga dengan gaya pegas pembalik yang ada dapat mengembalikan silinder ke posisi semula dengan mudah. Idealnya untuk mesin penggeser seperti di bawah ini menggunakan silinder penggerak ganda. Dimana tekanan udara yang ada dapat digunakan untuk gerak maju dan mundur silinder pneumatik secara sempurna.



Gambar 60. Penggeser Benda Kerja

10.2 Pengendalian Tak Langsung Silinder Penggerak Ganda

Pengendalian tak langsung pada sistim pneumatik karena udara bertekanan tidak langsung disalurkan untuk menggerakkan aktuator, melainkan disalurkan ke katup kendali terlebih dahulu. Setelah katup bergeser, baru kemudian udara bertekanan akan mengalir menggerakkan aktuator. Adapun sistim kendali tak langsung dapat dilihat pada gambar 61 di bawah ini:



Gambar 61. Rangkaian dan Diagram Gerak Silinder 1.0 Melalui Dua Katup

Cara Kerja :

Bila katup sinyal 1.2 ditekan secara manual sesaat, maka udara bertekanan dari kompresor akan mengalir ke katup kendali 1.1 melalui sisi 14, sehingga katup kendali 5/2 akan bergeser ke kanan. Udara dari kompresor akan mengalir melalui saluran 1 ke 4 diteruskan ke pengatur aliran (cekik) kemudian ke Silinder 1.0. Silinder 1.0 akan bergerak ke kanan secara perlahan-lahan sesuai dengan pengaturan cekik.

Silinder 1.0 akan kembali bila katup sinyal 1.3 ditekan/diaktifkan sesaat sehingga udara akan mengalir ke katup

kendali 1.1 yang menyebabkan katup 1.1 kembali ke kiri melalui sisi 12. Udara dari kompresor akan mengalir ke silinder pneumatik melalui saluran 1 ke 2 diteruskan ke silinder dari sisi kanan. Silinder akan kembali secara perlahan sesuai dengan pengaturan cekik.

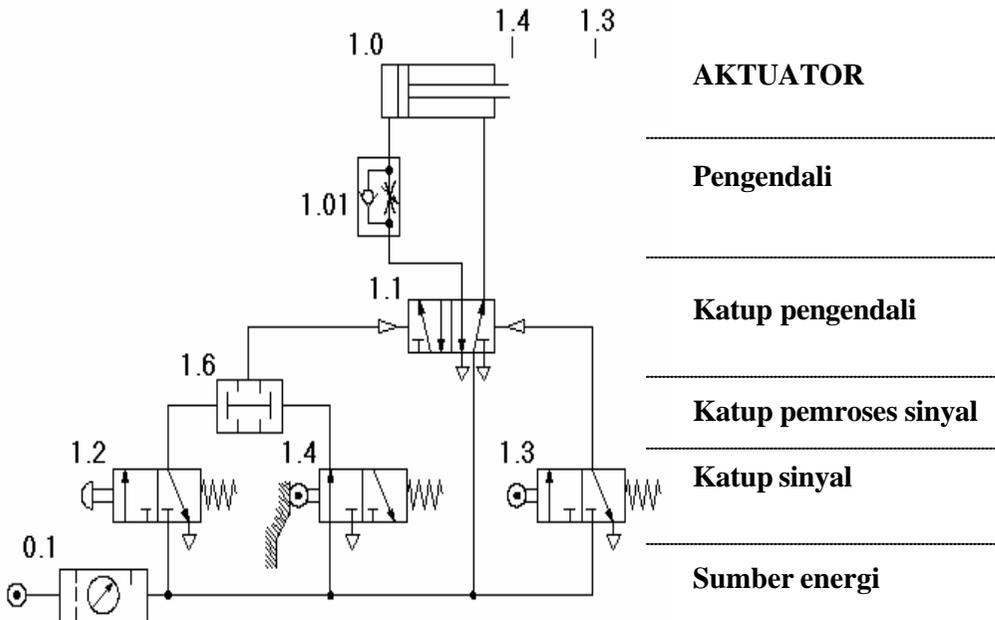
Tabel 12. Logika untuk sistim di atas adalah sebagai berikut:

Katup 1.2 (S1)	Katup 1.3 (S2)	Silinder 1.0 (A)
0	0	?
0	1	0
1	0	1
1	1	*

Keterangan : ? = tergantung posisi sebelumnya
 * = tak tentu

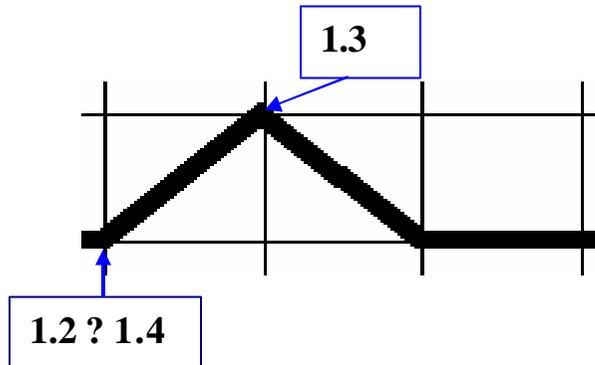
10.3 Pengendalian Gerak Otomatis Silinder Penggerak Ganda

Aplikasi dari gerakan ini dapat digunakan untuk menekan atau menggeser benda kerja sampai titik tertentu hingga menekan katup roll 1.3, kemudian silinder akan kembali secara otomatis. Silinder Penggerak Ganda akan bergerak maju dan mundur secara otomatis, bila katup 1.2 diganti penekan roll kemudian dipasang bersama dengan katup roll 1.4. Klasifikasi rangkaian ini dapat dituliskan sebagai berikut :



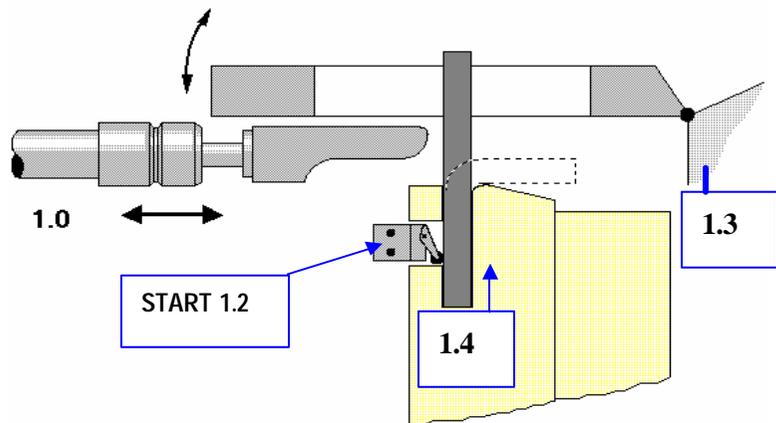
Gambar 62. Pengendalian Otomatis Silinder Penggerak Ganda

Sistim gerak silinder penggerak ganda dapat dilihat pada diagram gerak silinder 1.0 di bawah ini. Bila katup 1.4 aktif pada posisi awal dan knop katup 1.2 ditekan maka katup 1.2 dan 1.4 akan aktif secara bersamaan atau dapat ditulis sebagai 1.2 and 1.4 (1.2 ? 1.4), maka silinder 1.0 akan bergerak maju, silinder 1.0 akan kembali secara otomatis bila telah menekan katup roll 1.3



Gambar 63. Diagram Gerak Silinder 1.0 Penggerak Ganda

Aplikasi dari sistim gerak ini dapat digunakan pada mesin penekuk plat otomatis seperti di bawah ini:



Gambar 64. Aplikasi Gerak Silinder 1.0 A+, A -

11. Aplikasi Pneumatik dalam Proses Produksi

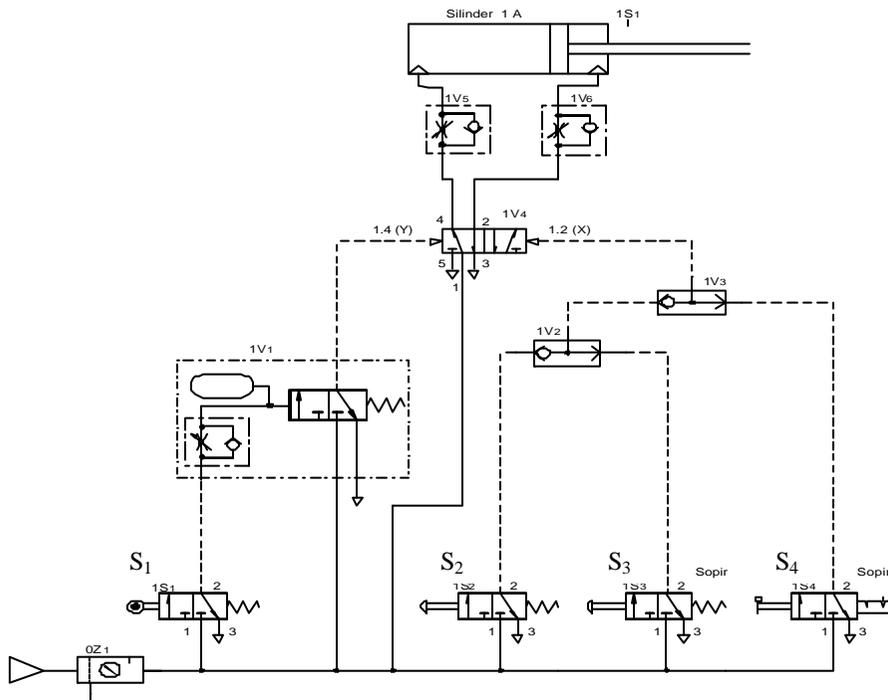
11.1 Pintu Bus dengan Kontrol Pneumatik

Silinder pneumatik penggerak ganda diletakkan di sisi dalam salah satu daun pintu lipat bus. Bagian pangkal silinder penggerak ganda diikatkan pada bodi mobil mekakui engsel, demikian pula pada ujung batang torak silinder, sehingga gerakan maju mundur stang torak akan memudahkan pintu bus membuka dan menutup dengan

fleksibel. Pintu bus akan menutup bila batang torak silinder pneumatik penggerak ganda bergerak maju (A+), sedangkan pintu bus akan membuka bila batang torak silinder pneumatik penggerak ganda tersebut bergerak mundur (A -).

Agar dapat bekerja seperti di atas, maka rangkaiannya adalah sebagai berikut:

Diagram Rangkaian Kontrol Pintu Bus Otomatis



Gambar 65. Diagram Rangkaian Kontrol Pintu Bus Otomatis.

Tabel 13. Simbol dan keterangan rangkaian kontrol pintu bus otomatis.

	=	Silinder kerja ganda
--	---	----------------------

	<p>=</p>	<p>Katup kontrol aliran satu arah</p>
	<p>=</p>	<p>Katup 5/2 dengan kontrol full pneumatik</p>
	<p>=</p>	<p>Katup tunda waktu</p>
	<p>=</p>	<p>Katup balik fungsi "ATAU"</p>
	<p>=</p>	<p>Katup batas 3/2 dengan pegas pembalik</p>

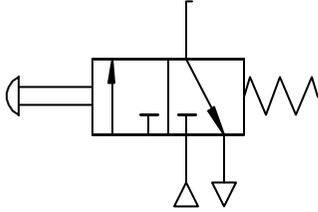
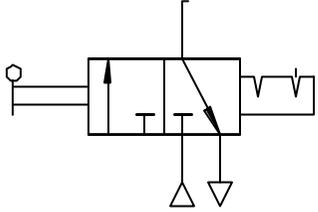
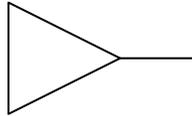
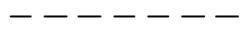
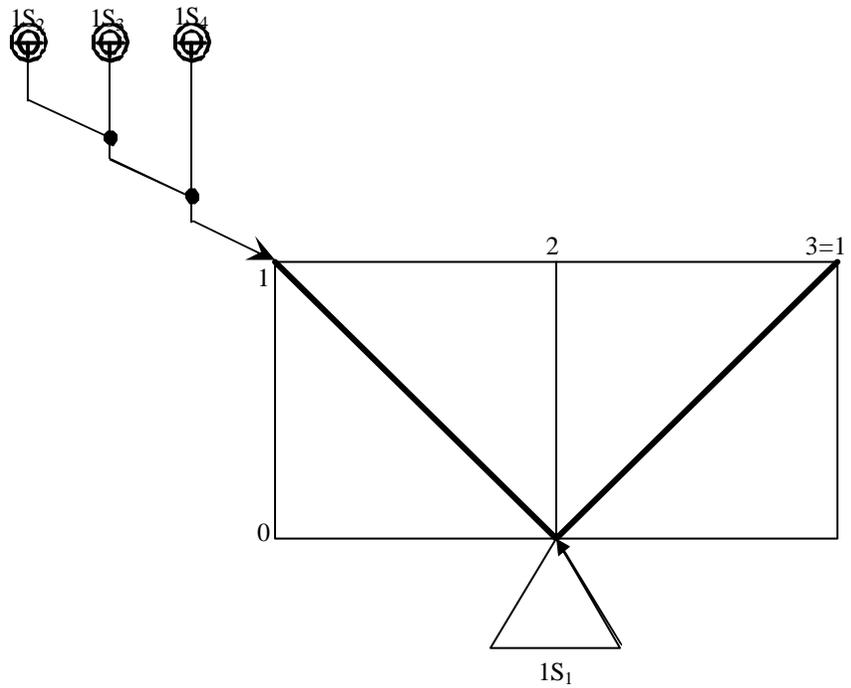
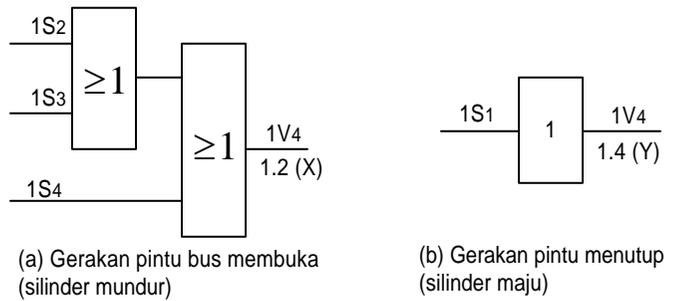
	=	Katup tombol 3/2 dengan pegas pembalik
	=	Katup tuas 3/2 dengan penahan
	=	Unit pelayanan udara (FR/L Unit)
	=	Sumber udara mampat
	=	Saluran kontrol
	=	Saluran kerja

Diagram Tahap Perpindahan



Gambar 66. Diagram Tahap Perpindahan

11.1.1 Simbol Logika



Gambar 67. Simbol logika untuk gerakan pintu bus

Table 11. Tabel Logika Gerakan Pintu Bus

1S ₁	1S ₂	1S ₃	1S ₄	1V ₄		A	KETERANGAN
				1.2 (X)	1.4 (Y)		
0	0	0	0	0	0	□	tidak tentu
0	0	0	1	1	0	0	sil. mundur (pintu membuka)
0	0	1	0	1	0	0	sil. mundur (pintu membuka)
0	0	1	1	1	0	0	sil. mundur (pintu membuka)
0	1	0	0	1	0	0	sil. mundur (pintu membuka)
0	1	0	1	1	0	0	sil. mundur (pintu membuka)
0	1	1	0	1	0	0	sil. mundur (pintu membuka)
0	1	1	1	1	0	0	sil. mundur (pintu membuka)
1	0	0	0	0	1	1	sil. maju (pintu menutup)
1	0	0	1	1	1	*	tidak tentu
1	0	1	0	1	1	*	tidak tentu
1	0	1	1	1	1	*	tidak tentu
1	1	0	0	1	1	*	tidak tentu
1	1	0	1	1	1	*	tidak tentu
1	1	1	0	1	1	*	tidak tentu
1	1	1	1	1	1	*	tidak tentu

Keterangan :

- = tidak ada tekanan udara pada saluran 1.2 (X) dan saluran 1.4 (Y)
- * = ada tekanan udara pada kedua saluran 1.2 (X) dan 1.4 (Y)

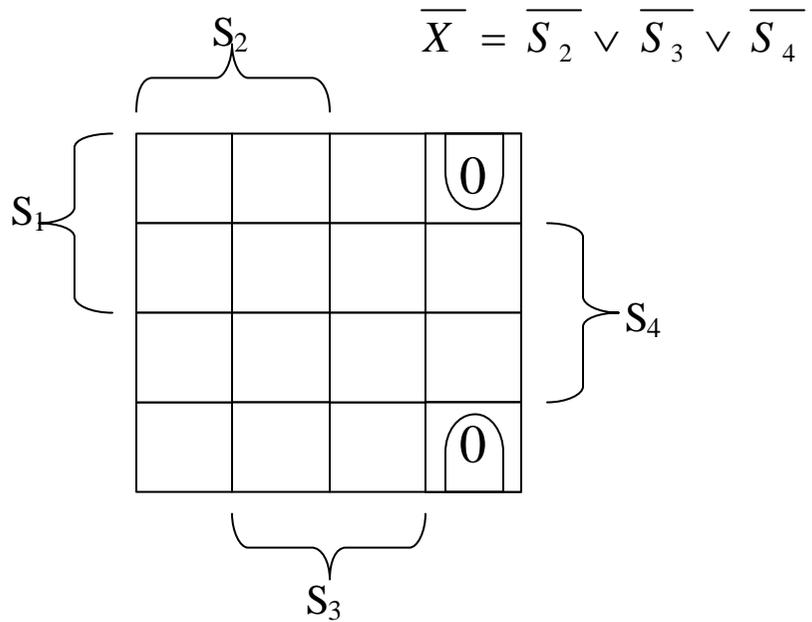
11.1.2 Untuk Saluran 1.2 (X)

Persamaan matematisnya :

$$\overline{X} = (\overline{S_1} \wedge \overline{S_2} \wedge \overline{S_3} \wedge \overline{S_4}) \vee (S_1 \wedge \overline{S_2} \wedge \overline{S_3} \wedge \overline{S_4})$$

$$\begin{aligned}
 X = & (\overline{S_1} \wedge \overline{S_2} \wedge \overline{S_3} \wedge S_4) \vee (\overline{S_1} \wedge \overline{S_2} \wedge S_3 \wedge \overline{S_4}) \vee (\overline{S_1} \wedge \overline{S_2} \wedge S_3 \wedge S_4) \vee \\
 & (\overline{S_1} \wedge S_2 \wedge \overline{S_3} \wedge \overline{S_4}) \vee (\overline{S_1} \wedge S_2 \wedge \overline{S_3} \wedge S_4) \vee (\overline{S_1} \wedge S_2 \wedge S_3 \wedge \overline{S_4}) \vee \\
 & (\overline{S_1} \wedge S_2 \wedge S_3 \wedge S_4) \vee (S_1 \wedge \overline{S_2} \wedge \overline{S_3} \wedge \overline{S_4}) \vee (S_1 \wedge \overline{S_2} \wedge \overline{S_3} \wedge S_4) \vee \\
 & (S_1 \wedge \overline{S_2} \wedge S_3 \wedge \overline{S_4}) \vee (S_1 \wedge \overline{S_2} \wedge S_3 \wedge S_4) \vee (S_1 \wedge S_2 \wedge \overline{S_3} \wedge \overline{S_4}) \vee \\
 & (S_1 \wedge S_2 \wedge \overline{S_3} \wedge S_4)
 \end{aligned}$$

11.1.3 Diagram Karnought :



Gambar 68. Diagram Karnought untuk saluran 1.2 (X)

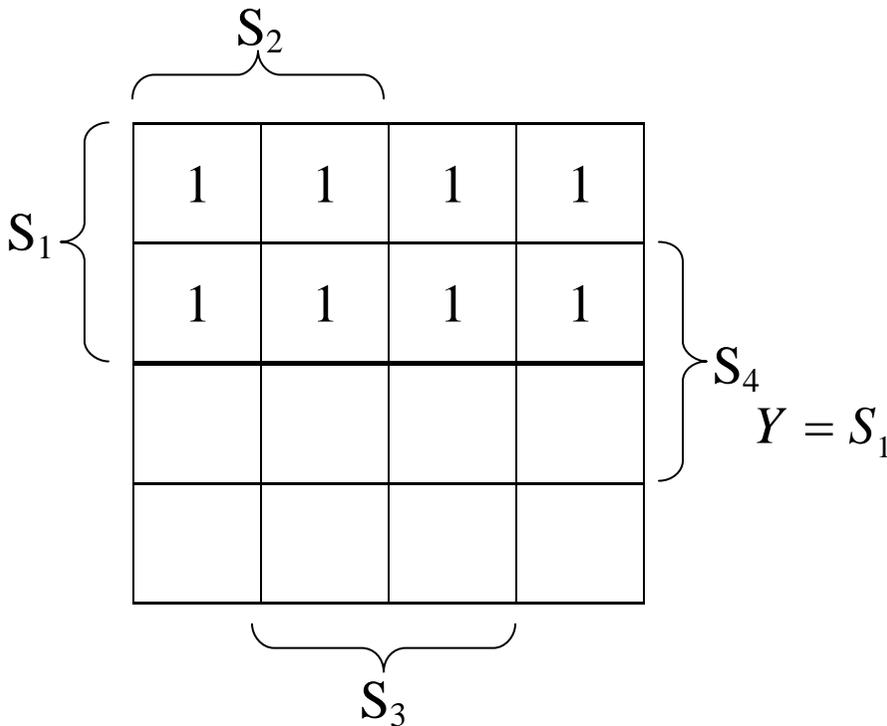
Untuk saluran 1.4 (Y)

Persamaan matematisnya :

$$\begin{aligned} \overline{Y} = & (\overline{S_1} \wedge \overline{S_2} \wedge \overline{S_3} \wedge \overline{S_4}) \vee (\overline{S_1} \wedge \overline{S_2} \wedge \overline{S_3} \wedge S_4) \vee (\overline{S_1} \wedge \overline{S_2} \wedge S_3 \wedge \overline{S_4}) \vee \\ & (\overline{S_1} \wedge \overline{S_2} \wedge S_3 \wedge S_4) \vee (\overline{S_1} \wedge S_2 \wedge \overline{S_3} \wedge \overline{S_4}) \vee (\overline{S_1} \wedge S_2 \wedge \overline{S_3} \wedge S_4) \vee \\ & (\overline{S_1} \wedge S_2 \wedge S_3 \wedge \overline{S_4}) \vee (\overline{S_1} \wedge S_2 \wedge S_3 \wedge S_4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y = & (S_1 \wedge \overline{S_2} \wedge \overline{S_3} \wedge \overline{S_4}) \vee (S_1 \wedge \overline{S_2} \wedge \overline{S_3} \wedge S_4) \vee (S_1 \wedge \overline{S_2} \wedge S_3 \wedge \overline{S_4}) \vee \\ & (S_1 \wedge \overline{S_2} \wedge S_3 \wedge S_4) \vee (S_1 \wedge S_2 \wedge \overline{S_3} \wedge \overline{S_4}) \vee (S_1 \wedge S_2 \wedge \overline{S_3} \wedge S_4) \vee \\ & (S_1 \wedge S_2 \wedge S_3 \wedge \overline{S_4}) \vee (S_1 \wedge S_2 \wedge S_3 \wedge S_4) \end{aligned}$$

11.1.4 Diagram Karnought

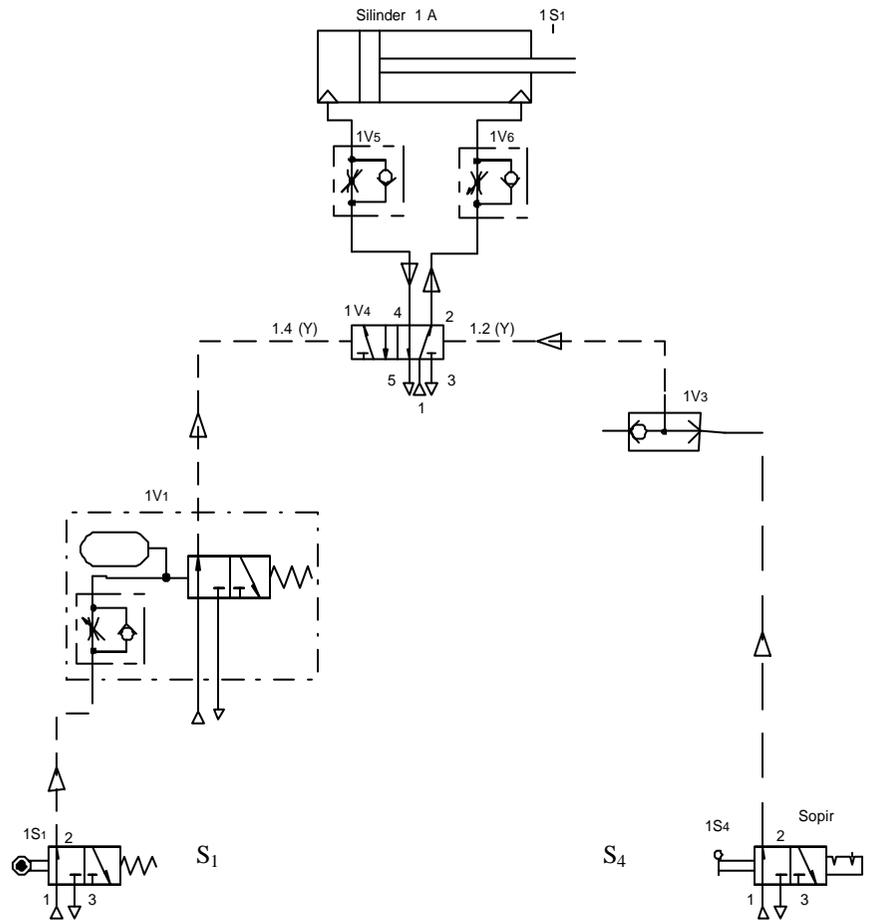


Gambar 69. Diagram Karnought untuk saluran 1.4 (Y)

Cara Kerja Rangkaian Pintu Bus dengan Kontrol Pneumatik

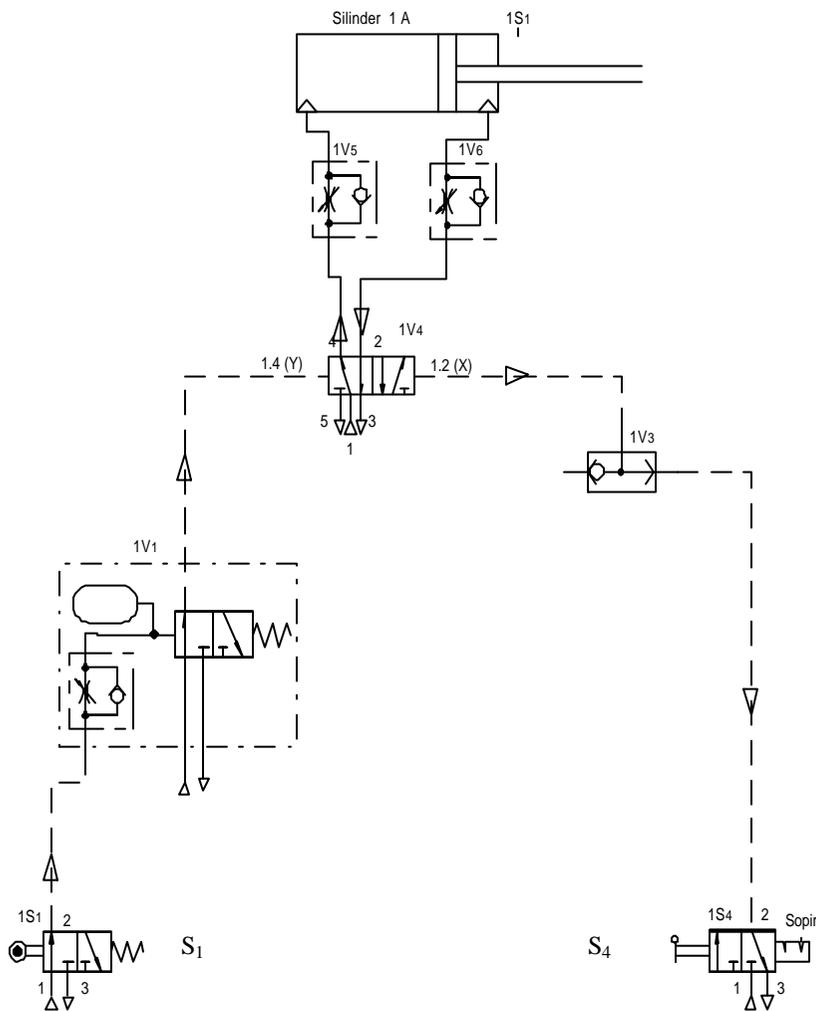
Pada saat bus sedang menunggu penumpang di terminal, halte ataupun tempat-tempat pemberhentian bus lainnya, maka pintu dikondisikan terbuka terus. Hal ini dimungkinkan dengan mengoperasikan katup **S₄**. Ketika katup **S₄** dioperasikan, saluran 1 terbuka, saluran 3 tertutup, aliran udara dari saluran 1 ke saluran 2 menuju saluran 1.2 (X) pada katup **V₄** melalui katup **V₃**. Aliran udara pada katup **V₄** adalah udara masuk saluran 1 keluar saluran 2 menuju saluran silinder bagian depan melalui katup **V₆**. Udara mendorong silinder ke belakang (A⁻). Udara dalam silinder bagian belakang didorong keluar menuju saluran 4 dan keluar saluran 5 pada katup **V₄** melalui katup **V₅**. Dengan gerakan A⁻ (silinder mundur) maka pintu bus akan terbuka. Pada saat kondisi pintu bus terbuka maksimal, akan mengaktifkan katup **S₁**. Sehingga aliran udara pada katup **S₁** adalah saluran 1 terbuka, saluran 3 tertutup, udara mengalir dari saluran 1 ke saluran 2 dan selanjutnya diteruskan ke katup **V₁**. Aliran udara ini akan mengaktifkan katup **V₁** sehingga udara dari kompresor akan mengalir ke katup **V₄** melalui saluran 1.4 (Y). Pada saat yang bersamaan, pada saluran 1.2 (X) masih terdapat udara mampat sehingga kondisi ini

tidak akan mempengaruhi posisi katup V_4 . Posisi silinder masih dalam kondisi awal dan posisi pintu bus masih dalam keadaan terbuka terus. (lihat gambar 70)



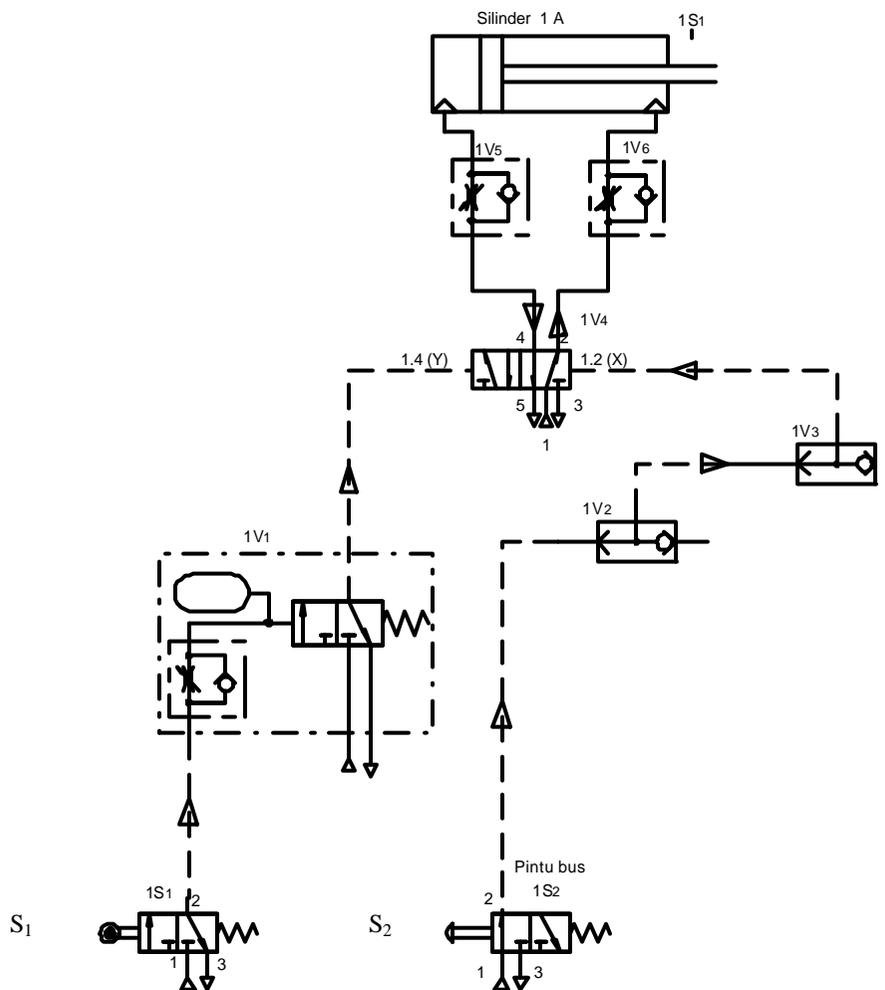
Gambar 70. Membuka pintu bus dengan menggunakan katup S_4

Pada saat bus akan berangkat, sopir/kondektur bus harus menutup pintu bus terlebih dahulu. Untuk itu maka katup S_4 harus dikembalikan ke posisi semula. Saluran 1 tertutup dan saluran 3 terbuka. Udara mampat pada saluran 1.2 (X) akan mengalir ke katup V_3 menuju saluran 2 dan dibuang melalui saluran 3 pada katup S_4 . Akibatnya udara pada saluran 1.4 (Y) akan mendorong katup V_4 sehingga aliran udara pada katup V_4 adalah udara dari kompresor masuk saluran 1 diteruskan ke saluran 4 menuju katup V_5 dan kemudian masuk ke saluran silinder bagian belakang. Udara pada bagian depan akan didorong ke luar melewati katup V_6 menuju saluran 2 dan dibuang melalui saluran 3 pada katup V_4 . Dengan gerakan maju ini (A+), pintu bus akan segera tertutup (lihat gambar 71)



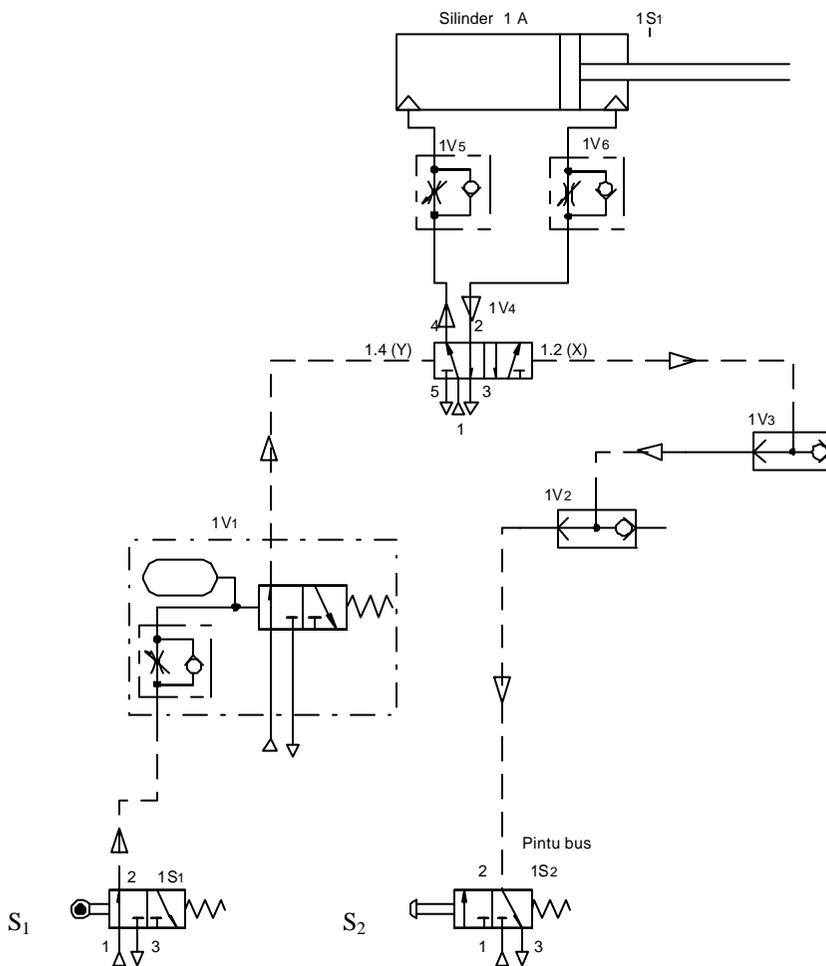
Gambar 71. Menutup pintu bus dengan menggunakan katup S_4

Apabila di tengah perjalanan ada penumpang yang akan turun, maka untuk membuka pintu, penumpang tinggal menekan katup S_2 . Pada waktu katup S_2 ditekan maka saluran 1 terbuka dan saluran 3 tertutup. Aliran udara dari saluran 1 menuju saluran 2 untuk selanjutnya diteruskan ke V_2 dan V_3 , kemudian menuju ke katup V_4 melalui saluran 1.2 (X). Aliran udara pada katup V_4 udara masuk saluran 1 menuju saluran 2 kemudian diteruskan ke katup V_6 . Selanjutnya diteruskan ke silinder melalui saluran bagian depan. Udara mendorong silinder ke belakang. Udara pada bagian belakang silinder akan didorong ke luar melalui katup V_5 menuju saluran 4 dan dibuang melalui saluran 5. Silinder bergerak mundur (A-) dan pintu bus terbuka (lihat gambar 72).



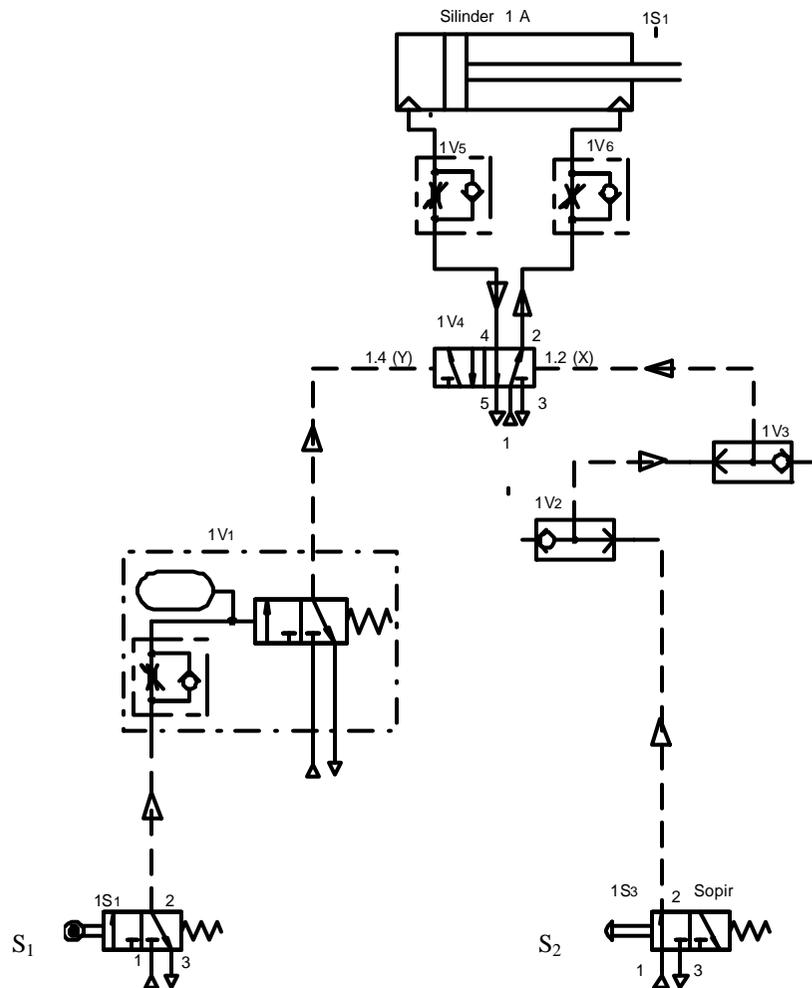
Gambar 72. Membuka pintu bus dengan menggunakan katup S_2

Pada waktu pintu terbuka maksimal maka akan mengaktifkan katup S_1 . Dengan terbukanya katup S_1 , maka katup V_1 akan mengalirkan udara dari kompresor menuju katup V_4 melalui saluran 1.4 (Y). Pada saat udara masuk ke saluran 1.4 (Y), pada saluran 1.2 (X) tidak ada udara mampat karena pada saat katup S_2 dilepas maka posisi akan kembali ke posisi awal. Sehingga udara pada saluran 1.2 (X) akan segera dibuang ke udara bebas melalui saluran 3 pada katup S_2 . Akibatnya silinder akan bergerak maju (A+) dan pintu bus akan segera menutup kembali (lihat gambar 73).



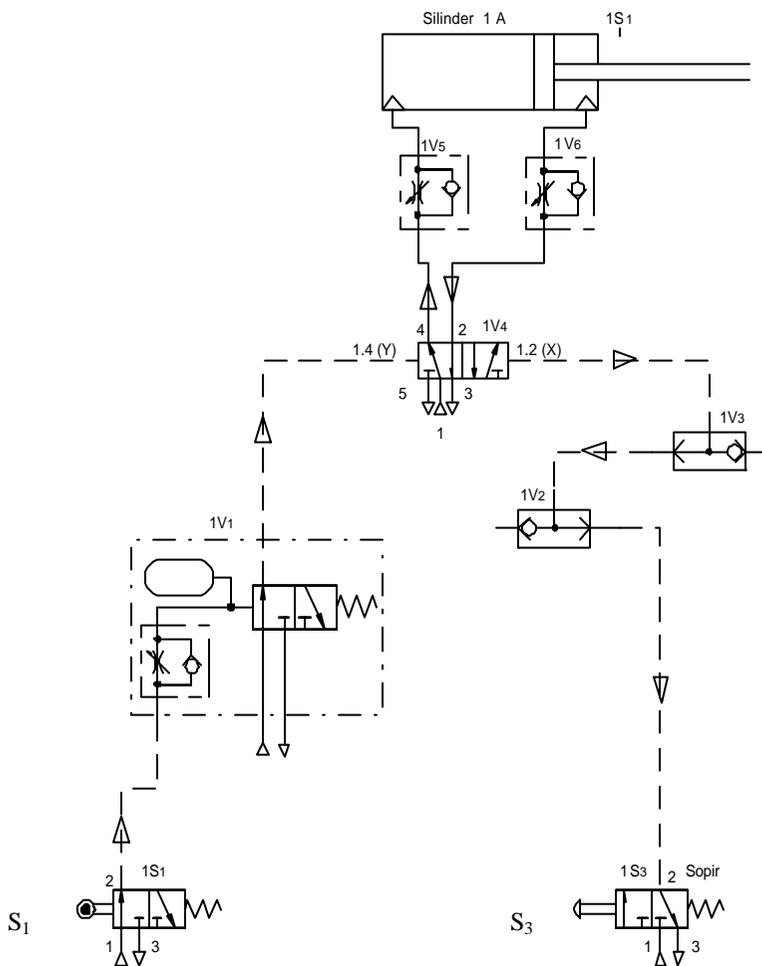
Gambar 74. Menutup pintu bus dengan menggunakan katup S_2

Apabila akan menaikkan penumpang di tengah perjalanan, maka untuk membuka pintu bus, dilakukan oleh sopir atau kondektur bus tersebut yaitu dengan cara menekan katup S_3 . Ketika katup ditekan, maka saluran 1 terbuka, saluran 3 tertutup, udara mengalir dari saluran 1 ke saluran 2 untuk selanjutnya diteruskan ke saluran 1.2 (X) pada katup V_4 melalui katup V_2 dan katup V_3 . Aliran udara ini akan mengubah arah aliran pada katup V_4 yaitu udara masuk dari saluran 1 ke saluran 2 menuju katup V_6 . Selanjutnya masuk ke silinder melalui saluran bagian depan. Silinder bergerak mundur (A-) dan pintu bus akan terbuka (lihat gambar 75)



Gambar 75. Membuka pintu bus dengan menggunakan katup S_3

Pada saat pintu terbuka maksimal maka akan mengaktifkan katup S_1 sehingga udara dari kompresor akan mengalir dari saluran 1 ke saluran 2 menuju katup V_1 . Dengan terbukanya katup V_1 , maka udara dari kompresor akan masuk ke katup V_4 melalui saluran 1.4 (Y). Akibatnya udara dari kompresor akan mengalir dari saluran 1 ke saluran 4 menuju katup V_5 menuju silinder bagian belakang. Maka silinder akan bergerak maju (A+) dan pintu akan tertutup kembali (lihat gambar 76).



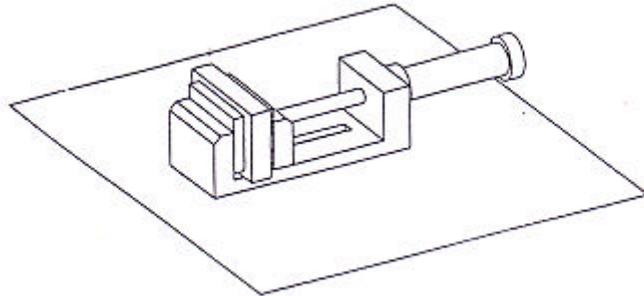
Gambar 76. Menutup pintu bus dengan menggunakan katup S_3

Fungsi-fungsi katup V_5 dan V_6 adalah untuk mengatur kecepatan gerak pintu bus pada saat membuka dan menutup. Katup V_1 merupakan katup tunda waktu. Katup ini berfungsi untuk memberikan selang waktu pintu bus menutup kembali setelah pintu bus terbuka. Sedangkan katup V_2 dan V_3 merupakan katup balik fungsi “ATAU” yang memungkinkan pintu bus dapat dioperasikan dengan menggunakan beberapa jenis katup pneumatik menurut situasi dan kondisi pada saat pintu bus tersebut dioperasikan.

Sistim pneumatik juga bisa digunakan untuk melakukan gerakan yang selama ini digerakan oleh tenaga manusia seperti menekan/ menyetempel benda kerja, memotong, membuat profil pada plat, dan lain-lain, seperti di bawah ini :

11.2 Penahan/penjepit benda (ragum)

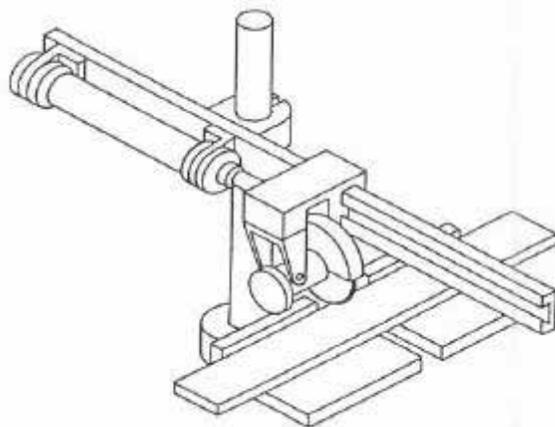
Arah gerakan silinder pneumatik penggerak ganda pada ragum di bawah ini adalah : A+ (menekan/menahan), A- (melepaskan kembali ke posisi awal)



Gambar 77. Ragum pneumatik

11.3 Pemotong plat

Arah gerakan silinder pneumatik penggerak ganda: A+ (memotong), A- (kembali ke Posisi Awal). Ujung silinder pneumatik diberi slide untuk mengarahkan mata pisau gergaji

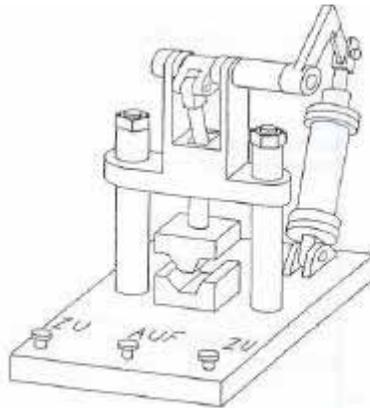


Gambar 78. Pemotong Material

11.4 Membuat profil plat

Benda kerja berupa plat diletakan di atas landasan berupa profil sesuai bentuk yang diinginkan. Silinder pneumatik yang digunakan berupa silinder pneumatik penggerak ganda. Gerakan menekan benda kerja diawali dengan naiknya stang torak ke atas (A+) selanjutnya akan menekan tuas mekanik, yang dihubungkan dengan profil menekan plat. Setelah selesai dengan penekanan silinder pneumatik kembali ke Posisi Awal (A-). Tombol penekan dibuat dua

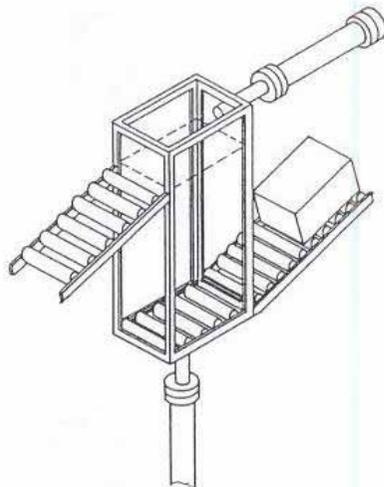
buah, agar tidak terjadi kecelakaan pada lengan tangan saat penekanan, sedangkan untuk mengangkat dilakukan dengan, menekan satu buah tombol.



