

ROBOT PANASONIC AW-005

TUGAS AKHIR

Nomor Soal : 97 / FT.USD / TM / XI / 2001

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Mesin



Oleh :

WIDO

No. Mhs. : 955214059

NIRM : 950051123109120110

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA
2001

TUGAS AKHIR

Nomor soal : 97 / FT.USD / TM / XI / 2001

ROBOT PANASONIC AW-005

oleh :

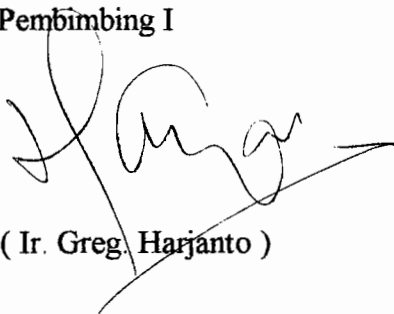
W I D O

NIM : 955214059

NIRM : 950051123109120110

Telah disetujui oleh :

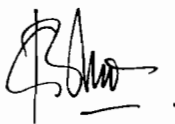
Pembimbing I



(Ir. Greg Harjanto)

tanggal : 27 Mei 2001

Pembimbing II



(Pippie Arbiyanti, ST)

tanggal : 27 Mei 2001

TUGAS AKHIR

ROBOT PANASONIC AW-005

Dipersiapkan dan ditulis oleh


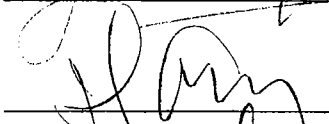
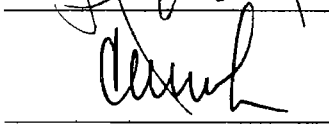
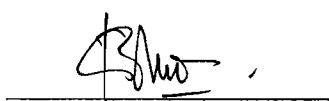
W I D O

NIM : 955214059

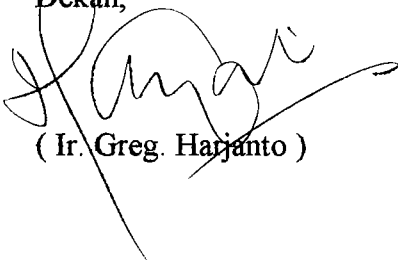
NIRM : 950051123109120110

Telah dipertahankan di depan Panitia Penguji
pada tanggal 18 Mei 2001
dan dinyatakan memenuhi syarat

Susunan Panitia Penguji

	Nama lengkap	Tanda Tangan
Ketua	Ir. P. J Soedarjana	
Sekretaris	Ir. Greg. Harjanto	
Anggota	DR. Ir. Viktor Malau, DEA.	
Anggota	Pippie Arbiyanti, S.T.	

Yogyakarta, 25 Mei 2001
Fakultas Teknik
Universitas Sanata Dharma
Dekan,


(Ir. Greg. Harjanto)



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA

(Kampus III) Paingan Maguwoharjo, Sleman -DIY

Telp. (0 2 7 4) 8 8 3 0 3 7, 8 8 3 9 6 9, Fax. (0 2 7 4) 8 8 6 5 2 9

TUGAS AKHIR PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK MESIN

Nomor : 97 / FT.USD / TM / XI / 2001

Diberikan kepada :
Nama Mahasiswa : Wido
Nomor Mahasiswa : 955214059
NIRM : 950051123109120110
Jurusan : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Mata kuliah : Robot Industri
Judul / naskah soal :
Robot Panasonic AW – 005.

Tanggal dimulai : 1 Nopember 2000

Dosen Pembimbing Kedua

(Pippie Arbiyanti, S.T.)

Yogyakarta, 16 Nopember 2000
Dosen Pembimbing Utama

(Ir. Greg. Harjanto)

Writer would like to dedicate this thesis to my mom and dad, all my family, my Mary {ex}, friend of mine {Ccep, Holy, exo, Vall-ice, my neighbor (Bima and Nero), Rudi Sitorus, John G-Brand, B-betz, J-Lo, Crist. Aguilera, Yuli, Hellen}, Pelangi big family, my band (SpoTakerz) and all fellas in Yogyakarta.

Thank you to all the people who have supported me.

KATA PENGANTAR

Pertama-tama penulis mengucapkan puji syukur ke Hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan bimbingan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan persoalan Tugas Akhir yang berjudul Robot Panasonic AW-005.

Tugas Akhir ini dibuat untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana teknik bagi mahasiswa S1 jurusan teknik mesin. Tugas Akhir ini terdiri dari tiga bagian meliputi informasi umum mengenai robot, komponen dan teori tentang robot serta perhitungannya.

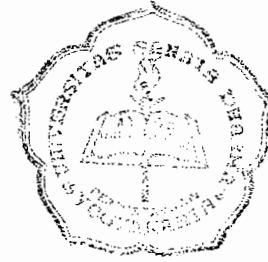
Dengan hati penuh terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Ir. G. Harjanto sebagai pembimbing utama dan Ibu Pippie Arbiyanti, S.T sebagai pembimbing kedua yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan persoalan ini. Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada teman-teman yang telah membantu dan memberi dorongan yang sangat berarti bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun akan diterima penulis dengan senang hati.

Yogyakarta, 5 Mei 2001



Penulis



DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN UJIAN	iii
HALAMAN SOAL	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR LAMBANG	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I Pendahuluan	1
I.1. Latar Belakang Robot	1
I.2. Robot Dalam Industri	2
I.3. Klasifikasi Robot	4
I.3.1. Klasifikasi Jepang	4
I.3.2. Klasifikasi Amerika	5
I.4. Geometri Robot dan Mekanisme Penggerak	6
I.4.1. Poros Gerakan dan Derajat Kebebasan	8
I.4.2. Geometri Robot	9
I.5. Robot Panasonic AW-005	11
BAB II Robot Panasonic AW-005	13
II.1. Spesifikasi Robot Panasonic	13
II.2. Konstruksi Robot Panasonic	13
II.3. Susunan Standar Robot	16
II.4. Lengan Robot Kinematik	18

II.5. Lengan Robot Dinamik	19
BAB III Perancangan Komponen Utama Robot	21
III.1. Perancangan Mekanisme Penggerak	21
III.1.1. Pemilihan Motor Listrik	21
III.1.2. Perhitungan Roda Gigi Penggerak	23
III.1.2.1. Perhitungan Dimensi Roda Gigi	25
III.1.2.2. Perhitungan Gaya pada Gigi	26
III.1.2.3. Perhitungan pada Lengkung dan Putus Geser	29
III.1.2.4. Contoh Perhitungan Roda Gigi pada Sendi 1	30
III.2. Pemilihan Bantalan	34
III.2.1. Pemilihan Bahan Bantalan Gelinding	35
III.2.2. Perhitungan Umur Bantalan	35
III.3. Perhitungan Struktur Lengan Robot	37
III.3.1. Perhitungan Gaya-Gaya Reaksi Lengan Robot	37
III.3.2. Perhitungan Kekuatan Lengan Robot	39
BAB IV Sistem Kendali Robot	43
IV.1. Kendali Loop Tertutup	43
IV.2. Kendali Loop Terbuka	44
IV.3. Mekanisme Servo	45
IV.3.1. Robot Terkendali Servo	47
IV.3.2. Kendali Servo Titik-ke-Titik	48
IV.4. Respon Sesaat	49
IV.5. End Effector	51
IV.5.1. Macam-Macam Pencengkeram	52
IV.5.2. Pencengkeram Mekanik	53
IV.5.3. Lapisan Pencengkeram (<i>gripper pad</i>)	54
IV.6. Sistem Sensor Robot	55
BAB V Pemeliharaan Robot	57
V.1. Pemeriksaan Harian	57

V.2. Pemeriksaan dan Perawatan Robot	58
V.3. Masalah-Masalah Dalam Pengoperasian	59
BAB VI Kesimpulan dan Penutup	61
Daftar Pustaka	
Lampiran	

DAFTAR LAMBANG

v : kecepatan motor listrik, $\frac{m}{mnt}$

d : diameter poros motor, mm

n : putaran motor pada tiap-tiap sendi, rpm

P : daya motor listrik, KW

Q : beban, kg

η : efisiensi mekanis ditentukan 0,95

T : torsi, N.m

P : daya motor listrik, Watt

z_a : jumlah gigi roda gigi surya

z_b : jumlah gigi roda gigi planet

z_c : jumlah gigi roda gigi dalam

α : sudut kontak = 20°

p : keliling lingkaran jarak bagi, mm

m : modulus roda gigi

p_e : jarak bagi kontak, mm

h_a : adendum

h_f : dedendum

h : tinggi gigi total

d : diameter lingkaran jarak bagi, mm

d_h : diameter lingkaran kepala, mm

d_f : diameter lingkaran kaki, mm

d_g : diameter lingkaran dasar, mm

b : lebar roda gigi, mm

s : tebal gigi, mm

i : perbandingan putaran

n_1 : putaran roda gigi surya, rpm
 n_2 : putaran roda gigi planet, rpm
 n_3 : putaran roda gigi dalam, rpm
 M : momen puntir, N.m
 F : gaya keliling nominal pada lingkaran jarak bagi kerja, N
 r : garis tengah lingkaran jarak bagi, m
 ω : kecepatan sudut, rad/det
 F_k : gaya keliling sebenar, N
 C_S : faktor tumbuk untuk penggerak motor listrik = 1,25
 F_D : gaya dinamik, N
 v : kecepatan keliling
 a : konstanta konversi persamaan
 q : gaya keliling, N/mm
 q_D : gaya keliling dinamik spesifik, N/mm lebar roda gigi
 f : kesalahan, μm
 q_R : beban ekstra gigi, N/mm
 C_E : faktor keelastikan
 f_R : faktor kesalahan, μm
 q_{maks} : beban gigi total, N/mm
 σ_i : tegangan ideal, N/mm^2
 μ : harga yang diukur pada jumlah gigi untuk tekanan sudut normal
 C_ϵ : harga normal = 0,7
 σ_{maks} : tegangan ideal maksimal, N/mm^2
 f_n : faktor kecepatan
 f_h : faktor umur
 C : beban nominal dinamis spesifik, kg
 L_h : umur nominal
 R_{VA} : gaya reaksi di titik A

R_{vB} : gaya reaksi di titik B

M_{lk} : momen lengkung, kgmm

W_{lk} : momen tahanan lengkung, mm³

σ_{lk} : tegangan lengkung, kg/mm²

σ_{t} : tegangan tarik, kg/mm²

F : gaya yang berasal dari reaksi di titik tumpu A dan B, kg

A : luas penampang, mm²

σ_{des} : tegangan desak, kg/mm²

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar I.1. Sistem koordinat robot	7
Gambar I.2. Robot dengan tiga poros gerakan dan tiga derajat kebebasan	8
Gambar I.3. Enam derajat kebebasan	9
Gambar II.1. Robot Panasonic AW-005	14
Gambar II.2. Torsi berkurang apabila beban bergerak ke arah poros motor	16
Gambar II.3. Susunan standar robot	18
Gambar III.1. Transmisi episisiklik	24
Gambar III.2. Nama-nama bagian roda gigi	24
Gambar III.3. Beban gigi	30
Gambar III.4. Titik-titik tumpu	38
Gambar III.5. Gaya reaksi di titik tumpu A dan B	39
Gambar III.6. Bentuk link 2 dianggap seperti balok	40
Gambar III.7. Gaya tarik pada pendukung link 2	41
Gambar IV.1. Diagram blok untuk kendali loop tertutup	43
Gambar IV.2. Diagram blok untuk loop terbuka	45
Gambar IV.3. Diagram blok dari servor posisi	45
Gambar IV.4. Diagram yang lebih realistik dari servo posisi	46
Gambar IV.5. End effector : peralatan dan pencengkeram	52
Gambar IV.6. Tangan robot dengan dua jari	54
Gambar IV.7. Penggunaan <i>V-shaped gripper pad</i> memastikan empat titik kontak pada permukaan melengkung	55

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 1. Spesifikasi Robot	13
Tabel 2. Hasil Perhitungan Daya dan Torsi Motor	23
Tabel 3. Hasil Perhitungan Bantalan	37

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Robot

Kemajuan ilmu dan teknologi membawa perubahan yang sangat penting dalam industri pemabrikan (*manufacturing*). Seiring makin kompleksnya pengendalian komputer terhadap sebuah pabrik dan dengan memperhatikan konsekuensinya terhadap organisasi, sosial, dan ekonomi, maka peran dari aspek manusianya juga berubah. Di waktu lampau pekerja berperan sebagai pengendali sekaligus sebagai pelaksana proses produksi. Sistem dan perlengkapan yang digunakan adalah kontrol manual. Pada revolusi industri kedua banyak industri manufaktur menggunakan robot sebagai pengganti manusia dalam melakukan pekerjaan.

Perkembangan dari robot-robot, termasuk juga peralatan pabrik yang dikendalikan komputer dan penanganan terhadap informasi adalah perubahan besar yang sedang terjadi di tengah-tengah kehidupan kita. Sampai sekarang penggunaan robot semakin bertambah sehingga selain dalam industri manufaktur, robot juga sering dijumpai dalam kehidupan masyarakat seperti pada film di televisi. Robot juga digunakan untuk penelitian ruang angkasa dan untuk membantu dalam melakukan pekerjaan yang berbahaya seperti menjinakkan bom, mengangkat bahan kimia yang berbahaya dan masih banyak lagi.

Kata robot berasal dari Czeko yaitu *robotit* yang berarti pekerja paksa atau pekerja kasar. Kata ini diciptakan dalam suatu drama oleh Karel Capek awal tahun 1920 yang berjudul R.U.R (*Rossum's Universal Robots*). Untuk kebanyakan orang yang kurang mengenal piranti ini, dari kata robot akan menimbulkan imajinasi di mana benda tersebut akan mengakibatkan terjadinya persaingan dengan manusia, dengan cara yang tidak manusiawi. Meskipun demikian, kenyataannya robot

merupakan tingkatan yang lebih lanjut dari proses otomasi secara keseluruhan, yang menciptakan operasi yang lebih luas dan fleksibel.

Selain itu ada beberapa definisi yang muncul mengenai robot seperti buta, bodoh, dan lengan mekanik yang mampu melakukan pekerjaan dengan cepat. Dari Robot Institute of America, istilah robot didefinisikan sebagai manipulator yang dapat diprogram kembali atau multifungsi yang digunakan untuk memindahkan material atau peralatan spesial yang gerakannya dapat diprogram dengan berbagai variasi untuk memperoleh kinerja yang bervariasi.

I.2. Robot Dalam Industri

Pada mulanya robot hanya digunakan untuk memindahkan material, di mana faktor kapasitas angkut menjadi hal yang lebih penting dari ketepatan. Robot pertama kali dijual oleh Unimation yang digunakan dalam bidang *die casting*. Selain itu juga, robot digunakan untuk penuangan, penempaan, dan mengelas. Dalam pekerjaan yang demikian, Robot dapat memindahkan pekerja dari tempat kerja yang berbahaya, panas, dan kotor. Perkembangan terakhir adalah munculnya robot yang dirancang untuk pekerjaan pemeriksaan dan perakitan, yang mana diperlukan ketelitian yang tinggi dan kemampuan berkomunikasi serta bereaksi baik terhadap sensor maupun sistem penglihatan.

Penggunaan robot dalam industri terdiri dari *pick and place*, *machine loading/unloading*, *welding*, *spray painting*, *machine processing*, *assembly*, dan *inspection*. Robot *pick and place*, *machine loading/unloading*, *welding*, *spray painting* paling banyak digunakan dalam semua industri, seperti penggunaan robot *welding* dan *spray painting* banyak digunakan dalam industri perakitan mobil.

Proses *pick and place* merupakan proses pemindahan barang yang banyak digunakan dalam industri. Robot ini mempunyai kemampuan untuk mengangkat benda yang berat, ringan, panas, dingin, atau benda yang mudah pecah yang terbuat dari gelas atau bubuk besi.

Penggunaan robot kedua terbesar dalam industri adalah *machine loading/unloading*. Robot ini digunakan untuk mengisi dan membuang bagian-bagian dari bermacam-macam pengoperasian di dalam proses produksi. Robot ini sering digunakan dalam lingkungan kerja yang berbahaya dan tidak menyenangkan. Ini akan mencegah pekerja dari panas yang tinggi, suara yang berisik, kotor, serta polusi udara.