Gambar 79. Proses pembuatan profil plat

11.5 Pengangkat dan Penggeser Benda

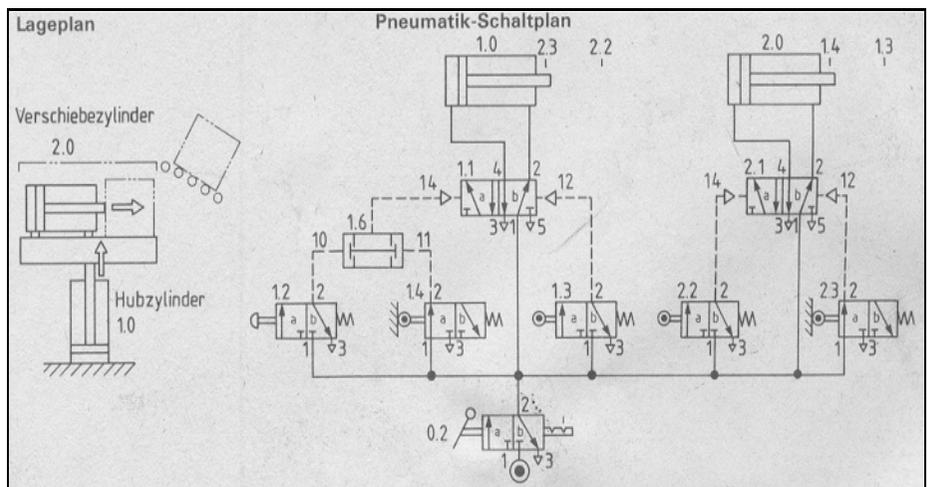
Arah gerakan silinder pneumatik penggerak ganda mengangkat material ke posisi atas (lihat Gambar 80), silinder A naik/mengangkat (A+), ketika sampai di atas, silinder B mendorong material ke konveyor atas (B+). Silinder B kembali ke Posisi Awal (B-). selanjutnya silinder pneumatik A kembali turun ke posisi semula (A-), sehingga siklusnya dapat ditulis: **A+, B+, B-, A-**. Untuk membuat kontrol tersebut dapat menggunakan sistem *Full Pneumatik*, elektropneumatik, maupun PLC (*Programmable Logic Kontrol*)



Gambar 80. Pengangkat dan Penggeser Benda

12. Pengangkat dan Penggeser Material Full Pneumatik

Silinder pneumatik penggerak ganda 1.0 terletak pada arah vertical. Pada ujung batang toraknya diletakan plat sebagai tempat dudukan silinder 2.0. Batang torak silinder 1.0 akan mengangkat material sampai ketinggian tertentu (A+). Selanjutnya stang torak silinder 2.0 akan menggeser material ke konveyor lainnya (B+). Silinder 1.0 akan kembali ke posisi awal (A-) selanjutnya silinder 2.0 juga akan kembali ke posisi awal (B-). Siklus **A+,B+,A-,B-** tersebut akan berlangsung secara terus menerus selama suplai udara dari katup 3/2 penggerak tuas 0.2 dihentikan.



Gambar 81. Pengangkatan benda

12.1 Cara kerja

Untuk mengaktifkan rangkaian harus menekan terlebih dahulu tuas katup 3/2 Way valve ke posisi ON. Tombol start 1.2 ditekan, udara akan mengalir dari kompresor ke katup 1.2 dan katup 1.4, sehingga katup AND akan mendapat suplai udara bertekanan dari dua sisi, yaitu sisi 10 dan 11. Udara bertekanan akan diteruskan keluar melalui saluran 16 menuju ke katup kontrol 1.1 (5/2 Way Valve) melalui sisi 14, sehingga mengakibatkan katup kontrol bergeser ke kanan sehingga saluran 1 akan terhubung dengan saluran 4. Udara bertekanan akan masuk ke sisi torak silinder bagian kiri, akibatnya silinder A akan bergerak ke kanan hingga ujung stang torak menekan katup 2.2. Tertekannya katup 2.2 mengakibatkan udara dari kompresor mengalir dari saluran 1 ke 2, diteruskan ke katup kontrol 2.1 (5/2 Way Valve), melalui sisi 14, sehingga saluran 1 akan terhubung dengan 4 diteruskan ke silinder bagian kiri. Silinder B menjadi bergerak ke kanan (B+) hingga menekan katup 1.3 (3/2 Way Valve). Aktifnya katup 1.3 mengakibatkan udara mengalir dari

kompresor menuju katup kontrol 1.1 dari sisi 12, sehingga katup 1.1 akan kembali bergeser ke kiri. Udara dari kompresor akan melalui saluran 1 ke 2 diteruskan ke sisi silinder sebelah kanan, sehingga silinder A akan kembali ke posisi awal (A-), hingga menekan katup 2.3. Tertekannya katup 2.3 akan menyebabkan udara dari kompresor akan mengalir ke katup kontrol 2.1 dari sisi 12, sehingga katup 2.1 akan kembali ke posisi semula. Udara dari kompresor akan mengalir dari saluran 1 ke 2 diteruskan ke sisi silinder sebelah kiri, sehingga silinder B akan kembali ke posisi awal (B-). Apabila tombol Strat 1.2 ditekan, maka siklus tersebut akan terus berlangsung seperti di atas, demikian seterusnya.

13. Tes Formatif

13.1 Soal-Soal

- Sebutkan kelebihan dan kekurangan sistem pneumatik dibandingkan dengan sistem yang lain?
- Gambarkan secara singkat cara kerja sistem pneumatik beserta dengan komponen-komponen yang digunakan?
- Sebutkan jenis-jenis katup beserta kegunaanya?
- Rumus?

13.2 Kunci Jawaban

- Sistem pneumatik memiliki keuntungan dan kelemahan sebagai berikut :
 - Keuntungan/kelebihan
 - Ketersediaan yang tak terbatas**, udara tersedia di alam sekitar kita dalam jumlah yang tanpa batas sepanjang waktu dan tempat.
 - Mudah disalurkan**, udara mudah disalurkan/pindahkan dari satu tempat ke tempat lain melalui pipa yang kecil, panjang dan berliku.
 - Fleksibilitas Temperatur**, udara dapat fleksibel digunakan pada berbagai temperatur yang diperlukan, melalui peralatan yang dirancang untuk keadaan tertentu, bahkan dalam kondisi yang agak ekstrem udara masih dapat bekerja.
 - Aman**, udara dapat dibebani lebih dengan aman selain itu tidak mudah terbakar, hubungan singkat (kotsleiting) atau meledak sehingga proteksi terhadap kedua hal ini cukup mudah, berbeda dengan sistem elektrik yang dapat menimbulkan *kostleting* hingga kebakaran.
 - Bersih**, udara yang ada di sekitar kita cenderung bersih tanpa zat kimia yang berbahaya, dengan jumlah kandungan pelumas yang dapat diminimalkan sistem pneumatik aman digunakan untuk industri obat-obatan, makanan, dan minuman maupun tekstil

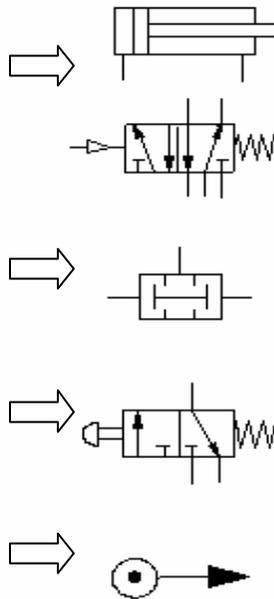
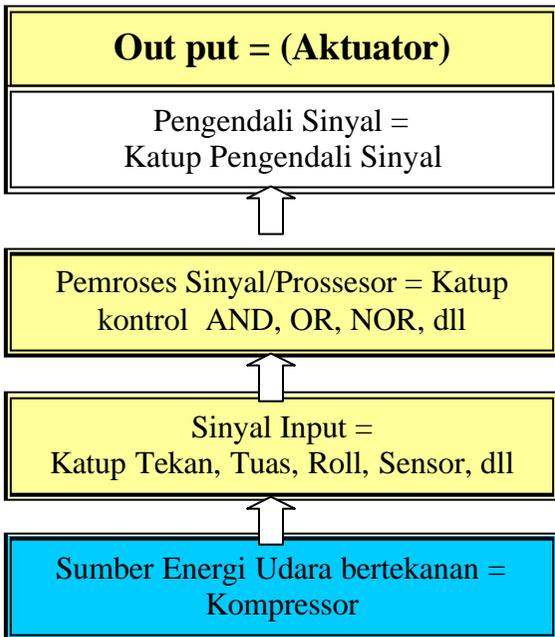
- f) **Pemindahan daya dan Kecepatan** sangat mudah diatur., udara dapat melaju dengan kecepatan yang dapat diatur dari rendah hingga tinggi atau sebaliknya. Bila *Aktuator* menggunakan silinder pneumatik, maka kecepatan torak dapat mencapai 3 m/s. Bagi motor pneumatik putarannya dapat mencapai 30.000 rpm, sedangkan sistim motor turbin dapat mencapai 450.000 rpm.
 - g) **Dapat disimpan**, udara dapat disimpan melalui tabung yang diberi pengaman terhadap kelebihan tekanan udara. Selain itu dapat dipasang pembatas tekanan atau pengaman sehingga sistim menjadi aman.
 - h) **Mudah dimanfaatkan**, udara mudah dimanfaatkan baik secara langsung misal untuk membersihkan permukaan logam dan mesin-mesin, maupun tidak langsung, yaitu melalui peralatan pneumatik untuk menghasilkan gerakan tertentu.
- 2) Kerugian/Kelemahan Pneumatik
- a) **Memerlukan instalasi peralatan penghasil udara.** Udara kempa harus dipersiapkan secara baik hingga memenuhi syarat. memenuhi kriteria tertentu, misalnya kering, bersih, serta mengandung pelumas yang diperlukan untuk peralatan pneumatik, sehingga memerlukan instalasi peralatan yang relatif mahal, seperti kompressor, penyaring udara, tabung pelumas, pengeering, regulator, dll.
 - b) **Mudah terjadi kebocoran**, Salah satu sifat udara bertekanan adalah ingin selalu menempati ruang yang kosong. Selain itu tekanan udara susah dipertahankan dalam waktu bekerja. Oleh karena itu diperlukan seal agar udara tidak bocor. Kebocoran seal dapat menimbulkan kerugian energi. Peralatan pneumatik harus dilengkapi dengan peralatan kedap udara agar kebocoran pada sistim udara bertekanan dapat ditekan seminimal mungkin.
 - c) **Menimbulkan suara bising**, Pneumatik menggunakan sistim terbuka, artinya udara yang telah digunakan akan dibuang ke luar sistim, udara yang keluar cukup keras sehingga berisik sehingga akan menimbulkan suara bising terutama pada saluran buang. Cara mengatasinya adalah dengan memasang peredam suara pada setiap saluran buangnya.
 - d) **Mudah Mengembun**, Udara yang bertekanan mudah **mengembun**, sehingga sebelum memasuki sistem harus diolah terlebih dahulu agar memenuhi persyaratan tertentu, misal kering, memiliki tekanan

yang cukup, dan mengandung sedikit pelumas agar mengurangi gesekan pada katup-katup dan aktuator.

b. Secara garis besar sistem elemen pada pneumatik dapat digambarkan pada skema berikut :

KLASIFIKASI

CONTOH



c. Jenis-jenis katup pneumatik sebagai berikut :

1) Katup sinyal

Katup yang berfungsi sebagai saklar udara bertekanan dari kompresor ke katup pemroses sinyal atau langsung ke katup kendali. Katup sinyal dipasang antara kompresor dengan katup pemroses sinyal. Contoh katup sinyal adalah katup 3/2 baik penggerak roll, tuas, tekan dan lain-lain.

2) Katup pemroses sinyal

Katup pemroses sinyal berfungsi mengatur udara bertekanan dari katup sinyal ke katup kendali. Katup pemroses sinyal biasanya dipasang antara katup sinyal dengan katup kendali, tetapi ada yang dipasang antara katup kendali dengan aktuator. Contoh katup pemroses sinyal adalah katup cekik satu arah, katup cekik dua arah, time delay dan lain-lain.

3) Katup kendali

Katup kendali berfungsi mengalirkan udara bertekanan dari katup pemroses sinyal ke aktuator. Katup kendali juga yang mengendalikan/mengatur aktuator (silinder) akan bergerak maju atau mundur. Katup kendali dipasang antara katup pemroses sinyal dengan aktuator. Contoh katup kendali adalah katup 5/2 baik yang solenoid (elektrik) maupun yang full pneumatik.

14. Sistem Hidrolik

14.1 Cairan Hidrolik

Cairan hidrolik yang digunakan pada sistem hidrolik harus memiliki ciri-ciri atau watak (*property*) yang sesuai dengan kebutuhan. *Property* cairan hidrolik merupakan hal-hal yang dimiliki oleh cairan hidrolik tersebut sehingga cairan hidrolik tersebut dapat melaksanakan tugas atau fungsinya dengan baik.

Adapun fungsi/tugas cairan hidrolik pada sistem hidrolik antara lain:

- Sebagai penerus tekanan atau penerus daya.
- Sebagai pelumas untuk bagian-bagian yang bergerak.
- Sebagai pendingin komponen yang bergesekan.
- Sebagai bantalan dari terjadinya hentakan tekanan pada akhir langkah.
- Pencegah korosi.
- Penghanyut bram/chip yaitu partikel-partikel kecil yang mengelupas dari komponen.
- Sebagai pengirim isyarat (*signal*)

14.1.1 Syarat Cairan Hidrolik

14.1.1.1 Kekentalan (Viskositas) yang cukup.

Cairan hidrolik harus memiliki kekentalan yang cukup agar dapat memenuhi fungsinya sebagai pelumas. Apabila viskositas terlalu rendah maka film oli yang terbentuk akan sangat tipis sehingga tidak mampu untuk menahan gesekan. Demikian juga bila viskositas terlalu kental, tenaga pompa akan semakin berat untuk melawan gaya viskositas cairan

14.1.1.2 Indeks Viskositas yang baik

Dengan *viscosity index* yang baik maka kekentalan cairan hidrolik akan stabil digunakan pada sistem dengan perubahan suhu kerja yang cukup fluktuatif.

14.1.1.3 Tahan api (tidak mudah terbakar)

Sistem hidrolik sering juga beroperasi ditempat-tempat yang cenderung timbul api atau berdekatan dengan api. Oleh karena itu perlu cairan yang tahan api.

14.1.1.4 Tidak berbusa (*Foaming*)

Bila cairan hidrolik banyak berbusa akan berakibat banyak gelembung-gelembung udara yang terperangkap dalam cairan hidrolik sehingga akan terjadi *compressible* dan akan mengurangi daya transfer. Disamping itu, dengan adanya busa tadi kemungkinan terjilat api akan lebih besar.

14.1.1.5 Tahan dingin

Tahan dingin adalah bahwa cairan hidrolik tidak mudah membeku bila beroperasi pada suhu dingin. Titik beku atau titik cair yang dikehendaki oleh cairan hidrolik berkisar antara 10°-15° C dibawah suhu permulaan mesin dioperasikan (*star-up*). Hal ini untuk menantisipasi terjadinya *block* (penyumbatan) oleh cairan hidrolik yang membeku.

14.1.1.6 Tahan korosi dan tahan aus

Cairan hidrolik harus mampu mencegah terjadinya korosi karena dengan tidak terjadi korosi maka konstruksi akan tidak mudah aus dengan kata lain mesin akan awet.

14.1.1.7 *Demulsibility (Water separable)*

Yang dimaksud dengan *de-mulsibility* adalah kemampuan cairan hidrolik, karena air akan mengakibatkan terjadinya korosi bila berhubungan dengan logam.

14.1.1.8 *Minimal compressibility*

Secara teoritis cairan adalah *uncompressible* (tidak dapat dikempa). Tetapi kenyataannya cairan hidrolik dapat dikempa sampai dengan 0,5 % volume untuk setiap penekanan 80 bar oleh karena itu dipersyaratkan bahwa cairan hidrolik agar seminimal mungkin dapat dikempa.

14.1.2 Macam-macam cairan hidrolik

Pada dasarnya setiap cairan dapat digunakan sebagai media transfer daya. Tetapi sistem hidrolik memerlukan persyaratan-persyaratan tertentu seperti telah dibahas sebelumnya berhubungan dengan konstruksi dan cara kerja sistem.

14.1.2.1 Oli hidrolik (*Hydraulic oils*)

Oli hidrolik yang berbasis pada minyak mineral biasanya digunakan secara luas pada mesin-mesin perkakas atau juga mesin-mesin industri.

Menurut standar DIN 51524 dan 512525 dan sesuai dengan karakteristik serta komposisinya oli hidrolik dibagi menjadi tiga (3) kelas :

- *Hydraulic oil HL*
- *Hydraulic oil HLP*

- *Hydraulic oil HV*

Pemberian kode dengan huruf seperti di atas artinya adalah sebagai berikut :

Misalnya oil hidrolik dengan kode : HLP 68 artinya :

H = Oli hidrolik

L = kode untuk bahan tambahan oli (*additive*) guna meningkatkan pencegahan korsi dan/atau peningkatan umur oli

P = kode untuk *additive* yang meningkatkan kemampuan menerima beban.

68 = tingkatan viskositas oli

14.1.2.2 Cairan Hidrolik tahan Api (*Low flammability*)

Yang dimaksud cairan hidrolik tahan api ialah cairan hidrolik yang tidak mudah atau tidak dapat terbakar.

Cairan hidrolik semacam ini digunakan oleh sistem hidrolik pada tempat-tempat mesin-mesin yang resiko kebakarannya cukup tinggi seperti :

- *Die casting machines*
- *Forging presses*
- *Hard coal mining*
- *Control units* untuk *power station turbines*
- *Steel works dan rolling mills*

Pada dasarnya cairan hidrolik tahan api ini dibuat dari campuran oli dengan air dari oli sintetis. Tabel berikut ini menunjukkan jenis-jenis cairan hidrolik tahan api tersebut :

Tabel 14. Jenis-jenis cairan hidrolik tahan api

Kode	No Pada Lembar Standar VDMA	Komposisi	Persentase (%) kandungan Air
HFA	24320	Oil-water emulsion	80-98
HFB	24317	Water-oil emulsion	40
HFC	24317	Hydrolysis solution, e.g : water glyco	35-55
HFD	24317	Anhydrolysis liquid, e.g : phosphate ether	0-0.1

Perbandingan antara macam-macam cairan hidrolik tersebut di atas dapat kita lihat pada tabel berikut :

Tabel 15. Perbandingan macam-macam cairan hidrolik

	Type of Fluid				
	Petrol Oil	Water Glycol	Phosphor Ester	Oil-in Water	Oil Synthetic
<i>Free resistance</i>	P	E	G	F	F
<i>Viscosity lemp. Properties</i>	G	E	F	G	F-G
<i>Seal compalibility</i>	G	E	F	G	F
<i>Lubricating quality</i>	E	F-G	E	F-G	E
<i>Temp. range (°C) above ideal</i>	65	50	65	50	65
<i>Relative cost comp. to oil</i>	1	4	8	1.5	4

14.1.3 Viskositas (Kekentalan)

Viskositas cairan hidrolik akan menunjukkan berapa besarnya tahanan di dalam cairan itu untuk mengalir. Apabila cairan itu mudah mengalir dapat dikatakan cairan tersebut memiliki viskositas rendah atau kondisinya encer. Jadi semakin kental kondisi cairan dikatakan viskositasnya semakin tinggi.

14.1.3.1 Satuan viskositas

Besar atau kecilnya viskositas ditentukan oleh satuan satuan pengukuran. Dalam sistem standar internasional satuan viskositas ditetapkan sebagai viskositas kinematik (*kinematic viscosity*) dengan satuan ukuran mm²/s atau cm²/s. dimana: 1 cm²/s = 100 mm²/s.

Satuan cm²/s dikenal dengan satuan Skotes (St), nama satuan viskositas ini disesuaikan dengan nama penemunya yaitu *Sir Gabriel Stokes* (1819-1903). Satuan mm²/s disebut *centi-Stokes* (cSt). Jadi 1 St = 100 cSt.

Selain satuan *centi-Stokes* (cSt), terdapat satuan yang lain yang juga digunakan dalam sistem hidrolik yaitu :

- *Redwood 1*; satuan viskositas diukur dalam sekon dengan simbol (R₁)
- *Saybolt Universal*; satuan viskositas juga diukur dalam sekon dan dengan simbol (SU)

- *Engler*, satuan viskositas diukur dengan derajat *engler* (E°)

Untuk cairan hidrolik dengan viskositas tinggi dapat digunakan faktor berikut:

- $R1 = 4,10 \text{ VK}$
- $SU = 4,635 \text{ VKVK} = \text{Viskositas Kinematik}$
- $E = 0,132 \text{ VK}^3$

Menurut standar ISO, viskositas cairan hidrolik diklasifikasikan menjadi beberapa *viscosity Grade* dan nomor gradenya yang diambil kira-kira pertengahan antara viskositas min. ke viskositas max. seperti yang ditunjukkan dalam Tabel berikut ini

:Tabel 16. Klasifikasi viskositas cairan hidrolik

ISO Viscosity Grade	Mid-Point Viscosity cSt at 40,0°C	Kinematic Viscosity Limits cSt at 40,0°C	
		Min.	Max.
ISO VG 2	2.2	1.98	2.42
ISO VG 3	3.2	2.88	3.52
ISO VG 5	4.6	4.14	5.06
ISO VG 7	6.8	6.12	7.48
ISO VG 10	10	9.00	11.00
ISO VG 15	15	13.50	16.50
ISO VG 22	22	19.80	24.20
ISO VG 32	32	28.80	35.20
ISO VG 46	46	41.40	50.60
ISO VG 68	68	61.20	74.80
ISO VG 100	100	90.00	110.00
ISO VG 150	150	135.00	165.00
ISO VG 220	220	198.00	242.00
ISO VG 320	320	288.00	352.00
ISO VG 460	460	414.00	506.00
ISO VG 680	680	612.00	748.00
ISO VG 1000	1000	900.00	1100.00
ISO VG 1500	1500	1350.00	1650.00

Nomor VG dapat diperoleh melalui angka pembulatan dari pertengahan diantara viskositas min. dan viskositas max. Misal : ISO VG 22 , angka 22 diambil dari rata-rata antara 19,80 dan 24,20. Secara faktual sering dijumpai bahwa pelumas *gear box* juga sering digunakan juga untuk instalasi hidrolik maka frade menurut SAE juga dibahas disini. Berikut ini adalah grading berdasarkan SAE dan konversinya dengan ISO-VG. Juga dijelaskan disini aplikasi penggunaan oli hidrolik ssesuai dengan nomor gradenya.

Tabel 17. Aplikasi penggunaan oli hidrolik sesuai dengan gradenya

SAE Classes	ISO-VG	Areas of application
30	100	Stationary instalations in closed areas at high temperatures
20-20W	68	
10 W	46	At normal temperatures
5 W	32	For open air applications- mobile hydraulic
	22	
	(15)	
	10	In colder areas

14.1.3.2 Viscosity margins

Maksud dari *viscosity margins* adalah batas-batas atas dan bawah yang perlu diketahui. Karena untuk viskositas yang terlalu rendah akan mengakibatkan daya pelumas kecil, daya perapat kecil sehingga mudah bocor. Sedangkan apabila viskositas telalau tinggi juga akan meningkatkan gesekan dalam cairan sehingga memerlukan tekanan yang lebih tinggi.

Berikut ini diberikan gambaran tentang batas viskositas yang iideal:

Tabel 18. Batas viskositas ideal

	Kinematic Viscosity
<i>Lower</i>	$10 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$
<i>Ideal viscosity range</i>	$15 \text{ to } 100 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$
<i>Upper limit</i>	$750 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$

Tabel 19. Kesetaran ke-empat sistem satuan viskositas.

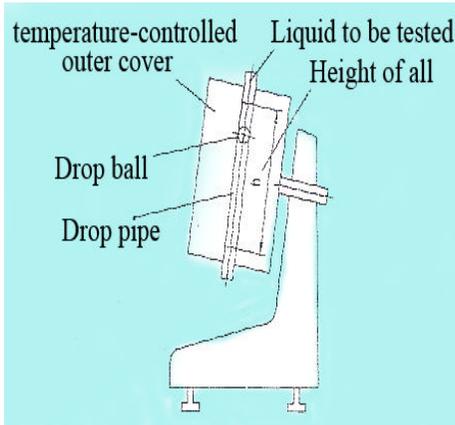
saybolt				saybolt			
Kinematic Centisrokes	Redwood ¹ Second	Universal Second	Enginer Degrees	Kinematic Centisrokes	Redwood ¹ Second	Universal Second	Enginer Degrees
2.0	31	32.6	1.12	33	137	155.2	4.46
2.5	32	34.4	1.17	34	141	159.7	4.58
3.0	33	36.0	1.22	35	145	164.3	4.71
3.5	35	37.6	1.26	36	149	168.8	4.84
4.0	36	39.1	1.31	37	153	173.3	4.95
4.5	37	40.7	1.35	38	157	178.0	5.10
5.0	39	42.3	1.39	39	161	182.4	5.22
5.5	40	44.0	1.44	40	165	187.0	5.35
6.0	41	45.6	1.48	41	169	191.5	5.48
6.5	43	47.2	1.52	42	173	195.0	5.61
7.0	44	48.8	1.56	43	177	200.5	5.74
7.5	45	50.4	1.61	44	181	205.0	5.87
8.0	46	52.1	1.65	45	185	209.8	6.00
8.5	48	53.8	1.71	46	189	214.5	6.13
9.0	49	55.5	1.75	47	193	219.0	6.26
9.5	51	57.2	1.80	48	197	223.7	6.38
10.0	52	58.9	1.84	49	201	228.3	6.51
10.5	54	60.7	1.89	50	205	233.0	6.64
11.0	55	62.4	1.94	51	209	237.5	6.77
11.5	57	64.2	1.98	52	213	242.2	6.90
12.0	58	66.9	2.03	53	218	246.8	7.04
12.5	60	67.9	2.08	54	222	251.5	7.17
13.0	62	69.8	2.13	55	226	256.0	7.30
13.5	64	71.7	2.18	56	230	260.7	7.43
14.0	65	73.6	2.23	57	234	265.3	7.56
14.5	67	75.5	2.28	58	238	270.0	7.69
15.0	68	77.4	2.33	59	242	274.7	7.82
15.5	70	79.3	2.39	60	246	279.2	7.95
16.0	72	81.3	2.44	61	250	284.0	8.04
16.5	74	83.3	2.50	62	254	288.5	8.18
17.0	75	85.3	2.55	62	258	293.5	8.31
17.5	77	87.4	2.60	64	262	297.7	8.45
18.0	79	89.4	2.65	65	266	302.4	8.58
18.5	81	91.5	2.71	66	271	307.0	8.72
19.0	82	93.6	2.77	67	275	311.7	8.85
19.5	84	95.7	2.83	68	279	316.3	8.98
20.0	86	97.8	2.88	69	283	321.0	9.11
20.5	88	99.9	2.94	70	287	325.5	9.24
21.0	90	102.0	3.00	72	295	335	9.51
21.5	92	104.2	3.06	74	303	344	9.77
22.0	94	106.4	3.11	76	311	353	10.03
22.5	96	106.5	3.17	78	319	363	10.30
23.0	97	110.7	3.23	80	328	372	10.56
23.5	99	112.8	3.29	82	336	381	10.82
24.0	101	115.0	3.35	84	344	391	11.09
24.5	103	117.1	3.41	86	352	400	
25.0	105	119.3	3.47	88	360	410	
26	109	124.0	3.59	90	369	419	
27	113	128.5	3.71	92	377	428	
28	117	133.0	3.83	94	385	438	
29	121	137.5	3.96	96	393	447	
30	125	141.7	4.08	98	401	456	

31	129	146.0	4.21	100	410	465	
32	133	150.7	4.33	102	418	475	

14.1.3.3 Viskometer

Viskometer adalah alat untuk mengukur besar viskositas suatu cairan. Ada beberapa macam viskometer antara lain :

- *Ball Viscometer* atau *Falling sphere Viscometer*.

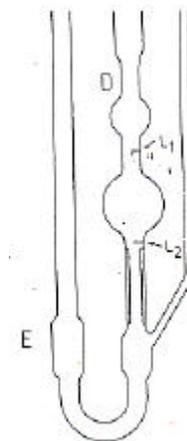


Gambar 82. Viskometer

Besar viskositas kinematik adalah kecepatan bola jatuh setinggi h dibagi dengan berat jenis cairan yang sedang diukur. (lihat gambar)

14.1.3.4 Capillary viscometer

Cara pengukurannya adalah sebagai berikut : (lihat gambar). Cairan hidrolis yang akan diukur dituangkan melalui lubang A hingga ke kontainer E yang suhunya diatur. Melalui kapiler C zat cair dihisap hingga naik pada labu D sampai garis L_1 , kemudian semua lubang ditutup. Untuk mengukurnya, buka bersama-sama lubang A, B dan C dan hitung waktu yang digunakan oleh cairan untuk turun sampai se L_2 . waktu tersebut menunjukkan viskositas cairan,. Makin kental cairan hidrolis akan makin lama untuk turun dan berarti viskositas makin besar.



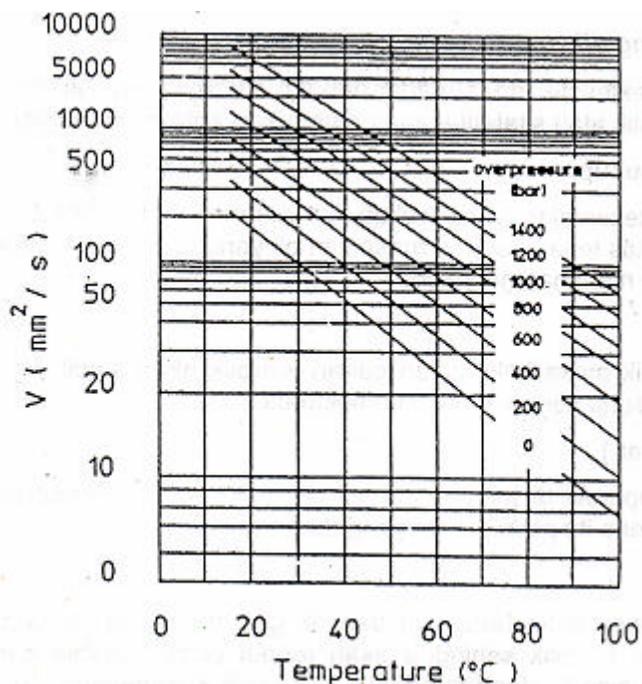
Gambar 83. Capillary viscometer

14.1.4 Indeks Viskositas (*viscosity Index*)

Yang dimaksud dengan indeks viskositas atau *viscosity index* (VI) ialah angka yang menunjukkan rentang perubahan viskositas dari suatu cairan hidrolik berhubungan dengan perubahan suhu. Sehingga *viscosity index* ini digunakan sebagai dasar dalam menentukan karakteristik kekentalan cairan hidrolik berhubungan dengan perubahan temperatur. Mengenai viskositas indeks ditetapkan dalam DIN ISO 2909.

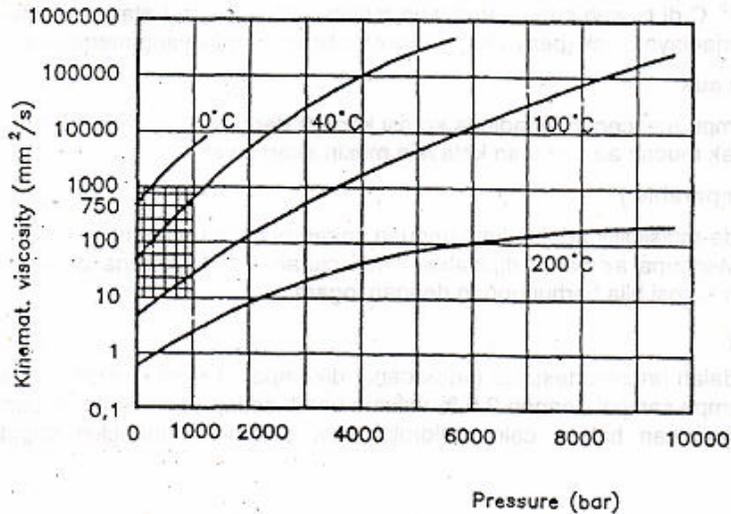
Cairan hidrolik memiliki *viscosity index* tinggi apabila terjadinya perubahan viskositas kecil (stabil) dalam rentang perubahan suhu yang relatif besar. Atau dapat dikatakan bahwa cairan hidrolik ini dapat digunakan dalam rentang perubahan suhu yang cukup besar.

Cairan hidrolik terutama oli hidrolik diharapkan memiliki *viscosity index* (VI) = 100. bahkan kebanyakan oli hidrolik diberi tambahan (*additive*) yang disebut "*VI improvers*" tinggi juga disebut ***multigrade oils***. Untuk mengetahui perubahan viskositas ini perhatikan *Ubbelohde's viscosity-temperature* diagram berikut ini



14.1.5 Viscosity-pressure characteristics

Karakteristik kekentalan dan tekanan pada cairan hidrolik sangat penting untuk diketahui karena dengan meningkatnya tekanan hidrolik maka meningkat pula *viscosity index*. Gambar berikut ini menunjukkan diagram *viscosity pressure characteristic*.



14.1.6 Karakteristik Cairan Hidrolik yang dikehendaki.

Cairan hidrolik harus memiliki kekentalan yang cukup agar dapat memenuhi persyaratan dalam menjalankan fungsinya. Karakteristik atau sifat-sifat yang diperlukan antara lain adalah :

Tabel 20. Sifat-sifat cairan hidrolik

Kode	Sifat Khusus	Penggunaan
HL	Meningkatkan kemampuan mencegah korosi dan kestabilan oli hidrolik	Digunakan pada sistem yang bekerja pada suhu tinggi dan untuk tempat yang mungkin tercelup air
HLP	Meningkatkan ketahanan terhadap aus	Seperti pada pemakaian HL, juga digunakan untuk sistem yang gesekannya tinggi
HV	Meningkatkan indeks viskositas (VI)	Seperti pemakaian HLP, juga digunakan secara meluas untuk sistem yang fluktuasi perubahan temperatur cukup tinggi

14.2 Komponen Hidrolik

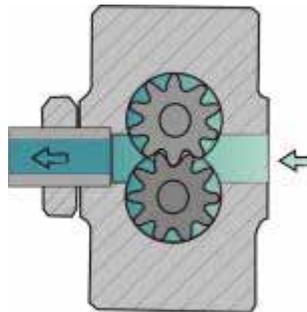
Komponen Hidrolik memiliki symbol dan komponen yang tidak jauh berbeda dengan Pneumatik. Adapun komponen utama sistim hidrolik, antara lain:

14.2.1 Pompa Hidrolik

Pompa hidrolik berfungsi untuk mengisap fluida oli hidrolik yang akan disirkulasikan dalam sistim hidrolik. Sistim hidrolik merupakan siklus yang tertutup, karena fluida oli disirkulasikan ke rangkaian hidrolik selanjutnya akan dikembalikan ke tangki penyimpanan oli. Adapun jenis-jenis pompa hidrolik, antara lain:

14.2.1.1 Pompa Roda Gigi

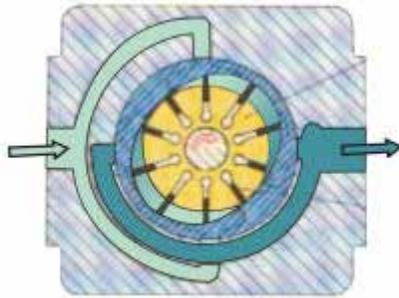
Pompa ini terdiri dari 2 buah roda gigi yang dipasang saling merapat. Perputaran roda gigi yang saling berlawanan arah akan mengakibatkan kevakuman pada sisi hisap, akibatnya oli akan terisap masuk ke dalam ruang pompa, selanjutnya dikompresikan ke luar pompa hingga tekanan tertentu. Tekanan pompa hidrolik dapat mencapai 100 bar. Bentuk pompa hidrolik roda gigi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 84. Pompa Hidrolik Roda Gigi

14.2.1.2 Pompa Sirip Burung

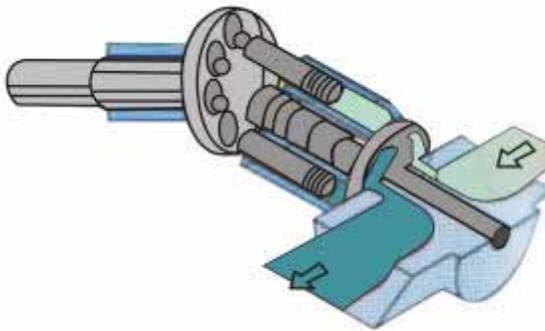
Pompa ini bergerak terdiri dari dari banyak sirip yang dapat *flexible* bergerak di dalam rumah pompanya. Bila volume pada ruang pompa membesar, maka akan mengalami penurunan tekanan, oli hidrolik akan terhisap masuk, kemudian diteruskan ke ruang kompresi. Oli yang bertekanan akan dialirkan ke sistim hidrolik.



Gambar 85. Pompa Hidrolik Sirip Burung

14.2.1.3 Pompa Torak Aksial

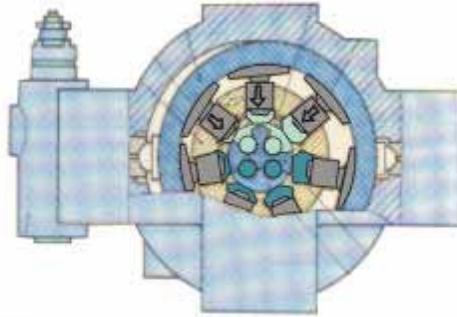
Pompa hidrolik ini akan mengisap oli melalui pengisapan yang dilakukan oleh piston yang digerakkan oleh poros rotasi. Gerak putar dari poros pompa diubah menjadi gerakan torak translasi, kemudian terjadi langkah hisap dan kompresi secara bergantian. Sehingga aliran oli hidrolik menjadi kontinyu.



Gambar 86. Pompa Hidrolik Torak Aksial

14.2.1.4 Pompa Torak Radial

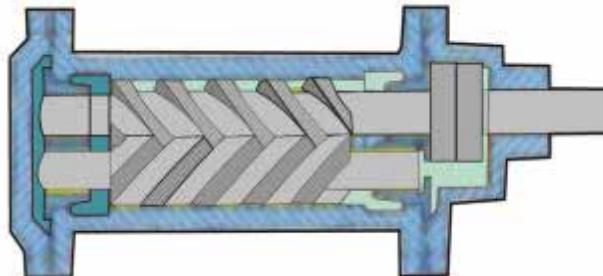
Pompa ini berupa piston-piston yang dipasang secara radial, bila rotor berputar secara eksentrik, maka piston2 pada stator akan mengisap dan mengkompresi secara bergantian. Gerakan torak ini akan berlangsung terus menerus, sehingga menghasilkan aliran oli /fluida yang kontinyu.



Gambar 87. Pompa Torak Radial

14.2.1.5 Pompa Sekrup

Pompa ini memiliki dua rotor yang saling berpasangan atau bertautan (*engage*), yang satu mempunyai bentuk cekung, sedangkan lainnya berbentuk cembung, sehingga dapat memindahkan fluida oli secara aksial ke sisi lainnya. Kedua rotor itu identik dengan sepasang roda gigi *helix* yang saling bertautan.



Gambar 88. Pompa Sekrup

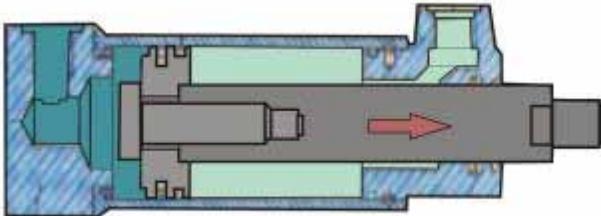
14.2.2 Aktuator Hidrolik

Seperti halnya pada sistim pneumatik, aktuator hidrolik dapat berupa silinder hidrolik, maupun motor hidrolik. Silinder Hidrolik bergerak secara translasi sedangkan motor hidrolik bergerak secara rotasi. Dilihat dari daya yang dihasilkan aktuator hidrolik memiliki tenaga yang lebih besar (dapat mencapai 400 bar atau 4×10^7 Pa), dibanding pneumatik.

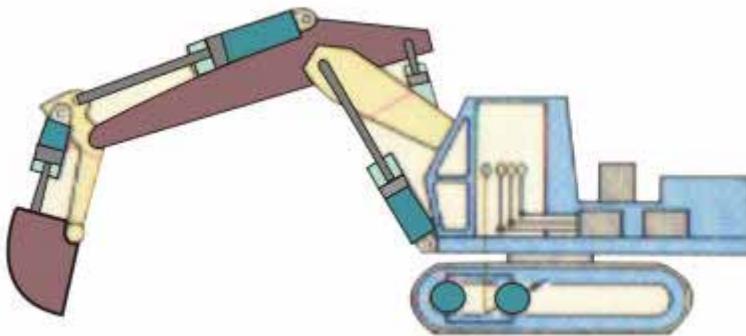
14.2.3 Silinder Hidrolik Penggerak Ganda

Silinder Hidrolik penggerak ganda akan melakukan gerakan maju dan mundur akibat adanya aliran fluida/oli hidrolik yang dimasukkan pada sisi kiri (maju) dan sisi kanan (mundur) seperti yang terlihat pada gambar 89. Tekanan Fluida akan diteruskan melalui torak selanjutnya menjadi gerakan mekanik melalui stang torak.

Gerakan maju dan mundur dari gerakan stang torak ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan dalam proses produksi, seperti mengangkat, menggeser, menekan, dll. Karena daya yang dihasilkan besar, maka silinder ini banyak digunakan pada peralatan berat, seperti, Buldozer, bego, dll.



Gambar 89. Silinder Hidrolik Penggerak Ganda

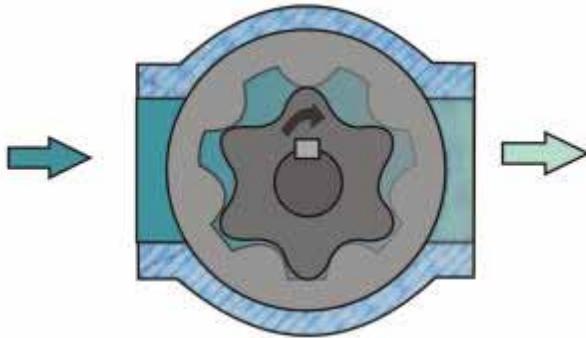


Gambar 90. Aplikasi penggunaan sistim Hidrolik pada alat berat

14.2.4 Aktuator Rotasi

14.2.4.1 Motor Hidrolik roda gigi

Motor Hidrolik merupakan alat untuk mengubah tenaga aliran fluida menjadi gerak rotasi. Motor hidrolik ini prinsip kerjanya berlawanan dengan roda gigi hidrolik. Aliran Minyak hidrolik yang bertekanan tinggi akan diteruskan memutar roda gigi yang terdapat dalam ruangan pompa selanjutnya akan dirubah menjadi gerak rotasi untuk berbagai keperluan. Selanjutnya motor hidrolik dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

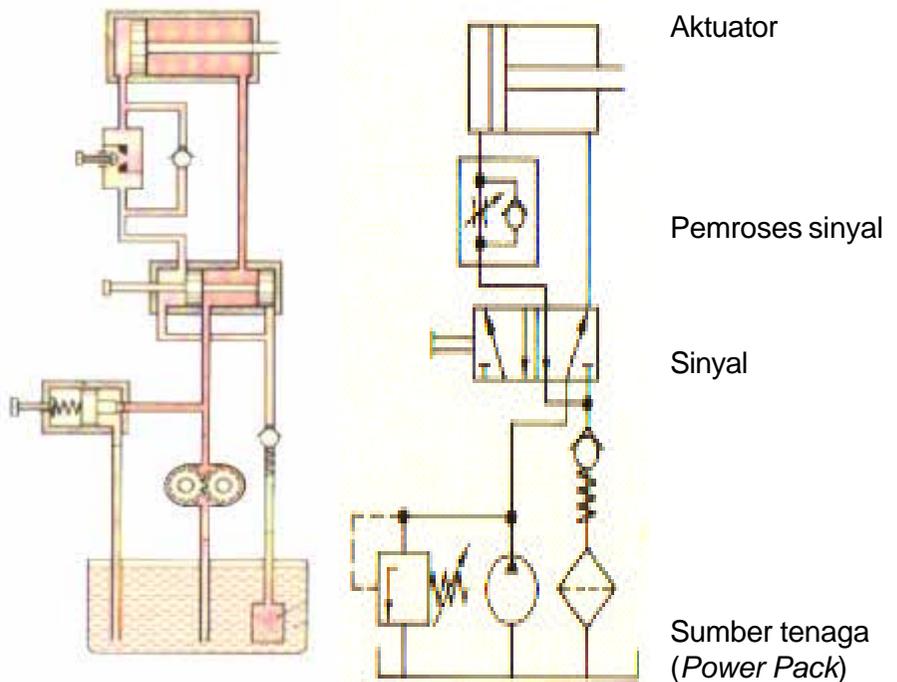


Gambar 91. Motor Hidrolik Roda Gigi

15 Pengendalian Hidrolik

15.1 Klasifikasi Pengendalian Hidrolik

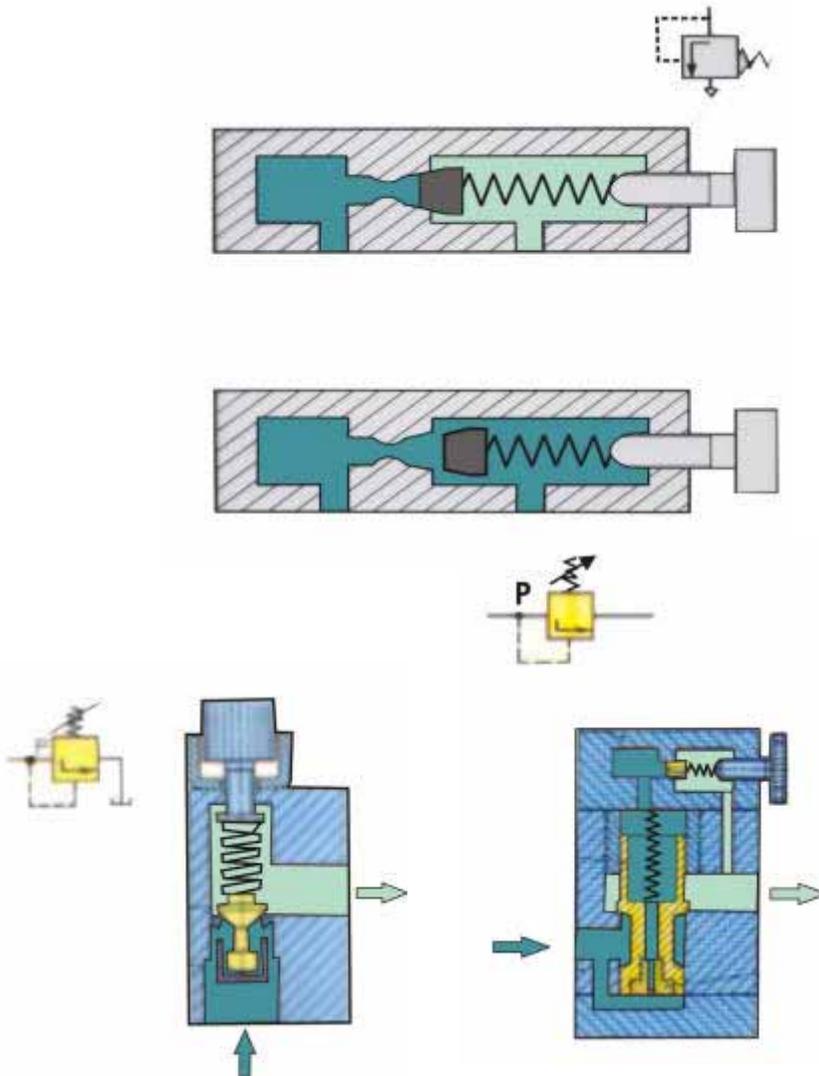
Sistem hidrolik terdiri dari beberapa bagian, antara lain, bagian tenaga (*power pack*) bagian sinyal, pemroses sinyal, dan aktuator. Bagian tenaga terdiri dari pompa hidrolik, katup pengatur tekanan, dan katup satu arah. Secara garis besar dapat dilihat dalam skema di bawah ini:



Gambar 92. Klasifikasi Hidrolik dalam Penampang dan Skema

15.2 Katup Pengatur Tekanan

Katup pengatur tekanan terdapat beberapa model, antara lain: a) Katup pembatas tekanan, katup ini dilengkapi dengan pegas yang dapat diatur. Bila tekanan hydrolik berlebihan, maka pegas akan membuka dan mengalirkan fluida ke saluran pembuangan.

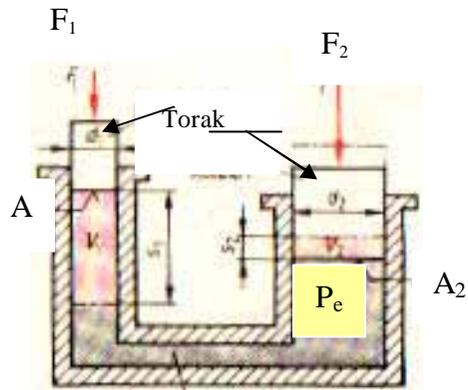


Gambar 93. Macam-macam model katup pembatas tekanan

16. Dasar-Dasar Perhitungan Hydrolik

16.1 Prinsip Hukum Pascal

Perhitungan gaya hydrolik Torak pada bejana berhubungan dengan luas penampang berbeda,



Gambar 94. Prinsip Hukum Pascal

$$P_1 = P_2 = P_e = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \text{ atau } \frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\pi \cdot d_1^2 / 4}{\pi \cdot d_2^2 / 4} = \frac{d_1^2}{d_2^2},$$

Bila $V_1 = V_2$, maka : $A_1 \cdot S_1 = A_2 \cdot S_2$, jadi : $\frac{S_1}{S_2} = \frac{A_2}{A_1}$

Contoh Soal :

1. Suatu mesin press memiliki gaya tersedia sebesar 150 N, bila diameter torak kecil = 20 mm, berapa diameter torak besar agar dapat menghasilkan gaya 4000 N ?