Robot ketiga yang sering digunakan dalam industri adalah robot untuk mengelas(*welding*). Proses pengelasan yang sering digunakan seperti *spot*, *stud*, *metal-inert gas (MIG)*, dan *tungsten-inert gas (TIG)*. Robot yang digunakan dalam berbagai macam proses pengelasan dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas produk. Hal yang paling menguntungkan adalah robot ini dapat memindahkan pekerja dari lingkungan kerja yang tidak diinginkan, selain itu dapat mengurangi pelatihan-pelatihan bagi pekerja, mengurangi penggunaan energi yang besar dan mengurangi kebutuhan akan tenaga kerja.

Untuk pengecatan semprot (*spray painting*) *nozzle* disambungkan pada pergelangan tangan robot. Robot diprogram dengan cara menirukan gerakan dari tukang cat yang berpengalaman. Dengan menggunakan robot ini pekerja dapat dipisahkan dari tempat yang berbahaya. Pada saat mengecat, robot tidak perlu melihat dan bernapas sehingga gas atau cairan pelarut yang berbahaya pada saat mengecat dan kekurangan cahaya di dalam ruangan tidak menjadi masalah.

Robot dapat juga melakukan bermacam-macam proses dalam manufaktur seperti *routing*, *drilling*, *milling*, *grinding*, *polishing*, *deburring*, *riveting*, dan *sanding*. Dengan menggunakan robot dalam proses manufaktur ini akan meningkatkan kecepatan penggantian alat, perlengkapan tetap yang lebih baik, menambah ketelitian, dan meningkatkan pancaindra serta mempunyai sistem kendali yang dapat diubah-ubah. Penggunaan robot dalam proses manufaktur ini dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas serta menghindari pekerja dari lingkungan kerja yang berbahaya.

Penggunaan robot untuk perakitan (*assembly operation*) ini memerlukan ketelitian yang tinggi. Robot untuk perakitan ini sering digunakan untuk merakit kalkulator, jam, alternator mobil, motor listrik, mencetak papan sirkuit, dan lain-lain. Robot ini dapat melepaskan operator dari pekerjaan yang membosankan dan dilakukan berulang-ulang. Kualitas produksi dapat ditingkatkan karena toleransi menjadi lebih kecil dan produktivitas meningkat karena robot dapat bekerja dengan kecepatan konstan.

Proses pengawasan (*inspection*) digunakan untuk memeriksa kekurangan-kekurangan atau kesalahan dalam proses perakitan dengan menggunakan sensor penglihatan. Robot ini dapat menempatkan bagian-bagian ke dalam batas pengawasan atau ke sistem pengukuran yang lebih kompleks. Apabila terdapat bagian-bagian yang kurang atau salah, maka robot ini dapat memisahkan bagian-bagian tersebut untuk dibuang atau diproses kembali.

I.3. Klasifikasi Robot

Robot terdiri dari bermacam-macam ukuran, bentuk, dan tingkat kerumitan dalam pengoperasiannya. Klasifikasi robot bermacam-macam untuk tiap-tiap negara. Di Jepang terdapat 6 klasifikasi dari robot, sedangkan di Amerika hanya terdapat dua klasifikasi yang penting. Beberapa ahli mengelompokkan robot ke dalam tiga kelas yaitu robot dengan tingkat kecerdasan rendah, cerdas, dan dengan tingkat kecerdasan tinggi.

I.3.1. Klasifikasi Jepang

Klasifikasi yang paling mendasar adalah *manual manipulator* yaitu pengendalian robot secara manual yang langsung dioperasikan oleh manusia. Kekuatan yang berasal dari robot diteruskan ke operator, sehingga dapat meningkatkan kemampuan operator untuk menjangkau dan mengangkat.

Klasifikasi robot yang kedua adalah *fixed-sequence robot* yaitu robot yang mempunyai rangkaian tetap yang tidak mudah untuk dipindah-pindah.

Variable-sequence robot yaitu robot yang mempunyai program yang fleksibel dan digunakan untuk mengambil dan meletakkan material pada satu lokasi. Robot ini merupakan versi yang paling sederhana di Amerika.

Playback robot mempunyai keistimewaan yaitu dapat meniru gerakan operator. Dalam menggunakan robot ini, operator menggerakkan lengan manipulator supaya robot dapat diprogram. Gerakan lengan akan direkam ke dalam *magnetic tape* atau *flexible disc*.

Numerically controlled robot atau *computerized robot* adalah suatu model robot yang dikendalikan oleh komputer. Untuk pemrograman robot digunakan peralatan elektronik yaitu komputer dan terminal komputer digunakan untuk memasukkan data. Banyak servo robot menggunakan program tipe ini.

Intelligent robot adalah robot yang paling pintar. Tipe robot ini menggunakan mekanisme sensor bagian luar dan sensor bagian dalam. Sensor bagian luar memberikan kemampuan robot dalam mengambil keputusan. Robot ini juga dilengkapi dengan penglihatan atau sensor peraba yang digunakan untuk melengkapi kecerdasan buatan dari robot. Robot ini dapat berinteraksi dengan lingkungannya.

I.3.2. Klasifikasi Amerika

Untuk klasifikasi Amerika, robot dikelompokkan menjadi dua yaitu *non servo* dan *servo*. Meskipun demikian para ahli berpendapat bahwa terdapat tiga kategori yang utama, mereka menganggap bahwa robot yang tidak menggunakan servo sebagai robot yang mempunyai tingkat kecerdasan yang rendah, sedangkan robot yang menggunakan servo dapat diklasifikasikan sebagai robot pintar dan robot dengan tingkat kecerdasan tinggi.

Robot yang tidak menggunakan servo merupakan *open-loop system*, oleh karena itu tidak menggunakan mekanisme umpan balik yang digunakan untuk

membandingkan posisi yang telah diprogram. Menurut definisi di Amerika, robot yang tidak menggunakan servo merupakan robot yang paling sederhana. Mereka sering dihubungkan dengan *limited-sequence*, *pick-and-place*, atau *fixed-stops robots*.

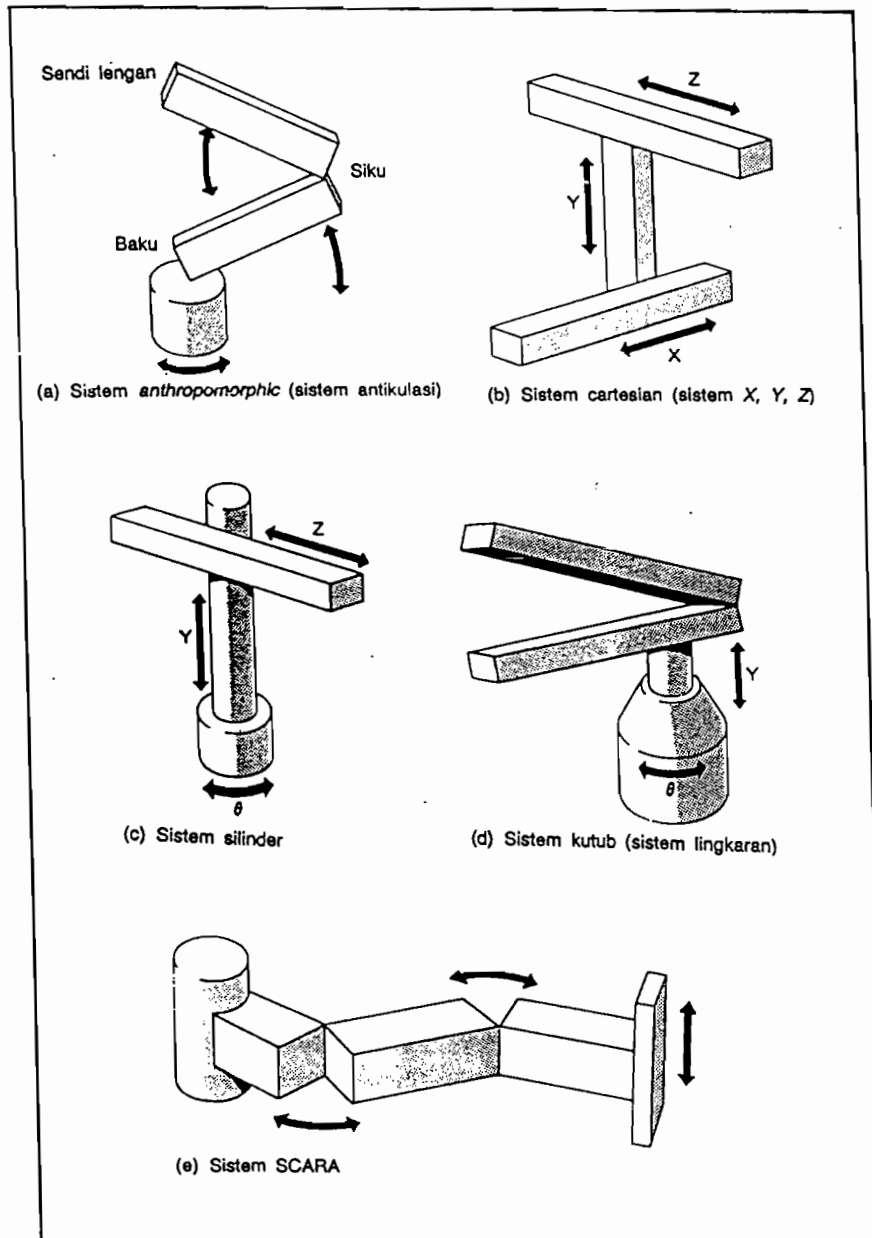
Robot yang menggunakan servo merupakan robot yang pintar dan disebut juga sebagai *closed-loop robot*. Sinyal dari kontroler ke penguat sinyal tergantung dari keluaran pada suatu sistem. Pengertian *servomechanism* adalah merupakan suatu tipe sistem kontrol yang dapat mendeteksi dan memperbaiki kesalahan. Prinsip dari kendali dengan servo ini dapat disamakan dengan berbagai pekerjaan yang dilakukan manusia. Dalam kehidupan sehari-hari manusia menggunakan prinsip *servomechanism*.