Jawaban:

Diketahui : $F_1 = 150 \text{ N}$, $F_2 = 4000 \text{ N}$, $d_1 = 20 \text{ mm}$

Ditanya : berapa d_2 ?

Jawab : $\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$

$$d_2^2 = \sqrt{\frac{d_1 \cdot F_2}{F_1}} = \sqrt{\frac{(20\text{mm})^2 \cdot 4000\text{N}}{150\text{N}}} = 103,3\text{mm} \approx 100\text{mm}$$

2. Bila luas penampang A_1 pada gambar di atas = 10 cm^2 , dan $A_2 = 50 \text{ cm}^2 = S_1 = 25 \text{ mm}$, berapa panjang langkah piston 2 (S_2) ?

Jawab:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{A_2}{A_1}, \text{ jadi } S_2 = \frac{A_1}{A_2} \cdot S_1 = \frac{10\text{cm}^2 \cdot 25\text{mm}}{50\text{cm}^2} = 5 \text{ mm}$$

16.2 Perhitungan Kecepatan Torak

Contoh soal :

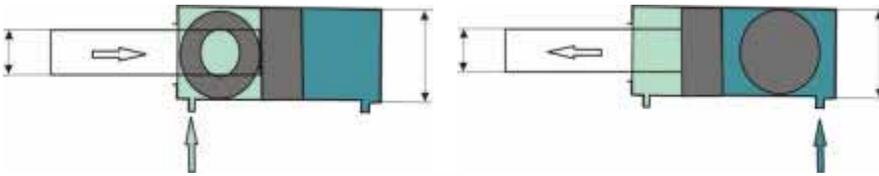
Bila $d_1 = 100 \text{ cm}^2$ dan $d_2 = 70 \text{ cm}$, hitung kecepatan torak saat maju dan mundur,

Jawaban:

Saat maju $V_{\text{maju}} = Q/A = 20 \text{ ltr/mnt} /$

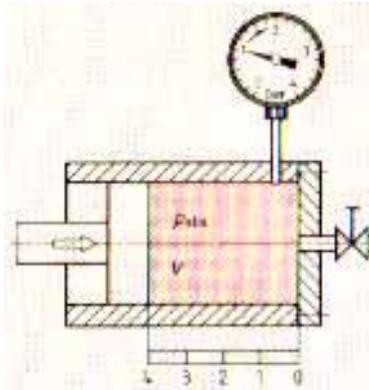
$$V_{\text{maju}} = \frac{20 \text{ dm}^3 / \text{mnt}}{\pi \cdot (d_1^2 - d_2^2) / 4} = \frac{20 \text{ dm}^3 / \text{mnt}}{\pi \cdot (10^2 - 7^2) \text{ cm}^2} = \frac{20 \text{ dm}^3 / \text{mnt}}{0.4 \text{ dm}^2} = 50 \text{ dm}^3 / \text{mnt}$$

$$= 5 \text{ m} / 60 \text{ dtk} = 0.083 \text{ m/dtk}$$



Gambar 95. Perhitungan Kecepatan Torak

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{A \cdot \Delta L}{\Delta t} = A \cdot V$$



Gambar 96. Tekanan absolute

Tekanan di dalam silinder merupakan tekanan absolute, besarnya tekanan absolute dikalikan dengan volumenya sama dengan konstan.

Gas pada keadaan tertutup, berlaku :

$$P_{\text{abs1}} \cdot V_1 = P_{\text{abs2}} \cdot V_2$$

Contoh soal:

1. Suatu silinder tertutup memiliki tekanan absolut 100 bar, volumenya 20 ltr, bila tekanannya diturunkan menjadi 1 bar, berapa volumenya?

$$P_{\text{abs1}} \cdot V_1 = P_{\text{abs2}} \cdot V_2$$

$$100 \cdot 20 \text{ ltr} = 1 \cdot V_2$$

$$V_2 = \frac{100 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \cdot 20 \text{ dm}^3}{1 \times 10^5 \text{ N/m}^2} = 2000 \text{ dm}^3$$

2. Sebuah silinder Hidrolik digunakan untuk mencekam benda kerja dengan tekanan 25 bar. Bila gaya cekam seperti pada gambar memiliki gaya 4000 N, hitunglah diameter piston yang ideal.

Jawaban:

$$F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot L_1}{L_2} = \frac{25 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \cdot 95 \text{ mm}}{110 \text{ mm}} = 3090,91 \text{ N}$$

$$F_2 = P_e \cdot A$$

$$A = \frac{F_2}{P_e} = \frac{3090,91}{25 \cdot 10^5 \cdot 90} = 13,73 \text{ cm}^2$$

$$P_{\text{abs}} \cdot V_1 = P_{\text{abs}} \cdot V_2$$

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

$$W = F_2 \cdot S_2 = p \cdot A_2 \cdot S_2 = p \cdot V$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{p \cdot V}{t} = P \cdot Q$$

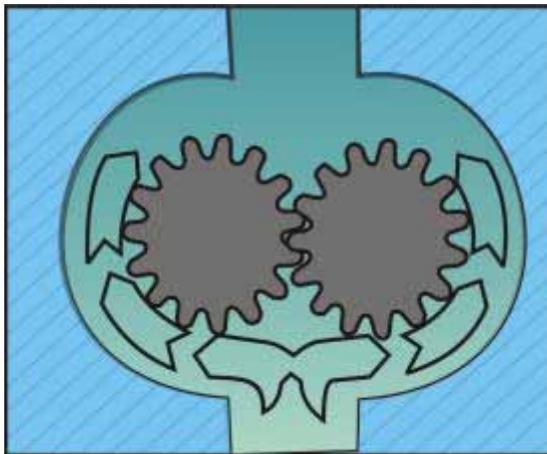
16.3 Pemeliharaan Cairan Hidrolik

Cairan hidrolik termasuk barang mahal. Perlakuan yang kurang atau bahkan tidak baik terhadap cairan hidrolik atau semakin menambah mahalannya harga sistem hidrolik sedangkan apabila kita mentaati aturan-aturan tentang perlakuan/pemeliharaan cairan hidrolik maka kerusakan cairan maupun kerusakan komponen sistem akan terhindar dan cairan hidrolik maupun sistem akan lebih awet.

Panduan pemeliharaan cairan hidrolik

- Simpanlah cairan hidrolik (drum) pada tempat yang kering, dingin dan terlindungi (dari hujan, panas dan angin).
- Pastikan menggunakan cairan hidrolik yang benar-benar bersih untuk menambah atau mengganti cairan hidrolik kedalam sistem. Gunakan juga peralatan yang bersih untuk memasukkannya.

- Pompakanlah cairan hidrolik dari drum ke tangki hidrolik melalui saringan (*pre-filter*).
- Pantaulah (monitor) dan periksalah secara berkala dan berkesinambungan kondisi cairan hidrolik.
- Aturlah sedemikian rupa bahwa hanya titik pengisi tangki yang rapat-sambung sendiri yang ada pada saluran balik.
- Buatlah interval penggantian cairan hidrolik sedemikian rupa sehingga oksidasi dan kerusakan cairan dapat terhindar. (periksa dengan pemasok cairan hidrolik).
- Cegah jangan sampai terjadi kontaminasi gunakan filter udara dan filter oli yang baik.
- Cegah terjadinya panas/pemanasan yang berlebihan, bila perlu pasang pendingin (*cooling*) atau bila terjadi periksalah penyebab terjadinya gangguan, atau pasang *unloading pump* atau *excessive resistance*.
- Perbaikilah dengan segera bila terjadi kebocoran dan tugaskan seorang *maitenanceman* yang terlatih.
- Bila akan mengganti cairan hidrolik (apa lagi bila cairan hidrolik yang berbeda), pastikan bahwa komponen dan seal-sealnya cocok dengan cairan yang baru, demikian pula seluruh sistem harus dibilas (*flushed*) secara baik dan benar-benar bersih.

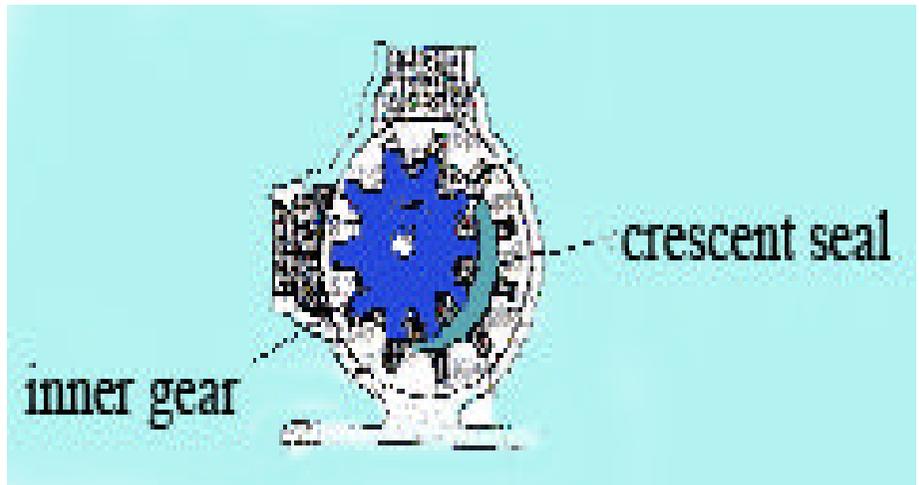


Gambar 97. Pompa Hidrolik

Jadi pemantauan atau monitoring cairan hidrolik perlu memperhatikan panduan tersebut di atas disamping harus memperhatikan lingkungan kerja maupun lingkungan penyimpanan cairan hidrolik.

16.4 Pompa Roda Gigi dalam Tipe Crescent

Pompa ini cocok untuk tekanan tinggi dan untuk cairan hidrolik yang bervariasi. Ukurannya lebih kecil dari *external gear pump* pada penghasilan pompa yang sama dan tingkat kebisingannya lebih kecil. Seperti *external gear pump*, pompa ini juga termasuk *pressure unbalanced*. Cara kerja pompa ini dapat dilihat pada gambar berikut ini:



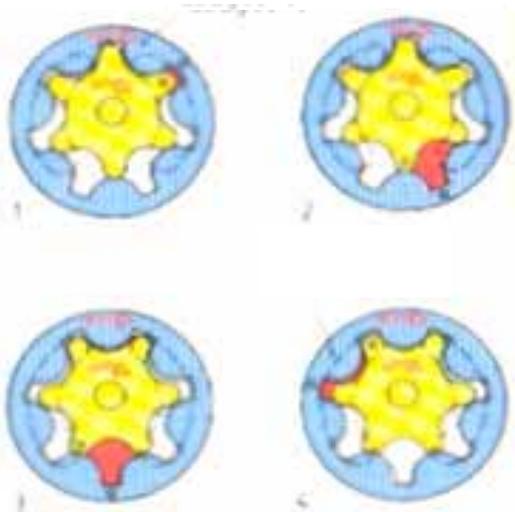
Gambar 98. Pompa Roda Gigi Tipe Crescent

Keterangan gambar:

1. Saluran oli masuk (*inlet*)
2. Oli masuk ke sedotan roda gigi yang berputar.
3. Penyedotan terjadi karena adanya rongga antara gigi *inner* *outer ring gear*.
4. Terjadinya penyedotan di ruang NO : 4 ini.
5. Di Titik No 5 ini oli didesak/ditekan oleh pasangan gigi.
6. Saluran tekan (*outlet*)

16.5 Pompa Roda Gigi Tipe Geretor

Pompa ini terdiri atas *inner rotor* yang dipasak dengan poros penggerak dan rotor ring. Rotor ring atau *outer rotor* yang merupakan roda gigi dalam diputar oleh *inner rotor* yang mempunyai jumlah gigi satu lebih kecil dari jumlah gigi *outer ring gear*. Ini bertujuan untuk membentuk rongga pemompaan. *Inner rotor* dan *outer rotor* berputar searah.

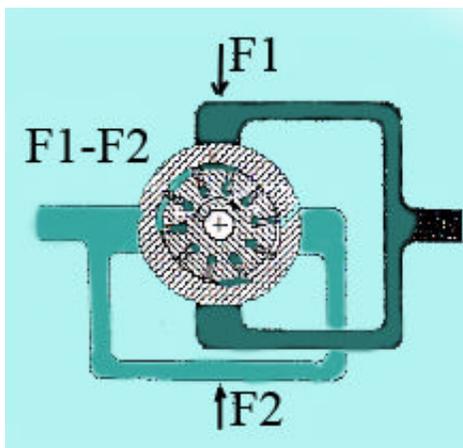


Gambar 99. Pompa Roda Gigi Tipe Gerotor

16.6 *Balanced Vane (Pompa Kipas *Balanced*)*

Pompa ini menggunakan rumah pompa yang bagian dalamnya berbentuk elips dan terdapat dua buah lubang pemasukkan (*inlet*) serta dua buah lubang pengeluaran *outlet* yang posisinya saling berlawanan arah. Dibuat demikian agar tekanan radial dari cairan hydrolik saling meniadakan sehingga terjadilah keseimbangan (*balanced*)

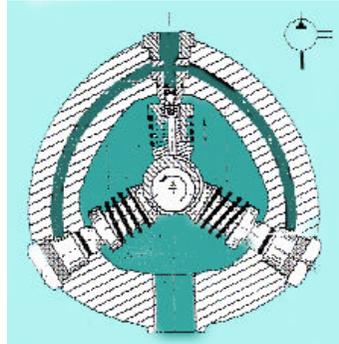
Vane (kipas) yang bentuknya seperti gambar dipasang pada poros beralur (*slots*) karena adanya gaya sentrifugal selama rotor berputar maka vane selalu merapat pada rumah pompa sehingga terjadilah proses pemompaan.



Gambar 100. *Balanced Vance*

16.7 Pompa Torak Radial (*Radial Piston Pump*)

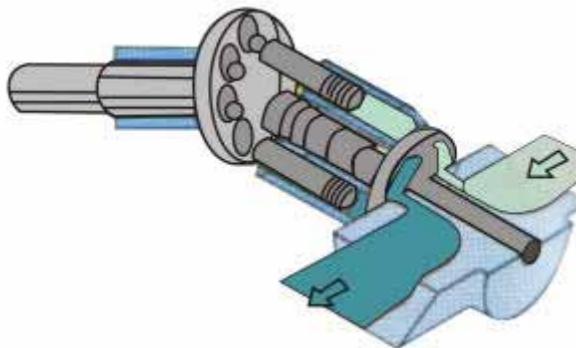
Pompa piston ini gerakan pemompaannya radial yaitu tegak lurus poros. Piston digerakan oleh sebuah poros engkol (*eccentric crankshaft*) sehingga besar langkah piston adalah sebesar jari-jari poros engkol. Penghisapan terjadi pada waktu piston terbuka sehingga oli hidrolik dari *crankshaft* masuk ke dalam silinder. Pada langkah pemompaan cairan ditekan dari setiap silinder melalui *check valve* ke saluran tekan. Pompa ini dapat mencapai tekanan hingga 63 Mpa.



Gambar 101. *Radial Piston Pump*

16.8 *Bent Axis Piston Pump* (Pompa Torak dengan Poros Tekuk)

Pada pompa ini blok silinder berputar pada satu sudut untuk dapat memutar poros. Batang torak dipasang pada *flens* poros penggerak dengan menggunakan *ball joint*. Besar langkah piston tergantung pada besar sudut tekuk *Fixed displacement piston pump* besar sudut (*offset angle*) berkisar 25° .



Gambar 102. *Bent Axis Piston Pump*

16.9 Instalasi Pompa Hidrolik

16.9.1 Kopling.

Kopling adalah komponen penyambung yang menghubungkan penggerak mula (motor listrik) dengan pompa hidrolik. Kopling ini mentransfer momen puntir dari motor ke pompa hidrolik. Kopling merupakan bantalan diantara motor dan pompa yang akan mencegah terjadinya hentakan/getaran selama motor mentransfer daya ke pompa dan selama pompa mengalami hentakan tekanan yang juga akan sampai ke motor. Kopling juga menseimbangkan/mentolerir adanya *error alignment* (ketidak sentrisan) antara poros motor dengan poros pompa.

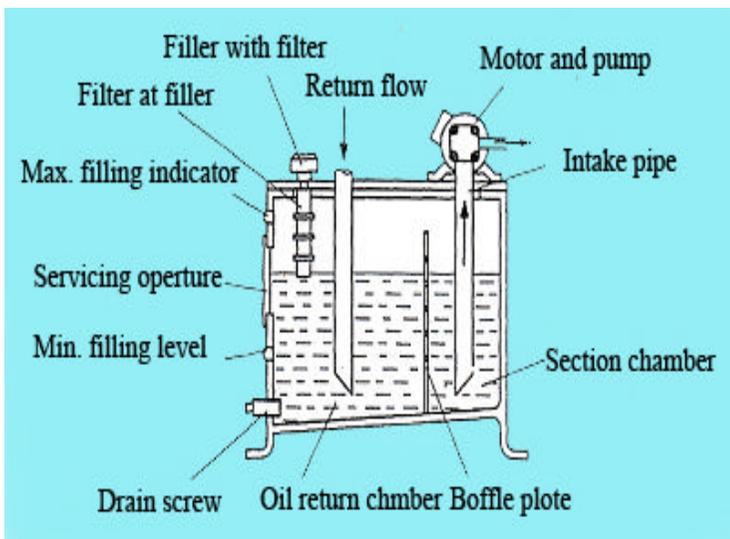
Contoh-contoh bahan kopling.

Untuk memenuhi persyaratan tersebut di atas maka pada umumnya kopling dibuat dari bahan :

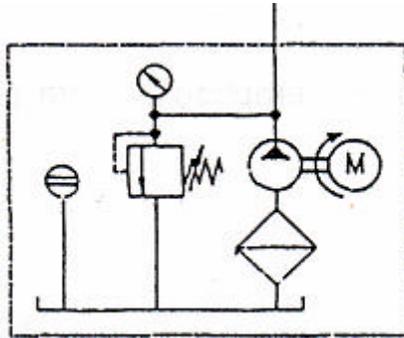
- Karet (*Rubber couplings*)
- Roda gigi payung (*Spiral bevel gear coupling*)
- Clutch dengan perapat plastik (*square tooth clutch with plastic insert*)

16.9.2 Tangki hidrolik (*Reservoir*)

Tangki hidrolik (*reservoir*) merupakan bagian dari instalasi unit tenaga yang konstruksinya ada bermacam-macam, ada yang berbentuk silindris dan ada pula yang berbentuk kotak. Gambar berikut ini menunjukkan salah satu konstruksi tangki hidrolik.



(a)



(b)

Gambar 103. Tangki Hidrolik Reservoir (a) dan simbolnya (b)

16.9.3 Fungsi /tugas tangki hidrolik

- ❖ Sebagai tempat atau tandon cairan hidrolik.
- ❖ Tempat pemisahan air, udara dan pertikel-partikel padat yang hanyut dalam cairan hidrolik.
- ❖ Menghilangkan panas dengan menyebarkan panas ke seluruh badan tangki.
- ❖ Tempat memasang komponen unit tenaga seperti pompa, penggerak mula, katup-katup akumulator dan lain-lain.

Ukuran tangki hidrolik berkisar antara 3 s/d 5 kali penghasilan pompa dalam liter/menit dan ruang udara di atas permukaan cairan maksimum berkisar antara 10 s/d 15 %.

16.9.4 Baffle Plate

Baffle Plate berfungsi sebagai pemisah antara cairan hidrolik baru datang dari sirkulasi dan cairan hidrolik yang akan dihisap oleh pompa. Juga berfungsi untuk memutar cairan yang baru datang sehingga memiliki kesempatan lebih lama untuk menyebarkan panas, untuk mengendapkan kotoran dan juga memisahkan udara serta air sebelum dihisap kembali ke pompa.

16.9.5 Filter (Saringan)

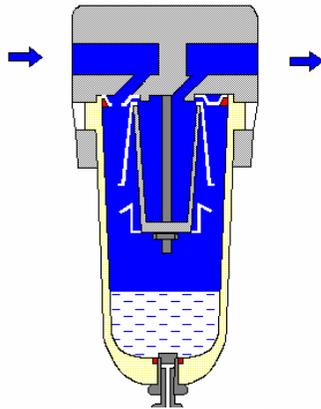
Filter berfungsi untuk menyaring kotoran-kotoran atau kontaminan yang berasal dari komponen sistem hidrolik seperti bagian-bagian kecil yang mengelupas, kontaminasi akibat oksidasi dan sebagainya.

Sesuai dengan tempat pemasangannya, ada macam-macam filter yaitu :

- *Suction filter*, dipasang pada saluran hisap dan kemungkinannya di dalam tangki.

- *Pressure line filter*, dipasang pada saluran tekan dan berfungsi untuk mengamankan komponen-komponen yang dianggap penting.
- *Return line filter*, dipasang pada saluran balik untuk menyaring agar kotoran jangan masuk ke dalam tangki.

Kebanyakan sistem hidrolik selalu memasang *suction filter*. Gambar menunjukkan proses penyaringan.



Gambar 104. Suction Filter

16.10 Pengetesan Efisiensi Pompa Hidrolik

Efisiensi ialah perbandingan antara *output* dan *input* dinyatakan dalam persen (%). Perbedaan antara *output* dan *input* dikarenakan adanya kerugian-kerugian diantaranya terjadinya kebocoran di dalam pompa sehingga akan mengurangi volume *output*. Secara keseluruhan, kebocoran dapat terjadi pada pompa hidrolik, katup-katup, *aktuator* dan setiap konektor, sehingga dalam hal ini perbandingan antara volume cairan hidrolik secara efisien menghasilkan daya sebanding dengan penghasilan pompa disebut *efisiensi volumetrik* (?v).

Penghasilan pompa (misal pompa roda gigi) secara teoritis dapat dihitung dengan rumus :

$Q = n \cdot V$	Q = penghasilan pompa teoritis (liter/min.) n = putaran pompa (r.p.m) V = volume cairan yang dipindahkan tiap putaran (cm^3)
-----------------	---

Penghasilan pompa tergantung pada besar tekanan kerja sistem hidrolik. Semakin besar tekanan penghasilan pompa (Q) akan semakin berkurang. Informasi kita temukan pada diagram karakteristik pompa :

- Apabila $p = 0$, penghasilan pompa Q penuh (Q teoritis)
- Apabila $p > 0$, penghasilan pompa berkurang karena adanya kebocoran dan secara logika semakin tinggi tekanan akan makin besar pula kebocoran.
- Garis lengkung pada diagram menunjukkan efisien volumetrik pompa (η_v)

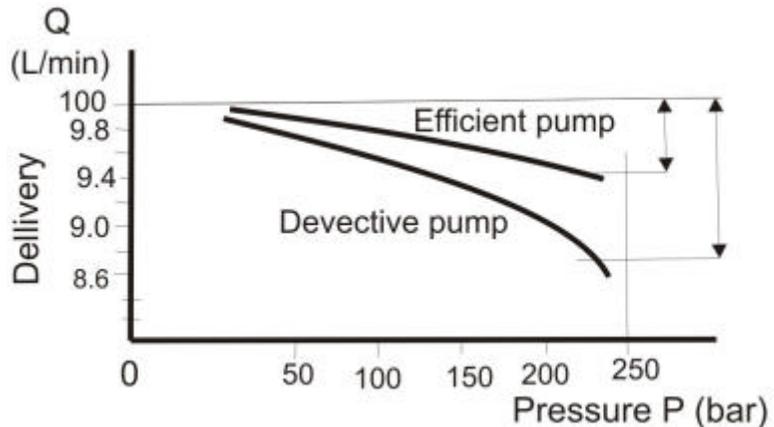


Diagram 105. Efisiensi Volumetrik

Contoh :

Ukuran pompa yang baru , kebocoran 6 % pada $p = 230$ bar.

$$Q_{(p=0)} = 10 \text{ l/min.}$$

$$Q_{(p=230)} = 9,4 \text{ l/min.}$$

$$Q_L = 0,6 \text{ l/min.}$$

Jadi efisiensi volumetrik (η_v) = 94 %

Untuk pompa yang lama, kebocoran 1,3 % pada $p = 230$ bar.

$$Q_{(p=0)} = 10 \text{ l/min.}$$

$$Q_{(p=230)} = 8,7 \text{ l/min.}$$

$$Q_L = 1,3 \text{ l/min}$$

Jadi efisiensi volumetrik (η_v) = 87 %

16.11 Unit Pengatur (Control Element)

Cara-cara pengaturan/pengendalian di dalam sistem hidrolik.

Susunan urutannya dapat kita jelaskan sebagai berikut :

- Isyarat (*Sinyal*) masukan atau *input element* yang mendapat energi langsung dari pembangkit aliran fluida (pompa hidrolik) yang kemudian diteruskan ke pemroses sinyal.
- Isyarat Pemroses atau *processing element* yang memproses sinyal masukan secara logic untuk diteruskan ke *final control element*.

- Sinyal pengendali akhir (*final control element*) akan mengarahkan *output* yaitu arah gerakan aktuator (*working element*) dan ini merupakan hasil akhir dari sistem hidraulik.

Komponen-komponen kontrol tersebut di atas biasa disebut katup-katup (*Valves*). Menurut desain konstruksinya katup-katup tersebut dikelompokkan sebagai berikut :

- Katup Poppet (*Poppet Valves*) yaitu apabila untuk menutup katup tersebut dengan cara menekan anak katup (bola atau kones atau piringan) mendapat kedudukan .

Menurut jenis katupnya, katup poppet digolongkan menjadi :

- Katup Bola (*Ball Seat Valves*)
- Katup Kones (*Cone Poppet Valves*)
- Katup Piringan (*Disc Seat Valves*)
- Katup Geser (*Slide Valves*)
 - *Longitudinal Slide*
 - *Plate Slide (Rotary Slide Valves)*

Menurut fungsinya katup-katup dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Katup Pengarah (*Directional Control Valves*)
- b. Katup Satu Arah (*Non Return Valves*)
- c. Katup Pengatur Tekanan (*Pressure Control Valves*)
- d. Katup Pengontrol Aliran (*Flow Control Valves*)
- e. Katup Buka-Tutup (*Shut-Off Valves*).

17. Soal formatif

17.1 Soal-Soal

- a. Sebutkan dan jelaskan syarat-syarat cairan hidraulik?
- b. Bagaimana cara pemeliharaan cairan hidraulik?

17.2 Kunci Jawaban

- a. Cairan hidraulik harus memiliki syarat-syarat sebagai berikut :
 - 1) Kekentalan (*Viskositas*) yang cukup
Cairan hidraulik harus memiliki kekentalan yang cukup agar dapat memenuhi fungsinya sebagai pelumas. Apabila viskositas terlalu rendah maka film oli yang terbentuk akan sangat tipis sehingga tidak mampu untuk menahan gesekan. Demikian juga bila viskositas terlalu kental, tenaga pompa akan semakin berat untuk melawan gaya viskositas cairan
 - 2) Indeks Viskositas yang baik
Dengan *viscosity index* yang baik maka kekentalan cairan hidraulik akan stabil digunakan pada sistem dengan perubahan suhu kerja yang cukup fluktuatif.
 - 3) Tahan api (tidak mudah terbakar)
Sistem hidraulik sering juga beroperasi ditempat-tempat yang cenderung timbul api atau berdekatan dengan api. Oleh karena itu perlu cairan yang tahan api.

- 4) Tidak berbusa (Foaming)
Bila cairan hidrolik banyak berbusa akan berakibat banyak gelembung-gelembung udara yang terperangkap dalam cairan hidrolik sehingga akan terjadi compressible dan akan mengurangi daya transfer. Disamping itu, dengan adanya busa tadi kemungkinan terjilat api akan lebih besar.
 - 5) Tahan dingin
Tahan dingin adalah bahwa cairan hidrolik tidak mudah membeku bila beroperasi pada suhu dingin. Titik beku atau titik cair yang dikehendaki oleh cairan hidrolik berkisar antara 10°-15° C dibawah suhu permulaan mesin dioperasikan (star-up). Hal ini untuk menantisipasi terjadinya block (penyumbatan) oleh cairan hidrolik yang membeku.
 - 6) Tahan korosi dan tahan aus
Cairan hidrolik harus mampu mencegah terjadinya korosi karena dengan tidak terjadi korosi maka konstruksi akan tidak mudah aus dengan kata lain mesin akan awet.
 - 7) Demulsibility (Water separable)
Yang dimaksud dengan de-mulsibility adalah kemampuan cairan hidrolik, karena air akan mengakibatkan terjadinya korosi bila berhubungan dengan logam.
 - 8) Minimal compressibility
Secara teoritis cairan adalah uncompressible (tidak dapat dikempa). Tetapi kenyataannya cairan hidrolik dapat dikempa sampai dengan 0,5 % volume untuk setiap penekanan 80 bar oleh karena itu dipersyaratkan bahwa cairan hidrolik agar seminimal mungkin dapat dikempa.
- b. Pemeliharaan Cairan Hidrolik
- 1) Simpanlah cairan hidrolik (drum) pada tempat yang kering, dingin dan terlindungi (dari hujan, panas dan angin).
 - 2) Pastikan menggunakan cairan hidrolik yang benar-benar bersih untuk menambah atau mengganti cairan hidrolik kedalam sistem. Gunakan juga peralatan yang bersih untuk memasukannya.
 - 3) Pompakanlah cairan hidrolik dari drum ke tangki hidrolik melalui saringan (*pre-filter*).
 - 4) Pantaulah (monitor) dan periksalah secara berkala dan berkesinambungan kondisi cairan hidrolik.
 - 5) Aturlah sedemikian rupa bahwa hanya titik pengisi tangki yang rapat-sambung sendiri yang ada pada saluran balik.
 - 6) Buatlah interval penggantian cairan hidrolik sedemikian rupa sehingga oksidasi dan kerusakan cairan dapat terhindar. (periksa dengan pemasok cairan hidrolik).
 - 7) Cegah jangan sampai terjadi kontaminasi gunakan filter udara dan filter oli yang baik.

- 8) Cegah terjadinya panas/pemanasan yang berlebihan, bila perlu pasang pendingin (*cooling*) atau bila terjadi periksalah penyebab terjadinya gangguan, atau pasang *unloading pump* atau *excessive resistance*.
- 9) Perbaikilah dengan segera bila terjadi kebocoran dan tugaskan seorang *maitenanceman* yang terlatih.
- 10) Bila akan mengganti cairan hidrolik (apa lagi bila cairan hidrolik yang berbeda), pastikan bahwa komponen dan seal-sealnya cocok dengan cairan yang baru, demikian pula seluruh sistem harus dibilas (*flushed*) secara baik dan benar-benar bersih.

18 Rangkuman BAB VIII

1. Sistem Pneumatik

Pneumatik merupakan ilmu yang mempelajari tentang teknik pemakaian udara bertekanan (udara kempa). Sistem pneumatik memiliki aplikasi yang luas seperti menambah tekanan ban, melepas velg mobil, dongkrak, alat pemasang kampas rem tromol mobil, pembuka pintu otomatis, pengepakan industri makanan dan sebagainya.

Sistem pneumatik memiliki keuntungan sebagai berikut :

- a. Fluida yang digunakan merupakan udara yang memiliki ketersediaan yang tak terbatas di alam.
- b. Udara mudah disalurkan dari suatu tempat ke tempat lain.
- c. Udara dapat fleksibel digunakan pada berbagai temperatur yang diperlukan.
- d. Aman.
- e. Udara yang ada di sekitar kita cenderung bersih tanpa zat kimia yang berbahaya.
- f. Kecepatan dan daya dorong yang mudah diatur.
- g. Udara mudah disimpan di tabung.
- h. Udara memiliki banyak manfaat serta mudah dimanfaatkan.

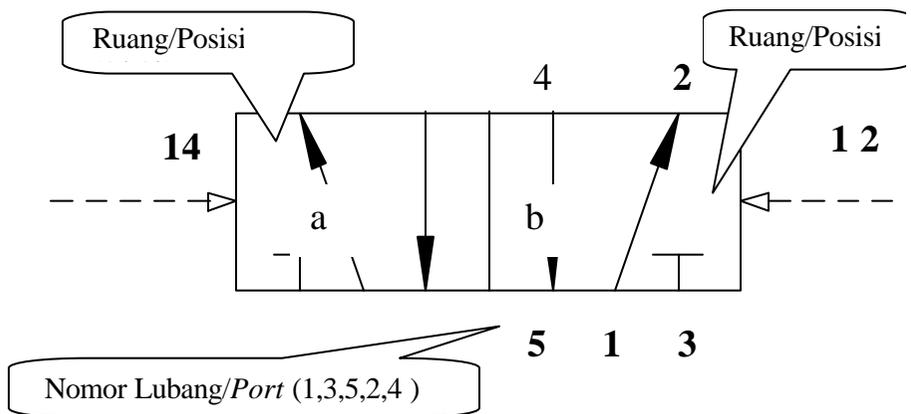
Selain keuntungan di atas, sistem pneumatik juga memiliki kekurangan diantaranya sebagai berikut :

- a. Memerlukan instalasi penghasil udara bertekanan (kompresor).
- b. Mudah terjadi kebocoran.
- c. Menimbulkan suara bising.
- d. Udara yang bertekanan mudah mengembun, sehingga sebelum memasuki sistem harus diolah terlebih dahulu agar memenuhi persyaratan tertentu, misal kering, memiliki tekanan yang cukup, dan mengandung sedikit pelumas agar mengurangi gesekan pada katup-katup dan aktuator.

Secara garis besar urutan kerja sistem pneumatik dimulai dari sumber energi udara bertekanan (kompresor) sinyal → input (katup tekan, katup roll dan sebagainya) → pemroses sinyal

atau prosesor (katup kontrol, OR, NOR, dll) —> pengendali sinyal (katup pengendali sinyal) —> aktuator atau output (silinder penggerak tunggal, silinder ganda, rotari dll).

Katup berfungsi untuk mengatur atau mengendalikan arah udara kempa yang akan bekerja menggerakkan aktuator, dengan kata lain katup ini berfungsi untuk mengendalikan arah gerakan aktuator. Katup-katup pneumatik diberi nama berdasarkan pada: a) Jumlah lubang/saluran kerja (*port*), b) Jumlah posisi kerja, d) Jenis penggerak katup, dan d) Nama tambahan lain sesuai dengan karakteristik katup. Disini akan dijelaskan cara penamaan katup pneumatik 5/2.



2. Sistem Hidrolik

Fluida yang digunakan dalam sistem hidrolik adalah oli. Syarat-syarat cairan hidrolik yang digunakan harus memiliki kekentalan (viskositas) yang cukup, memiliki indek viskositas yang baik, tahan api, tidak berbusa, tahan dingin, tahan korosi dan tahan aus, minimla konpressibility.

Sistem hidrolik juga memiliki kelemahan dan kelebihan.

Kelemahan sistem hidrolik sebagai berikut :

- Fluida yang digunakan (oli) harganya mahal.
- Apabila terjadi kebocoran akan mengotori sistem, sehingga sistem hidrolik jarang digunakan pada industri makanan maupun obat-obatan.

Sedangkan kelebihan sistem hidrolik diantaranya adalah ;

- a. Tenaga yang dihasilkan sistem hidrolik besar sehingga banyak diaplikasikan pada alat berat seperti crane, kerek hidrolik dll.
- b. Oli juga bersifat sebagai pelumas sehingga tingkat kebocoran lebih jarang dibandingkan dengan sistem pneumatik.
- c. Tidak berisik.

Komponen-komponen sistem hidrolik sebagai berikut :

- a. Pompa hidrolik

Pompa hidrolik berfungsi mengisap fluida oli hidrolik yang akan disirkulasikan dalam sistem hidrolik. Macam-macam pompa hidrolik diantaranya adalah pompa roda gigi, pompa sirip burung, pompa torak aksial, pompa torak radial dan pompa sekrup.

- b. Aktuator hidrolik

Aktuator hidrolik dapat berupa silinder hidrolik, maupun motor hidrolik. Silinder hidrolik bergerak secara translasi sedangkan motor hidrolik bergerak secara rotasi.

Urutan kerja sistem hidrolik dimulai dari sumber tenaga (pompa) → sinyal (katup hidrolik) → katup pemroses sinyal (katup cekik, katup satu arah dll) → aktuator (silinder hidrolik atau rotari).

BAB IX

PROSES PRODUKSI INDUSTRI MODERN

1. Sejarah Perkembangan Otomasi Industri

Teknologi Otomasi mulai ada sejak berabad-abad yang lalu, terutama sejak ditemukannya komponen *cam* dan *governor*. Pada tahun 1932, *Nyquist* mengembangkan suatu prosedur yang relatif sederhana untuk menentukan kestabilan sistem *loop* tertutup pada *basis respon loop* terbuka terhadap masukan tunak (*Steady State*) *Sinusoida*. Pada tahun 1934, *Hazien* memperkenalkan istilah servo mekanisme untuk sistem kontrol posisi, membahas desain servo mekanisme *relay* yang mampu mengikuti dengan baik masukan yang berubah. Pada dekade 1940-1950 pemakaian sistem kontrol otomatis telah berkembang, mulai tahun 1960 dengan berkembangnya perangkat peralatan (*plant*) dengan multi masukan dan multi keluaran maka sistem kontrol menjadi semakin kompleks.



Gambar 1, Penggunaan robot dalam sistem otomasi Industri

Selanjutnya secara berangsur angsur mulai memanfaatkan komponen elektronik-mekanik seperti *relay*, dan komponen elektronik seperti transistor. Perkembangan selanjutnya telah semakin cepat setelah ditemukannya komponen mikroelektronik dalam bentuk IC (*Integrated Circuit*) pada awal tahun 1960-an. Teknologi Otomasi semakin berkembang dengan pesat sejak munculnya mikroprosesor pada tahun 1973, sejak itu teknologi otomasi telah memasuki berbagai sektor kegiatan manusia, baik yang secara khusus misalnya

di dalam dunia manufaktur, maupun secara umum dalam berbagai bentuk barang yang ada di sekeliling kita seperti Telefak, Mesin cuci dan sebagainya. Mesin cuci modern biasanya menggunakan sistem otomasi *loop* tertutup, sehingga proses pencuciannya dapat diprogram seperti yang diharapkan.



Gambar 2, Penggunaan robot dalam sistem otomasi Industri mobil

Teknologi Otomasi yang pada awalnya banyak diartikan sebagai pemakaian suatu sistem pengatur yang mampu menggerakkan suatu konstruksi mekanik (manipulator) secara mandiri tanpa campur tangan manusia, dewasa ini makin berkembang dengan dimasukkannya pengertian tentang kemampuan untuk mengatur pengolahan data secara mandiri. Dalam aplikasinya kegiatan proses produksi kedua cakupan pengertian di atas pada dasarnya sangat banyak digunakan. Pengertian teknologi otomasi yang didefinisikan sebagai penggunaan sistem pengatur yang mampu menggerakkan suatu manipulator atau konstruksi mekanik secara mandiri tanpa campur tangan manusia melahirkan suatu disiplin ilmu baru yang disebut sebagai mekatronika.

Proses produksi industri manufaktur mobil maupun sepeda motor di Indonesia sudah semakin pesat. Meski dengan jumlah karyawan yang sedikit namun mampu menghasilkan produk yang banyak dan dengan kualitas yang sama baiknya. Pada dasarnya teknologi otomasi dibedakan menjadi dua, yaitu *fixed automation* (otomasi tetap) dan *flexible Automation* (otomasi fleksibel). Konstruksi *fixed automation* biasanya masih menggunakan peralatan mekanik. Sedangkan *fleksibel automation* sudah menggunakan sistem pengatur berbasis komputer. Sistem pengatur berbasis komputer dirancang agar mudah dirubah sesuai dengan kebutuhan. Sebagai contoh

penggunaan robot industri, gerakan robot dapat dirubah sesuai dengan kebutuhan, juga penggunaan mesin perkakas CNC. Teknologi modern ditandai dengan penggunaan *fleksible automation* yang semakin meluas. *Fleksible Automation* akan terus berkembang sejalan dengan perkembangan mikroelektronika yang mendasar

Pemanfaatan teknologi otomasi pada proses produksi meliputi bidang yang sangat luas, dari kegiatan seperti pada bagian *Product Design, Production Planning dan Control, Inventory Control, Sales dan Marketing, Engineering, Industrial Engineering* banyak yang lebih berupa pengolahan secara otomatis data elektronis, sedangkan teknologi otomasi yang banyak di terapkan adalah dalam bidang produksi.

Pemanfaatan teknologi otomasi dalam proses produksi merupakan sebagian kecil saja dari penggunaan teknologi tersebut. Sebagian besar aplikasinya dimanfaatkan secara luas dalam kehidupan sehari-hari di masyarakat. Proses otomasi yang dapat kita lihat sehari-hari antara lain: mesin cuci otomatis, sistem pengisian tandon otomatis, pengering tangan otomatis, dan sebagainya. Dalam pembahasan selanjutnya, akan dibahas lebih jauh teknologi otomasi yang diterapkan dalam industri pengolahan serta pemesinan logam. Pembahasan akan lebih diarahkan pada teknologi otomasi dalam bentuk pengaturan gerak manipulator atau konstruksi mekanik yang terdapat dalam berbagai bentuk peralatan pabrik. Pengaturan yang akan dikembangkan berbasis pada sistem kontrol pneumatik, hidrolik, elektrik, dan juga mekanik.

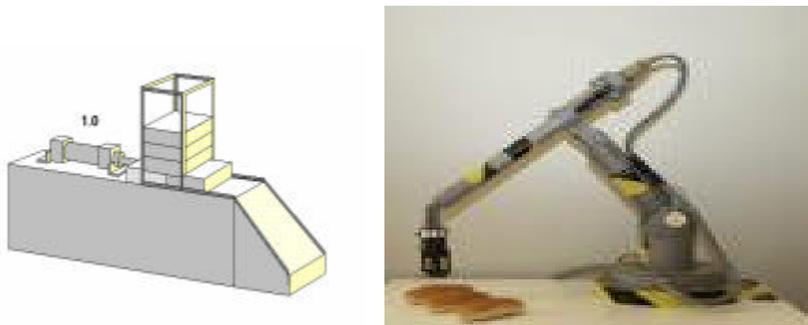
Rancangan konstruksi dari berbagai peralatan di atas ada yang dapat dibuat secara umum sehingga dapat diproduksi secara masal, seperti mesin perkakas CNC robot industri, berbagai jenis conveyor, AGV dsb nya, namun ada pula yang harus dirancang secara khusus untuk jenis pemakaian tertentu seperti mesin-mesin khusus, *Jiq* dan *Fixtures*. Pemilihan peralatan yang sesuai dengan proses produksi yang hendak dilakukan merupakan tahap awal yang sangat menentukan tinggi rendahnya efisiensi proses produk tersebut. Pemilihan yang salah merupakan cacat bawaan yang akan sukar untuk diperbaiki nantinya, tanpa melakukan penggantian peralatan yang salah tersebut secara keseluruhan.

2. Otomasi Teknik Produksi

Setiap perusahaan selalu berusaha untuk efisien dan efektif dalam melakukan proses produksinya. Hal ini sesuai dengan prinsip ekonomi, yang bertujuan mendapatkan keuntungan yang sebesar-besarnya dengan biaya yang serendah-rendahnya. Salah satu upaya yang dilakukan perusahaan antara lain dengan cara mengurangi biaya produksi, termasuk biaya tenaga kerja. Meningkatnya kualitas hidup berdampak pada gaji tenaga kerja terampil yang semakin mahal.

Tenaga kerja terampil umumnya menuntut gaji yang besar. Padahal tenaga kerja terampil sebagai manusia pada umumnya memiliki keterbatasan seperti kelelahan, sakit, jenuh, bahkan kadang menuntut kenaikan gaji melalui demonstrasi yang dapat menghentikan aktivitas perusahaan. Dewasa ini perusahaan selalu berupaya untuk mengganti pekerjaan yang selama ini dilakukan oleh manusia untuk digantikan dengan mesin-mesin dalam rangka efisiensi dan peningkatan kualitas produksinya. Dengan kata lain banyak perusahaan melakukan otomasi produksinya.

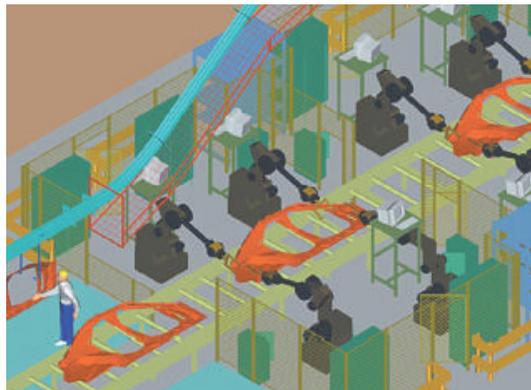
Istilah otomasi berasal dari otomatisasi, belakangan ini istilah otomatisasi tidak lagi banyak digunakan. Menurut *Thomas Krist* yang dikutip *Dines Ginting* (1993), ``Otomasi`` adalah mengubah penggerakan atau pelayanan dengan tangan menjadi pelayanan otomatis pada penggerakan dan gerakan tersebut berturut-turut dilaksanakan oleh tenaga asing (tanpa perantaraan tenaga manusia). Jadi otomasi menghemat tenaga manusia. Terutama suatu penempatan yang menguntungkan dari unsur-unsur pelayanan adalah mengurangi banyaknya gerakan-gerakan tangan sampai seminimum mungkin. Gerakan-gerakan yang biasa dilakukan manusia seperti menggeser, mengangkat, menempa, dan lain-lain telah dapat digantikan oleh gerakan aktuator mekanik, listrik, pneumatik, hidrolis, dan lain-lain. Masing-masing aktuator memiliki kelebihan dan kelemahan, misalnya lebih fleksibel dan bersih, namun mudah terbakar bila dibebani lebih. Pneumatik dapat dibebani lebih, bersih, dan aman, namun untuk menghasilkan udara bertekanan diperlukan peralatan mahal seperti kompresor dan katup-katup. Hidrolik mampu menghasilkan daya besar, namun memiliki keterbatasan temperatur dan cenderung kotor. Pemilihan aktuator tersebut akan selalu menyesuaikan dengan kebutuhan.



Gambar 3, Penggeser pneumatik dan robot industri yang siap menggantikan tenaga manusia

Penggantian tenaga manusia menjadi tenaga mesin akan meningkatkan produktivitas dan efisiensi kerja. Penggantian ini sangat tepat terutama pada industri bahan dasar, industri kimia dan tungku pengecoran logam bertemperatur tinggi, dimana akan mengurangi resiko kecelakaan kerja dan meningkatkan kenyamanan produksi. Faktor ini juga sangat menentukan kedayagunaan dan manfaat ekonomis dari produksi.

Pengalihan gerakan dari tenaga manusia ke mesin dapat dilakukan sebagian maupun keseluruhan. Otomasi sebagian berarti sistem masih memerlukan tenaga kerja untuk mengoperasikan mesin, sedangkan otomasi lengkap berarti semuanya dapat dikerjakan oleh mesin, tenaga manusia hanya bertindak sebagai programmer dari mesin tersebut. Dalam beberapa tahun ini perkembangan full otomasi telah berkembang pesat terutama pada industri manufaktur mobil maupun industri yang lain.

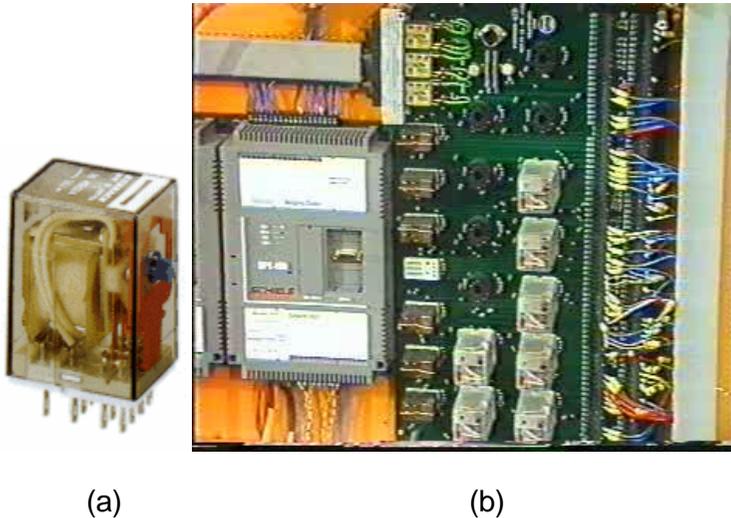


Gambar 4, Robot Industri dalam proses *manufacturing*

3. PLC (Programmable Logic Controllers)

3.1 Sejarah PLC

Secara historis PLC (*Programmable Logic Controllers*) pertama kali dirancang oleh Perusahaan General Motor (GM) sekitar pada tahun tahun 1968. PLC awalnya merupakan sebuah kumpulan dari banyak *relay* yang pada proses sekuensial dirasakan tidak fleksibel dan berbiaya tinggi dalam proses otomatisasi dalam suatu industri. Pada saat itu PLC penggunaannya masih terbatas pada fungsi-fungsi kontrol relay saja. Namun dalam perkembangannya PLC merupakan sistem yang dapat dikendalikan secara terprogram. Selanjutnya hasil rancangan PLC mulai berbasis pada bentuk komponen *solid state* yang memiliki fleksibilitas tinggi. Kerja tersebut dilakukan karena adanya prosesor pada PLC yang memproses program sistem yang diinginkan.