Robot dengan menggunakan servo lebih pintar dalam pengendalian dibandingkan dengan robot yang tidak menggunakan servo. Pengendali mempunyai beberapa ratus langkah. Pengendali dapat menggunakan gerakan *point-to-point* (PTP) atau *continuous-path* (CP). Beberapa pengendali ada yang mempunyai kemampuan PTP dan CP.

Klasifikasi dengan menggunakan servo dibagi lagi dalam dua kelompok yaitu robot yang pandai dan robot dengan kecerdasan yang tinggi. Robot dengan kecerdasan yang tinggi menggunakan dua sensor yaitu *external sensor* dan *internal sensor*. Dua tipe sensor yang biasa digunakan adalah sensor penglihatan dan peraba yang akan memberikan kemampuan untuk mengambil keputusan dalam menentukan gerakan robot.

I.4. Geometri Robot dan Mekanisme Penggerak

Secara ideal robot dapat diprogramkan untuk melakukan pekerjaan apapun, sedangkan pada perancangannya biasanya hanya menangani jenis pekerjaan tertentu saja. Sebagai contoh, sebuah robot yang menyerupai lengan manusia seperti pada gambar I.1a. kemampuan gerakannya cocok sebagai penyemprot cat, tetapi tidak cocok untuk pengelasan jalur sepanjang beberapa meter karena keterbatasan jangkauannya.



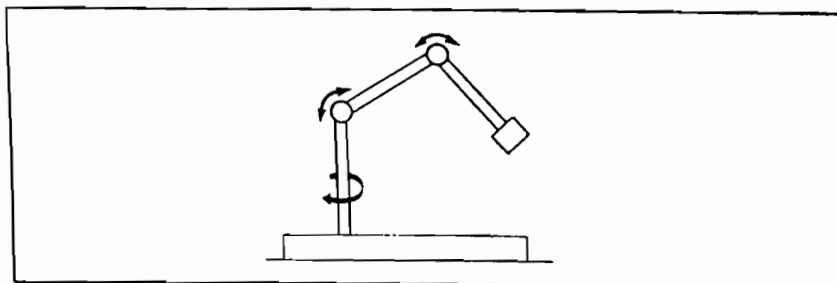
Gambar I.1. Sistem koordinat robot

Dalam perancangan sebuah lengan robot harus diperhitungkan juga seberapa besar area yang dicakup, gerakan-gerakan yang dapat dilakukan, mengangkat beban berat atau bergerak dengan kecepatan tinggi, atau kombinasi dari kesemua hal tersebut.

Pada gambar I.1 diperlihatkan lima cara yang paling banyak digunakan dalam membuat lengan robot. Sistem-sistem ini dikenal sebagai *anthropomorphic*, cartesian, silindris, kutub atau polar, dan *SCARA*. Masing-masing sistem memiliki kelebihan dan kekurangan dalam hal kekuatan, kecepatan, dan kemampuan gerakan. Sebelum memutuskan robot mana yang akan digunakan untuk pekerjaan tertentu, terlebih dahulu kita harus mempertimbangkan hal-hal tersebut.

I.4.1. Poros Gerakan dan Derajat Kebebasan

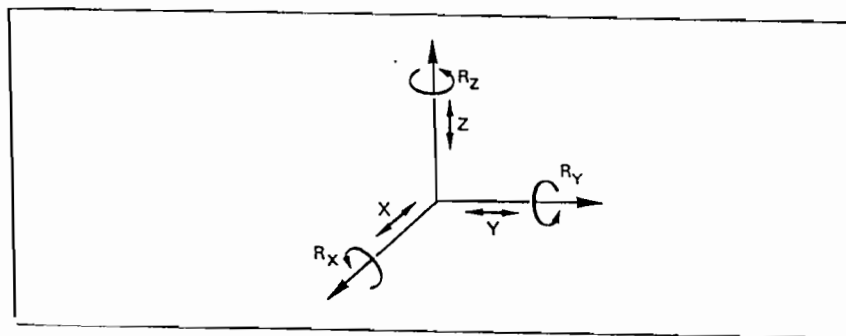
Istilah “poros gerakan” dan “derajat kebebasan” seringkali digunakan dalam geometri dan spesifikasi robot. Dalam gambar I.2 terlihat robot yang mempunyai tiga poros dan poros gerakannya ditandai dengan tanda panah. Semakin banyak poros yang dimiliki semakin banyak pula manuver gerakan yang dilakukan dan makin rumit pula program yang harus dijalankan. Poros gerakan dapat berupa gerakan rotasi dan garis lurus seperti terlihat dalam gambar I.1. Poros yang berupa gerakan rotasi dalam spesifikasi pabrikan disebut juga persendian revolusi (*revolute joint*), sedangkan poros yang mempunyai gerakan garis lurus disebut juga persendian prismatic (*prismatic joint*).



Gambar I.2. Robot dengan tiga poros gerakan dan tiga derajat kebebasan

Derajat kebebasan adalah jumlah arah yang *independen*, dimana *end effector* yang berupa alat atau pencengkram dari sebuah robot dapat bergerak. Setiap benda padat maksimum memiliki enam derajat kebebasan, seperti pada gambar I.3 diantaranya diberi label X, Y, dan Z mewakili gerakan sepanjang garis, dan tiga yang lainnya yaitu R_x , R_y , dan R_z mewakili gerakan rotasi.

Sebagai contoh robot pada gambar I.2 yang memiliki tiga poros gerakan. Untuk menghitung berapa banyaknya derajat kebebasan yang dimiliki kita harus memperhatikan ujung lengannya. Dengan berbagai kombinasi gerakan dari ketiga poros tadi, maka dimungkinkan untuk menempatkan *end effector* sepanjang sumbu X, Y, ataupun Z. Dalam kasus ini, robot memiliki tiga derajat kebebasan yang jumlah poros gerakannya sama.



Gambar I.3. Enam derajat kebebasan

I.4.2. Geometri Robot

Derajat kebebasan dapat dibentuk dengan mengatur struktur robot dalam berbagai cara. Dalam kenyataannya, analisa matematis dari masalah menunjukkan bahwa terdapat 37 kemungkinan konfigurasi yang dapat terbentuk. Meskipun demikian, dalam prakteknya hanya terdapat lima konfigurasi yang digunakan seperti yang terlihat dalam gambar I.1.

Masing-masing geometri memiliki kelebihan dan kekurangan dalam hal kekuatan, kecepatan, dan kemampuan gerakan atau manuver seperti yang terlihat di bawah ini, yaitu :

1. Geometri Anthropomorphic

Sebutan "*anthropomorphic*" mengandung makna menunjukkan suatu kesamaan dengan manusia. Lengan *anthropomorphic* hampir sama dengan lengan manusia dalam hal bagaimana tiap bagian dihubungkan. Sebutan bahu dan siku sering digunakan untuk menunjukkan sambungan, sedangkan pergelangan menunjukkan pemasangan ke ujung lengan. Apabila diperlukan sebuah lengan yang lebih fleksibel dapat menambah lengan *anthropomorphic*.

Lengan *anthropomorphic* adalah lengan yang mempunyai kemampuan manuver paling besar dan banyak digunakan dalam pengecatan. Gerakannya lambat dibandingkan dengan lengan yang lain dan sulit untuk menggerakkan ujung lengan dalam garis lurus.

2. Geometri Cartesian

Robot dengan lengan *cartesian* dapat bergerak dalam tiga arah yang independen yaitu X, Y, dan Z. Seperti dalam gambar I.1b, gerakan lengan *cartesian* berpotongan dan saling tegak lurus. Dalam beberapa kasus, lengan *cartesian* tergantung pada kerangka *overhead* yang dibentuk oleh sumbu X.

Lengan *cartesian* kurang bermanfaat dibandingkan dengan lengan *anthropomorphic* yang memiliki lebih banyak gerakan. Kelebihan lengan *cartesian* adalah umumnya digunakan untuk cakupan area yang luas di mana gerakan-gerakan yang rumit kurang begitu dipentingkan.

3. Geometri Silindris

Sistem silindris adalah hampir sama dengan sistem *cartesian*, hanya sistem ini tidak menggunakan sumbu X. Seperti dalam gambar I.1c, sebagai ganti sumbu X adalah lengan dapat bergerak rotasi. Sudut rotasi ini biasanya dinyatakan dengan

huruf θ (theta), sehingga diketahui bahwa geometri silindris mempunyai tiga poros gerakan yaitu Y, Z, dan θ .

End effector memiliki tiga derajat kebebasan karena dapat bergerak sepanjang sumbu X, Y, dan Z seperti pada gambar I.3. Lingkup kerja dari jenis lengan ini adalah silindris, yang berarti bahwa ujung lengan dapat mencapai permukaan silinder imajiner. Lengan robot dari jenis ini mampu bergerak lebih cepat dari jenis *cartesian*, biasanya digunakan pada ban berjalan.

4. Geometri Kutub

Lengan robot geometri kutub ini hampir sama dengan jenis silindris yang mempunyai sumbu Y dan θ . Perbedaannya adalah pada lengan dengan geometri kutub ini terdapat poros yang memungkinkan lengan tersebut berotasi pada bidang vertikal, sebagai ganti dari pergerakan ke atas dan ke bawah sepanjang sumbu Z (lihat gambar I.1d). Sistem ini sering disebut dengan geometri bola (*spherical*) karena lingkup kerjanya berupa bagian permukaan dari bola. Jenis lengan ini mampu bergerak lebih cepat dalam arah vertikal dibandingkan lengan silindris, tetapi jangkauan gerakannya lebih terbatas.

5. Geometri SCARA

Kata *SCARA* merupakan singkatan dari *Selective Compliant Assembly Robot Arm* dan perancangannya telah dilakukan oleh beberapa perusahaan yang membuat jenis robot ini berdasarkan lisensi dari penemunya. Seperti dalam gambar I.1e, robot *SCARA* memiliki perbedaan dibandingkan jenis robot lain. Pada robot *SCARA* persendian putar lengannya berotasi pada sumbu vertikalnya dan mempunyai tiga derajat kebebasan. Sekarang ini pemakaiannya semakin meluas untuk pengoperasian perakitan, khususnya dalam bidang elektronika.

I.5. Robot Panasonic AW-005

Robot Panasonic yang akan dirancang ini digunakan dalam industri untuk proses manufaktur. Gerakan dari lengan robot ini menggunakan geometri

anthropomorphic yang mempunyai tiga sumbu putar dan enam derajat kebebasan. Setiap sambungan dari lengan bergerak secara rotasi. *End effector* terletak pada ujung lengan robot yang dapat bergerak turun dan naik serta dapat berputar. Untuk penggerak lengan robot digunakan motor listrik servo dengan arus AC.

Pada bab II akan dibahas tentang spesifikasi dan konstruksi dari robot Panasonic dengan tipe AW-005. Dalam perancangan yang dihitung adalah mekanisme penggerak yaitu motor listrik dan roda gigi, kekuatan struktur lengan, pemilihan bantalan di tiap-tiap sendi yang akan dibahas dalam bab III. Sedangkan pada bab IV berisi tentang teknik kendali dari robot.

BAB II

ROBOT PANASONIC AW-005

II.1. Spesifikasi Robot Panasonic

Dalam perancangan robot ini terdapat spesifikasi yang diketahui seperti yang terlihat di bawah ini:

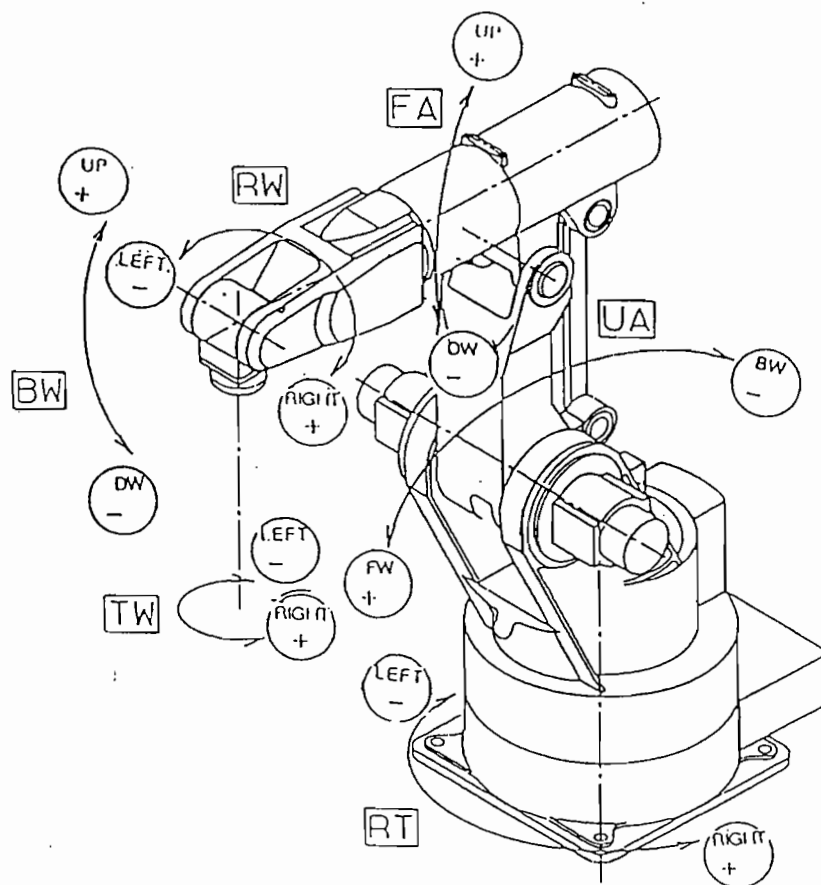
Tabel 1. Spesifikasi Robot

Type	Articulated Robot		
Degree of Freedom	6		
Working Envelope and Maximum Speed	JT	Motion Range	Max. Speed
	1	$\pm 110^\circ$ (Max $\pm 180^\circ$)	120°/s
	2	+ 55° - 80°	100°/s
	3	+ 95° - 105°	120°/s
	4	$\pm 280^\circ$	150°/s
	5	$\pm 125^\circ$	150°/s
	6	$\pm 360^\circ$	240°/s
Max. Payload	100 kg		
Wrist Load Capacity	JT	Torque	Moment of Inertia
	4	539 N.m (55 kgf.m)	39,2 kg.m ² (4,0 kgf.m.s ²)
	5	539 N.m (55 kgf.m)	44,1 kg.m ² (4,5 kgf.m.s ²)
	6	343 N.m (35 kgf.m)	24,5 kg.m ² (2,5 kgf.m.s ²)
Repeatability	$\pm 0,5$ mm		
Driving Motor	Brushless AC Servomotor		
Mass	Approx. 1500 kg		

II.2. Konstruksi Robot Panasonic

Robot Panasonic ini dirancang untuk menggantikan tenaga manusia pada proses pemabrikan atau proses manufaktur. Robot ini menggunakan geometri *anthropomorphic* untuk menggerakkan lengan robot. Dalam gambar II.1 terlihat

bahwa robot Panasonic ini mempunyai enam derajat kebebasan dan menggunakan jenis persendian revolusi (*revolute joint*). Dengan menggunakan geometri *anthropomorphic* dan mempunyai enam derajat kebebasan, lengan robot akan mempunyai kemampuan manuver yang baik. Karena robot ini dirancang untuk situasi yang nyata, maka spesifikasinya juga telah dapat menyerupai tindakan manusia, yaitu memiliki konfigurasi lengan dan siku. Batas-batas gerakan dari lengan robot dapat dilihat pada spesifikasi robot.