Gambar 5. Relay tunggal (a) dan Sistem *relay* pada mesin CNC (b)

Saat ini PLC telah mengalami perkembangan yang luar biasa, baik dari segi ukuran, kepadatan komponen serta dari segi fungsinya seiring perkembangan teknologi *solid state*. Beberapa perkembangan perangkat keras maupun perangkat lunak PLC antara lain: (a) Ukuran semakin kecil dan kompak, (b) Jenis instruksi/fungsi semakin banyak dan lengkap, (c) Memiliki kemampuan komunikasi dan sistem dokumentasi yang semakin baik, (d) Jumlah *input/output* yang semakin banyak dan padat, (f) Waktu eksekusi program yang semakin cepat, (g) Pemrograman relatif semakin mudah. Hal ini terkait dengan perangkat lunak pemrograman yang semakin *user friendly*, (h) Beberapa jenis dan tipe PLC dilengkapi dengan modul-modul untuk tujuan kontrol kontinu, misalnya modul ADC/DAC, PID, modul *Fuzzy* dan lain-lain.

Perusahaan PLC saat ini sudah memulai memproduksi PLC dengan beberapa ukuran, seperti jumlah *input/output*, instruksi dan kemampuan lainnya yang beragam. Perkembangan dewasa ini pada dasarnya dilakukan agar memenuhi dan memberikan solusi bagi kebutuhan pasar yang sangat luas. Sehingga mampu untuk menjawab permasalahan kebutuhan kontrol yang kompleks dengan jumlah *input/output* mencapai ribuan.

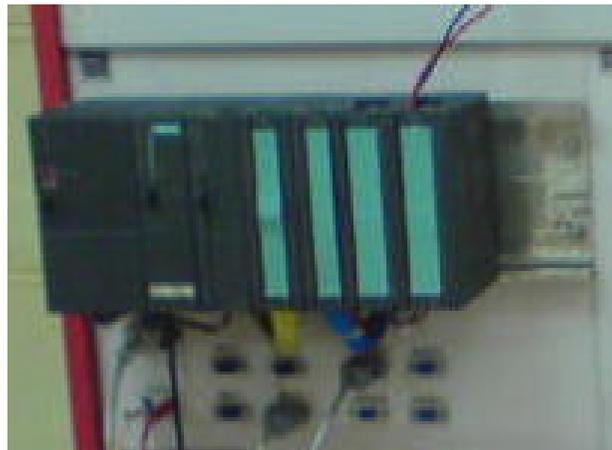
3.2 Pengenalan Dasar PLC

Pada dasarnya PLC (*Programmable Logic Controllers*) merupakan sistem relay yang dikendalikan secara terprogram. Kerja tersebut dilakukan karena adanya prosesor pada PLC yang memproses program yang diinginkan. PLC dilengkapi dengan *port* masukan (*inputport*) dan keluaran (*outputport*). Adanya masukan dan keluaran PLC secara modul akan lebih mempermudah proses

pengawatan (*wiring*) sistem. Pada dasarnya PLC terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Adapun jenis *hardware* dapat berupa unit PLC berbagai merek, seperti OMRON, Siemens, LG, dan lain lain, seperti contoh berikut berikut:



(a)



(b)

Gambar 6. PLC Omron type ZEN (a) dan Siemens (b)

Agar lebih mengenal fungsi dan cara kerja PLC pada umumnya, biasanya dibuat PLC *Training Unit* untuk keperluan pelatihan bagi siswa maupun praktisi industri agar lebih mendalami dan memahaminya



Gambar 7. PLC Training Unit

3.3. Instruksi-instruksi dasar PLC

Instruksi (perintah program) merupakan perintah agar PLC dapat bekerja seperti yang diharapkan. Pada setiap akhir program harus diinstruksikan kalimat END yang oleh PLC dianggap sebagai batas akhir dari program. Instruksi END tidak ditampilkan pada tombol operasional *programming console*, akan tetapi berupa sebuah fungsi yaitu FUN (01).

3.3.1 LOAD (LD) dan LOAD NOT (LD NOT)

LOAD adalah sambungan langsung dari line dengan logika pensakelarnya seperti sakelar NO, sedangkan LOAD NOT logika pensakelarnya seperti sakelar NC. Instruksi ini dibutuhkan jika urutan kerja pada sistem kendali hanya membutuhkan satu kondisi logic saja untuk satu *output*. Simbol *ladder diagram* dari LD dan LD NOT seperti Gambar 8 di bawah ini:



Gambar 8. Simbol logika LOAD dan LOAD NOT.

3.3.2 AND dan NOT AND (NAND)

Jika memasukkan logika AND maka harus ada rangkaian yang berada di depannya, karena penyambungannya seri. Logika pensaklaran AND seperti sakelar NO dan NOT AND seperti saklar NC. Instruksi tersebut dibutuhkan jika urutan kerja sistem kendali lebih dari

satu kondisi logic yang terpenuhi semuanya untuk memperoleh satu *output*. Simbol *ladder diagram* dari AND dan NOT AND seperti Gambar 9. di bawah ini:



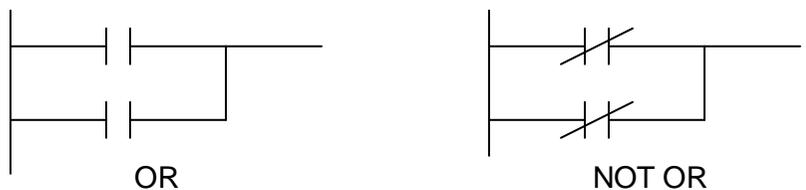
Gambar 9. Simbol logika AND dan NOT AND

Tabel 1. Logika AND dan NOT AND (NAND)

S ₁	S ₂	AND	NAND
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

3.3.3 OR dan NOT OR

OR dan NOT OR (NOR) dimasukkan seperti saklar posisinya paralel dengan rangkaian sebelumnya. instruksi tersebut dibutuhkan jika urutan kerja sistem kendali membutuhkan salah satu saja dari beberapa kondisi logic terpasang paralel untuk mengeluarkan satu *output*. Logika pensaklaran OR seperti saklar NO dan logika pensaklaran NOT OR seperti saklar NC. Simbol *ladder diagram* dari OR dan OR NOT seperti gambar 11. di bawah ini:

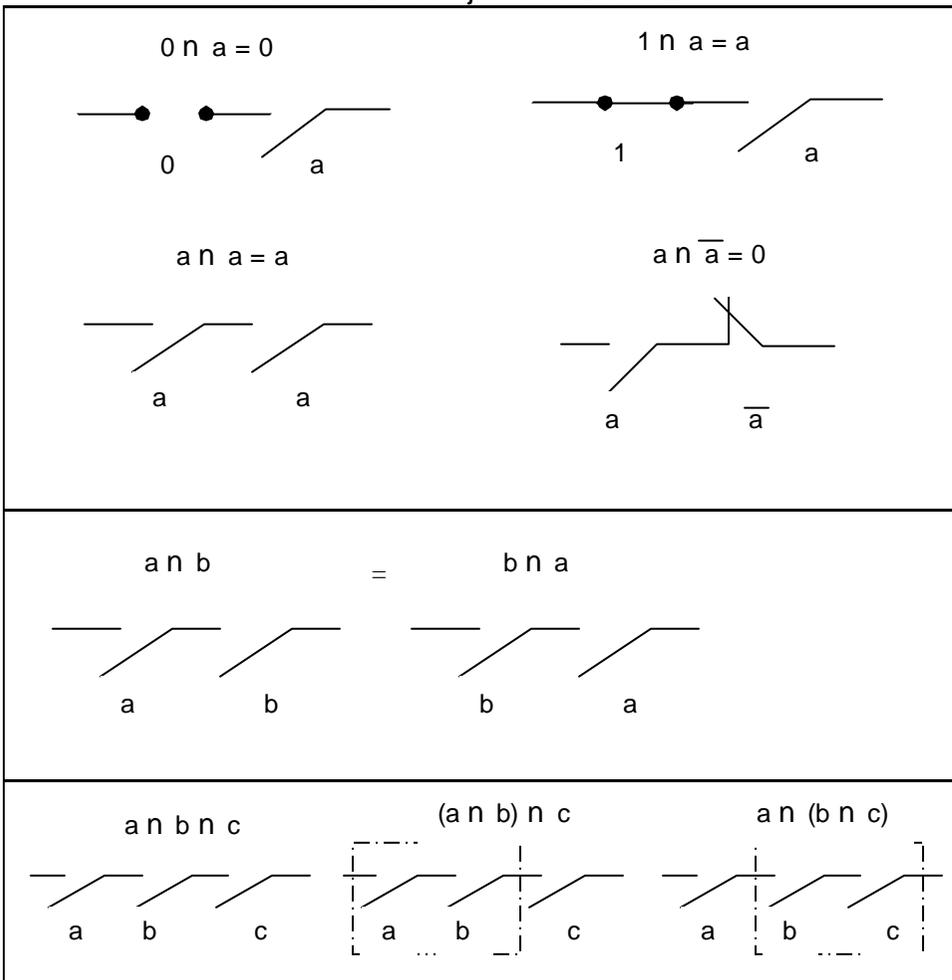


Gambar 10. Simbol logika OR dan NOT OR

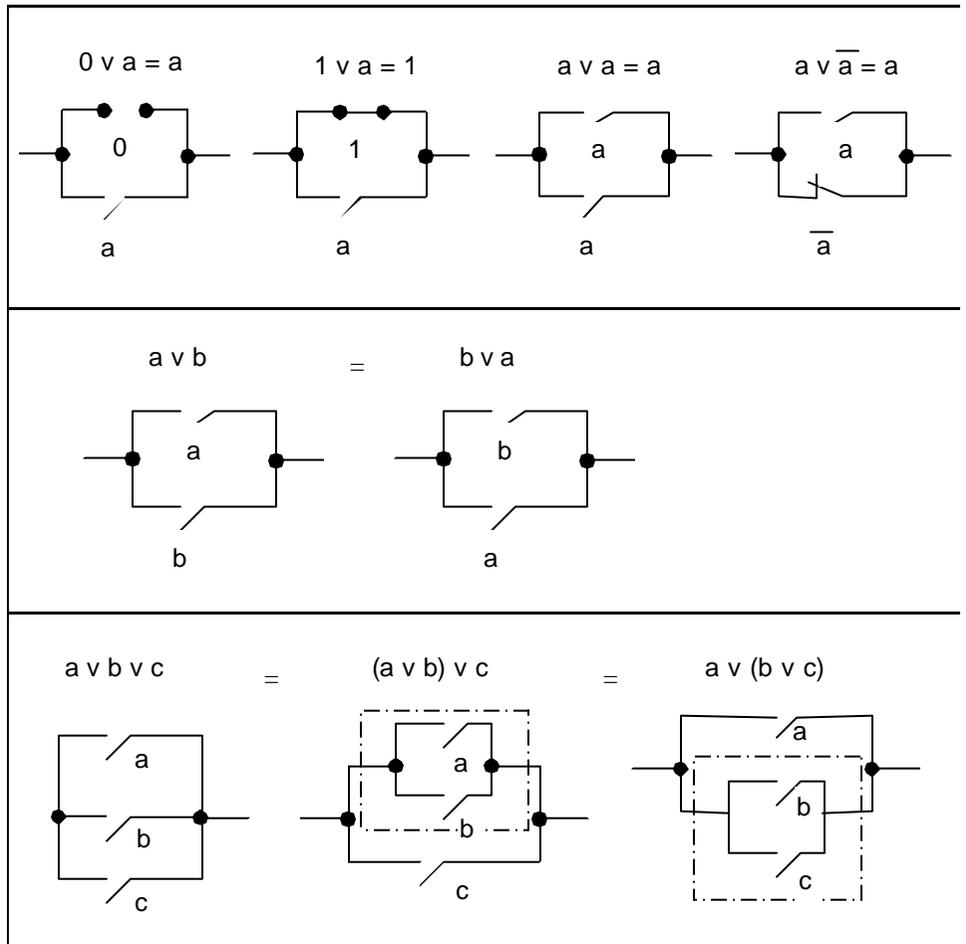
Tabel 2. Logika OR dan NOT OR (NOR)

S_1	S_2	OR	NOR
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

Tabel 3. Aturan aljabar saklar AND

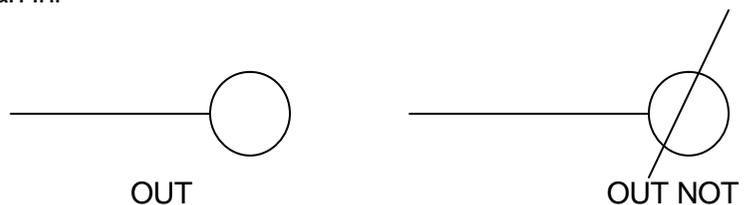


Tabel 4. Aturan aljabar saklar OR



3.3.4 OUT dan OUT NOT

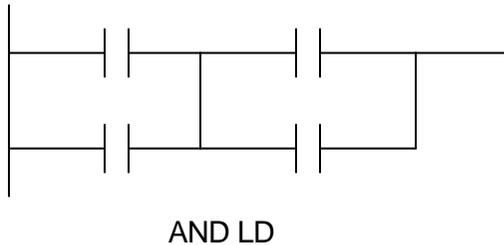
Digunakan untuk mengeluarkan *Output* jika semua kondisi logika ladder diagram sudah terpenuhi. Logika pensaklaran OUT seperti sakelar NO dan logika pensaklaran OUT NOT seperti sakelar NC. Simbol *ladder diagram* dari OUT dan OUT NOT seperti Gambar 11. di bawah ini



Gambar 11. Simbol logika OUT dan OUT NOT.

3.3.5 AND LOAD (AND LD)

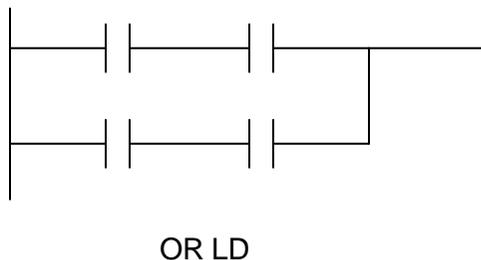
Digunakan untuk kondisi logika ladder diagram yang khusus dimaksudkan untuk mengeluarkan satu keluaran tertentu. Simbol ladder diagram dari AND LD seperti gambar 12. di bawah ini:



Gambar 12. Simbol logika AND LOAD.

3.3.6 OR LOAD (OR LD)

Digunakan untuk kondisi logika *ladder diagram* yang khusus dimaksudkan untuk mengeluarkan satu keluaran tertentu. Simbol ladder diagram dari OR LD seperti gambar 13 di bawah ini:



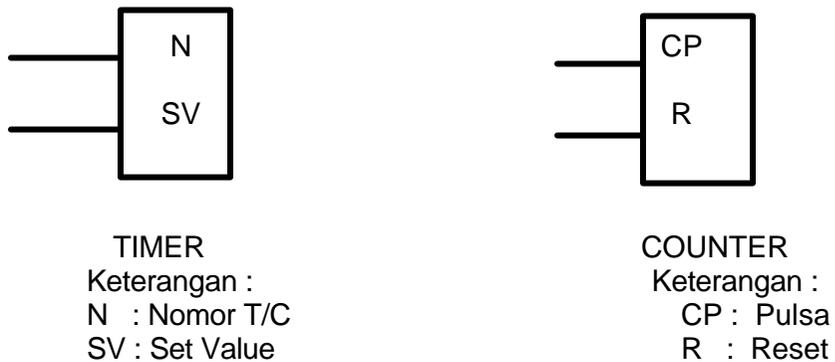
Gambar 13. Simbol logika OR LOAD.

3.3.7 TIMER (TIM) dan COUNTER (CNT)

- Jumlahnya bergantung dari masing-masing tipe PLC. Jika suatu nomor sudah dipergunakan sebagai TIMER/COUNTER, maka nomor tersebut tidak boleh lagi dipakai lagi sebagai TIMER/COUNTER yang lain.
- Nilai TIMER/COUNTER bersifat menghitung mundur dari nilai awal yang ditetapkan oleh program. Setelah hitungan tersebut mencapai angka nol, maka kontak NO TIMER/COUNTER akan bekerja.

- TIMER mempunyai batas hitungan antara 0000 sampai 9999 dalam bentuk BCD (*binary Code Decimal*) dan dalam orde sampai 100 ms. Sedangkan COUNTER mempunyai orde angka BCD dan mempunyai batas antara 0000 sampai dengan 9999.

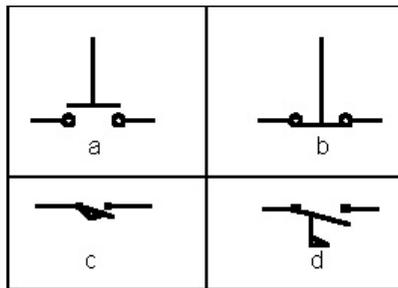
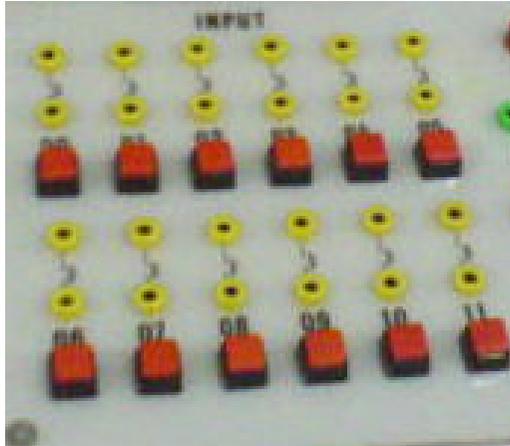
Simbol ladder diagramnya seperti Gambar 14 di bawah ini:



Gambar 14. Simbol logika TIMER dan COUNTER.

3.4. Device Masukan

Device masukan merupakan perangkat keras yang digunakan untuk memberikan sinyal kepada modul masukan. Sistem PLC memiliki jumlah *device* masukan sesuai dengan sistem yang diinginkan. Fungsi dari *device* masukan untuk memberikan perintah khusus sesuai dengan kinerja *device* masukan yang digunakan, misalnya untuk menjalankan atau menghentikan motor. Dalam hal tersebut seperti misalnya *device* masukan yang digunakan adalah *push button* yang bekerja secara *Normally Open (NO)* ataupun *Normally Close (NC)*. Ada bermacam-macam *device* masukan yang dapat digunakan dalam pembentukan suatu sistem kendali seperti misalnya: *selector switch, foot switch, flow switch, level switch, proximity sensors* dan lain-lain. Gambar15. memperlihatkan macam-macam simbol masukan.



Keterangan :

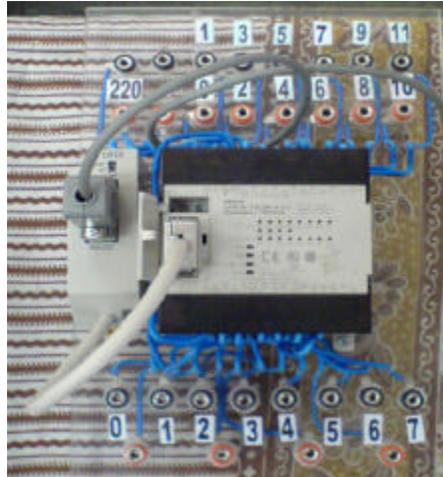
a. NO Pushbutton
b. NC Pushbutton

c. NO Limit Switch
d. NO Flow Switch

Gambar 15. Contoh simbol *device* masukan

3.5. Modul Masukan

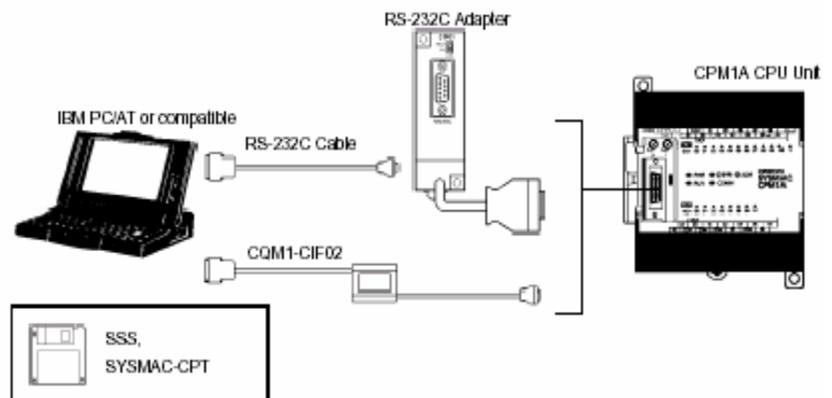
Modul masukan adalah bagian dari sistem PLC yang berfungsi memproses sinyal dari *device* masukan kemudian memberikan sinyal tersebut ke prosesor. Sistem PLC dapat memiliki beberapa modul masukan. Masing-masing modul mempunyai jumlah terminal tertentu, yang berarti modul tersebut dapat melayani beberapa *device* masukan. Pada umumnya modul masukan ditempatkan pada sebuah rak. Pada jenis PLC tertentu terdapat modul masukan yang ditempatkan langsung satu unit dengan prosesor ataupun catu daya dan tidak ditempatkan dengan sistem rak. Gambar 16 memperlihatkan modul masukan atau keluaran yang penempatannya menggunakan rak.



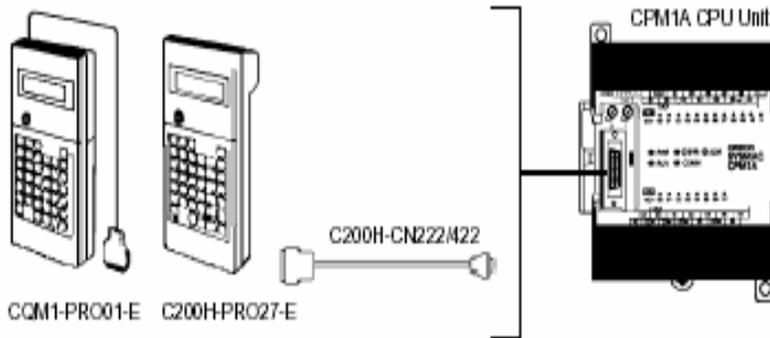
Gambar 16. Slot Modul masukan atau keluaran PLC

3.6. Device Masukan Program

Device masukan program berfungsi sebagai sarana untuk memasukkan atau mengisi program ke dalam prosesor PLC yang disebut dengan pengisi program (*program loader*). *Program Loader* sering disebut sebagai *device programmer* yaitu alat yang digunakan untuk melakukan pengisian program ke CPU. *Device programmer* membuat program PLC menjadi lebih *fleksibel*. *Device programmer* memperbolehkan pemakai untuk melakukan perubahan program kendali baru (modifikasi) atau memeriksa benar atau tidaknya program yang telah diisikan ke dalam memori. Hal ini sangat membantu untuk keperluan perawatan ketika timbul masalah terhadap sistem. Jenis-jenis *device programmer* yang sering digunakan adalah *desktop*, *handheld programmer* dan *device programmer* yang memang khusus dibuat oleh pembuat PLC. Gambar 17 dan Gambar 18. memperlihatkan contoh gambar *device programmer*.



Gambar 17. Desktop.



Gambar 18. Handled Programmer. (OMRON)

3.7. Device Keluaran

Device keluaran adalah komponen-komponen yang memerlukan sinyal untuk mengaktifkan komponen tersebut. Sistem PLC mempunyai beberapa device keluaran seperti motor listrik, lampu indikator, sirine. Gambar 19. memperlihatkan contoh simbol dari device keluaran yang sering digunakan.



(a) Simbol lampu indikator



(b) Motor listrik dan simbolnya



(c) Katup penggerak Solenoid

Gambar 19. Contoh *device* keluaran dan simbolnya

3.8. Modul Keluaran

PLC dapat mempunyai beberapa modul keluaran tergantung dari ukuran dan aplikasi sistem kendali. *Device* keluaran disambungkan ke modul keluaran dan akan aktif pada saat sinyal diterima oleh modul keluaran dari prosesor sesuai dengan program sistem kendali yang telah diisikan ke memorinya. Catu daya yang digunakan untuk mengaktifkan *device* keluaran tidak langsung dari modul keluaran tetapi berasal dari catu daya dari luar, sehingga modul keluaran sebagai sakelar yang menyalurkan catu daya dari catu daya luar ke *device* keluaran.

3.9. Perangkat Lunak PLC

Pemrograman PLC terdiri dari instruksi-instruksi dasar PLC yang berbentuk logika pengendalian sistem kendali yang diinginkan. Bahasa programmeran biasanya telah disesuaikan dengan ketentuan dari pembuat PLC itu sendiri. Dalam hal ini setiap pembuat PLC memberikan aturan-aturan tertentu yang sudah disesuaikan dengan programmeran CPU yang digunakan PLC.

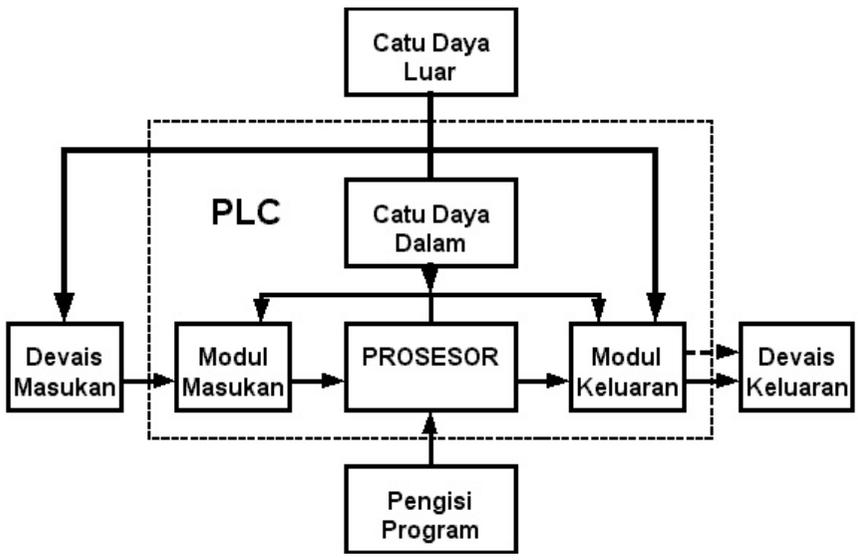
3.10. Perangkat Keras PLC

Sistem PLC menggunakan prinsip pemodulan yang memiliki beberapa keuntungan, seperti komponen-komponennya dapat ditambah, dikurangi ataupun dirancang ulang untuk mendapatkan sistem yang lebih *fleksibel*.

Sistem PLC memiliki tiga komponen utama yaitu unit prosesor, bagian masukan/keluaran, dan *device pemrograman*. Diagram kerja tiga komponen utama di atas, akan dijelaskan lebih rinci dengan gambar diagram blok sistem PLC seperti terdapat pada Gambar 20.

Urutan kerja dari gambar diagram blok di atas dimulai dari *device* masukan yang akan memberikan sinyal pada modul masukan. Sinyal tersebut diteruskan ke prosesor dan akan diolah sesuai dengan

program yang dibuat. Sinyal dari prosesor kemudian diberikan ke modul keluaran untuk mengaktifkan *device* keluaran.



Gambar 20. Diagram Blok PLC

3.11. Ladder Logic

Ladder logic adalah bahasa programmeran dengan bahasa grafik atau bahasa yang digambar secara grafik. Diagram ini menyerupai diagram dasar yang digunakan logika kendali sistem kontrol panel dimana ketentuan instruksi terdiri dari koil-koil, NO, NC dan dalam bentuk penyimbolan. Programmeran tersebut akan memudahkan programmer dalam mentransisikan logika pengendalian khususnya bagi programmer yang memahami logika pengendalian sistem kontrol panel. Simbol-simbol tersebut tidak dapat dipresentasikan sebagai komponen, tetapi dalam programmerannya simbol-simbol tersebut dipresentasikan sebagai fungsi komponen sebenarnya.

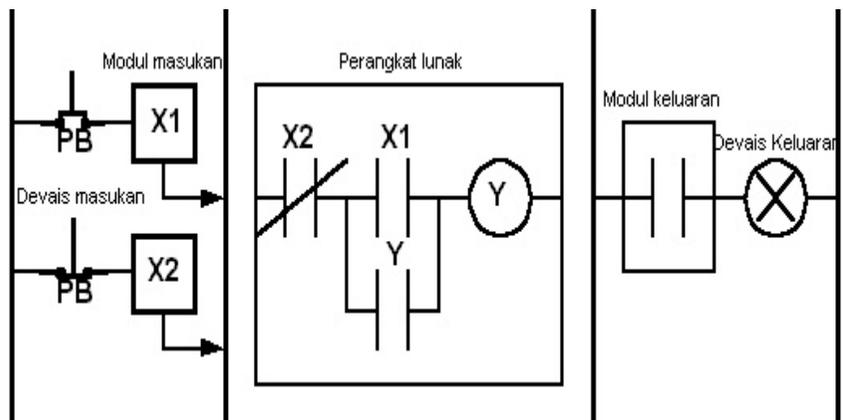
3.12. Hubungan Input/Output (I/O) dengan Perangkat Lunak

Pada saat pemrogram (*programmer*) bekerja dengan bahasa *ladder logic*, *programmer* harus mengerti hubungan I/O dengan perangkat lunak. Untuk memudahkan pemahamannya, titik masukan modul masukan dapat dianggap sebagai *koil relay* yang masing-masing memiliki alamat tertentu. *koil relay* masukan berada di luar perangkat sehingga tidak dapat tergambar di perangkat lunak dan hanya memiliki kontak-kontak pada perangkat lunak. Banyaknya titik-titik keluaran terletak di modul keluaran. Untuk lebih mempermudah pemahaman mengenai hubungan I/O dengan perangkat lunak

Gambar 21 memperlihatkan gambar hubungan antara I/O dengan perangkat lunak.

Gambar 21 memperlihatkan bahwa apabila *push button* 1 ditekan maka unit input X1 menjadi ON. Sesuai dengan prinsip pemahaman bahwa titik masukan sebagai *coil relay* yang mempunyai kontak di perangkat lunak, sehingga jika keadaan ON maka sinyal mengalir menuju modul masukan (dengan anggapan pemahaman bahwa terdapat coil) hal tersebut mengakibatkan kontak dari unit input di dalam perangkat lunak akan bekerja. Peristiwa itu tersebut mengakibatkan coil keluaran perangkat lunak menerima sinyal tersebut sehingga unit *output* sebagai kontak coil akan bekerja.

Apabila lampu indikator sebagai *device* keluaran, kejadian tersebut mengakibatkan lampu menyala. Karena sebagai *device* masukan berupa *push button* 1 ON saat ditekan saja (NO) maka untuk membuat lampu itu menyala terus, coil keluaran perangkat lunak memiliki *internal relay* yang dapat digunakan sebagai pengunci (*holding*). Sinyal selanjutnya mengalir melalui *holding relay* tersebut dan lampu akan menyala terus dan akan mati apabila *pushbutton* 2 ditekan karena terputusnya tegangan dalam hal ini karena *pushbutton* 2 sebagai NC.



Gambar 21. Hubungan antara I/O dengan perangkat lunak.

3.13. Processor

Prosesor adalah bagian pemroses sistem PLC yang membuat keputusan logika. Keputusan yang telah dibuat berdasarkan program tersimpan dalam memori. Prosesor adalah bagian dari *Central Processing Unit* (CPU) dari PLC yang menerima, menganalisa, memproses dan memberikan informasi ke modul keluaran. Di dalam CPU PLC dapat dibayangkan seperti sekumpulan ribuan relay. Hal

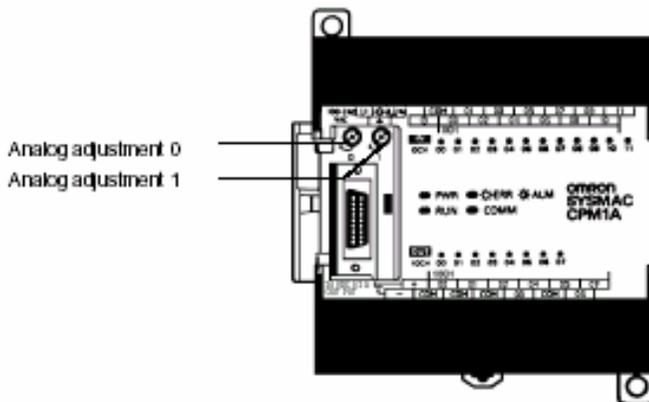
tersebut bukan berarti di dalamnya terdapat banyak relay dalam ukuran yang sangat kecil tetapi berisi rangkaian elektronika digital yang dapat sebagai kontak NO dan NC relay.

Memori berfungsi sebagai tempat dimana informasi tersebut disimpan. Ada bermacam-macam jenis serpih memori dalam bentuk *Integrated Circuit* (IC). Masing-masing jenis memori memiliki keuntungan dan kerugian dan dipilih untuk spesifikasi yang terbaik untuk aplikasinya.

Salah satu jenis memori yang digunakan dalam CPU PLC adalah *Random Access Memory* (RAM). Kerugian jenis memori tersebut adalah diperlukannya catu daya untuk menjaga agar memory tetap bekerja. Pada aplikasi PLC diperlukan catu daya cadangan yang digunakan untuk menjaga agar isi dari memori tidak hilang apabila tiba-tiba catu daya hilang. RAM digunakan untuk keperluan memori karena RAM mudah diubah dengan cepat ketika dibandingkan dengan jenis memori yang lain. RAM disebut juga sebagai memori baca/tulis, karena RAM dapat dibaca dan ditulis data untuk disimpan di RAM.

Read Only Memory (ROM) adalah jenis memori yang semi permanen dan tidak dapat diubah dengan pengubah program. Memori tersebut hanya digunakan untuk membaca saja dan jenis memori tersebut tidak memerlukan catu daya cadangan karena isi memori tidak akan hilang meskipun catu daya terputus

Programmable Read Only Memory (PROM) adalah jenis lain dari memori yang bekerja hampir menyerupai ROM, dengan satu pengecualian yaitu bisa di program. PROM di rancang untuk diisi dengan program yang terprogram. Apabila data dapat diubah, maka dapat diadakan programmeran. Programmeran ulang dari PROM membutuhkan perlengkapan khusus yaitu *PROM Programmer* dimana PLC sendiri tidak dapat melakukannya. Gambar 22. memperlihatkan contoh CPU PLC yang menggunakan sistem RAM.



Gambar 22. CPU PLC (OMRON)

3.14 Data dan Memory PLC

3.14.1 Aturan dasar penulisan memori PLC adalah :

- *Word* atau *channel* yang terdiri dari 16 bit, ditulis **XXX**
- *Bit* atau *contact* yang terdiri dari 1 bit, ditulis **XXXXXX**, dua angka yang paling belakang menunjukkan nomor *contact* dan sisa angka yang depan menunjukkan nomer *channel*.

3.14.2 Memori PLC

3.14.2.1 *Internal Relay*

Internal relay (IR) mempunyai pembagian fungsi seperti IR *input*, IR *output* dan juga IR *work area* (untuk pengolahan data pada program). IR *input* dan IR *output* adalah IR yang berhubungan dengan terminal *input* dan *output* pada PLC. Sedangkan IR *work area* tidak dihubungkan ke terminal PLC, akan tetapi berada dalam *internal memory* PLC dan fungsinya untuk pengolahan logika program. Terdapat juga IR yang fungsinya untuk *SYSMAC BUS area*, *Special I/O Unit area*, *Optical I/O unit area*, dan *Group 2 High density I/O unit area*.

3.14.2.2 *Special Relay*

Special relay (SR) merupakan *relay* yang menghubungkan fungsi-fungsi khusus seperti *flag* (misalnya: instruksi penjumlahan terdapat kelebihan digit pada hasilnya [*carry flag*]), kontrol bit PLC, informasi kondisi PLC, dan *system clock* (pulsa).

3.14.2.3 *Auxiliary Relay (AR)*

Auxiliary relay terdiri dari *flags* dan *bit* untuk tujuan khusus. Dapat menunjukkan kondisi PLC yang disebabkan oleh kegagalan sumber tegangan, kondisi *special I/O*, kondisi *input/output* unit, kondisi CPU PLC, memori PLC dan lain-lain.

3.14.2.4 *Holding Relay*

Holding relay (HR) dapat difungsikan untuk menyimpan data (*bit-bit* penting) karena tidak hilang walaupun sumber tegangan PLC mati.

3.14.2.5 *Link Relay*

Link relay (LR) digunakan untuk *data link* pada *PLC link system*. *Link system* digunakan untuk tukar-menukar informasi antar dua PLC atau lebih dalam satu sistem kendali yang saling berhubungan satu dengan yang lainnya dengan menggunakan PLC minimum dua unit.

3.14.2.6 Temporary Relay

Temporary relay (TR) berfungsi untuk menyimpan sementara kondisi logika program pada *ladder diagram* yang mempunyai titik percabangan khusus.

3.14.2.7 Timer/Counter

Timer/counter (T/C) untuk mendefinisikan suatu waktu tunda /*time delay* (*timer*) ataupun untuk menghitung (*counter*). Untuk timer mempunyai orde 100 ms, ada yang mempunyai orde 10 ms yaitu TIMH(15). Untuk TIM 000 sampai dengan TIM 015 dapat dioperasikan secara *interrupt* untuk mendapatkan waktu yang lebih presisi.

3.14.2.8 Data Memory

Data memory (DM) berfungsi untuk menyimpan data-data program karena isi DM tidak akan hilang (*reset*) walaupun sumber tegangan PLC mati. Macam-macam DM adalah sebagai berikut:

- > DM *read/write*
 - Pada DM *read/write* data-data program dapat dihapus dan ditulis oleh program yang dibuat, sehingga sangat berguna untuk manipulasi data program.
- > DM *special I/O unit*
 - DM *special I/O* berfungsi untuk menyimpan dan mengolah hasil dari *special I/O unit*, mengatur dan mendefinisikan sistem kerja *special I/O unit*.
- > DM *history Log*
 - Pada DM *history log* disimpan informasi-informasi penting pada saat PLC terjadi kegagalan sistem operasionalnya. Pesan-pesan kesalahan system PLC yang di simpan berupa kode-kode angka tertentu.
- > DM *link test area*
 - DM *link test area* berfungsi untuk menyimpan informasi-informasi yang menunjukkan status dari *system link* PLC.
- > DM *setup*

DM *setup* berfungsi untuk kondisi *default* (kondisi kerja saat PLC aktif). Pada DM inilah kemampuan kerja suatu PLC didefinisikan untuk pertama kalinya sebelum PLC tersebut diprogram dan dioperasikan pada suatu sistem kontrol. Tentu saja setup PLC tersebut disesuaikan dengan sistem kontrol yang bersangkutan.

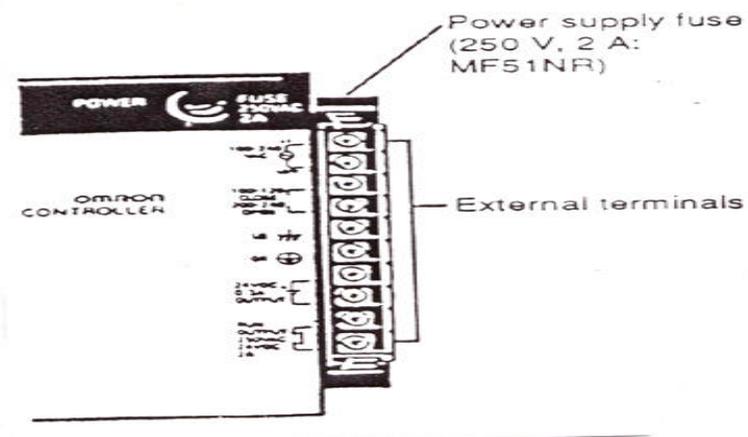
3.14.2.9 Upper Memory

Upper memory (UM) berfungsi untuk menyimpan dan menjalankan program. Kapasitas tergantung dari pada masing-masing tipe PLC yang dipakai.

- ⇒ Semua memori (selain DM dan UM) dapat dibayangkan sebagai *relay* yang mempunyai koil, kontak NO dan NC. *Timer dan Counter* juga dapat dibayangkan seperti pada umumnya dan mempunyai kontak NO dan NC.
- ⇒ DM tidak mempunyai kontak, hanya ada *channel/word* saja. DM dapat difungsikan untuk menyimpan data-data penting yang tidak boleh hilang waktu sumber tegangan mati atau memanipulasi program.
- ⇒ Memori yang sifatnya dapat menyimpan data program jika listrik mati adalah DM dan HR, sedangkan memori yang lainnya akan hilang.
- ⇒ Programmeran PLC ada dua macam yaitu dengan diagram *ladder* dan bahasa *mnemonic*. Programmeran biasanya membuat diagram *ladder* terlebih dahulu dan kemudian baru menterjemahkannya dalam bahasa *mnemonic*, atau bisa juga langsung digambar *ladder diagram* pada layar monitor.

3.14.2.10 Catu Daya (*Power Supply*)

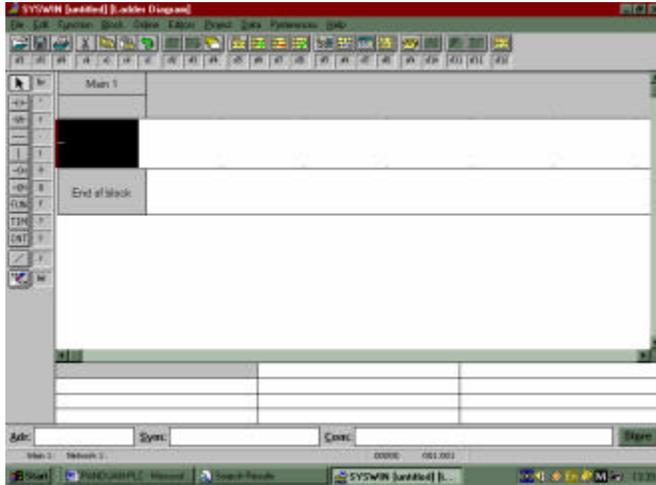
Sistem PLC memiliki dua macam catu daya dibedakan berdasarkan fungsi dan operasinya yaitu catu daya dalam dan catu daya luar. Catu daya dalam merupakan bagian dari unit PLC itu sendiri sedangkan catu daya luar yang memberikan catu daya kepada seluruh bagian dari sistem termasuk didalamnya untuk memberikan catu daya pada catu daya dalam dari PLC. Catu daya dalam mengaktifkan proses kerja PLC. Besarnya tegangan catu daya yang dipakai disesuaikan dengan karakteristik PLC. Bagian catu daya dalam PLC sama dengan bagian-bagian yang lain di mana terdapat langsung pada satu unit PLC atau terpisah dengan bagian yang lain dari atau sistem rak. Gambar catu daya yang sering digunakan dengan sistem rak diperlihatkan pada gambar 23.



Gambar 23. Catu Daya.

3.15. Programman PLC dasar Omron Dengan Komputer

Programman PLC dasar merk OMRON menggunakan bahasa program dari OMRON juga yaitu SYSWIN. Tampilan menu utama dari program SYSWIN dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 24. Tampilan menu utama program SYSWIN (OMRON)

Beberapa perintah program yang penting dan perlu dipahami adalah sebagai berikut:

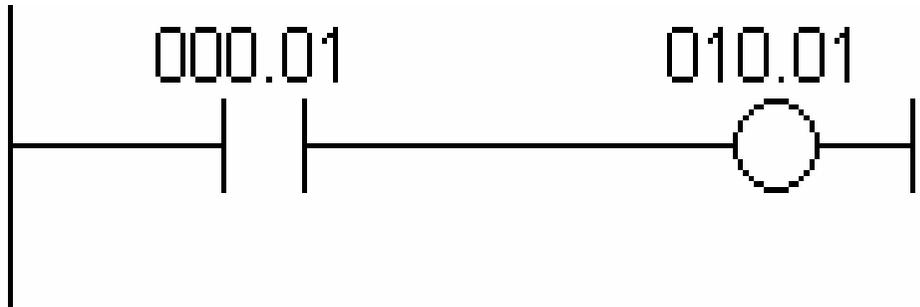
- > **Connect**
Connect merupakan perintah program untuk penyambungan antara komputer dengan PLC.
- > **Upload Program**
Merupakan perintah untuk melihat isi program dalam PLC
- > **Down Load Program**
Merupakan perintah untuk mentransfer program yang telah dibuat ke dalam PLC
- > **Run**
Perintah untuk menjalankan program yang telah di tranfer ke PLC
- > **Stop**
Perintah untuk menghentikan program yang sedang dijalankan di PLC
- > **Monitoring**
Perintah untuk melihat kondisi pada saat PLC bekerja

3.16 Cara pengoperasian SYSWIN

3.16.1 Pembuatan diagram ladder (diagram tangga)

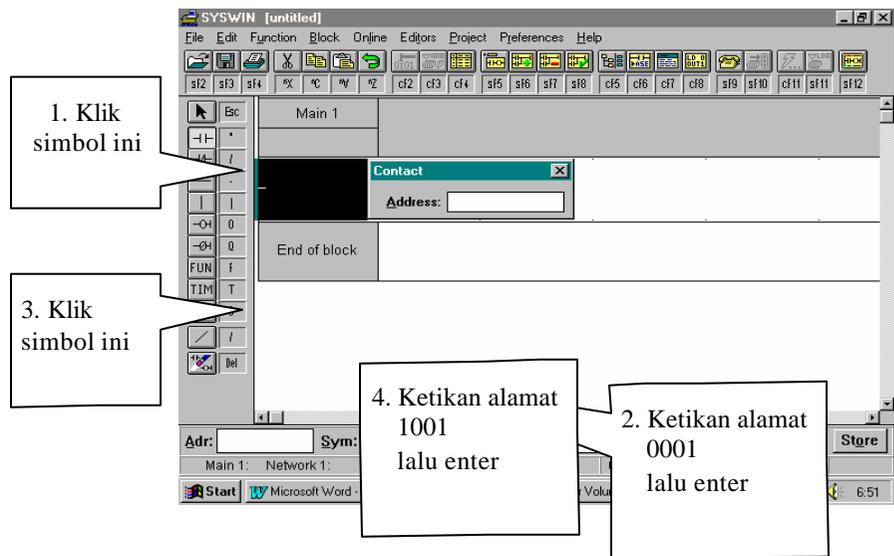
Pembuatan diagram ladder dapat dilakukan dengan cara klik kiri mouse pada menu perintah sesuai dengan yang dikehendaki

kemudian memindahkan mouse ke layar tampilan yang dituju. Langkah selanjutnya memberikan alamat yang dikehendaki pada perintah tersebut. Sebagai contoh membuat diagram ladder berikut:



Gambar 25. Tampilan Ladder Diagram

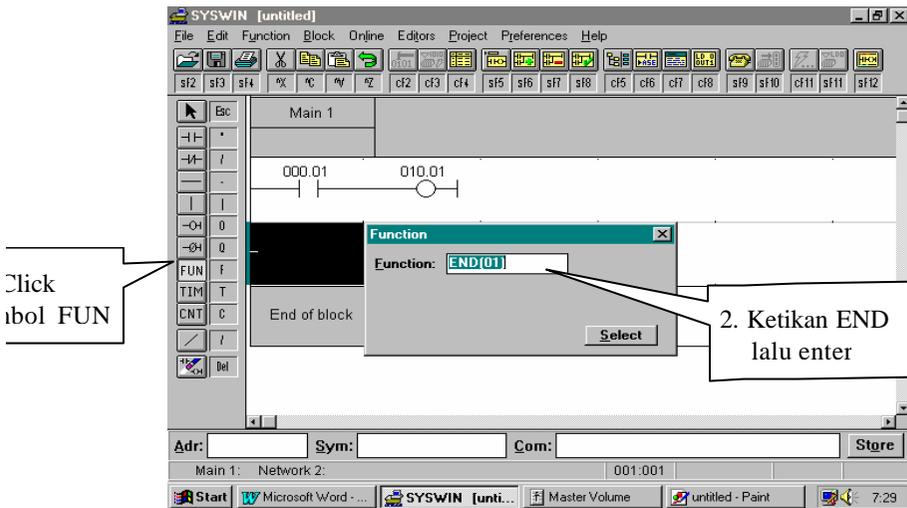
Langkah sbb:



Gambar 26. Pembuatan diagram ladder

1. Untuk membuat ladder baru lagi di bawahnya maka posisikan mouse pad **End of blok** kemudian klik dua kali maka posisi **End of blok** akan turun dan kita dapat menggunakannya baris kosong tersebut untuk membuat diagram ladder baru.