Gambar II.1. Robot Panasonic AW-005

Pada ujung lengan robot terdapat *end effector* yang digunakan untuk menambah derajat kebebasan dari lengan robot. Pada *end effector* ini dapat dipasang pencengkeram (*gripper*) dan peralatan (*tool*) seperti alat las, bor, penyemprot cat, gerinda, dan masih banyak lagi.

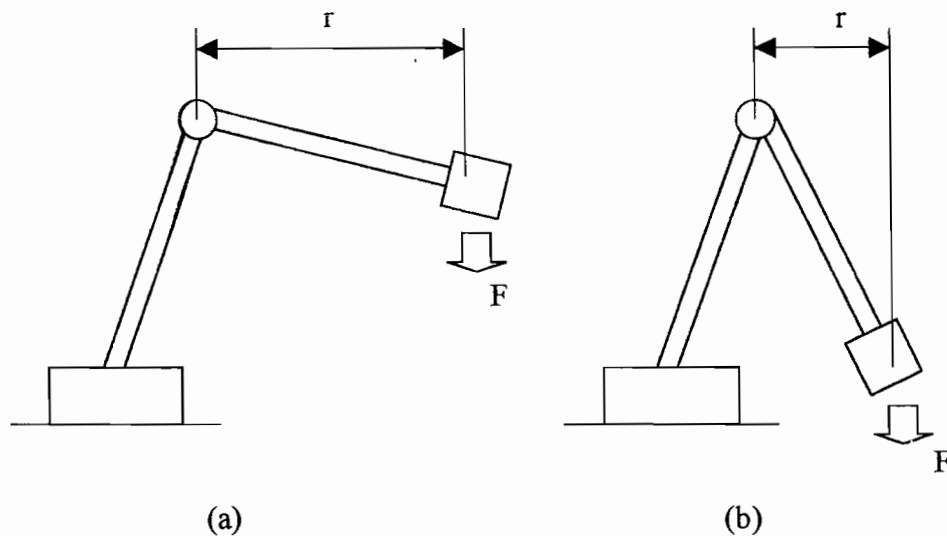
Untuk sistem penggerak lengan robot digunakan penggerak listrik yaitu menggunakan motor listrik servo dengan arus bolak-balik (AC) yang terletak pada masing-masing sendi. Alasan penggunaan motor listrik ini karena dalam proses pemabrikaan dibutuhkan ketelitian yang tinggi. Ketelitian ini menyangkut ketepatan dan keterulangan gerakan lengan robot. Istilah ketepatan di sini adalah seberapa dekat robot dapat diprogram untuk bergerak ke posisi tertentu, sedangkan keterulangan adalah kemampuan robot untuk kembali ke posisinya yang tepat secara berulang-ulang. Kemampuan keterulangan robot ini berkisar 0,5 mm. Jadi, robot ini mempunyai toleransi 0,5 mm untuk kembali ke posisi yang sama.

Banyak spesifikasi yang menyebutkan kecepatan lengan sebagai meter per detik dan gerakan pergelangan dalam derajat per detik. Robot Panasonic ini mempunyai konfigurasi gerakan berupa busur lingkaran, sehingga gerakannya tergantung dari seberapa radius busur lingkaran yang ditempuh. Kecepatan lengan robot ini juga tergantung dari arah gerakan, posisi awal, dan beban yang digerakkan.

Beban (*payload*) yang tertulis dalam spesifikasi menunjukkan pada berat ekstrim yang masih dapat dikerjakan oleh lengan robot. Salah satu faktor yang penting selain beban adalah besarnya torsi yang masih dapat dimungkinkan untuk dikenakan pada lengan robot. Beban keseluruhan harus memperhitungkan pencengkeram dan peralatan lain di samping komponen yang digerakkan. Setiap gaya yang tidak seimbang pada pencengkeram akan berpengaruh terhadap performa keterulangan.

Pada saat lengan robot digerakkan, akan timbul gaya torsi yang berubah seiring dengan gerakan lengan robot. Pada gambar II.2 diperlihatkan bagaimana torsi dapat berubah dari nilai yang tinggi (gambar II.2a) ke nilai yang rendah (gambar II.2b) sesuai dengan berkurangnya jarak dari beban dengan sumbunya. Meskipun

pencengkeram robot tidak membawa beban, bobot dari lengan itu sendiri akan menghasilkan torsi. Dalam perancangan robot ini dapat dilihat torsinya pada spesifikasi yaitu dalam Newton meter (Nm).



Gambar II.2. Torsi berkurang apabila beban bergerak ke arah poros motor

II.3. Susunan Standar Robot

Penentuan susunan standar robot yang berhubungan dengan benda kerja akan membantu kita dalam perancangan lingkup kerja dari robot. Dalam gambar II.3. terlihat situasi khusus di mana robot memegang peralatan dan akan menempatkan ujung dari peralatan ke lokasi yang telah ditentukan. Susunan standar ini akan dimasukkan dalam program dan sistem kontrol robot sehingga dapat membantu kita dalam mengetahui arah gerakan robot. Semua gerakan robot dapat digambarkan dalam istilah-istilah dari susunan ini.

Pada gambar II.3. terdapat lima definisi dari susunan standar robot, yaitu:

1. *Base frame*, {B}

{B} terletak pada titik pangkal dari manipulator dan juga sering diberi nama frame {0}. {B} dipasang pada bagian yang tidak bergerak dari robot, kadang juga disebut sambungan (*link*) 0.

2. *Station frame*, {S}

{S} terletak pada lokasi kerja yang berhubungan. Dalam gambar terlihat {S} terletak pada sudut meja di mana robot akan bekerja. Sejauh penggunaan sistem robot ini dihubungkan, {S} merupakan susunan umum dan semua gerakan robot berhubungan dengan susunan ini. {S} kadang disebut *task frame*, *world frame*, atau *universe frame*. Station frame selalu ditentukan oleh respek dari *base frame* yang disebut ${}^B T_S$.

3. *Wrist frame*, {W}

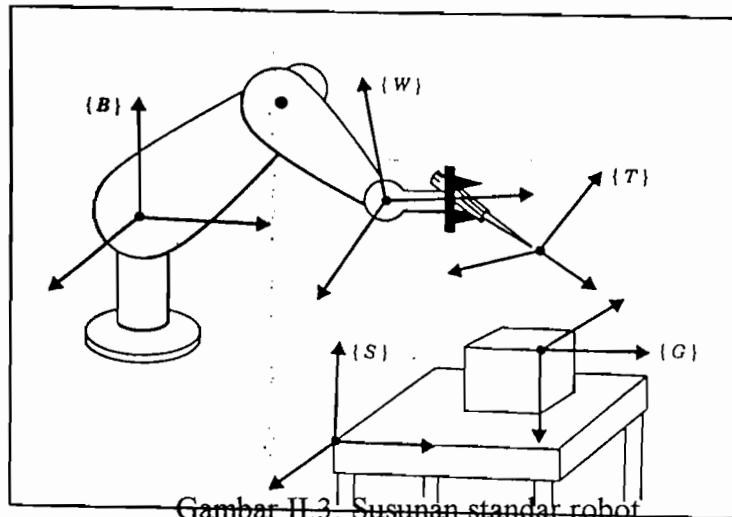
{W} dipasang pada sambungan terakhir dari manipulator dan nama lain dari susunan ini adalah {N}, sambungan *frame* dihubungkan pada bagian ujung dari sambungan robot. Sering kali {W} ditetapkan berasal dari sebuah titik yang disebut juga sebagai pergelangan manipulator, dan {W} bergerak dengan ujung sambungan dari manipulator. {W} dibuat berhubungan dengan base frame, yang ditulis $\{W\} = {}^B T_W = {}^O T_N$.

4. *Tool frame*, {T}

{T} terletak pada akhir dari peralatan yang dipegang oleh robot. Ketika tangan robot kosong, {T} biasanya ditempatkan pada pangkal antara ujung jari robot. *Tool frame* selalu ditentukan dengan respek pada *wrist frame*.

5. *Goal frame*, {G}

{G} adalah gambaran lokasi dari robot untuk menggerakkan peralatan. Ini merupakan gerakan akhir dari robot di mana *tool frame* harus dibawa pada *goal frame*. {G} selalu ditentukan relatif terhadap *station frame*.



Gambar II.3. Susunan standar robot

II.4. Lengan Robot Kinematik

Kinematik adalah ilmu pengetahuan yang membicarakan gerakan tanpa memperhatikan gaya yang diterimanya. Dalam ilmu kinematik yang dipelajari menyangkut posisi, kecepatan, percepatan, dan semua posisi yang berubah terhadap waktu atau variabel yang lain. Lengan robot kinematik berhubungan dengan pelajaran geometri gerakan dari lengan robot yang memperhatikan sistem koordinat yang tepat sebagai waktu tanpa dipengaruhi oleh gaya atau momen yang menyebabkan gerakan tersebut. Kinematik juga berhubungan dengan gambaran dari perpindahan robot sebagai fungsi waktu, terutama hubungan antara permukaan variabel sendi dan posisi dan orientasi *end effector* dari lengan robot.

Terdapat dua masalah penting dalam perhitungan lengan robot secara kinematik, yaitu masalah pertama adalah perhitungan *direct* atau *forward kinematic* dan kedua adalah *inverse kinematic* atau *arm solution*. Variabel yang bebas dari lengan robot merupakan variabel sendi dan selalu ditetapkan sebagai referensi koordinat rangka, untuk masalah ini sering digunakan *inverse kinematic*.

Ketika sambungan lengan robot berputar pada referensi koordinat rangka, total penempatan end effector disebabkan oleh putaran angular dan translasi linear dari sambungan. Denavit dan Hartenberg (1955) menyatakan secara sistematis dan pendekatan pada umumnya menggunakan matrik aljabar untuk menggambarkan dan

mewakili geometri sambungan lengan robot terhadap referensi tetap dari rangka. Metode ini menggunakan transformasi matrik homogen 4×4 untuk menguraikan hubungan antara dua lengan yang berdekatan secara mekanik dan menurunkan permasalahan direct kinematic untuk menentukan persamaan transformasi homogen matrik 4×4 yang menghubungkan penempatan susunan koordinat tangan pada referensi koordinat rangka. Transformasi matrik homogen ini selalu berguna dalam memperoleh persamaan dinamik dari gerakan lengan robot.

Pada umumnya perhitungan inverse kinematic dapat diselesaikan dengan beberapa teknik. Metode yang sering digunakan adalah matrik aljabar, iteratif, atau pendekatan geometri. Pendekatan geometri berdasarkan sistem koordinat sambungan dan bentuk dari manipulator akan disampaikan dalam bentuk sistem koordinat sendi untuk manipulator yang sederhana dengan sendi putar.

II.5. Lengan Robot Dinamik

Lengan robot dinamik berhubungan dengan rumusan matematika yaitu persamaan dari gerakan lengan robot. Persamaan dinamik gerakan manipulator sama dengan persamaan matematika yang menggambarkan gerakan dinamik manipulator. Persamaan gerakan berguna untuk simulasi komputer dari gerakan lengan robot, desain persamaan kontrol lengan robot yang sesuai, dan evaluasi desain kinematik dan struktur lengan robot.

Tujuan dari kontrol manipulator adalah untuk menjaga respon dinamik dasar komputer manipulator menurut performa sistem dan sasaran yang ditentukan. Pada umumnya performa dinamik manipulator secara langsung tergantung pada efisiensi kontrol algoritma dan model dinamik manipulator. Masalah pengendalian terdiri dari model dinamik sistem lengan robot dan setelah itu mencocokkan spesifikasi kontrol atau strategi untuk mencapai keinginan sistem respon dan performa.

Model dinamik yang sesungguhnya dari lengan robot dapat diperoleh dari hukum-hukum fisika seperti hukum Newton dan lagran. Kenyataan ini

pengembangan persamaan gerakan dinamik untuk bermacam-macam sendi dari manipulator ke dalam istilah geometrik dan parameter inersia dari sambungan. Rumus Lagrange-Euler (L-E) dan Newton-Euler (N-E) dapat digunakan secara sistematis untuk mendapatkan persamaan gerak lengan robot.

BAB III

PERANCANGAN KOMPONEN UTAMA ROBOT

III.1. Perancangan Mekanisme Penggerak

Penggerak adalah istilah yang digunakan untuk mekanisme yang menggerakkan lengan robot. Ini dapat berupa motor listrik atau silinder hidrolis ataupun pneumatik. Pengoperasian robot ini dalam sistem manufaktur dan biasanya mengandalkan beberapa macam motor listrik. Karena robot ini menggunakan geometri anthropomorphic, maka sangat cocok digunakan motor listrik. Motor listrik ini menghasilkan gerakan rotasi dan lebih tepat untuk mengendalikan persendian yang berputar.

Motor listrik ini mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, sehingga untuk menghasilkan gerakan berputar harus memerlukan masukan berupa energi listrik. Gerakan berputar dihasilkan dari interaksi medan magnet dan konduktor yang disebut torsi. Torsi yang dihasilkan tergantung pada kekuatan medan magnet dan besarnya aliran listrik yang mengalir konduktor. Secara umum setiap motor mempunyai beberapa bagian yang terdiri dari stator, rotor, dan perlengkapan penunjang seperti sikat komutator atau sirkuit penyalan.

III.1.1. Pemilihan Motor Listrik

Terdapat bermacam-macam motor listrik, tetapi tidak semuanya cocok untuk digunakan sebagai penggerak robot. Di antaranya adalah motor yang digunakan di dalam jam yang berotasi pada kecepatan yang konstan tetapi daya yang dimilikinya kecil. Jenis lainnya adalah motor yang digunakan di dalam kendaraan bermotor yang memiliki daya yang besar dan juga mampu berotasi pada kecepatan yang beragam. Faktor-faktor yang menjadi penentu performa sebuah motor sebagai penggerak robot adalah daya, torsi, dan kecepatan.

Persyaratan-persyaratan yang harus diperhatikan dalam pemilihan motor listrik dalam sebuah robot yaitu :

1. Motor tersebut harus mampu memberikan torsi maksimum untuk memungkinkan robot mengangkat beban paling berat.
2. Motor tersebut harus mampu berputar dalam suatu jangkauan kecepatan yang dianggap perlu.
3. Motor tersebut harus dapat dikendalikan sedemikian rupa sehingga mampu menghasilkan berapa pun nilai torsi pada kecepatan berapa pun sejauh masuk dalam jangkauan seperti yang disebut diatas.

Motor listrik yang digunakan pada robot ini adalah motor listrik servo dengan arus bolak-balik (AC). Besarnya beban yang dikenakan pada poros motor akan mempengaruhi karakteristik operasional motor yang meliputi kecepatan, gaya gerak listrik, arus jangkar, dan torsi. Dalam pemilihan motor listrik terlebih dahulu yang dicari adalah berapa besar kecepatan dan daya motor. Untuk mencari kecepatan motor listrik pada masing-masing sendi dapat menggunakan persamaan seperti di bawah ini.

$$v = \pi \times d \times n / 1000$$

dengan : v = kecepatan motor listrik ($\frac{m}{mnt}$)

d = diameter poros motor (mm)

n = putaran motor pada tiap-tiap sendi (rpm)

Sedangkan daya yang dihasilkan motor listrik dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut

$$P = Q \times v / 60 \times 102 \times \eta$$

dengan : P = daya motor listrik (KW)

Q = beban (kg)

η = efisiensi mekanis ditentukan 0,95

Torsi pada motor merupakan kemampuan motor untuk memutar lengan robot dan menahan beban yang bekerja pada lengan robot tersebut. Dengan

mengetahui daya mekanik dan kecepatan, kita dapat menghitung berapa besar torsi motor yang digunakan pada tiap-tiap sendi dengan persamaan seperti di bawah ini.

$$T = 10 \times P/n$$

dengan : T = torsi (N.m)

P = daya motor listrik (Watt)

n = putaran motor tiap-tiap sendi (rpm)