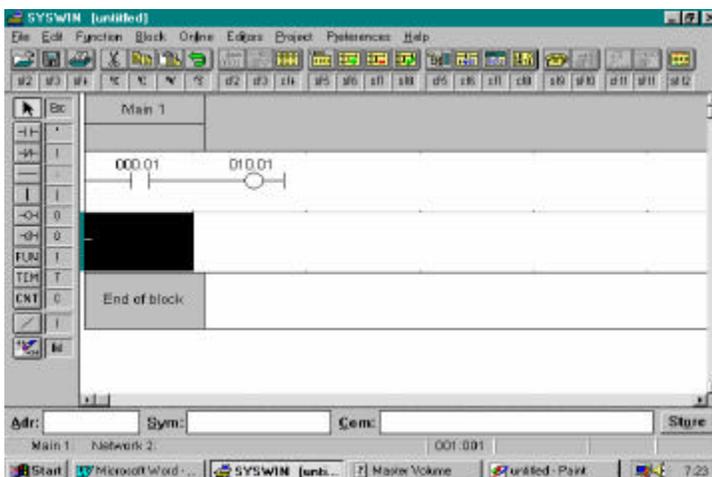
- Untuk mengakhiri program maka harus diakhiri dengan perintah **END** sebelum program tersebut dijalankan caranya sebagai berikut:



Gambar 27. Akhir dari diagram tangga menggunakan END

Setelah sebuah program diagram ladder dibuat kemudian untuk menjalankannya atau memasukkannya ke dalam PLC harus melewati langkah sebagai berikut:

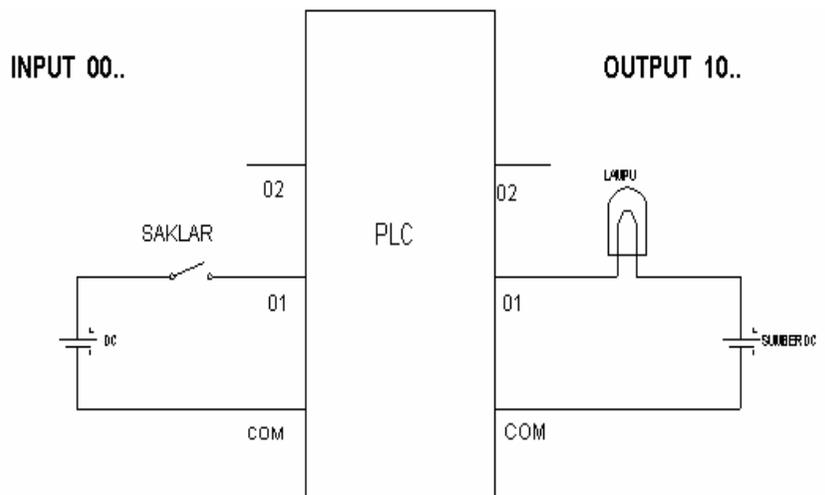
- Pastikan PLC sudah tersambung dan ter-conect dengan PLC
- Sorot menu **Online**
- Pilih perintah **Download Program** lalu enter
- Pada menu **Online** pilih **Mode**



Gambar 28. Akhir dari diagram tangga menggunakan END

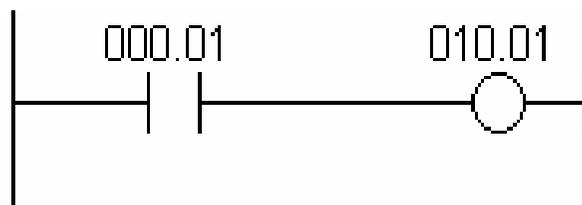
5. RUN untuk menjalankan program dalam PLC
6. STOP untuk menghentikan program
7. Untuk keperluan monitoring jalannya program dapat dipilih pada menu *Online* yaitu *Monitoring*

3.16.2 Cara Penyambungan Dan Logika Laddernya



Gambar 29. Penyambungan perangkat *Input*, *Output*, PLC, Catu daya

Pada gambar di atas apabila dibuat program dengan menggunakan diagram ladder sebagai berikut :

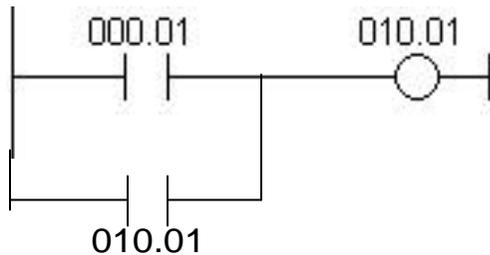


Gambar 30. Ladder diagram

Maka kerja dari rangkaian tersebut adalah:

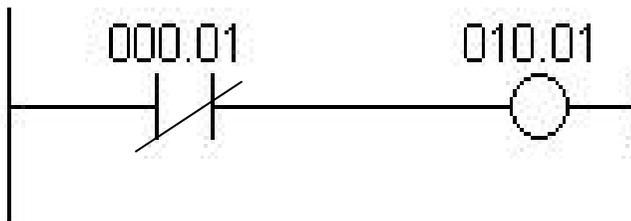
1. Jika input saklar **ditekan** maka output berupa lampu akan **menyala**
2. Tetapi jika sakelar **dilepas** maka lampu juga akan **mati**

Apabila dikehendaki lampu tetap menyala meskipun sakelar hanya sekali tekan maka perlu ditambahi dengan pengunci sebagai berikut:



Gambar 31. Ladder diagram dengan pengunci.

Kebalikan dari kerja rangkaian di atas (Gambar 31) apabila dibuat program dengan menggunakan diagram ladder sebagai berikut :

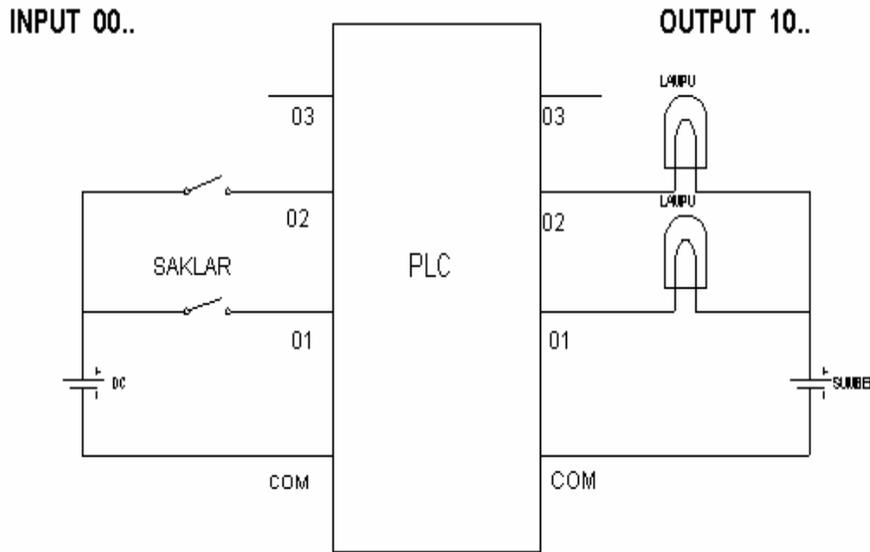


Gambar 32. Ladder diagram kebalikan dari kerja rangkaian di atas

Maka kerja dari rangkaian tersebut adalah:

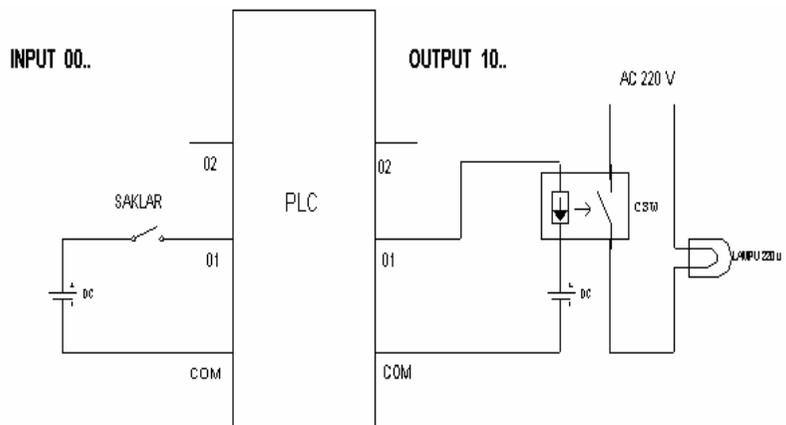
1. Jika input saklar **tidak ditekan** maka output berupa lampu akan **menyala**
2. Jika input saklar **ditekan** maka output berupa lampu akan **mati**

Untuk penyambungan yang lebih dari satu *channel* maka cara penyambungan adalah sebagai berikut:



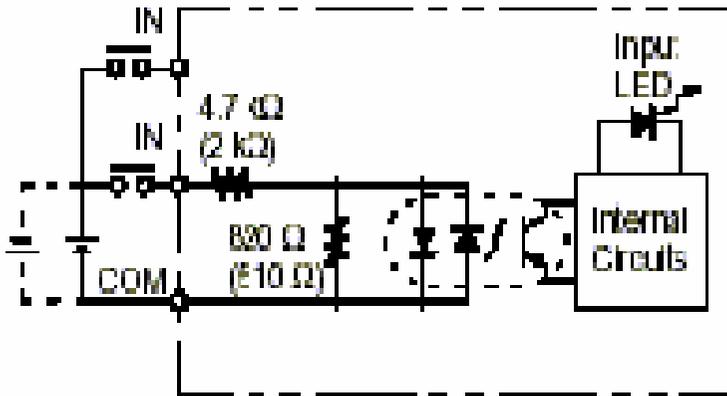
Gambar 33. Cara penyambungan perangkat *Input* dan *Output* lebih dari satu *channel*.

Oleh karena keterbatasan PLC dimana spesifikasi dari masukannya dan keluarannya adalah dengan tegangan dan arus yang kecil maka cara penyambungan dari peralatan keluarannya jika menggunakan lampu untuk tegangan dan arus tinggi adalah menggunakan peralatan *relay* seperti gambar di bawah ini. Untuk arus dan tegangan yang lebih besar dapat menggunakan *Magnetic Contactor*. Tegangan yang disambungkan ke *relay* ataupun *Magnetic Contactor* disesuaikan dengan tegangan dari *relay* atau *Magnetic Contactor* tersebut.



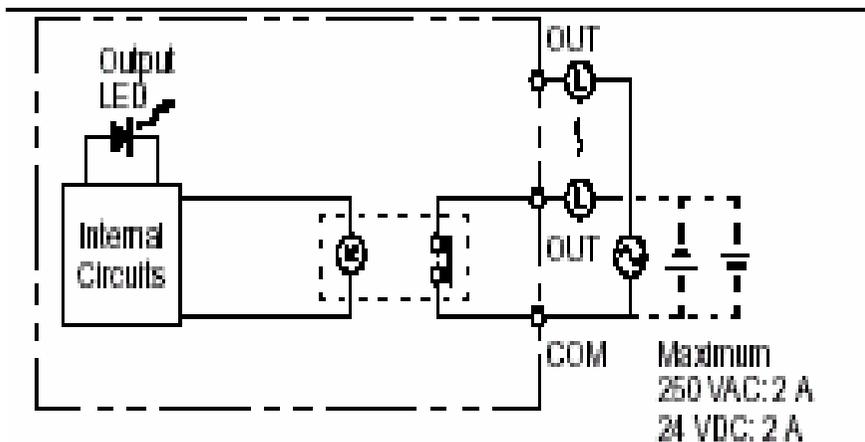
Gambar 34. Penambahan *relay* untuk memperbesar kemampuan arus .

Rangkaian Input dan Output di dalam Unit CPU PLC OMRON CPM1A-XXCDR dapat dilihat pada Gambar 35 dan Gambar 36 di bawah ini.



Note Figures in parentheses are for IN0000 to IN0002.

Gambar 35. Rangkaian Input Unit CPU PLC OMRON CPM1A-XXCDR

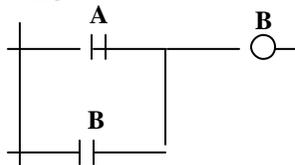


Gambar 36. Rangkaian Output dalam Unit CPU PLC OMRON CPM1A-XXCDR. (351352 modul pelatihan PLC OMRON)

3.17 Penggunaan Fungsi Bit Kontrol

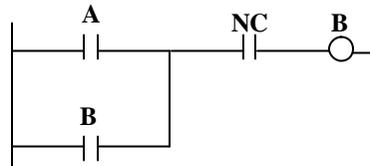
3.17.1 LATCHING / SELF HOLDING

Fungsi ini berfungsi sebagai penahan dirinya sendiri pada suatu rangkaian ladder PLC.



Gambar 37. Rangkaian latching

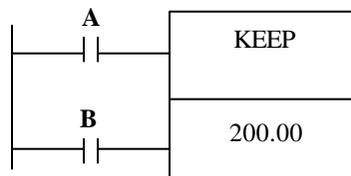
Pada gambar diagram ladder di atas bisa kita lihat, antar *output* B baris pertama dengan input B pada baris kedua memiliki alamat yang sama yaitu B, yang berarti bahwa bila ada tegangan sekejap dari rangkaian di atas maka *output* akan tetap ON. Sehingga cara mematakannya (OFF) yaitu dengan memberikan input berupa ladder NC (*normally close*), seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 38. Diagram ladder latching

3.17.2 KEEP

Fungsi *keep* sama seperti pada fungsi *latching* hanya saja lebih sederhana dalam pembuatannya karena telah memiliki tanda sendiri pada pemrogramannya seperti pada SYSWIN atau pun SYSMAC.



Gambar 39. Tanda KEEP

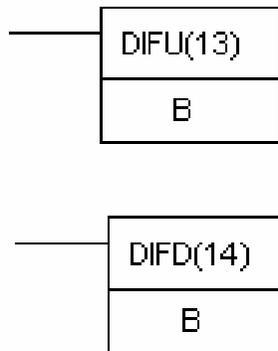
Secara umum fungsi *keep* memiliki aturan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 40. Aturan KEEP

Dengan S sebagai set, yang berfungsi sebagai pemicu adanya KEEP. R sebagai reset yaitu untuk mengembalikan ke keadaan semula dan B atau *bit* yaitu memberikan *output* berupa *latching* atau mempertahankan dirinya sendiri.

3.17.3 DIFU dan DIFD

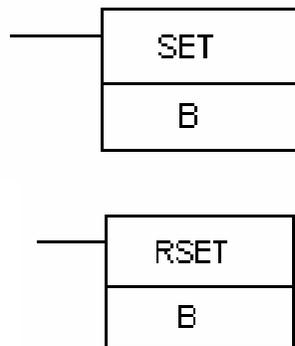


Gambar 41. DIFU dan DIFD

DIFU atau *Differentia Up* dan DIFD (*Differentia Down*) digunakan untuk menciptakan bit ON pada satu siklus. Perbedaannya terletak pada aktif tinggi (up) dan aktif rendah (down).

3.17.4 SET dan RESET

Penggunaan set dan reset hampir mirip dengan *latching* tetapi biasanya digunakan pada aplikasi yang panjang sehingga akan memudahkan dalam pembuatan program.



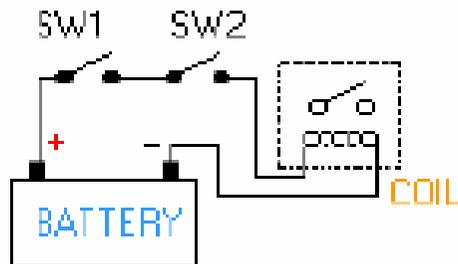
Gambar 42. SET dan RESET

Fungsi set memerintahkan agar *output* selalu dalam keadaan ON. Berbeda dengan Reset, memerintahkan agar *output* dalam keadaan OFF.

3.18 Contoh Aplikasi Dan Pembuatan Diagram Ladder Menggunakan Syswin

3.18.1 Aktivasi Koil

Sekarang akan kita bandingkan diagram ladder di atas dengan menggunakan aplikasi sirkuit di bawah ini.



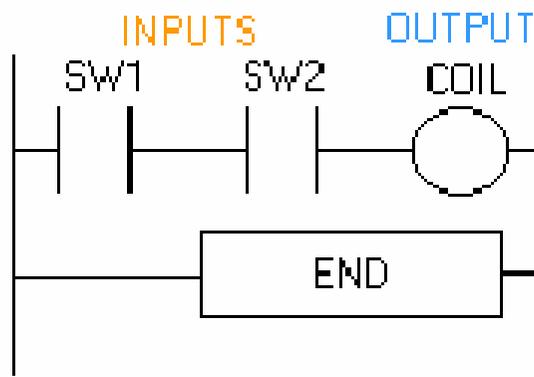
Gambar 43. Rangkaian *switch relay*

Keterangan :

SW1 = Switch 1

SW2 = Switch 2

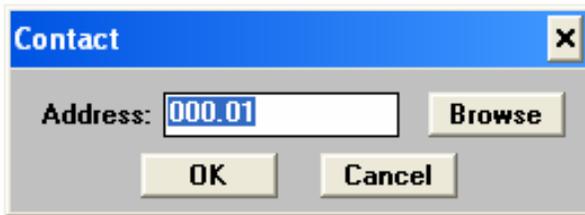
Pada gambar sirkuit di atas, koil akan menjadi aktif bila terminal + (*positif*) dan terminal - (*negative*) pada baterai terhubung. Kita dapat mensimulasikan atau mentransfer ke dalam diagram ladder. Pada gambar di atas terdiri dari dua *input* dan satu *output*. Input terdiri dari dua *switch* yaitu *switch 1* dan *switch 2* sedangkan *output* adalah koil.



Gambar 44. Diagram ladder aplikasi koil

Pembuatan diagram ladder pada *software Syswin*

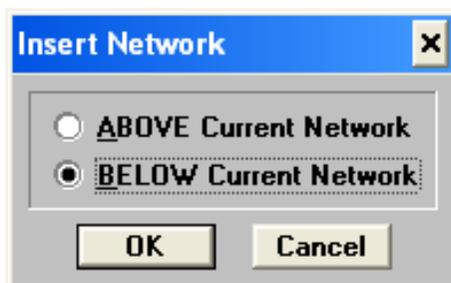
1. klik gambar *open contact* atau  pada sisi kiri yaitu *toolbar* simbol.
2. tempatkan pada work area, kemudian muncul *form dialog* untuk pengisian *address* / alamat



3. isikan alamat untuk *switch 1* (missal : 000.01)
4. klik kembali  pada *toolbar symbol* dan masukan alamat / *address* yang berbeda dengan *address switch 1* (missal 000.02)
5. Klik *symbol*  atau *open output* pada *toolbar symbol*
6. Tempatkan pada area kerja, sehingga akan muncul *dialog form*

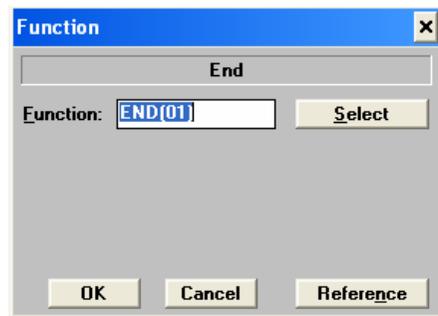


7. Isikan alamat *output*, missal 000.01, dan tekan OK
8. Klik Menu → *Block* → *Insert Block*, dan akan muncul *form dialog bok*

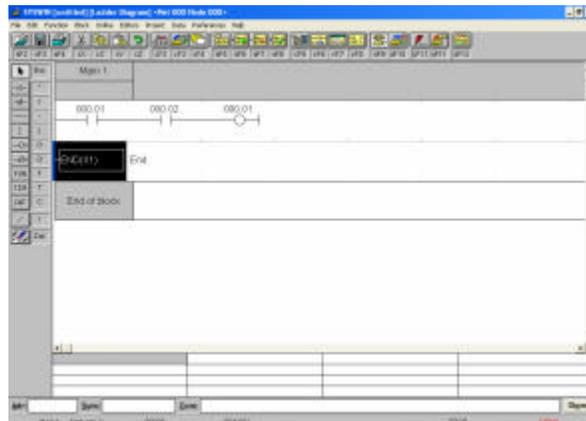


9. Pilih **BELOW Current Network**, Ok

10. Klik Menu → *Function* → *Basic instruction* → *Program Control Instruction*, akan muncul dialog.

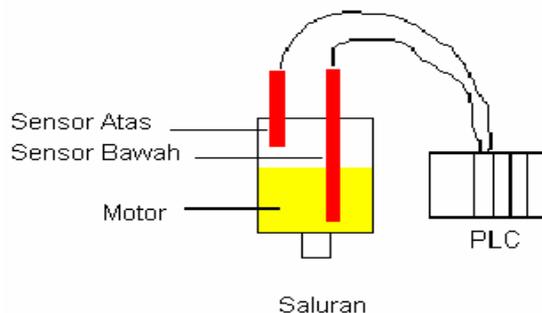


11. Pilih END(01) dan tekan Ok
Hasil program seperti dibawah ini



3.18.2 Minyak Pelumas

Aplikasi di bawah ini adalah mengontrol minyak pelumas yang dikeluarkan dalam sebuah tangki. Dengan menggunakan dua sensor yaitu sensor bagian atas dan sensor bagian bawah. Masing masing sensor bertugas untuk mengontrol posisi ketinggian minyak pelumas.



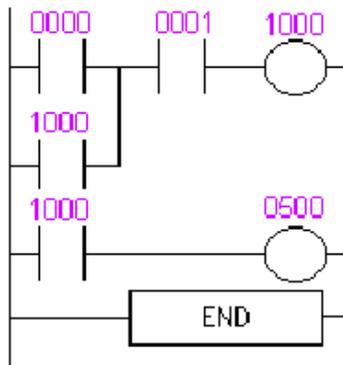
Gambar 45. Aplikasi PLC

Pada saat volume minyak pelumas menyentuh sensor bawah motor akan memompa minyak pelumas menuju tangki dan berhenti ketika minyak pelumas menyentuh sensor bagian atas. Maka dibutuhkan 3 *input* dan *output*. 2 berupa *input* dan 1 berupa *output*. Sensor dapat berupa sensor optik apabila tercelup dalam cairan atau minyak pelumas maka akan OFF disini motor akan OFF sehingga tidak memompa minyak. Apabila sensor tidak tercelup dalam minyak pelumas maka sensor akan ON dan menghidupkan motor dan memompa minyak pelumas ke dalam tangki. Sistem ini disebut dengan NC (*Normally closed*)

Tabel 5. Pengalamatan peralatan *input* dan *output*

Input	Address	Output	Address	Internal Relay
Sensor Bawah	000.00	Motor	010.00	010.00
Sensor Atas	000.01			

Setelah membagi alamat-alamat, *input* dan *output* maupun *internal relay*, kemudian kita membuatnya dalam diagram ladder.

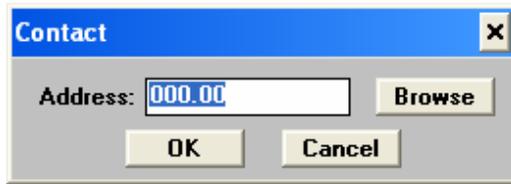


Gambar 46. Diagram ladder

Pembuatan diagram ladder pada *Software Syswin 3.4* sebagai berikut



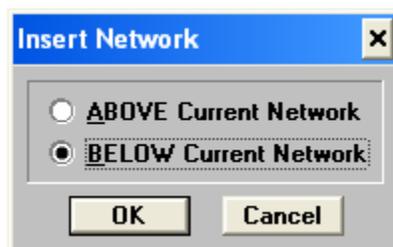
1. Klik gambar *open contact* pada sisi kiri yaitu *toolbar* simbol.
2. Tempatkan pada *work area*, kemudian muncul *form dialog* bok untuk pengisian *address* / alamat



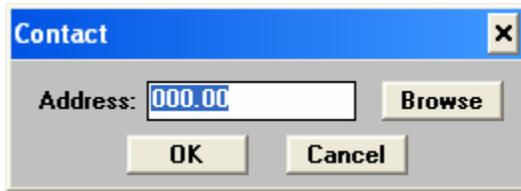
3. Isikan alamat untuk sensor atas (missal : 000.00)
4. Klik kembali  pada *toolbar symbol* dan Klik pada *work area* kemudian masukan alamat / adres yang berbeda dengan address sensor atas (missal 000.01)
5. Klik symbol  atau *open output* pada *toolbar symbol*
6. Tempatkan pada area kerja, sehingga akan muncul dialog form *dialog*.



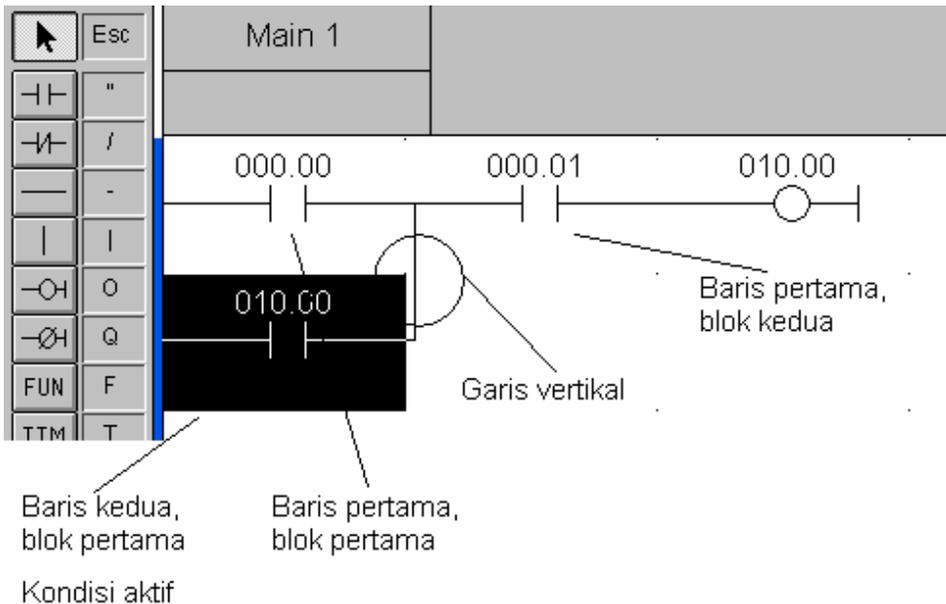
7. Isikan alamat *output*, missal 000.05, dan tekan OK (disini bukan sebagai *output* tetapi *internal relay*)
8. Klik Menu → *Block* → *Insert Block*, dan akan muncul *form dialog bok*



9. Pilih **BELOW Current Network**, Ok
10. Klik gambar *open contact*  pada sisi kiri yaitu *toolbar* simbol.
11. Tempatkan pada *work area*, kemudian muncul *form dialog bok* untuk pengisian *adres / alamat*

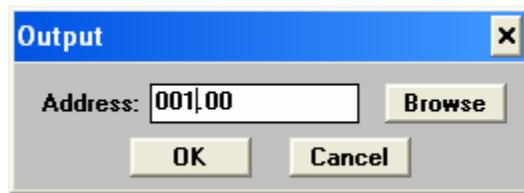


12. Isikan alamat yang sama dengna *internal relay* diatas untuk sensor atas yaitu 000.05
13. Klik pada *selection tools*,  kemudian Klik pada blok pertama yang kita buat (alamat 000.00), setelah terlihat gelap klik pada *vertical line* dan klik pada blok kedua baris pertama sehingga akan timbul garis penghubung ke bawah.



14. Klik  pada toolbar *symbol* dan Klik pada *work area* baris kedua blok pertama, kemudian masukan alamat / adres yang sama dengan internal relay, 001.00
15. Klik kembali  pada *toolbar symbol* dan Klik pada *work area* baris ketiga blok pertama, kemudian masukan alamat / adres yang sama dengan *internal relay*, 001.00 .
16. Klik *symbol*  atau *open output* pada *toolbar symbol* pada *work area* pada baris ketiga blok ketiga, dan berikan alamat

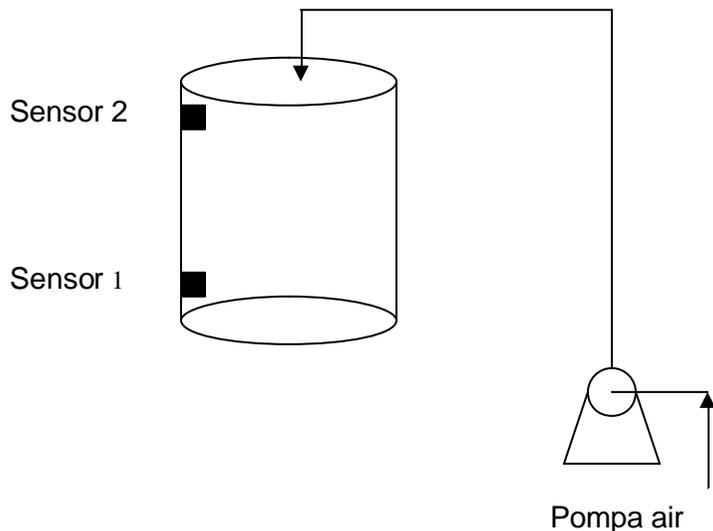
17. Tempatkan pada area kerja, sehingga akan muncul dialog form dialog.



18. Hubungkan blok pertama dan ketiga pada baris ketiga dengan garis horizontal  pada *toolbar symbol*.
19. masukan *Function END* pada bris terakhir.

3.18.3 Pengisian tangki air otomatis

Sistem pengisian tangki air secara otomatis dapat dijelaskan pada gambar di bawah ini. Awalnya tangki dalam keadaan kosong, pompa air hidup sehingga mulai mengisi air dari keadaan awal kosong. Saat air menyentuh sensor 2 pompa air masih hidup dan pengisian air terus berlanjut sampai sensor 1 . Ketika sensor 1 tercelup oleh air pompa berhenti sehingga volume air secara perlahan turun. Beberapa saat kemudian sensor air volume air terus menurun sehingga kini sensor 1 dalam keadaan bebas atau tidak tercelup air dan pompa masih terus hidup. Sampai ketinggian air menyentuh sensor 2 pompa kembali menyala dan terus berulang.



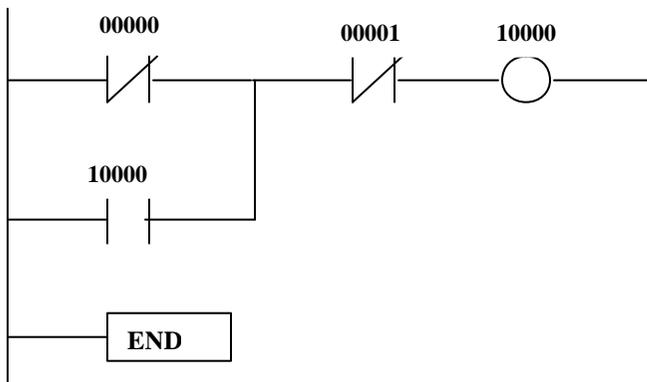
Gambar 47. Sistem kerja pengisian air otomatis

Langkah selanjutnya adalah membagi alamat *input* dan *output* pada *Programmable Logic Control* (PLC). Perlu diperhatikan bahwa sistem di atas memiliki *input dan output (i/o)* sebanyak tiga bagian dengan dua *input* dan satu *output*. Input terdiri dari sensor 1 dan sensor 2, sedangkan output berupa pompa air.

Tabel 6. Daftar alamat pada *input* dan *output*

Input	Address	Output	Address	Internal relay
Sensor 1	000.00	Pompa air	001.00	010.00
Sensor 2	000.01			

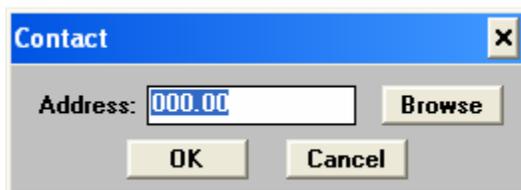
Setelah dibuat alamat pada *input* dan *output PLC* selanjutnya adalah membuat diagram ladder. Pada kasus di atas menggunakan alamat-alamat PLC jenis OMRON.



Gambar 48. Diagram ladder

Contoh pembuatan diagram ladder pada program computer jenis syswin 3.4

1. Klik gambar *closed contact*  pada sisi kiri yaitu *toolbar* simbol.
2. Tempatkan pada *work area*, kemudian muncul *form dialog box* untuk pengisian *address* / alamat

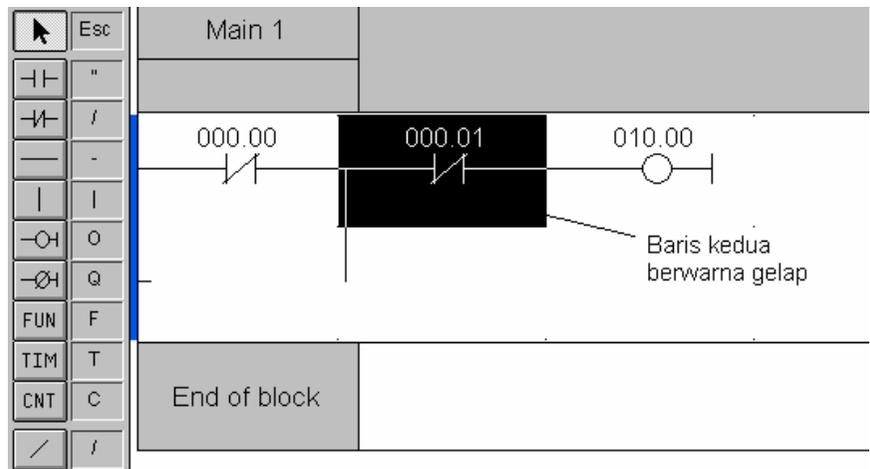


3. Isikan alamat untuk sensor atas

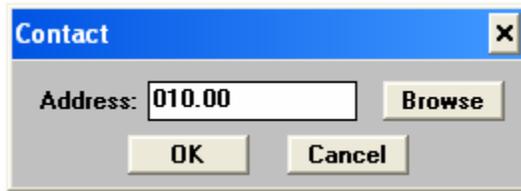
4. Klik kembali *closed contact*  pada *toolbar* simbol dan Klik pada *work area* samping ladder pertama, kemudian masukan alamat / *adres* yang berbeda dengan *address* sensor .
5. Klik *symbol*  atau *open output* pada *toolbar symbol* sebelah ladder kedua. Tempatkan pada area kerja, sehingga akan muncul form dialog.



6. Isikan alamat *output*, sesuai dengna ladder yang telah kita tentukan yaitu 010.00
7. Klik pada *selection tools*,  kemudian Klik pada blok kedua yang kita buat (alamat 000.01), setelah terlihat gelap klik pada *vertical line* dan klik pada blok kedua baris pertama sehingga akan timbul garis penghubung ke bawah.



8. Klik gambar *open contact*  pada sisi kiri yaitu *toolbar simbol*.
9. Tempatkan pada *work area* baris kedua blok pertama kemudian muncul form dialog bok untuk pengisian *adres* / alamat



10. Isikan alamat yang sama dengan *output* yaitu 01.00. *open contact* disini berfungsi sebagai *internal relay* sebagai proses *latching* atau *self holding*.
11. masukan *Function END* pada bris terakhir.

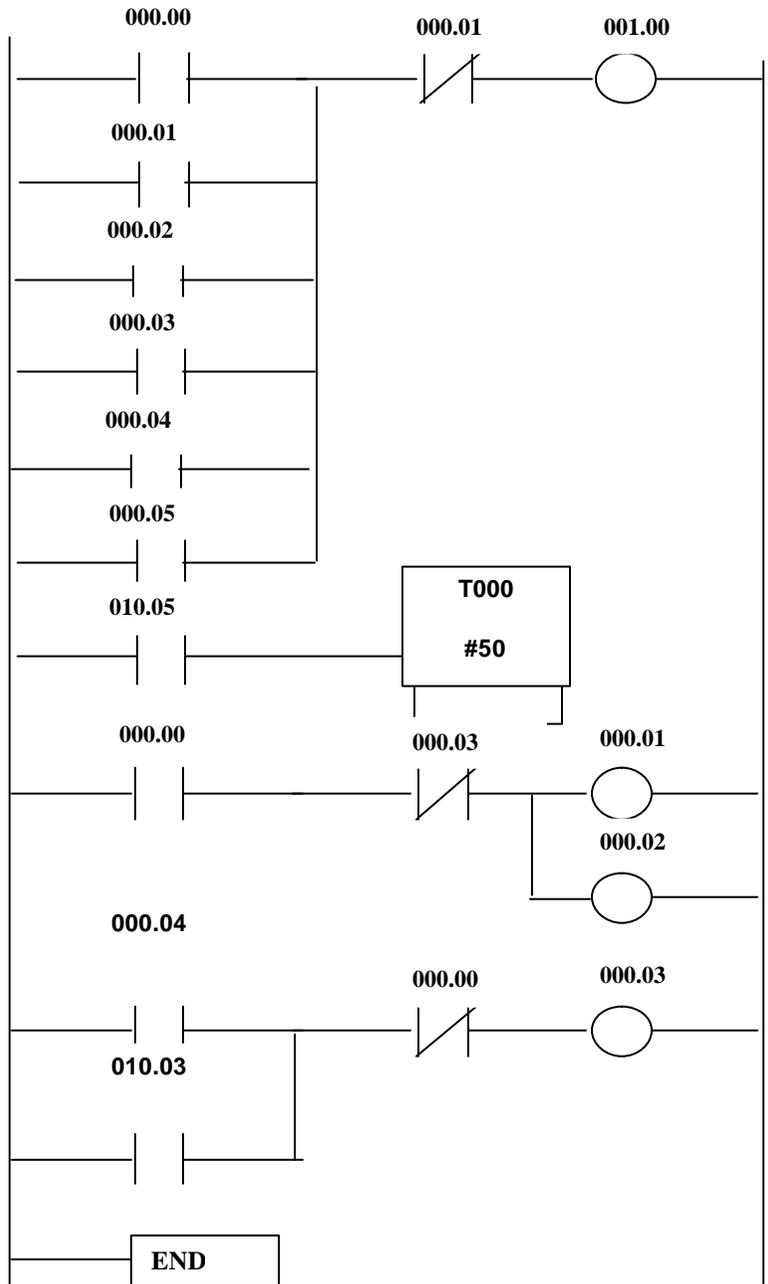
3.18.4 Alarm dan sistem penyalan lampu

Suatu pabrik tiap pukul 07.30 membunyikan alarm yang menandakan karyawan untuk masuk bekerja bersamaan dengan alarm yang berbunyi lampu dalam kantor dan lampu ruang kerja secara otomatis akan menyala dan lampu lingkungan perusahaan akan padam. Kemudian pada pukul 11.30 alarm berbunyi untuk waktu istirahat dan pukul 12.30 alarm berbunyi tanda masuk kembali. Alarm akan berbunyi lagi pada pukul 16.30 sebagai tanda jam bekerja telah berakhir. Lampu lingkungan perusahaan akan menyala pukul 17.30.

Table 7. Alamat *input* dan *output* PLC

Input	Alamat	Output	Alamat
Jam 07.30	000.00	Alarm	010.00
Jam 11.30	000.01	Lampu ruang kantor	010.01
Jam 12.30	000.02	Lampu ruang kerja	010.02
Jam 16.30	000.03	Lampu lingkungan	010.03
Jam 17.30	000.04		010.04

Pada tabel di atas kita menjadi mengerti alamat masing masing *input* dan *output* PLC. Alamat input di tentukan dengan waktu dan alamat output di hubungkan dengan lampu dan alarm. Pengaplikasian pada program syswin 3.4 dapat disesuaikan dengan contoh program syswin di atas.



Gambar 49. Diagram Ladder aplikasi sistem alarm

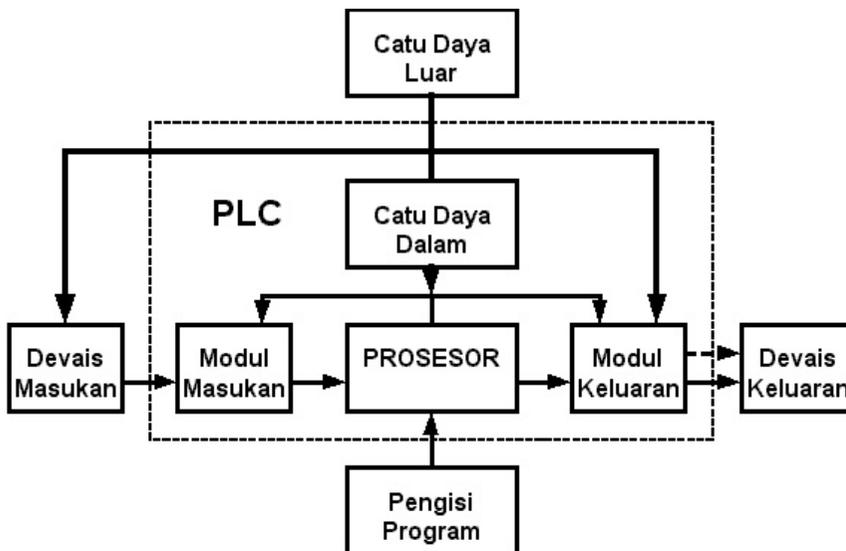
4. Rangkuman IX

Otomasi adalah mengubah penggerakan atau pelayanan dengan tangan menjadi penggerakan oleh tenaga asing (tanpa perantaraan tenaga manusia) secara otomatis, jadi otomatis menghemat tenaga manusia.

1. Programmable Logic Controllers (PLC)

Pada dasarnya PLC (*Programmable Logic Controllers*) merupakan sistem relay yang dikendalikan secara terprogram. PLC dilengkapi dengan *port* masukan (*inputport*) dan keluaran (*outputport*). PLC terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Dalam sebuah program tentunya mempunyai cara atau perintah-perintah khusus. Instruksi-instruksi dasar PLC adalah load dan load not, and dan not and, or dan not or, out dan out not, and load, or load, timer dan counter.

Cara kerja PLC dapat dilihat pada diagram berikut :



Device masukan merupakan perangkat keras yang digunakan untuk memberikan sinyal kepada modul masukan. Modul masukan adalah bagian dari sistem PLC yang berfungsi memproses sinyal dari *device* masukan kemudian memberikan sinyal tersebut ke prosesor. *Device* masukan program berfungsi sebagai sarana untuk memasukkan atau mengisikan program ke dalam prosesor PLC yang disebut dengan pengisi program (*program leader*). *Ladder logic* adalah bahasa program dengan bahasa grafik atau bahasa yang digambar

secara grafik. *Device* keluaran adalah komponen-komponen yang memerlukan sinyal untuk mengaktifkan suatu komponen. modul keluaran sebagai sakelar yang menyalurkan catu daya dari catu daya luar ke *device* keluaran.

5. Soal Formatif

- a. Sebutkan dan jelaskan instruksi-instruksi dasar pada PLC !
- b. Sebutkan perangkat-perangkat keras PLC dan jenis-jenis PLC berdasarkan IO yang dimiliki?
- c. Berikan contoh penggunaan sistem PLC selain contoh-contoh di atas. Gambar diagram leadernya dan jelaskan cara kerja sistem tersebut?

BAB X TEKNOLOGI ROBOT

1. Pengenalan Robot

Kemajuan sains dan teknologi dewasa ini telah dirasakan membuat kualitas hidup manusia semakin baik. Teknologi yang dapat berkembang biasanya teknologi yang dapat mempermudah kehidupan manusia. Dahulu orang bepergian dengan berjalan kaki, selanjutnya menggunakan hewan, dengan diciptakannya mobil, maka orang cukup dengan duduk dan mengendarai sesuai dengan keinginannya. Meningkatnya kebutuhan manusia telah berupaya berfikir bagaimana agar pekerjaan yang selama ini dikerjakan oleh manusia dapat digantikan oleh mesin yang dapat bekerja 24 jam, tidak mengenal jenuh, tidak menuntut gaji tinggi dan tidak akan demo menuntut kenaikan gaji/upah buruh.



Gambar 1. Robot siap menggantikan tenaga manusia

Fenomena tersebut semakin dirasakan oleh dunia industri yang mengandalkan pada tenaga kerja masal. Awalnya industri tertarik pada ongkos tenaga kerja yang murah. Tenaga kerja menjadi andalan bagi kelangsungan proses produksinya, selain tenaga kerja manusia tersedia dalam jumlah banyak juga industri tidak perlu membeli mesin-mesin yang harganya sangat mahal. Kenyataan dilapangan menunjukkan bahwa penggunaan tenaga kerja masal memiliki beberapa kelemahan, antara lain: a) memiliki keterbatasan yang manusiawi, seperti, lelah, penuh, kesehatan, emosi yang labil, dan sebagainya. Penggunaan tenaga kerja manusia juga memiliki resiko pemogokan masal, demonstrasi, dan menuntut upah besar. Tenaga kerja juga memiliki keterbatasan yang bersifat manusiawi seperti

istirahat yang cukup, pergi ke Toilet dan berbagai keperluan yang bersifat pribadi. Kelemahan tersebut akan berdampak pada kualitas dan kuantitas produk terganggu.

Belajar dari kelemahan-kelemahan di atas maka manusia terpacu untuk membuat mesin yang dapat menggantikan fungsi tenaga kerja manusia, seperti mengangkat, menggeser, mengelas dan lain-lain. Peralatan tersebut berkembang secara pesat, baik secara mekanik, elektrik, pneumatik hingga berkembang menjadi robot-robot industri.

Istilah robot berasal dari rusia, yaitu dari kata *robota* yang berarti tenaga kerja/buruh. Kemudian diawal abad ke 20 ilmuwan **Cekoslowakia, Karel Capek** (1890-1938) memperkenalkan istilah robot dengan membuat seperangkat mesin yang diberi nama *Rosum's Universal Robots (RUR)*. Menurut *National bureu of Standar* robot adalah Aplikasi robot sebagian besar pada bidang industri bertujuan untuk meningkatkan produktivitas produksi. Robot dapat digunakan secara rutin terus menerus tanpa merasakah kebosan atau digunakan pada lingkungan yang sangat berbahaya. Sebagai contoh dalam industri nuklir, robot harus digunakan karena radiasi nuklir sangat berbahaya bagi manusia. Robot digunakan pada industri perakitan, pengelasan, peleburan, pengecatan dan telah digunakan pada bidang militer sebagai peralatan penjinak bom, bidang kedokteran sebagai peralatan operasi otomatis. Di bidang sosial robot banyak membantu sebagai pengganti bagian tubuh yang mengalami kecacatan fisik.



Gambar 2. Penggunaan robot pada sebuah laboratorium

1.1 Istilah Robot

Sebagai pemahaman awal maka perlu diketahui beberapa istilah dasar dari robot. Sehingga untuk mempelajari bagian selanjutnya kita tidak akan menemukan kesulitan untuk mendefinisikan. Adapun beberapa istilah yang dimaksud antara lain:

- Robot : Peralatan yang dapat diprogram ulang, memiliki banyak fungsi yang didesain untuk memindahkan material, suku cadang (*part*), peralatan atau peralatan khusus
- Kontroler : Suatu peralatan yang bertugas sebagai penendali dari gerakan robot. Kontroler membentuk sistem kontrol yang akan menentukan *input* dan *output* suatu robot.
- Manipulator : Lengan yang memberikan gerakan robot untuk memutar, melipat, menjangkau objek. Gerakan ini disebut dengan derajat kebebasan robot atau jumlah sumbu yang ada pada robot. manipulator terdiri dari beberapa segmen dan sambungan (*joint*).
- Joint* : *Joint* atau sambungan merupakan hubungan antara lengan (*arm*) dengan lengan yang lain sehingga dipisahkan oleh sumbu (*axis*)
- Open loop* : Lup terbuka adalah suatu sistem kontrol yang tidak memiliki *feedback* atau umpan balik, sehingga suatu peralatan tidak dapat mengenali kesalahan sebagai pembandingan kerja selanjutnya. *Feedback* digunakan pada *close loop* (lup tertutup)

1.2 Komponen Dasar

Sistem robot memiliki tiga komponen dasar, yaitu : Manipulator, kontroler, dan Power (daya). *Efektor* sering ditemukan pada beberapa sistem robot, tetapi sifatnya tidak harus ada.

1.2.1 Manipulator

Manipulator memiliki dua bagian, yaitu bagian dasar dan bagian tambahan. Gambar 3 memberikan gambaran tentang bagian dasar dan bagian tambahan.



Gambar 3. Komponen dasar manipulator robot

Bagian dasar manipulator bisa kaku terpasang pada lantai area kerja ataupun terpasang pada rel. Rel berfungsi sebagai *path* atau alur sehingga memungkinkan robot untuk bergerak dari satu lokasi ke lokasi lainnya dalam satu area kerja. Bagian tambahan merupakan perluasan dari bagian dasar, bisa disebut juga lengan/*arm*. Bagian ujungnya terpasang efektor yang berfungsi untuk mengambil/mencekam material. Manipulator digerakkan oleh *actuator* atau disebut sistem *drive*. *Actuator* atau sistem *drive* menyebabkan gerakan yang bervariasi dari manipulator. *Actuator* bisa menggunakan elektrik, hidrolik ataupun pneumatik. Bagian *actuator* ini akan dijelaskan pada selanjutnya.

1.2.2 Kontroler

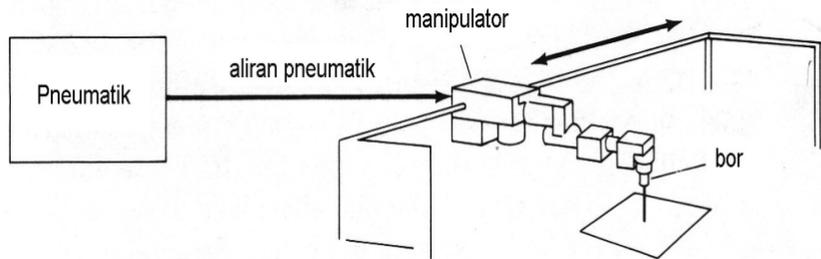
Kontroler merupakan jantung dari sistem robot sehingga keberadaanya sangat penting. Kontroler menyimpan informasi yang berkaitan dengan data-data robot, dalam hal ini data gerakan robot yang telah diprogram sebelumnya. Gambar 4. memberikan gambaran sebuah kontroler dan manipulator robot. Kontroler berfungsi untuk mengontrol pergerakan dari manipulator. Kontroler sendiri diatur oleh sebuah informasi atau program yang diisikan dengan menggunakan bahasa pemrograman tertentu. Informasi tersebut kemudian disimpan didalam memori. Data dalam memori dapat di keluarkan atau di edit sesuai dengan yang dibutuhkan. Dahulu kontroler dibuat dari drum mekanik yang bekerja *step by step* secara *sequential*. dan sangat sederhana. Dimasa sekarang kontroler menggunakan PLC (*programmable logic kontrol*) yang dapat bekerja dengan pergerakan yang sangat kompek dari sistem robot.



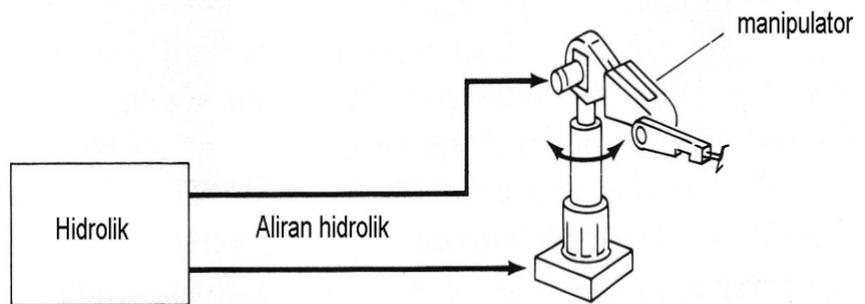
Gambar 4 Robot dan kontroler

1.2.3 Power Supply (Catu Daya)

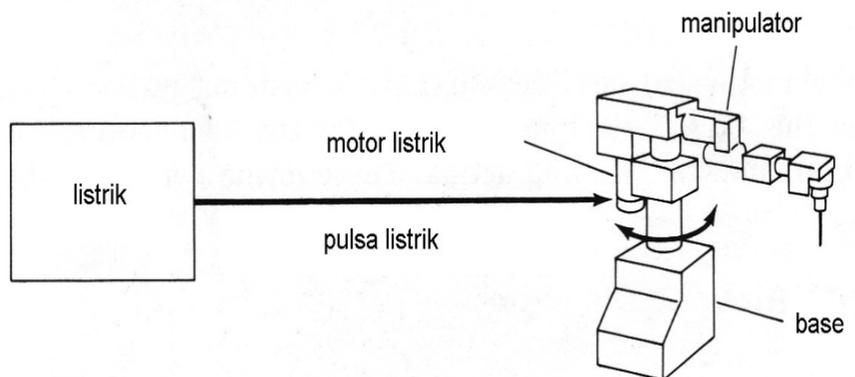
Power supply adalah sebuah unit yang menyediakan tenaga pada kontroler dan manipulator sehingga dapat bekerja. *Power supply* dalam suatu sistem robot dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian untuk kontroler dan bagian untuk manipulator. Bagian kontroler menggunakan elektrik sedangkan bagian manipulator bisa menggunakan elektrik, pneumatik, hidrolik ataupun ketiganya. Gambar 5a, 5b dan 5c memberikan keterangan tentang *power supply*.



Gambar 5a. Catu daya pneumatik



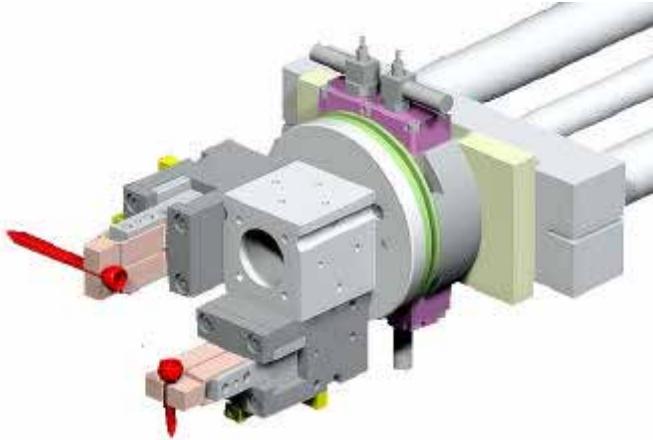
Gambar 5b. Catu daya hidrolik



Gambar 5c. Catu daya listrik

1.2.4 Efektor

Efektor dapat ditemukan hampir semua aplikasi robot, walaupun keadaannya bukan merupakan komponen dasar dari sistem robot. Efektor berfungsi sebagai bagian terakhir yang menghubungkan antara manipulator dengan objek yang akan dijadikan kerja dari robot. Sebagai contoh efektor dapat berupa peralatan las, penyemprot cat ataupun hanya berupa penjempit objek.

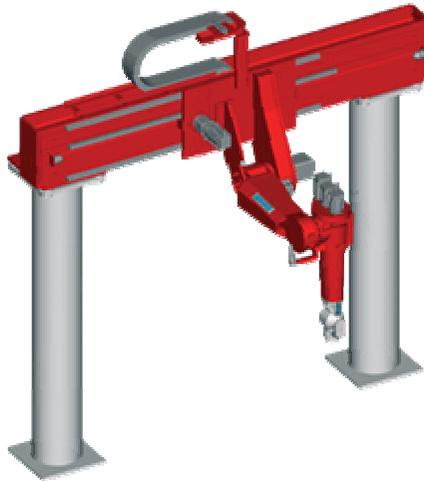


Gambar 6. Efektor robot

Efektor jika disamakan dengan manusia seperti jari-jari tangan yang dapat digerakan untuk memindah/mengangkat material ataupun peralatan yang dapat digunakan untuk mengelas, mengecat, menempa, mengisi botol, dan lain-lain sesuai dengan kebutuhan. Kerja efektor dapat berupa mekanik, elektrik, pneumataik (*grifer*), maupun hidrolik.

1.3 Gerakan Robot

Gerakan robot dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu gerakan *base travel* dan gerakan *axes kontrol*. Gerakan *base travel* dapat di aplikasikan ke dalam base manipulator yang kaku pada lantai ataupun bebas dalam alur (*path*). Secara sistem kontrol, *base travel* dapat dikategorikan kedalam *lup* terbuka sehingga tidak ada *feedback* dalam sistem. *Axes kontrol* menggunakan *feedback* sehingga gerakannya tergantung dari gerakan terakhir dan umpan balik sistem.



Gambar 7. Base manipulator jenis kaku

1.4 Tingkatan Teknologi

Robot memiliki tiga tingkatan/*level* teknologi, yaitu: Rendah (*low*) teknologi, medium teknologi dan teknologi tinggi (*high technology*). Masing-masing memiliki karakteristik sendiri yang sangat unik sehingga sangat jelas perbedaan antara ketiga *level* tersebut. Tingkatan teknologi robot dapat dibedakan dengan mengetahui karakteristik masing-masing robot, yaitu

a. Sumbu (*axes*)

Karakteristik pertama dari teknologi robot adalah seberapa banyak sumbu yang dapat ditemukan dalam sebuah robot. Sumbu ini akan menentukan derajat kebebasan atau kebebasan bergerak dari robot.

b. *Payload* (muatan)

Payload adalah kapasitas beban yang dapat dikerjakan oleh manipulator. Kapasitas berat diukur dari batas antara efektor dan manipulator. Semakin berat beban yang dapat dikerjakan oleh manipulator maka semakin tinggi teknologi robot.

c. **Cycle time (siklus waktu)**

Siklus waktu adalah waktu yang dibutuhkan oleh robot untuk bergerak dari lokasi satu ke lokasi lainnya. Semakin tinggi siklus waktu yang dimiliki robot maka semakin tinggi tingkat teknologi. Siklus waktu tergantung pada *payload* dan panjang dari lengan manipulator. Siklus waktu akan mempengaruhi kecepatan dari proses produksi suatu industri.

d. **Akurasi (ketelitian)**

Akurasi adalah posisi robot dalam melakukan kerja secara berulang kali. Apabila suatu robot melakukan kerja pertama dengan posisi pada bidang kartesian x, y dan z secara berulang kali. Kerja selanjutnya robot melakukan kerja dengan bidang kartesian x, y dan z yang sama pula. Sampai pada kerja yang ke 1000 robot mulai kehilangan akurasi 0.001 mm pada bidang kartesian x, yaitu $x-0.001$, y dan z.

e. **Aktuasi**

Aktuasi dibedakan menurut jenis penggerak yang digunakan oleh robot. Bisa berupa pneumatik, hidrolik atau elektrik. Aktuasi berkaitan dengan *payload*, semakin penggerak (*drive*) memiliki *payload* yang besar maka semakin tinggi teknologinya.

f. **Kontroler**

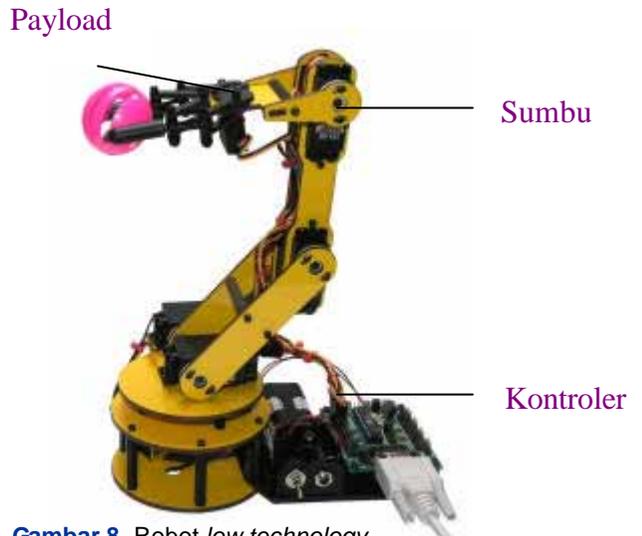
Dua hal yang penting dari kontroler adalah memori dan sistem kontrol. Semakin besar informasi yang dapat disimpan dalam memori maka semakin tinggi teknologi robot. Sedangkan sistem kontrol dapat dibedakan antara *loop* terbuka dan *loop* tertutup yang masing masing akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

1.4.1 **LowTeknologi**

Robot teknologi rendah (*low technology*) digunakan dalam lingkungan industri untuk pekerjaan yang tidak memiliki tingkat kerumitan yang tinggi, seperti pada *material handling* (penanganan material), operasi tekan, dan operasi perakitan. Robot ini memiliki hanya satu pekerjaan khusus secara terus menerus.

- **Axes** Robot hanya memiliki maksimal 4 sumbu gerakan dan bisaanya gerakan akhir dikontrol oleh mekanik bukan sensor yaitu bisa berupa *limit switch*. Sumbu gerakanya bisaanya naik dan turun.
- **Payload** Robot teknologi rendah memiliki kapasitas beban diantara 3 – 13 kg.
- **Akurasi** Berkisar antara 0.05 sampai 0.025 mm.
- **Aktuasi** dapat menggunakan 3 dari penggerak (pneumatik, hidrolik dan elektrik). Masing masing tergantung dari *payload* yang di kerjakan pada robot.

- **Kontroler** Menggunakan sistem kontrol terbuka (*open loop*) dan memiliki kapasitas memori yang kecil. *Open loop* tidak bisa mengendalikan kesalahan yang terjadi dalam lingkungan karena tidak memiliki umpan balik (*feedback*).



Gambar 8. Robot *low technology*

1.4.2 Teknologi Medium

Robot dari jenis ini memiliki fitur yang lebih canggih dari jenis sebelumnya. Memiliki lebih banyak sumbu pada manipulatornya dan memiliki area kerja yang luas sehingga jangkauan gerakannya menjadi lebih besar.

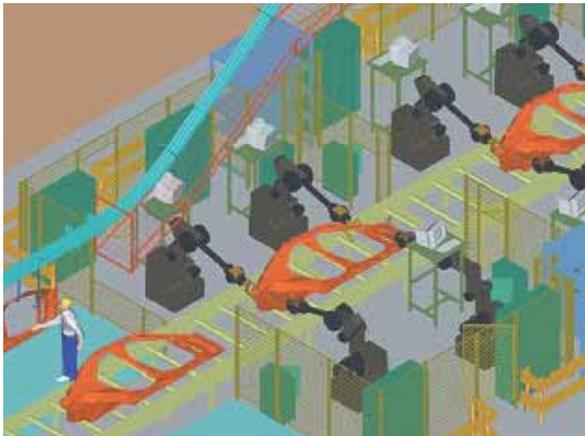
- **Sumbu** Robot memiliki 4 sampai 6 sumbu sehingga derajat kebebasan robot lebih tinggi. Dilengkapi dengan *wrist* pada ujung lengannya. *Wrist* adalah suatu peralatan sebagai dudukan dari efektor. Didalam *wrist* bisa diletakkan bermacam macam efektor, sebagai contoh, efektor las, cat, *press* (tekan) dan sebagainya.
- **Payload** Robot memiliki kapasitas maksimal beban yang lebih tinggi dari *low teknologi*. Robot dapat menangani beban melalui *wrist* sampai 150 kilogram.
- **Cycle Time** *Cycle time* 1.0 detik dengan pencapaian gerakan manipulator 25 sampai 65 *centimeter*. Pada gerakan berputar dapat mencapai 150 *centimeter* / detik. Robot jenis ini memiliki tugas yang lebih kompleks dan adanya *wrist* dapat meningkatkan *Cycle time* operasi robot. Hubungan antara akurasi dengan kerja yang kompleks menimbulkan tingkat akurasi yang menurun. Robot jenis medium teknologi memiliki sumbu yang lebih

banyak karena tugasnya yang semakin kompleks sehingga akurasi dan pengulangan pergerakan bernilai lebih rendah dari jenis robot teknologi rendah yang memiliki sumbu sedikit. Akurasi robot jenis medium teknologi berkisar 0.2 milimeter hingga mencapai 1.3 milimeter.

- **Aktuasi** Robot memiliki 2 jenis penggerak yaitu hidrolik dan elektrik. Hal tersebut disebabkan beban yang dikerjakan lebih berat.
- **Kontroler** Memiliki memori yang cukup besar dan sistem kontrol menggunakan *loop* tertutup, sehingga apabila ada kesalahan pada lingkungan maka robot dapat membandingkan antara *input* dan *output* untuk menentukan kerja selanjutnya



Gambar 9. Robot las pada jalur perakitan



Gambar 10. Robot dalam proses manufaktur

1.4.3 Robot Teknologi Tinggi

Robot dengan teknologi tinggi dapat kita temui pada *material handling*, *press transferring*, pengecatan, pengelasan. Robot jenis ini memiliki sumbu hingga mencapai 16 atau bisa melebihi. Memiliki *payload* sampai 150 kilogram dan *cycle time* dan akurasi hampir sama dengan robot jenis medium. Tipe aktuasi dengan menggunakan penggerak elektrik dan hidrolik. Elektrik dimaksudkan mudah dalam menentukan posisi sedangkan hidrolik dimaksudkan untuk tugas yang sangat berat.

Secara ringkas data dari jenis teknologi robot dapat di rangkum dalam table berikut dibawah ini :

Tabel 1. Properties teknologi robot

	Rendah	Medium	Tinggi
Sumbu	2 – 4	5 – 6	7 – 16
<i>Payload</i>	3 – 13	14 – 150	150 lebih
<i>Cycle time</i>	5 - 10	1.0	1.0
<i>Akurasi</i>	0.05 – 0025	2 – 1.3	2. – 0.4
<i>Aktuasi</i>	Pneumatik, hidrolik. Elektrik	Hidrolik dan elektrik	Hidrolik dan elektrik
Kontroler	Memori rendah, open loop	Memori sedang, lup tertutup	Memori besar, lup tertutup

2. Operasi dan Fitur Manipulator

Bagian sebelumnya telah kita definisikan tentang komponen dasar robot, yaitu : kontroler, manipulator, dan sumber power . Masing-masing komponen harus ada pada sebuah sistem robot agar robot dapat bekerja dengan baik. Bagian ini akan menjelaskan tentang operasi dan fitur dasar dari manipulator yaitu gerakan sumbu lengan, *wrist*, penggerak, jangkauan area dan penghubung

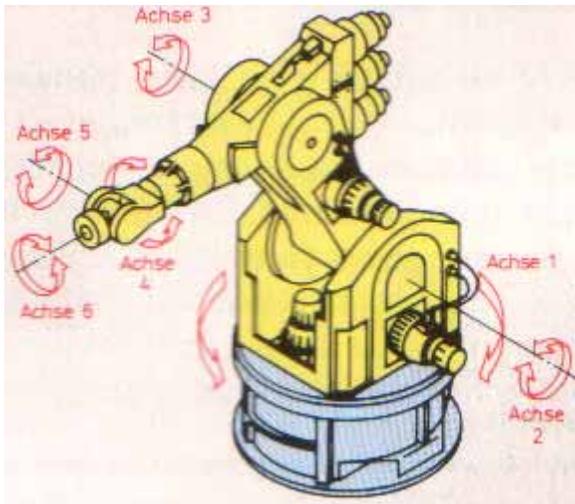
Geometri lengan manipulator dibagi menjadi empat sistem koordinat yaitu: kartesian koordinat, polar koordinat, silindrikan koordinat dan artikulasi koordinat. Manipulator digerakan oleh penggerak, bisa berupa pneumatik, hidrolik dan elektrik. Masing masing penggerak (*drive*) memiliki kelebihan dan kelemahan masing masing. Manipulator bergerak dalam jangkauan area tertentu yang disebut dengan kerja jangkauan. Kerja jangkauan manipulator dihitung dengan kebebasan mutlak atau tidak adanya penghalang.

2.1 Sistem Koordinat Lengan Robot (Arm Geometry)

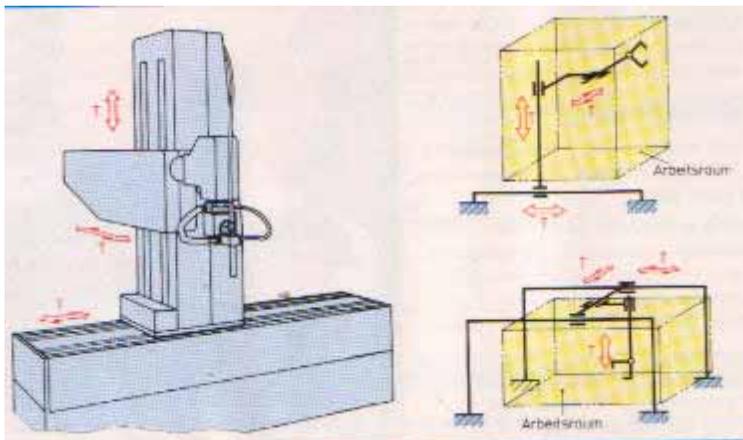
Sumbu robot bergerak dalam rangka untuk menyelesaikan suatu kerja. Gerakan tersebut diklasifikasikan menjadi 4 koordinat yaitu : kartesian, silindrikan, polar dan artikulasi koordinat. Masing-

masing koordinat sistem menyebabkan gerakan dari lengan manipulator. Pergerakan ini disebut dengan geometri lengan (*arm geometry*).

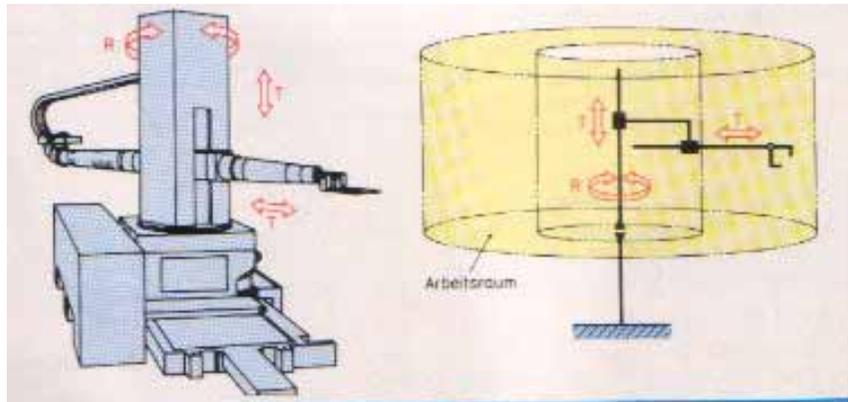
Sitem pergerakan lengan robot dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian, antara lain: a) translasiara lain: gerak full translasi (FT), semua gerakan lengan dalam bentuk lurus (lihat gambar 12), b) gerak rotasi, translasi, translasi (RTT), diawali dengan rotasi selanjutnya lengan robot bergerak translasi dan translasi (lihat gambar 13), c) gerakan lengan robot full rotasi (FR), robot ini dalam setiapgerakannya selalu melakukan rotasi pada lengan-lengannya (lihat gambar 11, dan 14).



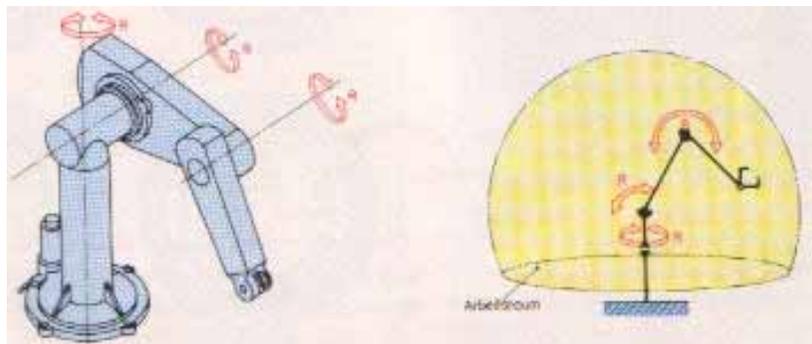
Gambar 11. Sistem Persumbuan Robot



Gambar 12. Gerak Robot Total Translasi (TT)



Gambar 13. Gerak Robot Rotasi, Translasi, Translasi (RTT)



Gambar 14. Gerak Robot Full Rotasi, Translasi (RTT)

2.1.1 Koordinat Kartesian

Sesuai dengan sudut pandang matematika, koordinat kartesian di kenal dengan tiga sumbu dasar, bidang X, bidang Y dan bidang Z. masing-masing bidang tersebut dihubungkan dengan gerakan lengan manipulator dari titik awal sehingga akan membentuk suatu titik tertentu dengan gerakan lurus *vertical* maupun *horizontal*.

Gambar 15. menjelaskan tentang tiga sumbu dasar pada sistem koordinat kartesian. X, Y dan bidang Z di identifikasi sebagai gerakan manipulator. Manipulator bergerak melalui ruang hanya melalui bidang X, Y dan Z sebagai sarana untuk mencapai target.



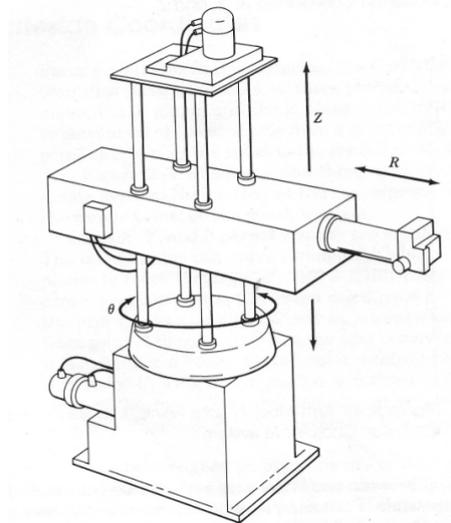
Gambar 15. Aplikasi koordinat kartesian

2.1.2 Silindrikal Koordinat

Koordinat silinder membentuk tiga derajat kebebasan atau tiga sumbu yaitu ? (*theta*) atau sumbu rotasi. Bidang Z membentuk gerakan naik dan turun atau *vertical*, sedangkan R membentuk gerakan horizontal atau maju dan mundur. Masing masing gerakan tersebut membentuk volume silinder sehingga disebut koordinat silinder.

Pada sebagian aplikasi koordinat silindrikal yang diterapkan pada sistem robot, ? (*theta*) atau gerakan rotasi biasanya memiliki sudut 300° , sisa sudut 60° disebut *dead zone* atau daerah mati. Daerah ini berfungsi sebagai operasi keamanan robot apabila terjadi kesalahan gerakan, sehingga tidak menimbulkan kerusakan akibat benturan.

Bidang R dan bidang Z membentuk gerakan horizontal (maju, mundur) dan *vertica l*(naik, turun). Gerakan tersebut disesuaikan dengan kerja robot.

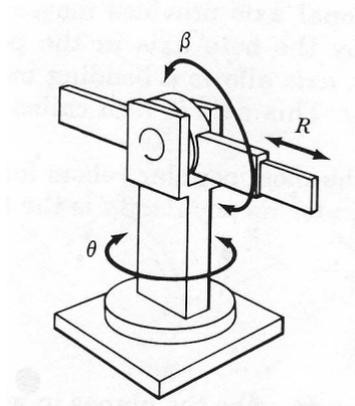


Gambar 16. Prinsip Koordinat silindrikan dan aplikasinya

2.1.3 Koordinat Polar

Koordinat polar memiliki tiga sumbu yaitu ? (*theta*) atau gerakan rotasi, gerakan β (*beta*) atau gerakan melingkar dan sumbu R gerakan horizontal. Sistem koordinat ini juga disebut sebagai sistem *spherical* atau sistem bola karena jangkauan area dari robot membentuk volume bola.

Gambar 17 menunjukkan gerakan sumbu polar. Sumbu ? (*theta*) dan sumbu R memiliki persamaan sumbu ? (*theta*) dan sumbu R pada koordinat silindrikan. Apabila antara *theta* dan *beta* dibalik posisi, yaitu sumbu *beta* diletakan berbatasan dengan *base manipulator* dan maka sumbu R akan menjadi sumbu Z atau bergerak secara *vertical*



Gambar 17. Prinsip koordinat polar dan aplikasinya

2.1.4 Koordinat Artikulasi

Koordinat artikulasi adalah koordinat yang terdiri dari tiga sumbu yaitu : θ (*theta*), sumbu W (lengan atas) dan sumbu U (siku). Koordinat ini memiliki 2 sumbu yang dapat melipat yaitu pada sumbu W dan sumbu U, sehingga koordinat ini menjadi lebih fleksibel dan banyak digunakan dalam industri. Koordinat artikulasi yang memiliki gerakan rotasi yang dihasilkan dari sumbu θ (*theta*). Pada bagian atasnya terdapat sumbu W yang bergerak rotasi *vertical*. Sumbu W memberikan pergerakan seperti sumbu β (*beta*) yang terdapat pada koordinat polar. Sumbu U berputar vertikan seperti sumbu W, sehingga apabila gerak rotasi antara sumbu U dan sumbu W digabungkan akan membentuk gerakan yang sangat fleksibel.

2.2 Rotasi Wrist

Dari keempat koordinat sistem yang telah kita pelajari menjelaskan tentang gerakan manipulator dalam sistem robot. Masing-masing gerakan memiliki keterbatasan. Maka penambahan *wrist* (pergelangan tangan) pada ujung lengan memberikan tambahan mobilitas untuk gerakan robot. Penambahan *wrist* juga meningkatkan luar area jangkauan robot.

Penambahan dari sumbu pada *wrist* ini memberikan pergerakan yang sangat fleksibel untuk robot. Dalam mendesain *wrist* tergantung pada kebutuhan aplikasi robot. Masing-masing sumbu bisa dibuat ganda, sebagai contoh desain *wrist* dengan dua roll dan tidak memiliki *pitch* atau dua *pitch* dan satu dua roll dan dua *yaw*.

2.3 Sistem Penggerak Manipulator

Untuk bisa beroperasi / bergerak maka manipulator membutuhkan sistem penggerak. pada sistem robot terdapat tiga jenis sistem penggerak, yaitu : pneumatik, hidrolik dan elektrik.

2.3.1 Penggerak Pneumatik

Dalam industri robot, terdapat 30% penggunaan sistem penggerak pneumatik. Pneumatik digunakan untuk menggerakkan sumbu dengan mengalirkan udara bertekanan. Udara tersebut masuk ke dalam silinder pneumatik dan menggerakkan mekaniknya. Sistem pneumatik ini lebih murah dibandingkan dengan sistem penggerak hidrolik maupun elektrik. Kelemahan dari sistem penggerak ini adalah terbatasnya jumlah muatan / *payload* yang dapat diterima, sehingga untuk sistem robot yang membutuhkan muatan yang besar, penggerak ini tidak dapat digunakan.

2.3.2 Penggerak Hidrolik

Penggerak hidrolik digunakan 45 % dalam industri robot. Penggerak ini bekerja hampir sama dengan pneumatik, perbedaannya terletak pada fluida yang digunakan. Pada hidrolik menggunakan

cairan (minyak) untuk menggerakkan silinder hidrolik. Silinder terhubung dengan sumbu manipulator sehingga timbul gerakan pada *actuator*.

Penggerak hidrolik mempunyai kemampuan lebih besar dari muatan yang dapat diterima oleh penggerak pneumatik. Manipulator penggerak hidrolik digunakan pada aplikasi las, pengecoran dan pengecatan. Penggunaan sistem penggerak hidrolik memiliki dua kerugian. Pertama, sistem ini memiliki harga yang sangat mahal. Kedua, apabila terjadi kebocoran pada sistem, maka fluida/cairan akan mengotori lantai dan dapat menyebabkan kondisi yang tidak aman.

2.3.3 Penggerak Elektrik

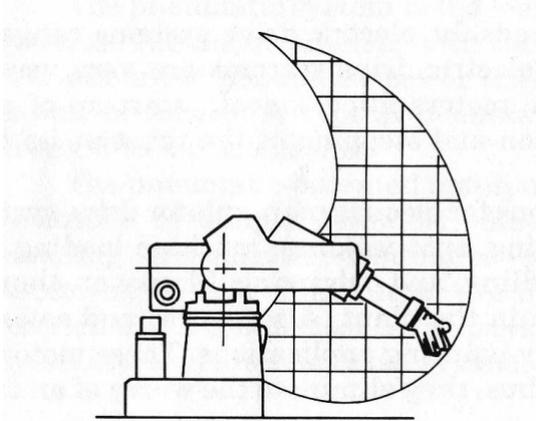
Penggerak elektrik menggunakan motor AC maupun DC. Motor ini dihubungkan ke sumbu manipulator dengan memakai gigi reduksi untuk mengurangi jumlah putaran. Gigi reduksi juga berfungsi untuk meningkatkan tenaga putaran yang dibutuhkan robot, sehingga dapat meningkatkan jumlah beban.

Penggerak elektrik dapat bekerja dengan beban dengan berat sekitar 3 sampai 80 kilogram. Penggunaan motor *stepper* atau motor langkah dapat memberikan akurasi kerja robot, karena menggunakan sistem derajat pada putarannya.

2.4 Jangkauan Kerja

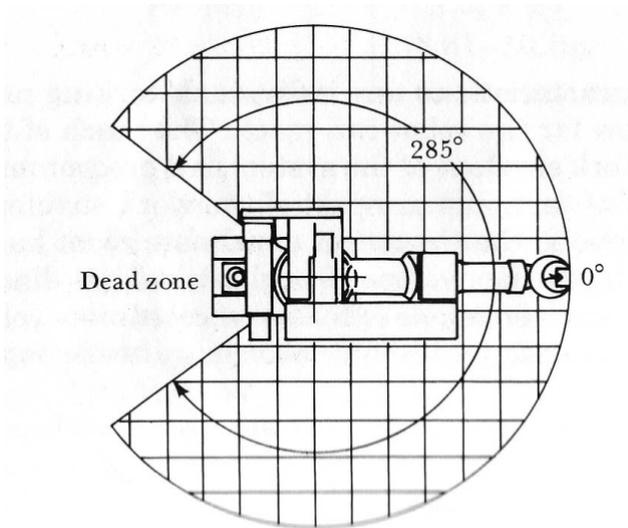
Hal yang paling penting untuk diketahui adalah seberapa jauh robot dapat menjangkau objek. Pencapaian robot dalam menjangkau objek disebut dengan jangkauan kerja. Masing masing jangkauan kerja berbeda tergantung dari koordinat geometri yang pernah kita pelajari terdahulu.

Koordinat kartesian memiliki jangkauan empat persegi panjang (*rectangular*), jangkauan kerja koordinat silindrikan adalah silindrikan, jangkauan kerja koordinat polar adalah bola (*spherical*), sedangkan jangkauan kerja koordinat artikulasi adalah bentuk cabikan (*tear-shape*). Gambar di bawah ini menunjukkan jangkauan kerja dari sistem koordinat artikulasi pandangan samping. Jangkauan kerja membentuk cabikan seperti bulan sabit, hal ini terjadi karena desain robot memiliki fungsi yang kompleks pada bagian bawah dibandingkan dengan bagian atas.



Gambar 18. Jangkauan kerja koordinat silindrikal

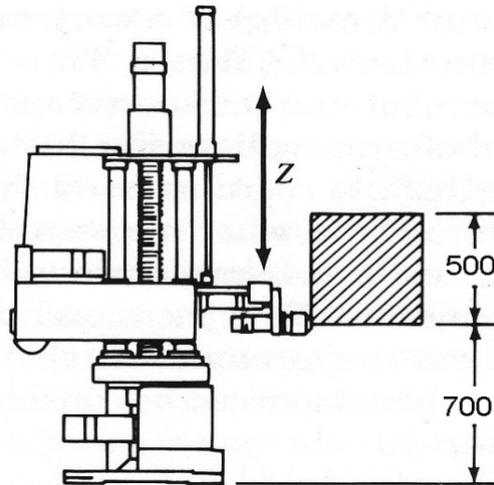
Gambar di bawah menunjukkan jangkauan kerja sistem koordinat melalui pandangan atas. Dapat kita lihat *deadzone* (daerah mati) terletak pada bagian belakang robot dan membentuk sudut 75° . Jangkauan kerja membentuk sudut 285° dengan titik awal pada 0° , sehingga jangkauan kerja antara kanan dan kiri membentuk sudut 142.5° .



Gambar 19. Jangkauan kerja koordinat silindrikal pandangan atas

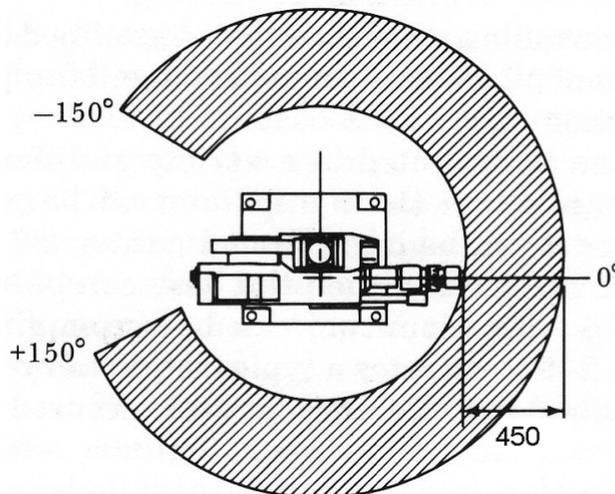
Gambar di bawah menunjukkan jangkauan kerja dari sistem koordinat silindrikal pandangan samping. Robot pada contoh tersebut memiliki titik awal pada ketinggian 700 milimeter di atas lantai dan memiliki jangkauan kerja atas setinggi 500 milimeter. Daerah mati atau

dead zone merupakan daerah yang tidak bisa dikerjakan oleh operasi robot.



Gambar 20. Jangkauan kerja robot sisi samping

Gambar di bawah memperlihatkan jangkauan kerja robot sisi atas. Robot memiliki jangkauan kerja sebesar $\pm 150^\circ$, daerah mati sebesar 60° . jangkauan kerja sumbu R, ke arah depan sepanjang 500 milimeter.



Gambar 21. Jangkauan kerja sisi atas

3. Aplikasi Robot

Terdapat banyak aplikasi robot kita temukan di dunia industri, bahkan sebagian besar industri sudah menerapkan teknologi ini. Mulai

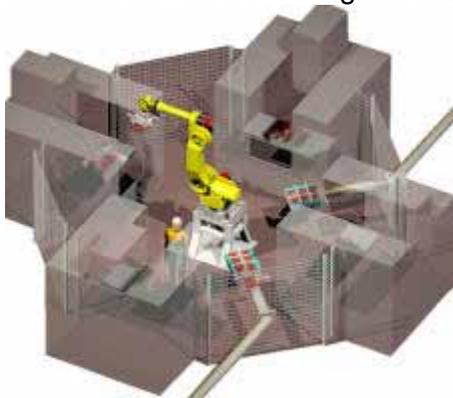
dari industri perakitan, robot digunakan sebagai peralatan yang berfungsi untuk bekerja secara terus menerus dan berulang dengan model yang sama. Robot las pada industri kendaraan bermotor melakukan pengelasan pada titik-titik tertentu secara terus-menerus tanpa rasa kebosanan dan sakit seperti halnya manusia. Pada reaktor nuklir, robot digunakan sebagai perubah batang uranium sehingga tidak menimbulkan radiasi pada manusia. Robot seperti ini memberikan manfaat pada tempat yang memiliki tingkat bahaya yang sangat tinggi.

Material *handling*/penanganan material sering dilakukan pada semua jenis industri. Proses ini memindahkan material dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Penerapan robot pada proses *material handling* sangat menguntungkan dari segi waktu dan akurasi.

Beberapa robot yang dilengkapi dengan sensor, robot akan mendeteksi setiap material yang melewati ataupun menyentuh sensor. Aplikasi di atas sebelum ditemukannya sistem robot, menggunakan tenaga manusia sehingga kurang efektif dan efisien.

3.1 Penanganan Material

Salah satu aplikasi yang paling banyak digunakan dalam industri adalah proses dimana material-material harus dipindahkan dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Material tersebut harus berpindah dengan posisi yang tepat dan dalam waktu yang tepat pula. Proses tersebut dinamakan *material handling* atau penanganan material. Contoh aplikasi *material handling* adalah ketika sebuah material yang berjalan pada *konveyor* setiap beberapa detik harus dikeluarkan dan ditempatkan pada lokasi yang berbeda. Robot berfungsi memindahkan material tersebut dengan waktu yang akurat pada lokasi yang tepat. Bila terjadi keterlambatan waktu dalam pemindahan material maka material yang lain akan menumbuk dibelakang material sebelumnya.



Gambar 22. Robot *material handling*

Pada gambar diatas menunjukkan operasi *material handling* pada sebuah area kerja. *Konveyor* memindahkan material dari lokasi

area kerja lain menuju area kerja sebuah robot *material handling*. Robot memindahkan lokasi material dari lokasi konveyor lama menuju konveyor baru yang akan diproses pada area kerja yang lain. Pada gambar tersebut juga diperlihatkan tentang jangkauan robot pada material. Manipulator robot harus bisa menjangkau material dari konveyor untuk di pindahkan pada konveyor yang lain. Aplikasi robot *material handling* di bagi menjadi dua, *palletizing* dan *line tracking*.

3.1.1 Palletizing

Palletizing yaitu apabila suatu robot dalam industri melakukan kerja dengan memindahkan material dari satu lokasi ke lokasi lainnya tanpa robot melakukan gerakan berpindah tempat. Pada *palletizing*, posisi *base manipulator* kaku, tertanam pada lantai ataupun pada posisi yang tidak dapat berubah posisi. Gambar 23 menunjukkan proses *palletizing*



Gambar 23. Robot *palletizing*

3.1.2 Line Tracking

Berbeda dengan *palletizing*, robot *material handling* dengan tipe *line tracking* memiliki base manipulator yang dapat bergerak. Pergerakan manipulator tersebut bisa menggunakan mekanisme rel ataupun roda.



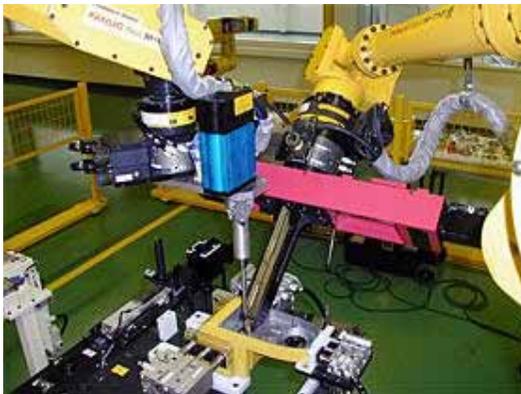
Gambar 24. Line Tracking

3.2 Perakitan

Robot *assembly* menggabungkan beberapa komponen untuk menjadi komponen baru atau menggabungkan komponen *sub assembly* menjadi komponen *sub assembly* yang lebih kompleks. Proses perakitan menggunakan baut, mur, sekrup ataupun keling. Dalam rangka melaksanakan tugas perakitan, komponen yang akan dirakit harus lokasikan pada sekitar robot. Untuk melokasikan komponen tersebut, ada beberapa cara yang dilakukan robot untuk melakukan proses tersebut.

- Komponen dilokasikan dengan area tertentu. Cara ini, robot menggunakan sensor untuk memberi petunjuk tentang lokasi komponen dan mengambilnya untuk diletakan pada lokasi baru. Sistem visi dari robot digunakan sebagai sensor *input* untuk tujuan mengambil komponen.
- Komponen dilokasikan pada posisi yang diketahui oleh robot. Robot telah mengetahui kemana akan pergi dan mengambil komponen.
- Komponen dilokasikan pada posisi dan orientasi yang jelas. Cara ini mirip dengan cara kedua perbedaan terletak pada orientasi robot.

Fungsi ini sangat bermanfaat bagi industri karena lebih efektif dan efisien untuk mempercepat produksi.



Gambar 25. Robot perakitan dengan pelangkap kamera

3.3 Pengecatan

Sebagian besar produk industri dari material besi sebelum dikirim ke bagian penjualan harus terlebih dahulu dilakukan pengecatan sebagai akhir dari proses produksi. Teknologi untuk melakukan pengecatan ini dapat secara manual maupun secara otomatis, yaitu dengan menggunakan robot. Penggunaan proses ini secara manual dapat menimbulkan keadaan berbahaya, yaitu :

- Uap dan kabut pada udara,

- Bunyi dari nosel, alat penyemprot menghasilkan suara yang gaduh yang keluar dari nosel. Suara tersebut dapat menimbulkan gangguan pendengaran bagi telinga manusia
- Resiko kebakaran, kabut yang dihasilkan dari proses pengecatan merupakan materi yang mudah terbakar sehingga potensi untuk terjadinya kebakaran.
- Potensi resiko kanker, kabut hasil pengecatan akan mudah terhirup sehingga akan menimbulkan potensi kanker dari pekerja.

Oleh karena berbahayanya sistem pengecatan secara manual, maka penggunaan robot sebagai peralatan untuk proses pengecatan merupakan alternative yang sangat bermanfaat bagi industri. Robot ini banyak digunakan pada produk industri seperti bodi mesin, bodi kendaraan dan komponen lain pada bidang otomotif, produk kayu olahan seperti mebel, produk porselin dan berbagai macam produk dalam industri.

Keuntungan dari penggunaan robot pengecat adalah :

- Mengganti operator dari lingkungan yang berbahaya. Melakukan proses pengecatan secara manual memberikan dampak negative berupa kebakaran, keracunan dan sebagainya.
- Pemakaian energi yang rendah. Pada proses pengecatan manual, ventilasi lingkungan harus dijaga dalam keadaan yang segar, sehingga pertukaran udara menjadi lebih baik. Energy dibutuhkan untuk mengontrol proses ini sehingga dengan robot ini akan mengurangi penggunaan energi.
- Konsisten dalam menyelesaikan pekerjaan. perbandingan kualitas dari hasil pengecatan antara tenaga manusia dengan robot sangat kontras. Hal tersebut dikarenakan tenaga manusia memiliki beberapa aspek yang dapat menyebabkan pekerjaan menjadi tidak konsisten seperti : kebosanan dan sebagainya.
- Mengurangi pemakaian material cat. Pada penggunaan robot ini, penggunaan bahan dasar proses pengecatan menjadi lebih efektif.



Gambar 26. Jenis robot aplikasi dalam pengecatan

Sebagian besar robot menggunakan manipulator dengan koordinat artikulasi yang memiliki enam sumbu sampai sepuluh sumbu. Dengan memiliki sumbu banyak, robot dapat menjangkau berbagai area objek. Kontroler menggunakan memori yang cukup tinggi, hal ini dimaksudkan untuk menampung program kerja yang dapat dikerjakan pada berbagai macam produk. Sistem penggerak robot ini sebagian besar menggunakan penggerak hidrolik, hal ini dimaksudkan uap racun yang keluar dari cat tidak akan menimbulkan kerusakan pada penggerak sistem ini. Berbeda dengan penggerak elektrik yang dapat menimbulkan hubungan singkat pada rangkaiannya sehingga motor listrik dapat mengalami kerusakan.

3.4 Pengelasan

Robot pengelasan secara luas telah digunakan dalam industri. Robot ini menggunakan koordinat artikulasi yang memiliki 6 sumbu. Robot ini dibagi menjadi jenis yaitu las busur dan las titik.

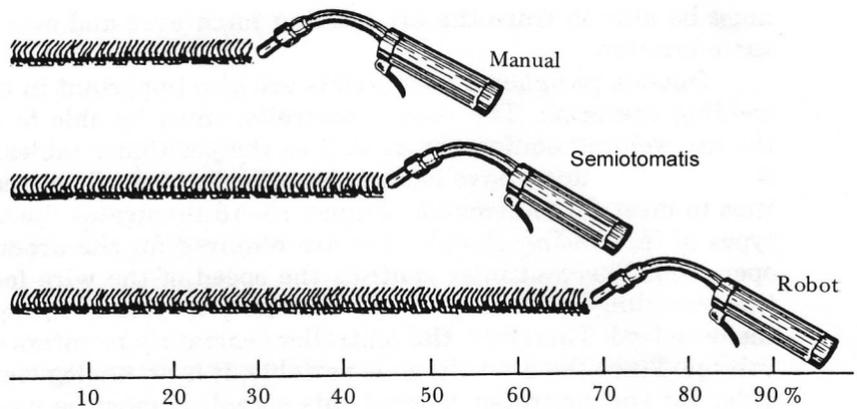


Gambar 27. Aplikasi pada robot pengelasan

Keuntungan dari robot las adalah :

- Produktifitas tinggi, pengelasan menggunakan las secara manual memiliki produktifitas yang rendah, dengan menggunakan aplikasi robot maka produktifitas akan meningkat. Peningkatan ini disebabkan oleh factor kelelahan. Robot tidak akan mengalami kelelahan seperti halnya pada manusia, apalagi bila prosesnya terjadi secara terus menerus dengan proses yang sama.
- Tingkat keamanan yang tinggi, penggunaan robot akan menghilangkan rasa ketidaknyamanan, kelelahan dan lingkungan yang berbahaya. Dengan menghilangkan sebab di atas yang sering terjadi pada proses las manual maka lingkungan pengelasan dengan menggunakan robot menjadi sangat aman.
- Kualitas yang sangat baik, peningkatan kualitas produk dihubungkan dengan akurasi yang tinggi dan kerja yang tepat.

Pada pekerjaan pengelasan busur secara manual dengan tenaga manusia tidak bisa dijaga akurasi dan konsistennya, sehingga penggunaan aplikasi robot akan meningkatkan kualitas hasil pengelasan.



Gambar 28. Efisiensi kerja penggunaan robot pada aplikasi pengecatan

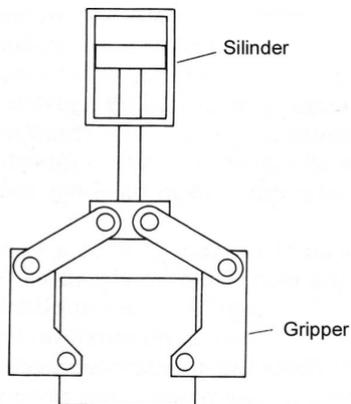
4. Efektor

Tujuan utama dari sistem robot adalah untuk melakukan kerja tertentu dalam industri. Kerja ini dilakukan oleh sebuah manipulator yang dilengkapi oleh efektor. Efektor ini dipasang pada ujung manipulator atau pada *wrist*. Efektor merupakan peralatan khusus untuk tujuan khusus, sebagai fungsi dari robot. Bisaanya efektor yang didesain secara khusus oleh industri sesuai dengan tujuan industri tersebut. Efektor dapat juga diadaptasi dengan membeli secara komersil yang telah tersedia di pasaran untuk diterapkan secara langsung. Sehingga dalam menerapkan efektor pada sistem robot, perlu pertimbangan khusus.

Penggunaan efektor yang bervariasi dalam industri dapat di bedakan menjadi dua bagian, yaitu :

4.1 Gripper

Gripper adalah sebuah efektor yang berfungsi untuk menggenggam dan menahan objek. Objek ini merupakan sebuah komponen yang akan dipindahkan oleh robot dapat berupa kertas, botol, bahan mentah dan peralatan-peralatan lain.



Gambar 29. Jenis *gripper* menggunakan penggerak pneumatik.

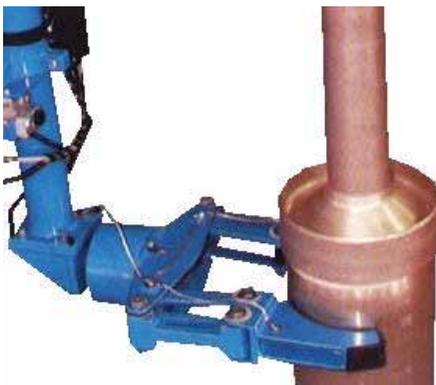
4.2 Klasifikasi *gripper*

Menurut jumlah peralatan penggenggam dan penahan, *gripper* dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu : *gripper* tunggal dan *gripper* ganda, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan sesuai dengan tujuan dari sistem robot. *Gripper* tunggal diartikan bahwa hanya ada satu peralatan untuk menggenggam dan menahan yang dipasang pada *wrist*. *Gripper* ganda diartikan bahwa ada dua peralatan yang berfungsi sebagai penggenggam dan penahan objek yang dipasang pada *wrist*.

4.3 Jenis *Gripper*

4.3.1 *Gripper* Mekanik

Mekanikal gripper didesain untuk menggenggam dan menahan objek dengan memberikan kontak pada objek. Biasanya menggunakan *finger*/jari mekanik yang disebut dengan *jaws*. *Finger* ini dapat dilepas dan dipasang sehingga sangat fleksibel pemakaiannya. Sumber tenaga yang berikan pada *gripper* ini bisa berupa pneumatik, hidrolik dan elektrik.



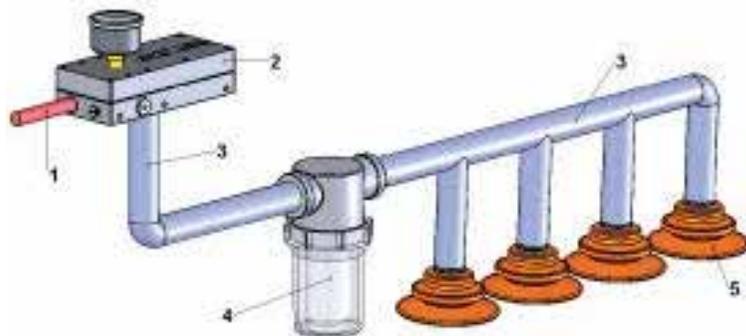
Gambar 30. Aplikasi tangan menggunakan *gripper* mekanik

4.3.2 Gripper Ruang Hampa / Mangkok Vakum



Gambar 31. Aplikasi griper vakum

Mangkok vakum disebut juga mangkok hisap digunakan sebagai *gripper* yang berfungsi untuk mengangkat dan menahan objek. Objek yang ditangani oleh jenis gripper ini adalah objek rata, bersih, dan halus. Persyaratan ini harus dipenuhi sehingga gripper ini dapat bekerja dengan baik.



Gambar 32. Contoh sistem vakum

Keterangan gambar 28 :

1. Udara terkompresi
2. Pembangkit kevakuman
3. Aliran
4. Penyaring
5. mangkok

Gripper jenis ini memiliki dua komponen, yaitu : mangkok dan sistem ruang hampa. Mangkok berbatasan dengan objek dan berfungsi untuk menggenggam dan menahan objek. Mangkok terbuat dari karet, dan membuat tekanan negatif atau menghisap sehingga objek akan menempel pada mangkok. Sistem vakum menghasilkan hisapan pada mangkok, dibagi menjadi dua, yaitu pompa vakum dan

sistem venturi. Pompa vakum menggunakan piston (dengan menggunakan motor listrik) untuk membuat hampa udara. Pompa ini memberikan kehampaan yang tinggi dengan biaya yang murah dibandingkan dengan sistem venturi. Berbeda dengan pompa vakum sistem venturi menggunakan sebuah nosel yang dilewati oleh udara, sehingga menimbulkan kevakuman.

4.3.3 Gripper Magnetik

Gripper magnet bekerja karena efek bidang magnet, sehingga menimbulkan hisapan atau tarikan pada komponen yang akan di handel. *Gripper magnetic* dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu menggunakan *electromagnet* dan menggunakan magnet permanen. *Electromagnet* menggunakan sumber arus dan lebih mudah untuk dikontrol dibandingkan dengan menggunakan magnet permanen. Pada *gripper* magnet menggunakan *electromagnet* saat menghisap dan melepas komponen yang akan ditangani menggunakan metode on dan off arus yang mengalir pada *electromagnet*.

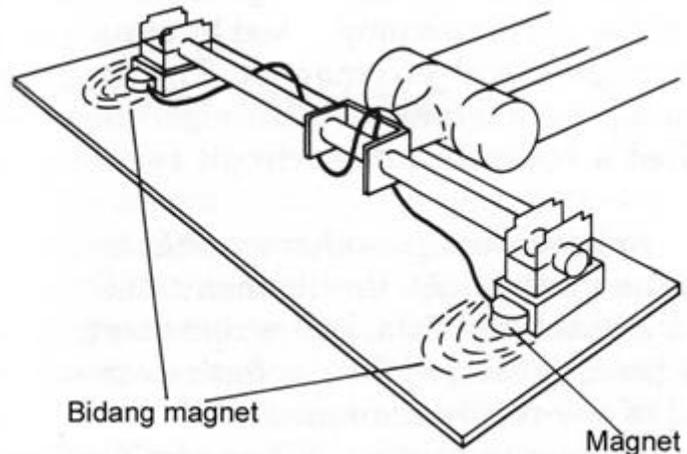


Gambar 33. Aplikasi *gripper* magnet

Keuntungan permanen magnet adalah tidak dibutuhkannya arus tambahan yang berarti akan menghemat energi pada sistem robot. Kelemahan sistem ini adalah kesulitan pada pengontrolan. Saat *gripper* mendekati pada komponen atau objek untuk menangkat, kemungkinan tertariknya material lain berasal dari besi, maka kemungkinan besar akan tertarik. Permanen magnet sering digunakan pada penanganan material yang berada pada lingkungan berbahaya seperti ledakan. Lingkungan yang mempunyai daya ledak tinggi akan membahayakan arus listrik yang mengalir pada elektromagnet. Keuntungan menggunakan *gripper* magnetik adalah :

- Ukuran komponen yang bisa bervariasi, dari kecil hingga komponen yang besar.

- Mempunyai kemampuan untuk menangani logam yang berlubang. Pada griper vakum tidak bisa menangani hal tersebut.
- Dapat menangani beberapa komponen, tergantung dari jumlah *gripper* yang dipasangkan pada *wrist*.



Gambar 34. Sistem kerja *gripper* menggunakan magnet

4.3.4 Sensor Robot

Dalam melakukan kerja robot membutuhkan kemampuan untuk merasakan objek. Seperti halnya pada manusia, yang memiliki panca indra, maka robot memerlukan sensor sebagai peralatan untuk mengukur. Sensor tersebut akan menghitung dan menganalisis informasi yang diterima oleh robot, sehingga akan timbul kerja akibat dari informasi tersebut.

4.4 Sensor Dan Transducer

Transducer adalah peralatan yang merubah variabel fisik seperti gaya, tekanan, temperatur, kecepatan menjadi bentuk variabel yang lain. Sedangkan, sensor adalah sebuah transducer yang digunakan untuk mengkonversi besaran fisik di atas menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisa dengan rangkaian listrik tertentu. Setiap sensor harus dilakukan kalibrasi sebelum digunakan. Kalibrasi adalah suatu prosedur yang berhubungan antara variabel yang diukur dan sinyal output yang dirubah/ konversi sehingga hasil dari pengukuran sensor sesuai dengan keadaan yang nyata.

Sensor dan transducer diklasifikasikan menjadi dua jenis menurut bentuk sinyal yang dikonversi, yaitu : sinyal analog dan sinyal digital.

- Sensor analog yaitu suatu sensor yang memberikan sinyal analog seperti tegangan dan arus. Sinyal ini dapat di artikan nilai variabel fisik yang diukur.
- Sensor digital adalah sesuatu sensor yang memberikan output sinyal digital sensor digital ini lebih banyak digunakan dalam industri, karena dapat digunakan bersama komputer digital dan sensor analog.

4.5 Sensor Kontak

Kontak sensor adalah sensor yang bekerja dengan sentuhan. Contoh sederhana sensor ini dalam aplikasi robot dapat ditunjukkan pada sebuah *konveyor* berjalan tegak lurus di depan robot dan sensor (*limit switch*). Komponen yang berjalan pada sensor pertama kali akan menyentuh sensor, sehingga akan mengaktifkan/menonaktifkan sensor. Sensor akan mengirimkan sinyal elektrik menuju kontroler dan kontroler akan mengukur dan menghitung data informasi kemudian akan mengirimkan perintah kepada robot untuk melakukan kerja tertentu.



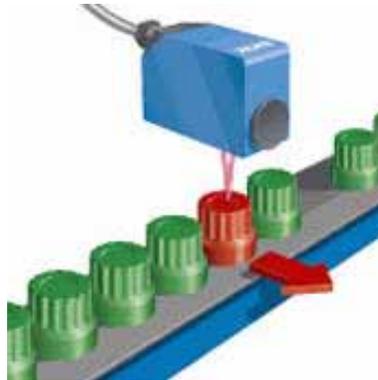
Gambar 35. Berbagai macam tipe *limit switch*

4.6 Sensor Non-Kontak

Berbeda dengan sensor kontak, sensor non-kontak bekerja tidak dengan sentuhan objek ada, melainkan menggunakan radiasi elektromagnetik yang ditimbulkan oleh sensor. Sensor non-kontak mengukur perubahan temperatur, perubahan tekanan dan perubahan elektromagnetik yang disebabkan karena adanya objek yang bersinggungan dengan sensor.

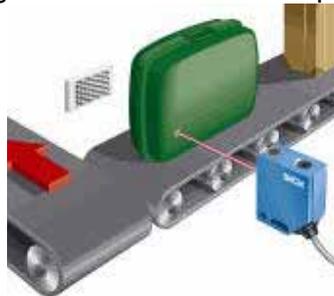
Sensor non-kontak dapat berupa, peralatan optik seperti LED (*Light Emitting Diode*) yang dipasang pada manipulator robot. Sejalan dengan LED dipasang alat penerima atau *receiver* cahaya. Ketika

komponen atau objek yang melewati sensor tersebut akan sehingga cahaya yang keluar dari LED tidak bisa diterima oleh *receiver*. Akibat dari proses tersebut, maka ada perubahan sinyal dari 0 (off) ke 1 (on). Data tersebut dikirim ke kontroler dan akan diproses, hasil proses ini akan dikerjakan oleh manipulator robot untuk melakukan tindakan tertentu.



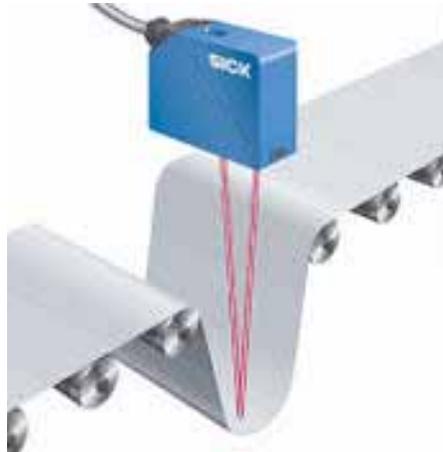
Gambar 36. Sensor non-kontak aplikasi warna

Pada gambar di atas sebuah *konveyor* berjalan membawa material dengan berbagai macam warna. Sensor telah memiliki warna tujuan yang tersimpan di dalam memori sensor. Apabila warna tujuan dikenali oleh sensor maka sensor mengirimkan sinyal kontroler sehingga tindakan segera dilakukan oleh manipulator.



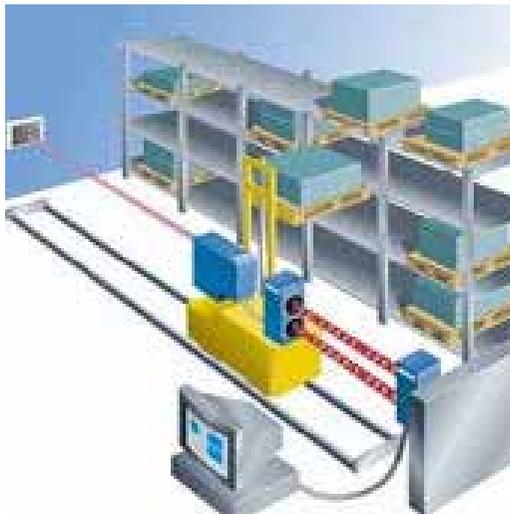
Gambar 37. Photoelectric

Gambar di atas merupakan aplikasi dari sensor *non-contact* jenis photoelektrik. Terdapat dua bagian sensor, *transmitter* dan *emitter*. *Transmitter* memancarkan cahaya yang akan diterima *emitter*. Apabila pancaran terhalang oleh material maka sinyal akan dikirimkan ke kontroler sehingga kontroler akan memberikan reaksi pada sistem.



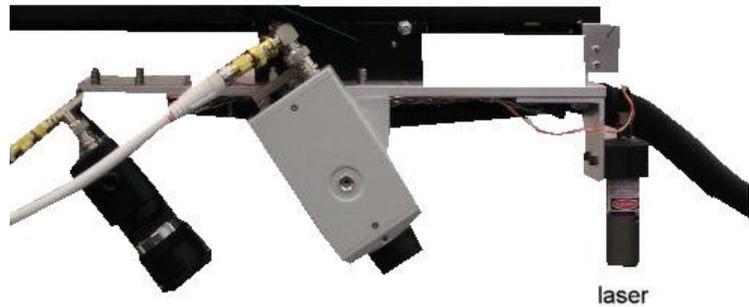
Gambar 38. Sensor jarak

Sebuah *transmitter* suara dipancarkan pada sebuah material atau objek. Saat material menerima pancaran tersebut maka material akan memancarkan kembali ke *transmitter*. *Transmitter* menerima pancaran suara kembali dan menghitung jarak antara *transmitter* dengan material.



Gambar 39. *Transmitter* data

Sebuah manipulator dilengkapi dengan infra merah dan mendeteksi material untuk dilakukan penanganan. Sebuah kontroler/komputer melakukan tindakan pengambilan material ketika ketika sinyal dari sensor telah mendapatkan data.



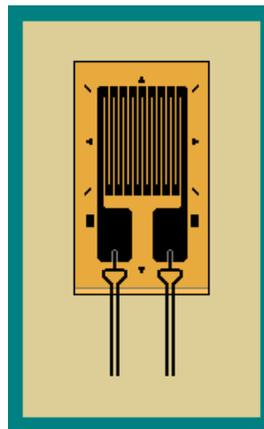
Gambar 40. Aplikasi sensor *non-contact* menggunakan kamera dan laser

Contoh lain dari sensor non-kontak adalah sensor kamera. Ketika komponen atau objek yang berada tepat di bawah kamera, maka kamera akan mengirimkan data-data objek menuju kontroler. Data informasi tersebut akan diproses, apakah objek tersebut merupakan objek yang menjadi harapan kontroler atau tidak. Selanjutnya keputusan kontroler akan dikirim ke manipulator untuk menentukan langkah kerja dari robot.

4.7 Sensor Gaya Dan Momen

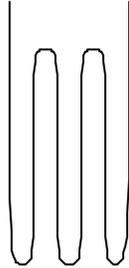
4.7.1 Strain Gages

Sensor ini mengukur ketegangan pada material dengan menggunakan perubahan tahanan pada sebuah kawat. Tahanan/*resistance* dicari dengan menggunakan dimensi dari sebuah kawat. Apabila kawat memiliki panjang l , tinggi t , dan lebar w , memiliki tahanan R terdeformasi atau berubah bentuk. Kawat akan menjadi lebih panjang dan menurun luasannya. Perubahan bentuk tersebut akan menyebabkan perubahan pada tahanan R . ketegangan dapat dicari dengan perubahan tahanan ini.



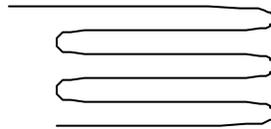
Gambar 41. Strain gages

Pada *strain gages* terdapat dua bentuk susunan kawat, yaitu *uniaxial* dan *rosette*. Pada susunan *uniaxial*, kawat disusun searah dengan arah tegangan.



Gambar 42 . *Strain gages uniaxial*

Kawat susunan *rossete* disusun dengan horizontal. Susunan ini menyebabkan kurang *sensitive*.



Gambar 43. Kawat susunan *rosette* pada *strain gages*

4.7.2 Piezoelectric

Sensor *piezoelectric* merupakan peralatan yang menggunakan prinsip efek *piezoelektrik* untuk mengukur tekanan, percepatan dan tegangan dengan merubah kedalam sinyal listrik. Ketika kristal mengalami ketegangan jarak atom-atomnya pada kristal akan berubah. Perubahan ini akan menyebabkan perubahan kapasitas pada kristal. Kejadian ini disebut *piezoelectric*. Kristal ini berfungsi sebagai sensor gaya, juga digunakan sebagai sensor tekanan.

Sensor *piezoelectric* merupakan peralatan yang sangat bermanfaat untuk pengukuran dalam berbagai proses. Sensor ini digunakan sebagai kontrol kualitas, dan proses kontrol serta proses lainnya dalam industri.

4.8 Sensor Temperatur

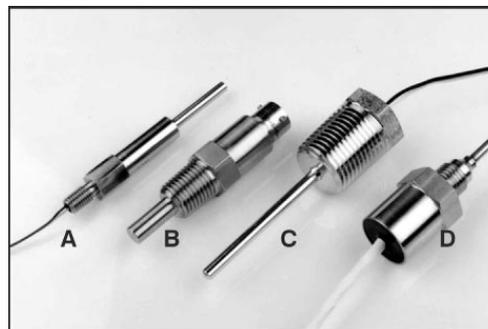
4.8.1 Resistive Temperature Detectors (Rtd)

Ketika kawat dipanaskan maka tahanannya akan meningkat, sehingga temperatur dapat diukur menggunakan perubahan tahanan ini. *Resistive Temperature Detectors* (RTD) menggunakan kawat yang

dibungkus menggunakan bahan isolator (penghantar panas yang buruk) sebagai pelindung. Kawat sensor ini bisa dibuat menggunakan tembaga, nikel, atau paduan antara logam dan nikel.

Tabel 2. Material, variasi temperature dan tahanan bahan

Material	Variasi Temperatur(°C)	Tahanan (ohm)
Platina	-200 – 850	100
Nikel	-80 – 300	120
Tembaga	-200 - 260	10



Gambar 44. Berbagai macam aplikasi RTD

Keuntungan *resistive temperature detector* (RTD), adalah :

- Tingkat akurasi yang tinggi
- Cocok untuk aplikasi dengan ketelitian yang tinggi
- Operasi kerja yang luas
- Penyimpangan kecil

Keterbatasan RTD

- Dibandingkan dengan *thermistor*, RTD memiliki kepekaan yang kurang, sehingga untuk perubahan temperatur yang kecil kurang sensitif.
- RTD membutuhkan waktu relatif lama untuk respon balik

4.8.2 Termokopel

Setiap logam memiliki potensial alami, ketika dua logam yang berbeda bersentuhan satu sama lain maka akan timbul perbedaan potensial atau biasa disebut tegangan. Termokopel menggunakan dua metal yang berbeda untuk membangkitkan tegangan. Tegangan inilah yang akan digunakan sebagai penentuan temperatur.



Gambar 45. Aplikasi *thermokopel*

Tabel dibawah ini menunjukkan jenis logam dan jangkauan temperatur dan jangkauan tegangan dari bermacam jenis logam

Tabel 3. Jangkauan temperatue dan jangkauan tegangan

Material	Jangkauan temperature (°F)	Jangkauan tegangan (mV)
Tembaga / konstantan	-200 – 400	-5.60 – 17.82
Besi / konstantan	0 – 870	0 – 42.28
Chromel / konstantan	-200 – 900	-8.82 – 68.78
Chromel / aluminium	-200 – 1250	-5.97 – 50.63
Platina-rhodium / Platina	0 – 1450	0 – 16.74
Tungsten-rhodium/platina	0-2670	0 - 37.07

4.8.3 *Thermistors*

Thermistor adalah sebuah peralatan yang memakai resistan/tahanan untuk mengukur perubahan temperatur. Ketika tahanan menurun maka maka temepratur akan meningkat. Ini terjadi karena panas akan mengurangi gerak elektron pada semikonduktor, sehingga temperatur dan resistan saling bertolak belakang.

Thermistor merupakan peralatan yang murah dan terbuat dari manik-manik atau permukaan logam. Peralatan ini memiliki respon yang cepat terhadap perubahan temperatur.

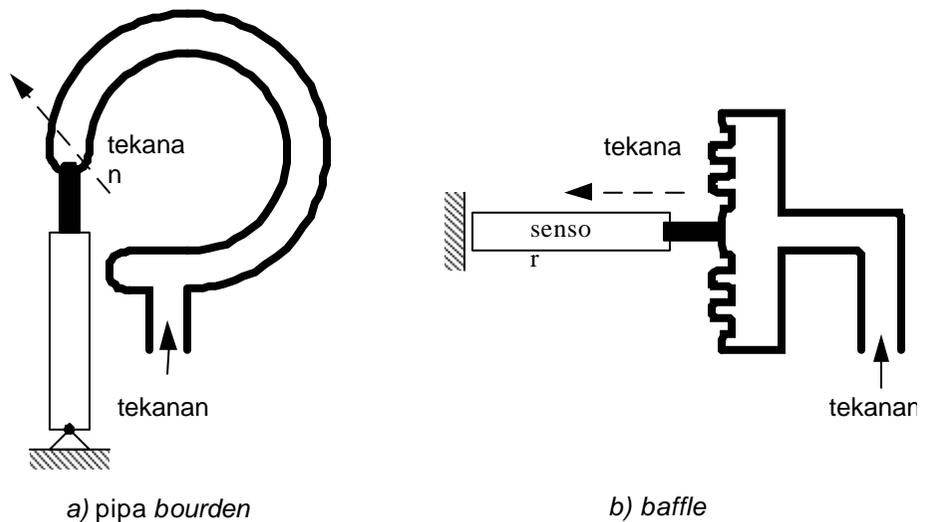


Gambar 46. Thermistor

4.9 Sensor Cair dan Gas

Cair dan gas merupakan fluida yang di dalamnya bisa diukur dengan beberapa parameter, antara lain kecepatan aliran, kepadatan, kekentalan dan tekanan.

4.9.1 Pressure Tube



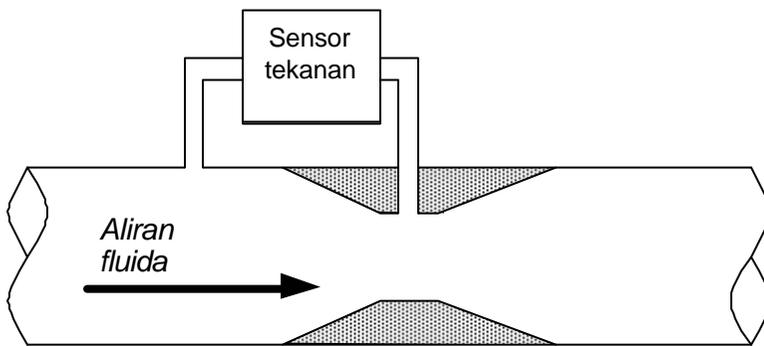
Gambar 47. Tabung tekanan

Gambar di atas menunjukkan aplikasi sensor tekanan. Gambar (a) menunjukkan gambar pipa *bourden*, dan sensor terpasang kaku. Saat tekanan di dalam pipa lebih tinggi dari pada tekanan lingkungan maka pipa akan meluruskan posisi sensor yang terpasang pada ujung

pipa dan akan menjadi panjang ketika tekanan naik. Sedangkan pada jenis *baffle* posisi sensor, terletak horizontal.

4.9.2 Katup Venturi

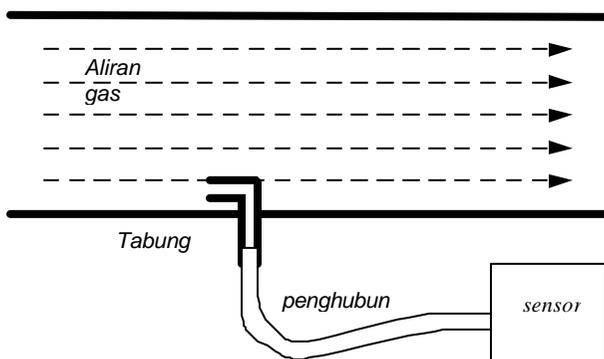
Gambar di bawah ini menunjukkan alat venturi. Pada bagian tengah terdapat bagian pipa yang dipersempit dan dihubungkan dengan pipa dengan diameter lebih kecil dan dipasang sebuah sensor atau *transducer* yang akan mengetahui informasi tekanan. Ketika aliran fluida mengalir melewati sebuah pipa, pada bagian tengah terdapat penyempitan. Terdapat perbedaan tekanan antara bidang penyempitan dengan bidang sebelum penyempitan, sehingga bisa diperoleh data perbedaan tekanan tersebut.



Gambar 48. Venturi

4.9.3 Pitot tubes

Kecepatan aliran gas dapat diukur menggunakan apa yang dinamakan tabung pitot. Tabung dengan diameter kecil ini dihubungkan dengan pipa ukuran lebih besar dan dihubungkan dengan tekanan.

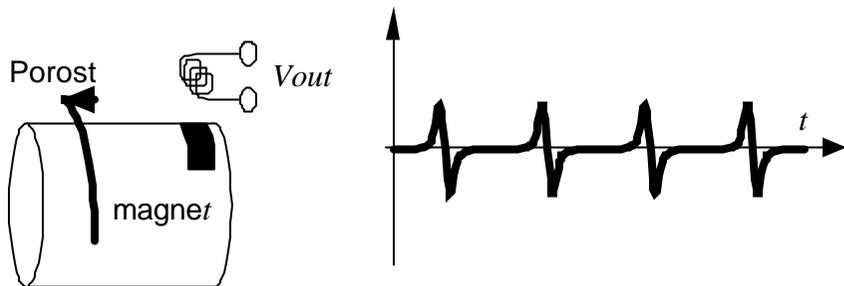


Gambar 49. Tabung pitot untuk mengukur aliran gas

4.10 Sensor Jarak dan Sudut

4.10.1 Tachometer

Tachometer adalah sebuah peralatan yang mengukur kecepatan putaran. Dengan sebuah poros, magnet dan sebuah koil. Ketika magnet bergerak mengikuti putaran poros di bawah koil maka akan timbul induksi listrik. Setiap magnet berputar sekali maka akan timbul pulsa listrik pada koil.



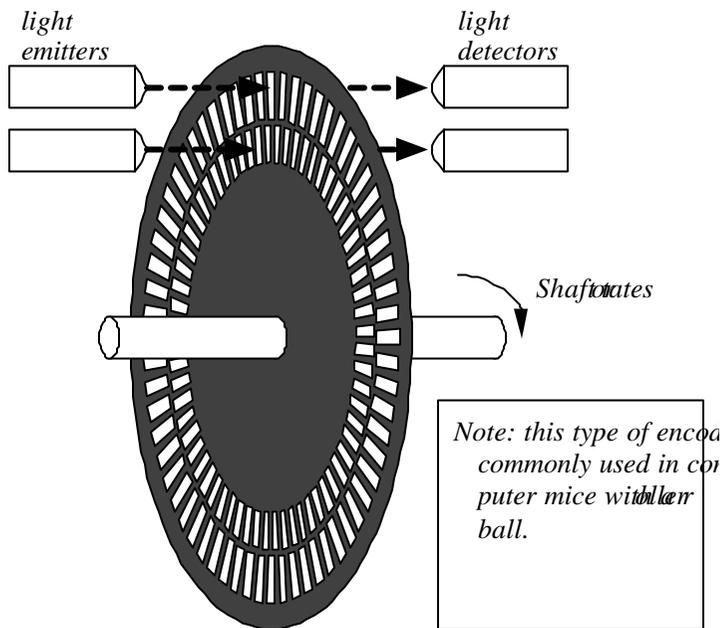
Gambar 50. Prinsip kerja *tachometer* dengan pulsa listrik yang dihasilkan.



Gambar 51. Aplikasi *tachometer*

4.10.2 Encoders

Encoder adalah sebuah peralatan menggunakan sebuah cakram yang berlubang dan berputar. Dua bagian sisi yaitu sisi bagian atas dan sisi bagian bawah. Sisi bagian atas terdapat *emitters* yang mengeluarkan sinyal dan bagian bawah sebagai detektor sinyal. Cahaya yang keluar dari *emitter* akan diterima oleh detektor dengan melewati cakram. Cahaya akan diterima detektor bila cakram berada pada posisi lubang.



Gambar 52. Cakram encoder

Encoder memiliki dua jenis yaitu : *absolute encoder* dan *inkremental encoder*. *Absolute encoder* akan menghitung posisi dari poros untuk menentukan sudut poros. Pada *inkremental encoder* memiliki dua pulsa *output* yang berfungsi untuk menentukan jarak dan menentukan kecepatan.



Gambar 53. Aplikasi encoder

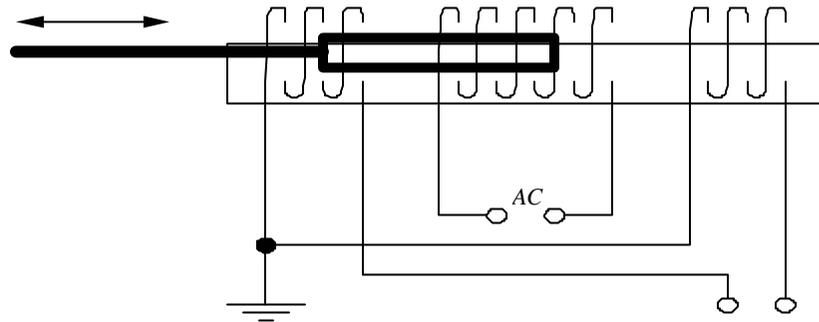
4.11 Linear Position

4.11.1 Linear Variable Differential Transformers (Lvdtd)

LVDT mengukur jarak linear dengan area yang terbatas. LVDT terdiri dari koil bagian tengah, koil bagian kiri dan koil bagian kanan, inti magnetik bagian dalam, inti magnet bagian luar. Arus AC dialirkan

pada koil luar , sehingga menimbulkan kemagnetan inti.

Batang Penggerak



Gambar 54. Rangkaian LVDT

Pada LVDT terjadi tarikan ke arah bidang magnet. Sehingga akan menginduksi koil bagian kiri. Saat koil bagian tengah tidak menerima induksi maka tidak ada tegangan yang keluar (sinyal keluar). Sinyal keluar ini menunjukkan posisi dari inti.



Gambar 55. Aplikasi LVDT

Peralatan LVDT sangat akurat sebagai peralatan untuk menghitung jarak lurus. Banyak digunakan dalam industri seperti mengukur dimensi sebuah komponen. LVDT juga digunakan untuk mengukur tekanan dengan menggunakan pipa *Bourden*. Kelemahan sensor ini adalah harga yang sangat mahal

4.12 Sensor Kimia

4.12.1 PH

Sensor ini dapat mengukur pH dalam jangkauan 0 sampai 14. sensor ini menggunakan elektroda yang bersentuhan dengan fluida.

4.12.2 Conductivity

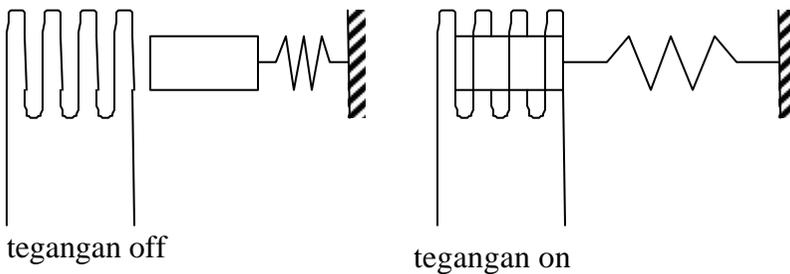
Pengukuran *conductivity* dilakukan secara langsung dengan menggunakan tegangan dua pelat yang digabungkan di dalam cairan dan sekaligus mengukur arus. *Conductivity* banyak diaplikasikan di bidang induksi frekuensi tinggi sebagai *alternative*.

5 Aktuator

Aktuator adalah sebuah peralatan yang menghasilkan gaya sebagai gerakan dari robot. Sumber energi aktuator dapat dibagi menjadi listrik dan fluida (udara dan minyak). Masing-masing sumber energi disalurkan menuju aktuator sehingga menghasilkan kerja untuk sistem robot.

5.1 Solenoids

Solenoid merupakan aktuator yang terdiri dari koil atau gulungan kawat, inti besi sebagai piston gerak linier, dan pegas sebagai pemegang inti besi. Ketika tegangan masuk pada koil sehingga terjadi aliran arus maka koil akan berubah menjadi bidang magnet sehingga akan menarik inti besi ke dalam koil sampai menuju titik tengah koil. Saat tegangan dimatikan maka posisi inti besi akan kembali seperti semula karena tarikan dari pegas. .



Gambar 56. Prinsip kerja solenoid

Solenoid banyak diterapkan pada industri seperti solenoid elektro-mekanik (AC/DC), katup pneumatik, katup hidrolik. Pada gambar di bawah ini merupakan contoh aplikasi solenoid elektro-mekanik. Cara kerja solenoid ini hampir sama dengan motor (AC/DC), perbedaannya terletak pada gerakan yang dihasilkan yaitu linear dan rotasi.



Gambar 57. Selenoid elektro-mekanik

5.2 Katup

Katup adalah peralatan yang berfungsi untuk mengatur aliran fluida sebagai penggerak aktuator. Katup banyak digunakan pada industri ataupun transportasi. Katup memiliki berbagai macam jenis antara lain: Katup $\frac{3}{4}$, katup $\frac{5}{2}$ dsb. Penggerak katup memiliki berbagai jenis, antara lain: Penggerak manual (tuas, knop, pedal, dll), penggerak magnet/solenoid, udara, dll). Pembahasan tentang katup dapat dilihat pada pembahasan tentang Pneumatik/Hidrolik.



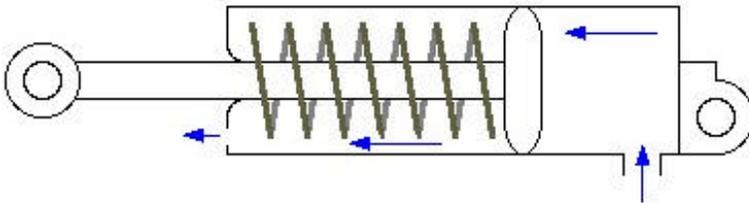
Gambar 58. Katup

5.3 Silinders

Silinder merupakan jenis aktuator yang digerakan oleh fluida, bisa berupa udara (pneumatik) ataupun minyak (hidrolik). Gerak yang dihasilkan silinder akibat dari gerakan linear atau maju dan mundur dari sebuah piston. Pemilihan jenis silinder tergantung dari kerja yang dibebankan, silinder jenis hidrolik memiliki kemampuan kerja yang lebih tinggi dibandingkan dengan silinder jenis pneumatik.

5.3.1 Silinder Penggerak Tunggal

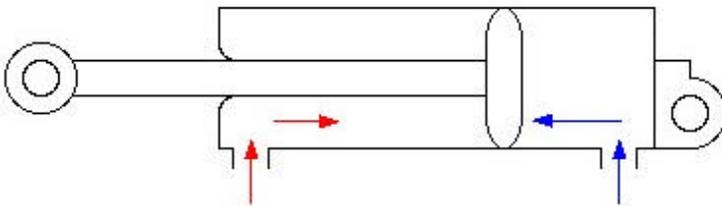
Silinder jenis ini menghasilkan kerja dalam satu arah saja. Apabila fluida masuk ke dalam tabung akibatnya piston akan bergerak mendorong pegas sampai pada titik tertentu.



Gambar 59. Silinder gerak tunggal

5.3.2 Silinder Penggerak Ganda

Pada silinder penggerak ganda terdapat dua lubang *inlet* dan *outlet*. fluida masuk melalui sisi depan sehingga mendorong piston bergerak mundur A^- apabila fluida masuk dari sisi satunya maka akan mendorong piston bergerak pada titik A^+



Gambar 60. Silinder penggerak ganda

5.4 Motor Listrik

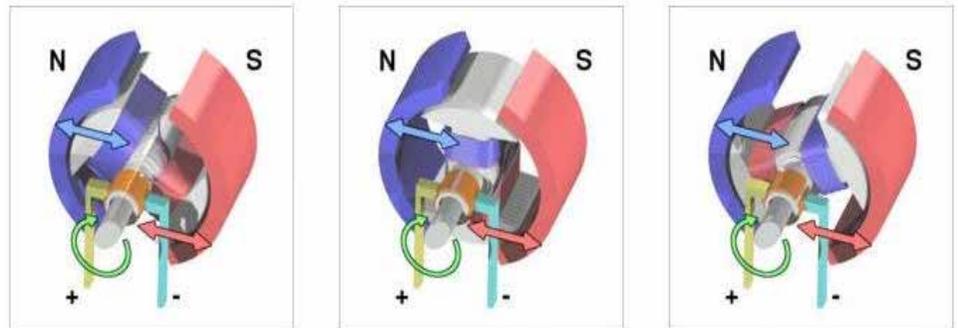
Motor listrik terdiri dari rotor (bagian yang bergerak), stator (bagian yang diam). Pada stator terdapat inti magnet, sedangkan pada stator terdapat koil yang berfungsi sebagai magnet listrik apabila dialirkan arus. Motor diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu AC (arus searah) dan DC (arus bolak balik).

5.4.1 Motor DC

Motor DC merupakan salah satu jenis aktuator yang paling banyak digunakan dalam industri ataupun sistem robot. Prinsip kerja motor ini menggunakan magnet untuk menghasilkan kerja yaitu putaran. Motor DC terdiri dari *armature* yang berputar dan bagian magnet sebagai stator (bagian yang diam). Arus yang datang melalui sikat sehingga akan menyebabkan motor berputar. Bagian magnet pada stator bisa menggunakan electromagnet dan magnet permanent.

Motor DC dengan stator electromagnet dibagi menjadi 3 jenis, yaitu motor seri, *motor shunt* dan *motor compound*.

- Motor seri memiliki *armature* yang dihubungkan dengan electromagnet secara seri. Motor jenis ini memiliki karakteristik *torque* yang tinggi pada putaran awal.
- Jenis motor shunt antara armature dan electromagnet terhubung secara parallel. Pengaturan pada motor ini lebih mudah dibandingkan dengan motor seri.
- Pada motor *compound* memiliki kombinasi seri dan parallel pada armature dan electromagnet.



Gambar 61. Prinsip kerja motor DC

Gambar di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

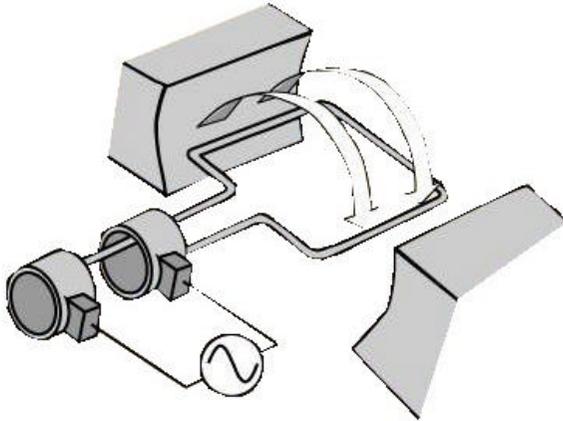
Gambar 61a. Saat koil atau lilitan dalam *armature* dialiri arus listrik maka armature akan menjadi magnet, sehingga sisi *armature* sebelah kiri menjadi magnet kutub utara dan sisi *armature* sebelah kanan menjadi magnet kutub selatan. Akibatnya magnet stator dan magnet rotor (*armature*) akan saling bertolak belakang sehingga *armature* akan berputar.

Gambar 61b. *Armature* masih bergerak dan sampai pada posisi *vertical* tegak lurus tepat pada bidang non-magnet sehingga *armature* akan terus bergerak.

Gambar 61c. *Armature* bergerak sampai pada posisi kutub yang berpasangan (kutub utara *armature* dengan kutub utara stator dan kutub selatan *armature* dengan kutub selatan stator). Kemudian komutator membalik arus yang menuju *armature* sehingga bidang magnet pada *armature* berubah. Akibatnya kutub utara *armature* bertemu dengan kutub utara stator dan kutub selatan *armature* bertemu kutub selatan stator sehingga saling bertolak belakang dan menyebabkan *armature* (rotor) berputar kembali seperti pada posisi gambar 27b.

5.4.2 Motor Ac

Motor AC merupakan jenis motor yang banyak digunakan pada dunia modern sekarang ini. Walaupun motor AC sebagian besar digunakan untuk memutarakan peralatan yang membutuhkan kecepatan konstan tetapi penggunaan dengan kontrol kecepatan mulai sering dilakukan dalam berbagai aplikasi industri.



Gambar 62. Prinsip kerja motor AC

Kelebihan dari motor AC adalah sebagai berikut :

- Efisiensi tinggi
- Kehandalan yang tinggi
- Perawatan yang mudah
Perawatan menjadi mudah karena motor AC tidak menggunakan sikat yang secara periodic harus diganti.
- Harga yang relatif murah.
Harga yang murah dibandingkan dengan motor DC dikarenakan motor AC tidak menggunakan sikat sebagaimana sikat yang digunakan pada motor DC. Motor AC tidak menggunakan rectifier seperti pada motor DC.

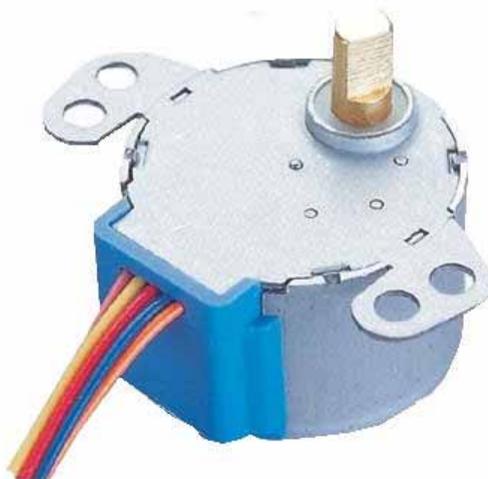
Disamping kelebihan diatas motor AC memiliki kelemahan pada pengontrolannya. Motor AC dibuat untuk menghasilkan kecepatan yang konstan (tetap) sehingga untuk menghasilkan putaran yang bervariasi memerlukan sistem control yang cukup rumit. Pada motor DC sistem control dibuat dengan mengatur tegangan sedangkan pada motor AC untuk menghasilkan kecepatan yang bervariasi dengan mengatur tegangan dan frekuensi. Walaupun motor AC memiliki kelemahan tersebut di atas, tetapi aplikasi motor yang tidak membutuhkan variasi kecepatan banyak ditemukan di industri, seperti kipas, pompa, mixer dan peralatan rumah tangga lainnya.



Gambar 63. Aplikasi motor AC

5.4.3 Motor Steper

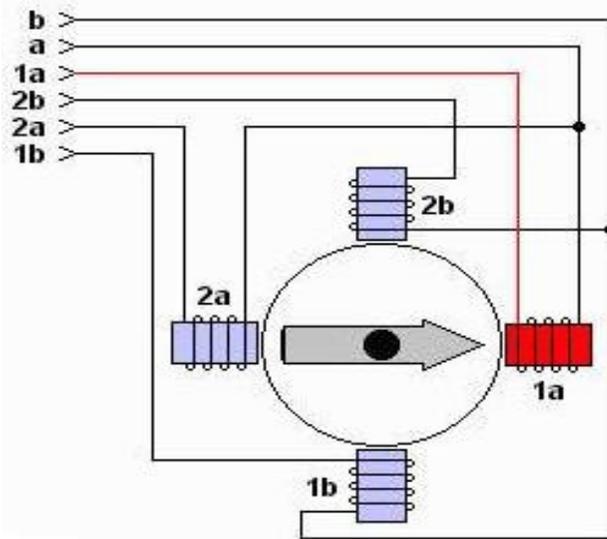
Motor stepper atau bisa disebut motor langkah merupakan salah satu jenis dari motor DC. Perbedaan dengan motor DC biasa adalah motor stepper memiliki langkah putaran tergantung pada jumlah stator. Langkah menggunakan derajat putaran, mulai dari 0° sampai 90° . Bagian motor stepper, rotor merupakan magnet yang permanent sedangkan pada bagian stator menggunakan electromagnet. Rotor akan bergerak bila masing masing stator menjadi magnet dengan dialiri arus listrik. Gerak putaran rotor langkah demi langkah berputar menuju sesuai dengan kemagnetan stator. Apabila semua stator telah menjadi magnet maka rotor dapat menyelesaikan satu putaran.



Gambar 64. Motor stepper/motor langkah

Motor stepper banyak digunakan dalam berbagai aplikasi peralatan yang memiliki ketepatan putaran yang tinggi seperti dalam bidang robot sehingga tidak memerlukan sensor untuk menentukan posisi. Dengan menjumlahkan sudut maka akan didapat berapa posisi yang dikehendaki dari peralatan. Besarnya langkah tergantung pada jumlah stator sehingga tidak ada peningkatan galat (*error*) dari posisi putaran motor.

Motor stepper dibagi menjadi tiga jenis yaitu motor stepper magnet permanen, motor stepper *variable reluctance* dan jenis motor stepper *hybrid*. Masing masing memiliki perbedaan dalam penggunaannya.



Gambar 65. Prinsip kerja motor stepper

Pada gambar di atas, rotor yang berupa magnet permanen (tetap) akan bergerak dari stator 2b ke arah stator 1a. Putaran tersebut menghasilkan gerakan dan sudut beberapa derajat. Apabila rotor diberikan tegangan secara bergilir ke stator 1a, 1b, 2a, 2b dan kembali ke 1a maka semua stator akan menjadi magnet secara bergantian. akibatnya rotor akan bergerak satu putaran penuh dari 1a, 1b, 2a, 2b dan kembali ke 1a.

6. Tes Formatif

6.1 Soal-Soal

- Sebutkan dan jelaskan tiga komponen utama sistem robot?
- Robot bergerak dalam empat sumbu koordinat, sebutkan dan jelaskan koordinat tersebut?

6.2 Kunci Jawaban

a. Sistem robot memiliki memiliki tiga komponen dasar, yaitu : Manipulator, kontroler, dan Power (daya).

1) Manipulator

Manipulator memiliki dua bagian, yaitu bagian dasar dan bagian tambahan. Gambar 1 memberikan gambaran tentang bagian dasar dan bagian tambahan.



Bagian dasar manipulator bisa kaku terpasang pada lantai area kerja ataupun terpasang pada rel. Rel berfungsi sebagai *path* atau alur sehingga memungkinkan robot untuk bergerak dari satu lokasi ke lokasi lainnya dalam satu area kerja. Bagian tambahan merupakan perluasan dari bagian dasar, bisa disebut juga lengan /*arm*. Bagian ujungnya terpasang efektor yang berfungsi untuk mengambil/mencekam material. Manipulator digerakan oleh actuator atau disebut sistem *drive*. Actuator atau sistem *drive* menyebabkan gerakan yang bervariasi dari manipulator. Actuator bisa menggunakan elektrik, hidrolik ataupun pneumatik. Bagian actuator ini akan dijelaskan pada selanjutnya.

2) Kontroler

Kontroler menyimpan informasi yang berkaitan dengan data data robot, dalam hal ini data gerakan robot yang telah deprogram sebelumnya. Kontroler berfungsi untuk mengontrol pergerakan dari manipulator. Kontroler sendiri diatur oleh sebuah informasi atau program yang diisikan dengan menggunakan bahasa pemrograman tertentu. Informasi tersebut kemudian disimpan didalam memori. Data dalam memori dapat di keluarkan atau di edit sesuai dengan yang dibutuhkan.

3) Power Suply (Catu Daya)

Power supply adalah sebuah unit yang menyediakan tenaga pada kontroler dan manipulator sehingga dapat

bekerja. Power supply dalam suatu sistem robot dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian untuk kontroler dan bagian untuk manipulator. Bagian kontroler menggunakan elektrik sedangkan bagian manipulator bisa menggunakan elektrik, pneumatik, hidrolik ataupun ketiganya.

4) Efektor

Efektor dapat ditemukan hampir semua aplikasi robot, walaupun keadaannya bukan merupakan komponen dasar dari sistem robot. Efektor berfungsi sebagai bagian terakhir yang menghubungkan antara manipulator dengan objek yang akan dijadikan kerja dari robot. Sebagai contoh efektor dapat berupa peralatan las, penyemprot cat ataupun hanya berupa penjempit objek.

b. Gerakan sumbu robot diklasifikasikan menjadi 4 koordinat yaitu : kartesian silindrikan, polar dan artikulasi koordinat. Masing masing koordinat sistem menyebabkan gerakan dari lengan manipulator. Pergerakan ini diebut dengan geometri lengan (*arm geometry*).

1) Koordinat Kartesian

Sesuai dengan sudut pandang matematika, koordinat kartesian di kenali dengan tiga sumbu dasar, bidang X, bidang Y dan bidang Z. masing masing bidang tersebut dihubungkan dengan gerakan lengan manipulator dari titik awal sehingga akan membentuk suatu titik tertentu dengan gerakan lurus vertical maupun horizontal. X, Y dan bidang Z di identifikasi sebagai gerakan manipulator. Manipulator bergerak melalui ruang hanya melalui bidang X, Y dan Z sebagai sarana untuk mencapai target.

2) Silindrikan Koordinat

Koordinat silinder membentuk tiga derajat kebebasan atau tiga sumbu yaitu θ (theta) atau sumbu rotasi. Bidang Z membentuk gerakan naik dan turun atau vertical, sedangkan R membentuk gerakan horizontal atau maju dan mundur. Masing masing gerakan tersebut membentuk volume silinder sehingga disebut koordinat silinder.

3) Koordinat Polar

Koordinat polar memiliki tiga sumbu yaitu θ (theta) atau gerakan rotasi, gerakan β (beta) atau gerakan melingkar dan sumbu R gerakan horizontal. Sistem koordinat ini juga disebut sebagai sistem *spherical* atau sistem bola karena jangkauan area dari robot membentuk volume bola.

4) Koordinat Artikulasi

Koordinat artikulasi adalah koordinat yang terdiri dari tiga sumbu yaitu : θ (theta), sumbu W (lengan atas) dan sumbu U (siku). Koordinat ini memiliki 2 sumbu yang dapat

melipat yaitu pada sumbu W dan sumbu U, sehingga koordinat ini menjadi lebih fleksibel dan banyak digunakan dalam industri.

7. Rangkuman BAB X

Robot merupakan peralatan yang dapat diprogram ulang, memiliki banyak fungsi yang didesain untuk memindahkan material, suku cadang (*part*), peralatan atau peralatan khusus. Sistem robot memiliki memiliki tiga komponen dasar, yaitu : Manipulator, kontroler, dan Power (*daya*). *Efektor* sering ditemukan pada beberapa sistem robot, tetapi sifatnya tidak harus ada.

- Kontroler : Suatu peralatan yang bertugas sebagai penendali dari gerakan robot. Kontroler membentuk sistem kontrol yang akan menentukan *input* dan *output* suatu robot.
- Manipulator : Lengan yang memberikan gerakan robot untuk memutar, melipat, menjangkau objek. Gerakan ini di sebut dengan derajat kebebasan robot atau jumlah sumbu yang ada pada robot. manipulator terdiri dari beberapa segmen dan sambungan (*joint*).
- Power supply* : Sebuah unit yang menyediakan tenaga pada kontroler dan manipulator sehingga dapat bekerja. *Power supply* dalam suatu sistem robot dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian untuk kontroler dan bagian untuk manipulator.
- Efektor : Efektor berfungsi sebagai bagian terakhir yang menghubungkan antara manipulator dengan objek yang akan dijadikan kerja dari robot.

Robot memiliki tiga tingkatan/*level* teknologi, yaitu: Rendah (*low*) teknologi, medium teknologi dan teknologi tinggi (*high technology*). Hal-hal yang digunakan dalam penentuan tingkatan robot adalah sumbu (*axes*), muatan (*payload*), siklus waktu (*cycle time*), keteletian (akurasi), aktuasi dan sistem kontrol yang digunakan.

Sumbu robot bergerak dalam rangka untuk menyelesaikan suatu kerja. Gerakan tersebut diklasifikasikan menjadi 4 koordinat yaitu : kartesian, silindrikan, polar dan artikulasi koordinat. Masing-masing koordinat sistem menyebabkan gerakan dari lengan manipulator (*arm geometry*).

Hal yang paling penting lain dari sebuah robot adalah jangkauan kerja (seberapa jauh robot dapat menjangkau objek). Masing masing jangkauan kerja berbeda tergantung dari koordinat geometri yang digunakan. Koordinat kartesian memiliki jangkauan empat persegi panjang (*rectangular*), jangkauan kerja koordinat silindrikan adalah silindrikan, jangkauan kerja koordinat polar adalah bola (*spherical*), sedangkan jangkauan kerja koordinat artikulasi adalah bentuk cabikan (*tear-shape*).

Robot sekarang telah banyak diaplikasikan dalam dunia industri seperti pengecatan, perakitan, line tracking, pengelasan dan lain sebagainya. Aktuator (output) yang digunakan dapat berupa selenoid, katup, silinder dan motor listrik. Dengan adanya robot diharapkan dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas produk yang dihasilkan.

BAB XI PENUTUP

1. Simpulan

Secara garis besar buku ini terdiri dari materi kompetensi dasar kejuruan dan kompetensi kejuruan. Kompetensi dasar kejuruan terdiri dari tiga pembahasan utama antara lain memahami dasar-dasar kejuruan, memahami proses-proses dasar kejuruan dan merealisasikan kerja aman bagi manusia, alat, dan lingkungan. Sedangkan materi tentang kompetensi kejuruan akan membahas tentang gambar teknik, proses produksi dengan perkakas tangan, proses produksi dengan mesin konvensional, proses produksi berbasis komputer, sistem pneumatik hidrolik, proses produksi industri modern, dan teknologi robot.

1. Materi tentang memahami dasar-dasar kejuruan membahas tentang statika dan tegangan, mengenal komponen elemen mesin, mengenal material dan mineral serta rangkuman dari materi tersebut.
2. Materi tentang memahami proses-proses dasar kejuruan terdiri dari mengenal proses pengerjaan logam, mengenal proses pembentukan logam, mengenal mesin konversi energi serta rangkuman dari materi tersebut.
3. Bagian merealisasikan kerja aman bagi manusia alat dan lingkungan membahas tentang mengenal regulasi K3, menguasai prosedur penerapan K3, menerapkan prosedur K3 secara tepat dan benar serta rangkumannya.
4. Bagian keempat membahas tentang gambar teknik mesin yang terdiri dari mengenal alat menggambar teknik, lembar kerja, membaca gambar teknik dan rangkumannya.
5. Teknik produksi industri mesin dari alat-alat perkakas tangan, dan mesin konvensional hingga saat ini masih diperlukan. Terutama untuk mengerjakan benda kerja dengan bentuk spesifik dan berdimensi khusus seperti penggantian komponen yang sudah tidak beredar di pasaran, maupun komponen baru namun berdimensi tidak standar, biasanya untuk keperluan perawatan dan perbaikan mesin dan komponen. Namun selain kelebihan di atas mesin perkakas tangan memiliki kelemahan yaitu kurang memiliki daya saing bila harus melakukan produk massal. Keterbatasan tersebut antara lain pada kesulitan untuk mendapatkan kualitas yang sama persis antara produk yang satu dengan lainnya. Perkembangan tuntutan konsumen yang memerlukan kualitas tinggi telah mendorong para ahli untuk menciptakan mesin-mesin yang lebih presisi dan modern yang masih terus berkembang hingga sekarang. Dengan adanya pembahasan tersebut diharapkan buku ini memberikan gambaran

yang lengkap tentang teknik produksi industri mesin secara keseluruhan. Adapun pembahasan teknik produksi industri mesin perkakas tangan meliputi berbagai bidang antara lain: a) kerja bangku yang terdiri dari mengikir, melukis, mengebor, mereamer, menggergaji, memahat, menyetempel, mengetap dan menyenei, menyekerap, dan menggerinda, b) kerja pelat yang meliputi membengkok, melipat, menekuk, menyambung, c) lembar pekerjaan yang meliputi alas penindih kertas, mal mata bor, pengepasan persegi, pengepasan ekor burung, kotak dan pengasahan penitik, penggores, pahat tangan, mata bor.

6. Produk benda kerja yang memerlukan penyelesaian lebih presisi dari pekerjaan perkakas tangan dapat dilakukan dengan menggunakan mesin konvensional. Buku ini akan mengupas teknik produksi industri mesin yang menggunakan peralatan mesin konvensional seperti teknik menggunakan mesin bubut, dan frais. Bagian ini telah memaparkan bagaimana memproduksi suatu benda kerja dengan menggunakan mesin perkakas, seperti mesin bubut, dengan mesin frais. Adapun bagian yang telah dibahas antara lain: a) mesin bubut konvensional, bagian ini membahas tentang: pengertian mesin bubut konvensional, fungsi mesin bubut konvensional, jenis-jenis mesin bubut konvensional, mesin bubut ringan, mesin bubut sedang, mesin bubut standar, mesin bubut berat, b) bagian utama mesin bubut konvensional, tuas-tuas pengatur kecepatan sumbu utama, sumbu utama (mesin spindle), alas mesin (*bed*), eretan (*carrage*), keran pendingin, kepala lepas, (*tail stock*), pengikat kepala lepas, roda pemutar, transporter, sumbu pembawa, c) alat potong d) perhitungan pemakanan benda kerja
7. Adanya tuntutan konsumen yang semakin presisi menuntut proses produksi yang lebih akurat dengan bantuan komputer. Oleh karena itu bagian ketiga telah memaparkan tentang teknik produksi industri mesin berbasis pada komputer seperti: *Computer Aided Design* (CAD), setelah itu dibahas tentang pembuatan benda kerja dengan menggunakan mesin perkakas CNC. Bagian selanjutnya teknik mentransfer data dari gambar AutoCAD ke program mesin perkakas CNC. Teknik ini akan sangat membantu industri maupun siswa agar dapat membuat benda kerja dengan presisi meskipun memiliki design rumit namun menjadi mudah dikerjakan. Lebih mudah karena programmer tidak perlu menghitung letak koordinat suatu titik, namun cukup membuat gambar/design benda kerja secara bebas pada *Software AutoCAD*. Gambar tersebut selanjutnya dapat ditransfer ke bentuk (N/G code) kalimat-demi kalimat yang dapat digunakan oleh mesin perkakas CNC untuk dikerjakan (dieksekusi). Keuntungan dari software ini adalah programmer tidak perlu menghitung setiap titik koordinat dalam suatu benda kerja, melainkan dengan

menggunakan osnap dan fungsi lain dalam AutoCAD. Gambar bebas benda kerja tersebut akan diterjemahkan oleh mesin CNC melalui software CNC *Keller Q Plus*. Dari *software* ini data gambar akan dirubah ke bahasa pemrograman mesin CNC seperti kode N, kode G, dan lainnya.

8. Proses produksi berbasis pada sistem kontrol pneumatic/hidrolik merupakan bagian yang sedang berkembang. Oleh karena itu bagian ini telah membahas tentang system control pneumatic dan hidrolik, materi tersebut meliputi pembahasan tentang: a) pengertian pneumatic, karakteristik udara kempa, aplikasi penggunaan pneumatic, efektifitas pneumatic, keuntungan dan kerugian penggunaan udara kempa, keuntungan kerugian/kelemahan pneumatic, klasifikasi sistim pneumatic, peralatan sistem pneumatic, kompresor (pembangkit udara kempa), unit pengolahan udara bertekanan (*air serviceunit*), pemeriksaan udara kempa dan peralatan, konduktor dan konektor, katup-katup pneumatic, unit penggerak (*working element = aktuator*), air motor (*motor pneumatic*), katup pneumatic, *type of mounting* (cara-cara pengikat), sistem kontrol pneumatic, pengertian sistem kontrol pneumatic, dasar perhitungan pneumatic, tekanan udara, analisa aliran fluida (v), kecepatan torak, gaya torak (f) udara yang diperlukan, perhitungan daya kompresor, perhitungan tekanan, aplikasi sistem kerja pneumatic pengendalian langsung silinder sederhana, pengendalian tak langsung, aplikasi pneumatic dalam proses produksi penggeser benda/pintu, simbol logika, untuk saluran 1.2 (x), diagram karnaught, pneumatic, pompa dan aktuator hidrolik, komponen hidrolik, pengendalian hidrolik, dasar-dasar perhitungan hidrolik, prinsip hukum pascal, perhitungan kecepatan, pemeliharaan cairan hidrolik, pompa roda gigi dalam tipe *crescent*, pompa roda gigi dalam tipe geretor, *balanced vane* (pompa kipas balanced), pompa torak radial (*radial piston pump*), *bent axis piston* (pompa torak dengan poros, tekuk), instalasi pompa hidrolik, pengetesan efisiensi pompa hidrolik, unit pengatur (*control element*).
9. Bagian kesembilan akan membahas tentang proses industri teknologi modern yang meliputi sejarah perkembangan otomasi industri, otomasi teknik produksi, PLC (*programmable Logic Controller*). Pada PLC dijelaskan mulai dari sejarah perkembangan, perangkat keras, perangkat lunak, instruksi dasar sampai diagram ladder dan aplikasinya dan sebgainya.
10. Pada bagian kesepuluh penulis membahas tentang TEKNOLOGI ROBOT yang meliputi: a) Pengenalan Robot, bagian ini akan membahas tentang: istilah Robot, komponen Dasar, Gerakan Robot, Tingkatan Teknologi, b) Operasi dan Fitur Manipulator, meliputi: *Manipulator Arm Geometry*, Rotasi Wrist, Sistem

Penggerak Manipulator, Jangkauan Kerja, Aplikasi Robot, Penanganan Material, Perakitan dan Pengencangan, pengelasan. c) Efektor meliputi: Gripper, Klasifikasi Gripper, Jenis Gripper, Sensor dan Transduser, Sensor Kontak, Sensor Non-Kontak, Sensor Gaya dan Momen, sensor Temperatur

11. Pada bagian terakhir berupa bagian penutup, yang berisi simpulan dan saran.

2. Saran

Pada kesempatan ini penulis mengajukan beberapa saran demi kemajuan sains dan teknologi di Indonesia, antara lain:

1. Buku ini sebaiknya digunakan untuk pedoman pengajaran mata diklat teknik permesinan dan teknik otomasi industri untuk kalangan sekolah menengah kejuruan bidang teknik mesin dan praktisi industri mesin.
2. Bagi kalangan praktisi industri buku ini dapat dijadikan pegangan dalam mengatasi permasalahan yang ada di industri.
3. Masukan dan saran dari pembaca yang budiman sangat kami harapkan demi kesempurnaan buku ini di masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

- Aris Munandar, 1997, *Penggerak Mula Turbin*, ITB, Bandung
- Cliffs.Karl. 1994. *Instandhaltungsmangement*, Mannheim, Deutschdtiflmg fur Internationale Entwikkklung.
- Croser P. 1990. *Pneumatik*. Festo Didaktik. Esslingen
- Croser P. 1990. *Hydraulik*. Festo Didaktik. Esslingen
- Daryanto, dkk, 1977, *Menggambar Teknik Mesin*, Depdikbud, Jakarta
- Dieter, 1991, *Jugendlexikan der Tecknik*, Verlag, Koln
- Delman kilian, *Modern Control Technology Component And Stystem Handbook*, Omega Engineering, Inc, Stamford 1999
- Depdikbud, 1995, *Mesin Bubut CNC Dasar*, Jakarta.
- Gottfried Nist(1994), *Stearn und Regeln im Maschinenbau*, Haan-Gruiten, Europah Lehrmittel
- Groover M.P. dkk, *Industrial Robotics Technology*, Programming, and Aplication, Mcgraww-Hill Book Co, Singapore, 1986
- Harapan Utama. 2000. *Materi Pengajaran AutoCAD 2000*. Semarang: Lembaga Keterampilan Komputer Harapan Utama.
- J.J.M. Hollebrandse, Soedjono. 1988. *Teknik Pemrograman Dan Aplikasi CNC*. Jakarta: PT Rosda Jayaputra.
- Katsuhiko Ogata : *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan Jilid 1)* ; Penerbit Erlangga ; Jakarta
- Keith Frank, *Mechanical Engineering Handbook*, CRC Press LLC, New york, 1999
- Keller, 1992, *Schulungsunterlagen CNC Maho 432*, Solingen, CNC Didaktik.
- Lilih Dwi P., 2001, *Buku CNC Milling – TU 2A (Mesin Bubut Dasar)* , Laboratorium CNC – BLPT Surabaya.
- Lilih Dwi P., 2001, *Buku CNC Milling – TU 3A (Mesin Freis Dasar)* , Laboratorium CNC – BLPT Surabaya.
- Majumdar, 2001, *Pneumatic Systems Principles and Maintenance*,Tata McGraw-Hill, New Delhi.
- Maier dan Co, 1988, *Pelayanan EMCO 2A*, Hallem, EMCO
- Maier dan Co, 1988, *Pelayanan EMCO 3A*, Hallem, EMCO
- Meier (1992), *Petunjuk Penggunaan Mesin CNC EMCO TU-3A*, Austria, EMCO
- Mikell P. Groover: *Automation Production systems, and Computer-Integrated Manufacturing* ; Pearson Education ; Singapore, 2001
- Pakpahan : *Kontrol Otomatik* ; Penerbit Erlangga ; Jakarta, 1984
- Peter Patient, dkk, *Pengantar Ilmu Teknik Pneumatika*, PT. Gramedia, Jakarta, 1985
- Pudjananta dan Narsuhud, 2006, *Mesin Konversi Energi*, Andi Offset, Yogyakarta
- Richard C. Dorf : *Sistem Pengaturan* ; Penerbit Erlangga ; Jakarta, 1983
- Sachur Rheinhard, 1988, *CNC Technik*, Homburg, Gehlen
- Setiawan, Iwan. 2006. *Programmable Logic Controller (PLC) dan Perancangan Sistem Kontrol*. Yogyakarta : Penerbit Andi
- Siegfried Keller, 1998, *Q Plus Frasen CNC Qualifizierung*, Keller Didaktik and Technik, Wuppertal.
- Siegfried Keller, 1998, *Q Plus Drehen CNC Qualifizierung*, Keller Didaktik and Technik, Wuppertal.
- Soewito, Hadi. 1992. *Pengetahuan Dasar Mesin CNC*. Bandung: Pusat Pengembangan Penataran Guru Teknologi Bandung.
- Sudibydo dan Djumarso. 1991. *Toleransi*. Solo: ATMI ST Mikael
- Sugiharto, 1987, *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*, Pradya Paramitha, Jakarta
- Sugihartono, *Dasar Dasar Kontrol Pneumatik*, Penerbit tarsito, Bandung, 1985

LAMPIRAN A.2

Sumbodo, Wirawan, 2004, **Dasar-dasar Sistem Pneumatik/Hidrolik**, Semarang, Unnes

Sumbodo, Wirawan, 1998, **Dasar-dasar Sistem Pemrograman mesin CNC**, Semarang, Unnes

Supriyono dan Almeriany. 1983. **Gambar Teknik**. Solo: ATMI ST Mikael

Umaryadi, 2006, PDTM **Teknologi dan Industri**, Yudhistira, Jakarta

Wahana Komputer. 2002. **Menguasai AutoCAD 2002**. Jakarta: Salemba Infotek.

www.Wikipedia.com/id/search/automation_system

www.en.wikipedia.com

www.cnc-keller.de

www.hondacompany.com

www.QPlusFrasen.com

www.omron.com/index3.html

www.zen.omron.co.jp/eng/index.html - 22k

www.plcs.net/ - 20k

www.automation.com

world.honda.com/ASIMO/

www.compserv.sabah.gov.my

www.roboticsonline.com

www.fanucrobotics.com

embedded-system.net

www.playrobot.com/comp%20robot_ind.htm

embedded-system.net/kuka-kr-1000-titan-6-axis.

www.webstergiffin.com/images/robot_arm01.jpg

DAFTAR TABEL

BAB I MEMAHAMI DASAR-DASAR KEJURUAN

Tidak ada tabel

BAB II MEMAHAMI PROSES-PROSES DASAR KEJURUAN

Tidak ada tabel

BAB III MEREALISASIKAN KERJA AMAN BAGI MANUSIA, ALAT DAN LINGKUNGAN

Tidak ada tabel

BAB IV GAMBAR TEKNIK

Tabel 1.	Kertas gambar berdasarkan ukuranya	62
Tabel 2.	Pensil berdasarkan kekerasan	64
Tabel 3.	Macam-macam ketebalan garis	99
Tabel 4.	Perbandingan ketebalan garis bantu dengan garis gambar	103

BAB V PROSES PRODUKSI DENGAN PERKAKAS TANGAN

Tabel 1.	Pengelompokan kikir berdasarkan kekerasan gigi dan kegunaannya.....	138
Tabel 2.	Pengelompokan kikir berdasarkan penampang dan penggunaannya	139
Tabel 3.	Pemegangan kikir untuk berbagai kebutuhan pengerjaan	141
Tabel 4.	<i>Cutting speed</i> untuk mata bor	173
Tabel 5.	Kecepatan pemakanan (<i>feeding</i>).....	174
Tabel 6.	Langkah pengeboran berbagai jenis pekerjaan	175
Tabel 7.	Jenis bukaan gigi gergaji dan fungsinya	178
Tabel 8.	Jumlah gigi tiap panjang 1 inchi berikut fungsinya	178
Tabel 9.	Jenis daun gergaji berikut fungsinya	179
Tabel 10.	Tingkat kekerasan batu gerinda dan penggunaannya	200
Tabel 11.	Tingkat kehalusan dan penggunaannya	200
Tabel 12.	Kecepatan keliling yang disarankan	204

BAB VI PROSES PRODUKSI MESIN KONVENSIONAL

Tabel 1.	Perbedaan mesin bubut konvensional dengan CNC	246
Tabel 2.	Penggunaan sudut tatal dan sudut bebas pahat bubut.....	254
Tabel 3.	Kecepatan potong pahat HSS (High Speed Steel)	261
Tabel 4.	Daftar kecepatan potong pembubutan	262
Tabel 5.	Kecepatan pemakanan untuk pahat HSS	263
Tabel 6.	Kecepatan potong untuk beberapa jenis bahan.....	302
Tabel 7.	Daftar kecepatan potong mesin frais	303
Tabel 8.	Kecepatan pemakanan pergigi untuk HSS.....	304
Tabel 8.	Ukuran utama roda gigi sistem module.....	319
Tabel 9.	Ukuran utama roda gigi diametral pitch.....	320
Tabel 10.	Pemilihan nomor pisau sistem module.....	321
Tabel 11.	Satu set cutter dengan 15 nomir.....	322
Tabel 12.	Satu set cutter modul sistem diameter pitch	322
Tabel 13.	Hubungan cutting speed dengan bahan	323
Tabel 14.	Kecepatan potong untuk HSS dalam m/menit.....	323
Tabel 15.	Tingkatan suaian basis lubang	338
Tabel 16.	Tingkatan suaian basis poros	338

LAMPIRAN B.2

Tabel 17.	Harga tingkatan suaian menurut ISO	339
Tabel 18a	Nilai penyimpangan lubang untuk tujuan umum	340
Tabel 18b	Nilai penyimpangan lubang untuk tujuan umum	341
Tabel 19a	Nilai penyimpangan poros untuk tujuan umum	342
Tabel 19b	Nilai penyimpangan poros untuk tujuan umum	343

BAB VII PROSES PRODUKSI BERBASIS KOMPUTER

Tabel 1.	Arti kode M pada mesin CNC	410
Tabel 2.	Arti kode lainnya	420
Tabel 3.	Siklus pemrograman dengan EMCO TU 2A	422
Tabel 4.	Siklus pembuatan ulir G 33	428
Tabel 5.	Koordinat hasil perhitungan titik	430
Tabel 6.	Siklus program pembuatan pion catur dengan CNC EMCO TU 2A	437
Tabel 7.	Siklus pemrograman pembuatan asbak rokok dengan CNC EMCO TU 2A	441

BAB VIII SISTEM PNEUMATIK DAN HYDROLIK

Tabel 1.	Jenis dan simbol katup sinyal pneumatik	497
Tabel 2.	Jenis penggerak katup	498
Tabel 3.	Jenis dan simbol katup pemroses sinyal.....	500
Tabel 4.	Jenis dan simbol katup pembatas tekanan.....	502
Tabel 5.	Simbol logika katup AND	503
Tabel 6.	Simbol logika katup OR	503
Tabel 7.	Simbol dan logika katup NOT.....	504
Tabel 8.	Logika katup NOR	504
Tabel 9.	Logika katup NAND.....	505
Tabel 10.	Jenis dan Simbol Komponen Sistim Pneumatik Lainnya (<i>FESTO FluidSIM</i>).....	508
Tabel 11.	Logika pengendalian sistem sederhana langsung.....	518
Tabel 12.	Logika sistem diagram gerak silinder melalui dua katup	520
Tabel 13.	Simbol dan keterangan rangkaian kontrol pint bus otomatis	522
Tabel 14.	Jenis -jenis cairan hidrolik tahan api	523
Tabel 15.	Perbandingan macam -macam cairan hidrolik	544
Tabel 16.	Klasifikasi viskositas cairan hidrolik.....	545
Tabel 17.	Aplikasi penggunaan hidrolik dengan tingkatannya	546
Tabel 18.	Batas viskositas ideal	546
Tabel 19.	Kesetaraan dari berbagai satuan viscositas oli hidrolik.....	547
Tabel 20.	Karakteristik cairan hidrolik yang dikehendaki	550

BAB IX PROSES PRODUKSI INDUSTRI MODERN

Tabel 1.	Logika AND dan NOT AND	581
Tabel 2.	Logika OR dan NOT OR	582
Tabel 3.	Aturan aljabar saklar AND	582
Tabel 4.	Aturan aljabar saklar OR	583
Tabel 5.	Pengalamatan input dan output	608
Tabel 6.	Daftar alamat pada input dan output	612
Tabel 7.	Alamat input dan output PLC	614

BAB X TEKNOLOGI ROBOT

Tabel 1.	Propertis teknologi robot	629
Tabel 2.	Material variasi temperature dan tahanan bahan	653
Tabel 3.	Jangkauan temperature dan jangkauan tegangan	654

DAFTAR GAMBAR

JILID 1

BAB I MEMAHAMI DASAR-DASAR KEJURUAN

Gambar 1.	Perpindahan benda dari A ke B akibat gaya F	1
Gambar 2	Gaya gesek pada roda mobil.....	2
Gambar 3	Titik tangkap gaya (A) pada garis kerja gaya	2
Gambar 4.	Menyusun dua buah gaya menjadi gaya Resultan (F)	3
Gambar 5.	Menyusun Gaya lebih dari dua buah secara grafis	3
Gambar 6.	Menyusun lebih dari dua buah gaya secara poligon.....	4
Gambar 7.	Menyusun gaya lebih dari dua buah secara Analitis	4
Gambar 8.	Menguraikan gaya (proyeksi) sumbu X dan Y	5
Gambar 9.	Jarak (L) garis gaya (F) terhadap titik perputaran (o).....	5
Gambar 10.	Menyusun lebih dari dua buah gaya secara poligon.....	6
Gambar 11.	Dua buah gaya sama sejajar berlawanan arah dan berjarak L.....	6
Gambar 12.	Gaya F_1 dan F_2 yang membentuk sudut α	8
Gambar 13.	Dua gaya pada batang membentuk kesetimbangan.....	8
Gambar 14.	Kesetimbangan benda pada bidang miring	9
Gambar 15.	Tegangan yang timbul pada penampang A-A.....	10
Gambar 16.	Tegangan Normal.....	10
Gambar 17.	Tegangan tarik pada batang penampang luas A.....	11
Gambar 18.	Tegangan tekan.....	12
Gambar 19.	Tegangan Geser	12
Gambar 20.	Tegangan lengkung pada batang rocker arm	13
Gambar 21.	Tegangan puntir.....	14
Gambar 22.	Kontruksi poros kereta api	15
Gambar 23.	Kontruksi poros kereta api	16
Gambar 24.	Kontruksi poros transmisi.....	16
Gambar 25.	Poros transmisi dengan beban puntir.....	16
Gambar 26.	Beban lentur murni pada lengan robot.....	17
Gambar 27.	Beban puntir dan lentur pada arbor saat pemakanan.....	18
Gambar 28.	Bantalan luncur dilengkapi alur pelumas	19
Gambar 29.	Bantalan radial.....	19
Gambar 30.	Bantalan aksia.....	19
Gambar 31.	Bantalan gelinding khusus.....	20
Gambar 32.	Dapur pengolahan bijih besi menjadi besi.....	23

BAB II MEMAHAMI PROSES-PROSES DASAR KEJURUAN

Gambar 1.	Logam cair sedang dituangkan ke dalam cetakan.....	29
Gambar 2.	Proses Pengecoran logam	30
Gambar 3,	Dimensi benda kerja yang akan dibuat (a), menutupi permukaan pola dalam rangka cetak dengan pasir, (c) cetakan siap, preses penuangan (d), dan produk pengecoran	31
Gambar 4.	Pengecoran logam pada cetakan pasir.....	34
Gambar 5.	Turbin air produk hasil pengecoran logam.....	35
Gambar 6.	Turbin air produk hasil pengecoran logam	36
Gambar 7.	Die Casting.....	36
Gambar 8.	Salah satu produk <i>Die Casting</i>	38
Gambar 9.	Pengolahan Logam Manual.....	40
Gambar 10.	Pengerjaan Logam dengan mesin bubut	41
Gambar 11.	Produk pengolahan logam dengan mesin CNC	42
Gambar 12.	Mesin pengerollan (rolling).....	43

LAMPIRAN C.2

Gambar 13.	PLTA, konversi energi dari energi potensial, energi mekanik, dan energi listrik.....	44
Gambar 14.	Accu sebagai bentuk energi kimia.....	45
Gambar 15.	Salah satu reaktor nuklir	46
Gambar 16,	Mesin konversi dari panas ke uap.....	46
Gambar 17,	Pemanfaatan energi angin	47
Gambar 18,	siklus motor bensin 4 langkah.....	48
Gambar 19,	Turbin Air	50
Gambar 20	Sebuah sistem turbin gas.....	50

BAB III MEREALISASIKAN KERJA AMAN BAGI MANUSIA, ALAT, DAN LINGKUNGAN

Gambar 21.	Tanda harus mengenakan kacamata	58
Gambar 22.	Tanda harus mengenakan penutup telinga	58
Gambar 23.	Tanda harus mengenakan sarung tangan	58
Gambar 24,	Pekerja menggunakan kacamata dan masker.....	59
Gambar 25,	Mengisap serbuk fiber menggunakan vacuum	59
Gambar 24,	Menekuk plat/selang fiber menggunakan sarung tangan.....	59

BAB IV GAMBAR TEKNIK

Gambar 1.	Cara penempelan kertas di atas meja gambar non magnetik.....	65
Gambar 2.	Pensil batang	66
Gambar 3.	Pensil mekanik.....	66
Gambar 4.	Cara menarik garis	67
Gambar 5.	Rapido.....	67
Gambar 6.	Penggaris T dan sepasang penggaris segitiga.....	68
Gambar 7.	Cara menggunakan penggaris -T.....	68
Gambar 8.	Cara menggunakan penggaris segitiga	69
Gambar 9.	Jenis jangka	69
Gambar 11.	Kedudukan pena tarik saat menarik garis	70
Gambar 12.	Membuat lingkaran besar dengan alat penyambung.....	70
Gambar 13.	Plat pelindung penghapus	71
Gambar 14.	Busur derajat.....	71
Gambar 15.	Mal lengkung.....	72
Gambar 16.	Contoh penggunaan mal lengkung	72
Gambar 17.	Mal bentuk geometri.....	72
Gambar 18.	Meja gambar	73
Gambar 19.	Mesin gambar lengan	73
Gambar 20.	Mesin gambar rol.....	73
Gambar 21.	Proyeksi piktorial.....	75
Gambar 22.	Proyeksi isometris	76
Gambar 23.	Penyajian proyeksi isometris	77
Gambar 24.	Proyeksi isometris dengan kedudukan terbalik.....	77
Gambar 25.	Proyeksi isometris kedudukan horisontal.....	78
Gambar 26.	Proyeksi dimetris	78
Gambar 27.	Kubus dengan proyeksi dimetris	79
Gambar 28.	Proyeksi miring.....	79
Gambar 29.	Perspektif dengan satu titik hilang.....	80
Gambar 30.	Perspektif dengan dua titik hilang.....	80
Gambar 31.	Perspektif dengan tiga titik hilang.....	80
Gambar 32.	Macam-macam pandangan.....	81
Gambar 33.	Bidang proyeksi	81

Gambar 34.	Proyeksi di kuadran I	82
Gambar 35.	Pembukaan objek gambar di kuadran I	83
Gambar 36.	Pemutaran dengan jangka	83
Gambar 37.	Potongan garis yang bersudut 45°	84
Gambar 38.	Garis sumbu terpisah dengan gambar	84
Gambar 39.	Garis sumbu berimpit dengan gambar	84
Gambar 40.	Pandangan proyeksi Eropa	85
Gambar 41.	Pandangan proyeksi Amerika	85
Gambar 42.	Contoh pandangan proyeksi Amerika	86
Gambar 43.	Proyeksi Amerika	86
Gambar 44.	Proyeksi Eropa	86
Gambar 45.	Anak panah	87
Gambar 46.	Contoh penggambaran anak panah	87
Gambar 47.	Penerapan Proyeksi Eropa	87
Gambar 48.	Penerapan Proyeksi Amerika	88
Gambar 49.	Gambar satu pandangan	88
Gambar 50.	Gambar pandangan	89
Gambar 51.	Pembedaan bentuk benda dengan satu pandangan	89
Gambar 52.	Pemilihan pandangan utama	90
Gambar 53.	Pandangan utama	90
Gambar 54.	Penentuan pandangan depan	90
Gambar 55.	Penggunaan dua pandangan	91
Gambar 56.	Penggunaan tiga pandangan	91
Gambar 57.	Bentuk benda dari hasil pandangan	92
Gambar 58a	93
Gambar 58b	93
Gambar 58c.	93
Gambar 59.	Tanda pemotongan	94
Gambar 60.	Tanda pemotongan dengan gelombang dan zigzag	95
Gambar 61.	Penempatan gambar potongan	96
Gambar 62a.	Penempatan potongan dengan diputar	97
Gambar 62b.	Penempatan potongan dengan diputar dan dipindah	97
Gambar 63a.	Potongan jari-jari pejal	98
Gambar 63b.	Potongan dudukan poros	98
Gambar 64.	Potongan penuh	99
Gambar 65.	Potongan separuh	100
Gambar 66.	Potongan sebagian	101
Gambar 67.	Potongan putar	101
Gambar 68.	Potongan bercabang atau meloncat	101
Gambar 69.	Contoh penggunaan arsiran	102
Gambar 70.	Sudut ketebalan garis arsiran	103
Gambar 71.	Arsiran pada bidang luas dan bidang berdampingan	103
Gambar 72.	Arsiran benda tipis	104
Gambar 73.	Angka ukuran dan arsiran	104
Gambar 74.	Macam-macam arsiran	105
Gambar 75.	Cara penarikan garis dan ketebalannya	106
Gambar 76.	Jarak antara garis ukur	107
Gambar 77.	Penulisan angka ukuran	108
Gambar 78.	Ukuran tambahan	110
Gambar 79.	Pengukuran ketirusan	110
Gambar 80.	Penunjukan ukuran pengerjaan khusus	111
Gambar 81.	Penunjukan ukuran pada bagian yang simetris	111
Gambar 82.	Pencantuman simbol-simbol ukuran	112
Gambar 83.	Pengukuran jari-jari	113
Gambar 84.	Penempatan anak panah dan ukuran di dalam lingkaran	113

LAMPIRAN C.4

Gambar 85.	Penempatan anak panah dan ukuran di luar lingkaran	113
Gambar 86.	Penunjukan ukuran	114
Gambar 87.	Ukuran berantai	114
Gambar 88.	Ukuran sejajar.....	115
Gambar 89.	Ukuran kombinasi.....	115
Gambar 90.	Ukuran berimpit.....	116
Gambar 91.	Pengukuran berimpit.....	117
Gambar 92.	Pengukuran koordinat.....	118
Gambar 93.	Pengukuran berjarak sama.....	118
Gambar 94.	Pengukuran berjarak sama.....	119
Gambar 95.	Pengukuran alur pasak.....	119
Gambar 96.	Pengukuran pada lubang	120
Gambar 97.	Pengukuran profil.....	120
Gambar 98.	Pembuatan gambar mur.....	121
Gambar 99.	Pengukuran mur.....	121
Gambar 100.	Pembuatan gambar baut.....	122
Gambar 101.	Pembuatan gambar mur dan baut.....	122
Gambar 102.	Batas atas dan batas bawah toleransi.....	123
Gambar 103.	berbagai macam ukuran dan penyimpangan	123
Gambar 108.	Penulisan toleransi simetris	124
Gambar 107.	Penulisan toleransi dan nilai penyimpangan nol.....	124
Gambar 106.	Penulisan toleransi dan nilai penyimpangan	124
Gambar 105.	Penulisan toleransi suaian dan nilai penyampangan	124
Gambar 104.	Penulisan suaian standar ISO.....	124
Gambar 111.	jenis-jenis penulisan toleransi pada gambar susunan	125
Gambar 110.	Penulisan batas-batas ukuran dalam satu arah	125
Gambar 109.	Penulisan batas-batas ukuran.....	125
Gambar 112.	Jenis-jenis penulisan yoleransio pada ukuran sudut.....	126
Gambar 113.	Penulisan ukuran dan toleransi pada gambar kerja.....	126
Gambar 115.	kelonggaran dan kesesakan antara poros dan lubang.....	128
Gambar 114.	Penandaan Kualitas Permukaan	128
Gambar 116.	Suaian Longgar	129
Gambar 117.	Suaian paksa.....	129
Gambar 118.	Suaian tramsisi.....	129
Gambar 119.	Proyeksi piktorial	131
Gambar 120.	Proyeksi isometris	131
Gambar 121.	Proyeksi dimetris	132
Gambar 122.	Proyeksi miring	132
Gambar 123.	Potongan A-A.....	133
Gambar 124.	Potongan B-B.....	133
Gambar 125.	Macam-macam arsiran.....	134
Gambar 126.	Gambar Benda Kerja	135

BAB V PROSES PRODUKSI DENGAN PERKAKAS TANGAN

Gambar 1.	Ketinggian ragam untuk pengerjaan umum kerja bangku	135
Gambar 2.	Ragam	135
Gambar 3.	Pencekaman benda kerja	136
Gambar 4.	Bagian bagian utama kikir	137
Gambar 5.	Spesifikasi kikir	137
Gambar 6.	Spesifikasi kikir berdasarkan penampangnya	137
Gambar 7.	Kikir <i>single cut</i> dan kikir <i>double cut</i>	138
Gambar 8.	Gerakan badan dan mulut	142
Gambar 9.	Posisi kaki terhadap sumbu	142
Gambar 10.	Kikir gigi tunggal arah pemakanan lurus dengan	

	sumbu kikir	143
Gambar 11.	Kikir gigi tunggal arah pemakanan tidak satu sumbu dengan sumbu kikir	143
Gambar 12.	Kikir gigi ganda dengan arah pemakanan lurus dengan sumbu kikir	144
Gambar 13.	Menghilangkan kulit yang keras dengan ujung	144
Gambar 14.	Pemeriksaan kerataan hasil pengikiran dengan pisau perata	145
Gambar 15.	Bidang dasar 1, 2 dan 3	145
Gambar 16.	Pemeriksaan hasil pengikiran miring	146
Gambar 17.	Pengikiran radius dalam	146
Gambar 18.	Pengikiran radius luar	139
Gambar 19.	Pemeriksaan hasil pengikiran radius	139
Gambar 20.	Bidang dasar sebagai dasar ukuran, kesikuan dan kesejajaran dalam penggambaran	148
Gambar 21.	Mistar baja	148
Gambar 22.	Penggunaan mistar baja	149
Gambar 23.	Busur derajat	149
Gambar 24.	Penggunaan busur derajat	149
Gambar 25a	Set mal radius dalam satu tangkai	150
Gambar 25b	Set mal radius dalam ikatan cincin.....	150
Gambar 26.	Memeriksa dengan mal radius	150
Gambar 27.	Satu set mal ulir	151
Gambar 28.	Memeriksa ulir baut dan mal ulir	152
Gambar 29.	Pita ukur	152
Gambar 30.	Jangka sorong	152
Gambar 31.	Penggunaan mistar sorong	153
Gambar 32.	Penggores	153
Gambar 33.	Pemakaian penggores	154
Gambar 34.	Siku-siku	155
Gambar 35.	Siku-siku geser	155
Gambar 36.	Penggunaan siku-siku	155
Gambar 37.	Siku-siku kombinasi	156
Gambar 38.	Pengukuran 45°	156
Gambar 39.	Pengukuran kesikuan 90°	157
Gambar 40.	Jangka tusuk (<i>spring divider</i>)	157
Gambar 41.	Pengukuran dengan jangka tusuk	157
Gambar 42.	Jangka tongkat	158
Gambar 43.	Penggunaan jangka tongkat	158
Gambar 44.	Jangka garis	158
Gambar 45.	Penggunaan jangka garis	158
Gambar 46.	Jangka bengkok	159
Gambar 47.	Mengukur tebal dan kesejajaran	159
Gambar 48.	Jangka kaki	160
Gambar 49.	Memeriksa diameter dalam	160
Gambar 50.	Balok gores	161
Gambar 51.	Penggunaan balok gores	161
Gambar 52.	Pengukur tinggi	162
Gambar 53.	Menggaris sebuah bidang	162
Gambar 54.	Mengukur tinggi / tebal	162
Gambar 55.	Penitik pusat	163
Gambar 56.	Penggunaan penitik pusat	163
Gambar 57.	Penitik garis	163
Gambar 58.	Penggunaan penitik garis	163
Gambar 59.	Palu	164
Gambar 60.	Tangkai palu	164

LAMPIRAN C.6

Gambar 61.	Palu lunak	165
Gambar 62.	Penggunaan palu	165
Gambar 63.	Meja perata	165
Gambar 64.	Penggunaan meja	165
Gambar 65.	Balok vee	166
Gambar 66.	Penggunaan balok vee	166
Gambar 67.	Bagian-bagian mata bor	167
Gambar 68.	Mata bor pilin kisar sedang	167
Gambar 69.	Bor pilin spiral kecil	168
Gambar 70.	Bor pilin kisar besar	168
Gambar 71.	Bor pilin kisar besar sudut sayat kecil	168
Gambar 72.	Bor pilin kisar besar sudut sayat lancip	168
Gambar 73.	Bor pembenam	169
Gambar 74.	Mata bor pembenam kapala baut	169
Gambar 75.	Bentuk kepala mata bor	169
Gambar 76.	Kaliber mata bor	170
Gambar 77.	Sudut mata bor	170
Gambar 78.	Penjepit bor	171
Gambar 79.	Sarung pengurang	171
Gambar 80.	Mesin bor bangku.....	171
Gambar 81.	Mesin bor tiang	172
Gambar 82.	Bor pistol.....	172
Gambar 83.	Bor dada mekanik terbuka.....	172
Gambar 84.	Bor dada mekanik tertutup	172
Gambar 85.	Reamer (Peluas).....	176
Gambar 86.	Peluas tirus	176
Gambar 87.	Peluas yang dapat distel.....	177
Gambar 88.	Penggunaan reamer	177
Gambar 89.	Gergaji tangan	178
Gambar 90.	Pemasangan daun gergaji pada sengkang	179
Gambar 91.	Pemegangan sengkang gergaji	180
Gambar 92.	Membuat alur (permulaan menggergaji)	180
Gambar 93.	Sudut awal penggergajian	181
Gambar 94.	Pemotongan benda kerja	181
Gambar 95.	Posisi daun gergaji tagal lurus terhadap sengkang Gergaji	181
Gambar 96.	Pahat	182
Gambar 97.	Pahat	183
Gambar 98.	Pahat alur	183
Gambar 99.	Pahat dam	183
Gambar 100.	Pahat alur minyak	184
Gambar 101.	Pahat kuku	184
Gambar 102.	Pahat diamon.....	184
Gambar 103.	Cara menggenggam pahat	185
Gambar 104.	Memperhatikan mata pahat	185
Gambar 105.	Memahat baja pelat	186
Gambar 106.	Memahat benda yang lebar	186
Gambar 107.	Memahat benda kerja yang tidak dijepit dengan Catok ragum	187
Gambar 108.	Posisi pahat pada waktu memahat	187
Gambar 109.	Posisi pahat pada saat akhir pemahatan	187
Gambar 110.	Garis bantu stempel	188
Gambar 111.	Susunan stempel	189
Gambar 112.	Posisi stempel	189
Gambar 113.	Tap	190
Gambar 114.	Sney	191

LAMPIRAN C.7

Gambar 115.	Tangkai pemutar	191
Gambar 116.	Dimensi ulir	191
Gambar 117.	Proses mengetap	193
Gambar 118.	Mengecek ketegakan lurus mengetap	193
Gambar 119.	Posisi tangan pada awal menyenei	193
Gambar 120.	Pemegangan penuh pada posisi jauh dari rumah Snei	194
Gambar 121.	Penggunaan snei	194
Gambar 122.	Sekerap tangan	195
Gambar 123.	Sekerap mata bulat	195
Gambar 124.	Sekerap keruk	195
Gambar 125.	Sekerap setengah bundar	196
Gambar 126.	Sekerap segi tiga	196
Gambar 127.	Sekerap bulat hidung sapi	196
Gambar 128.	Menyekerap	197
Gambar 129.	Mesin gerinda tiang	197
Gambar 130.	Proses pelepasan butiran pemotong	198
Gambar 131.	Roda gerinda lunak	199
Gambar 132.	Roda gerinda keras	199
Gambar 133.	Roda gerinda struktur terbuka	201
Gambar 134.	Roda gerinda struktur padat	201
Gambar 135.	Roda gerinda struktur pori-pori	201
Gambar 136.	Roda gerinda lurus	202
Gambar 137.	Penandaan roda gerinda	202
Gambar 138.	pemeriksaan roda gerinda	204
Gambar 139.	Pengikatan roda gerinda pada mesin spindel mesin	205
Gambar 140.	Mengasah / mendreser roda gerinda	205
Gambar 141.	Keselamatan kerja menggerinda	206
Gambar 142.	Melipat tepi	206
Gambar 143.	Mesin lipat	207
Gambar 144.	Mesin roll	207
Gambar 145.	Landasan rata	207
Gambar 146.	Landasan pipa	207
Gambar 147.	Landasan tepi lurus	208
Gambar 148.	Landasan tepi bundar	208
Gambar 149.	Landasan ½ bola	208
Gambar 150.	Landasan alur	208
Gambar 151.	Sambungan sekerup	209
Gambar 152.	Sambungan lipatan	210
Gambar 153.	Sambungan keling	210
Gambar 154.	Memasang baut pemanas	210
Gambar 155.	Proses mematri	211
Gambar 156.	Jenis penguatan	211
Gambar 157.	Pengutan tepi	212
Gambar 158.	Penguatan tepi dengan kawat	212
Gambar 159.	Mesin putar kombinasi	213
Gambar 160.	Alas penindih kertas	213
Gambar 161.	Mal mata bor	214
Gambar 162.	Dimensi mal mata bor	215
Gambar 163.	Pengepasan persegi	215
Gambar 164.	Dimensi pengepasan persegi	216
Gambar 165.	Sambungan ekor burung	216
Gambar 166.	Dimensi sambungan ekor burung	217
Gambar 167.	Bukaan kotak	217
Gambar 168.	Penitik, pahat tangan, penggores dan mata bor	219

GLOSARY

PLC	: <i>Programmable Logic Controlled</i>
CNC	: <i>Computer Numerically Controlled</i>
Pneumatik	: Ilmu tentang pemanfaatan udara bertekanan
Hydrolik	: Fluida untuk meneruskan tenaga
Sensor	: Masukan ke dalam sistem atau sinyal
N Code	: Kode kalim at dalam pemrograman mesin CNC
G Code	: Kode instruksi dalam pemrograman mesin CNC
<i>Griffer</i>	: Lengan robot untuk mengambil material
<i>Inkremental</i>	: Pengukuran berdasarkan pada perubahan panjang lintasan
<i>Absolute</i>	: Pengukuran berdasarkan pada perubahan panjang lintasan
<i>Polar</i>	: Pengukuran berdasarkan pada perubahan besar sudut lintasan
<i>Feeding</i>	: Kecepatan asutan dalam pemakanan benda kerja
<i>Actuator</i>	: Penggerak benda kerja atau output dari suatu sistem.
Katup	: Alat pengatur arah, tekanan maupun kecepatan fluida dari sistem.
<i>Compressor</i>	: Alat pembangkit tekanan fluida.
Arbor	: Tempat dudukan alat potong mesin frais.
Cekam	: Tempat untuk menjepit benda kerja pada mesin bubut.
<i>Cutter</i>	: Pisau penyayat benda kerja.
<i>Air Service Unit</i>	: Komponen pembersih (filter), pemberi pelumas pengatur tekanan fluida sistem.
<i>Balamced Vane</i>	: Pompa kipas balanced.
<i>Bent Axis Piston</i>	: Pompa torak dengan poros tekuk.
<i>Processor</i>	: Pusat pengolah semua masukan dari sesnsor untuk disalurkan pada output.
<i>Power Supply</i>	: Catu daya
<i>Ladder Logic</i>	: Diagram tangga yang digunakan dalam PLC.
Selenoida	: Kumparan kawat yang dapat dialiri listrik.
Memory	: Penyimpan data dalam computer.

INDEX

- A**
Air Service Unit 472
Aktuator 485
 Aktuator 651
 Anak Panah 84
 Aplikasi 461
Arm Geometry 620
 Asutan 425
 AutoCAD 348
- B**
Balanced Vane 554
Bent Axis Piston 555
 Bit 594
 Bubut 220
 Bus 513
- C**
Centrifugal Casting 34
 Cetakan 29
 CNC 239
coinage de making 458
Computer Aided Design (CAD) 345
Computer Numerically Controlled (CNC) 394
 Crescent 553
Cutter 279
Cutting Speed 253
- D**
 Device 577
 Die Casting 35
Dividing Head 293
 Drilling 459
- E**
 EDM (*Electrical Discharge Machining*) 457
 Efektifitas 462
 Efektor 634
 Ekor 212
Ekspandable Mold Casting 31
 Elemen 14
 EMCO 426
- F**
 Frais 271
- G**
 Gambar Perspektif 77
 Gambar Potongan 90
 Garis Arsiran 100
Gear Cutters 313
 Geretor 553
 Gips 32
Gripper 634
- H**
 Hidrolik 533
- J**
 Jangka 66
- K**
 K3 53
 Katup 652
 Katup 479
 Kempa 481
 Kerja Bangku 130
 Kertas 62
 Kimia 650
 Klasifikasi 465
 Komite 55
 Kompresor 466
 Konduktor 477
 Koordinat 420
 Kotak 213
- L**
 Ladder 597
Linear 649
 Logam 20
- M**
 Mal 210
 Manipulator 620
 Meja Gambar 70
 Melukis 143
 Memahat 178
 Membengkok 202
 Mengebor 163
 Mengetap 186
 Menggam bar 62
 Menggergaji 173
 Menggerinda 193
 Mengikir 130
 Menyambung 205
 Menyekerap 191
 Menyenei 186
 Menyetempel 184
 Mereamer 171
 Mesin Gambar 70
Metal Working 38
 Mineral 20
 Modul 578
 Momen 642
Mounting 501
- O**
 OMRON 588
 Otomasi 565
- P**
 Pascal 548
 Pasir 31
 Pelat 202
 Pendinginan 37
 Pengecatan 631
 Pengecoran 28
 Pengelasan 633
 Penggaris 65
 Penghapus 68
 Penindih 209
 Pensil 63

LAMPIRAN E.2

Perakitan 631
Plaster Casting 33
Plat 527
PLC 569
Pneumatik 461
Polar 346
Poros 14
Processor 583
Profil 527
Prosedur 58
Proyeksi 79
Proyeksi Dimentris 76
Proyeksi Isometris 73
Proyeksi Miring (Sejajar) 77
Proyeksi Piktorial 72

R

Radial Piston Pump 555
Ragum 527
Rapido 65
Rehabilitasi 59
Resin 34
ROBOT 610
Rotary Table 294

S

Sand Casting 32
Selenoids 651
Sensor 639
Silinders 652
Simbol 55
Software 434
Solid 378
Statika 1
SYSWIN 588

T

Tegangan 1
Temperatur 643
Tranduser 638

V

Vernier Caliper 325

W

Wire Cut 459
Wrist 625

ISBN 978-979-060-139-0
ISBN 978-979-060-142-0

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 25.058,00