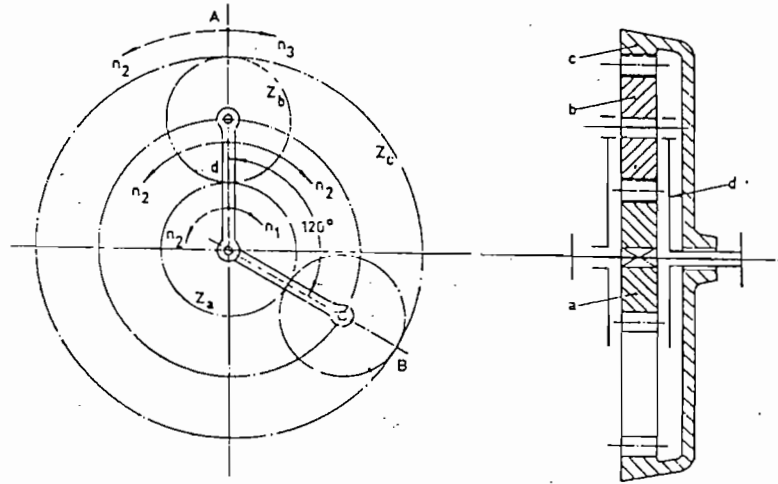
Pada spesifikasi robot diketahui kecepatan putaran motor dan beban maksimal yang diterima lengan robot. Untuk diameter poros motor listrik ditentukan yaitu pada sendi 1, 2, dan 3 besarnya 20 mm sedangkan pada sendi 4, 5, dan 6 besarnya 10 mm. Dari persamaan diatas dapat diketahui daya dan torsi motor pada masing-masing sendi seperti yang terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Daya dan Torsi Motor

Sendi	Putaran Motor (rpm)	Daya Motor (KW)	Torsi (Nm)
1	20	0,0215	10,75
2	16,67	0,018	10,8
3	20	0,0215	10,75
4	25	0,0135	5,4
5	25	0,0135	5,4
6	40	0,0216	5,4

III.1.2. Perhitungan Roda Gigi Penggerak

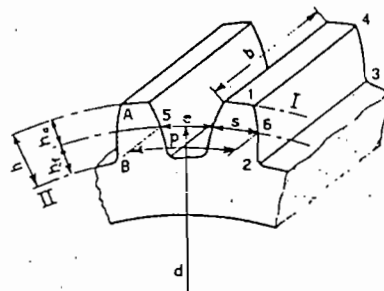
Piranti mekanik yang digunakan untuk mengirimkan daya dari penggerak ke persendian robot adalah dengan roda gigi. Untuk tiap-tiap sendi menggunakan roda gigi episiklik dengan ukuran yang berbeda-beda. Dengan roda gigi episiklik ini dimaksudkan agar satu buah atau lebih dari dari satu buah roda gigi digerakkan oleh roda gigi yang ditempatkan memusat. Seperti yang terlihat dalam gambar III.1, sekeliling roda gigi surya berjalan roda planet b di dalam sebuah roda dengan sistem gigi dalam c. Poros roda gigi planet dipasang dalam pendukung d yang dapat berputar sekeliling poros sentral.



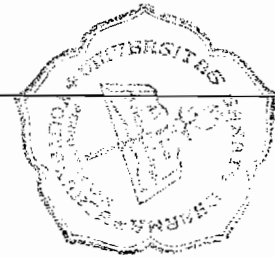
Gambar III.1. Transmisi episiklik

Untuk merancang roda gigi ini, terlebih dahulu kita mengetahui berapa besar ukuran roda gigi dan nama-nama bagian dari roda gigi. Dalam gambar III.2, apabila lingkaran dengan garis tengah d merupakan lingkaran jarak bagi, maka :

- | | |
|---------------------------------|---|
| A = puncak gigi | h = tinggi gigi |
| B = akar gigi | b = lebar gigi |
| h_a = adendum | s = tebal gigi, diukur pada lingkaran jarak bagi |
| h_f = dedendum | e = lebar luangan, diukur pada lingkaran jarak bagi |
| Lingkaran I = lingkaran adendum | Lingkaran II = lingkaran dedendum |



Gambar III.2. Nama-nama bagian roda gigi



III.1.2.1. Perhitungan Dimensi Roda Gigi

Pada sistem roda gigi episiklik ini harga modulus m adalah sama dan merupakan bilangan bulat atau setidaknya bilangan yang dapat diukur. Dalam perancangan roda gigi ini diketahui jumlah gigi z_a dan z_b , sehingga untuk mencari jumlah gigi dalam z_c dapat menggunakan persamaan

$$z_c = z_a + 2 \times z_b$$

Bila jumlah gigi sebuah roda = z dengan sudut kontak $\alpha = 20^\circ$, maka keliling lingkaran jarak bagi dan jarak bagi kontak dapat dicari dengan menggunakan persamaan

$$p = m \times \pi$$

dengan : p = keliling lingkaran jarak bagi (mm)

m = modulus

sedangkan jarak bagi kontak p_e dapat dicari dengan persamaan

$$p_e = p \times \cos \alpha$$

Adendum adalah normal $h_a = m$ dan dedendum $h_f = 1,25 \cdot m$, sehingga tinggi dari gigi dapat dihitung yaitu dengan persamaan

$$h = h_a + h_f$$

Untuk mencari diameter lingkaran jarak bagi roda gigi surya, roda gigi planet dan roda gigi dalam dapat menggunakan persamaan

$$d = m \times z$$

Sedangkan untuk menentukan diameter lingkaran kepala d_h dan diameter lingkaran kaki d_f dapat menggunakan persamaan seperti dibawah ini.

$$d_h = d + 2 \times m$$

$$d_f = d - 2 \times h_f$$

Dengan sudut tekanan α sebesar 20° maka dapat dicari diameter lingkaran dasar d_g yaitu :

$$d_g = d \times \cos \alpha$$

Untuk perhitungan roda gigi dalam, harga diameter lingkaran jarak bagi dibuat negatif sehingga hasil perhitungan diameter lingkaran kepala, diameter lingkaran kaki, dan diameter lingkaran dasar mempunyai harga negatif.

Lebar roda gigi dapat diketahui dari persamaan di bawah dengan perbandingan b/d :

$b/d \leq 0,7$; apabila pinion ditempatkan di luar blok bantalan (pinion ditumpu pada satu sisi)

$b/d \leq 1,2$; kalau pinion ditumpu pada kedua sisi

Dalam perancangan ini, pinion ditumpu pada satu sisi dengan lebar roda gigi diambil $b = 30$ mm.

Tebal gigi s dari masing-masing roda gigi dapat dicari dengan persamaan

$$s = \pi \times m / 2$$

III.1.2.2. Perhitungan Gaya pada Gigi

Pada jenis transmisi ini dalam hal umum yang dihadapi ialah tiga perputaran sudut, ketiganya sekeliling poros yang itu juga, yaitu perputaran sudut roda gigi surya, perputaran sudut pendukung roda gigi planet dan perputaran sudut gelang gigi. Roda gigi surya, pendukung, dan gelang gigi menggelinding sekeliling poros utama masing-masing dengan n_1 , n_2 , dan n_3 perputaran tiap menit. Apabila diketahui jumlah gigi dari masing-masing roda gigi maka kita dapat menentukan perbandingan putaran dengan persamaan

$$i = z_c / z_a = n_1 / -n_3$$

Putaran roda gigi surya n_1 berasal dari putaran motor listrik yang dapat dilihat pada tabel 2. Dengan persamaan di atas dapat diketahui putaran roda gigi dalam n_3 . Tanda negatif menunjukkan bahwa roda gigi dalam berputar dalam arahberlawanan terhadap putaran motor.

Apabila diketahui putaran n_1 , kecepatan keliling lingkaran gelinding dapat dicari dengan

$$v = (d \times \pi \times n_1) / 60$$

dengan : d = diameter lingkaran jarak bagi

Hubungan antara momen puntir, gaya keliling nominal, jari-jari poros, daya nominal, dan putaran poros adalah sebagai berikut

$$M = F \times r = P / \omega$$

$$\omega = 2 \times \pi \times n / 60$$

dengan : M = momen puntir (N.m)

F = gaya keliling nominal pada lingkaran jarak bagi kerja (N)

r = garis tengah lingkaran jarak bagi (m)

P = daya nominal (Watt)

ω = kecepatan sudut (rad/det)

Dari hasil perhitungan momen puntir poros motor ini dapat diketahui gaya keliling dengan persamaan

$$F = M / r$$

Gaya keliling sebenarnya lebih besar daripada harga nominal F yang didapatkan dari persamaan diatas. Hal ini disebabkan dapat terjadi tumbukan oleh perkakas penggerak maupun perkakas yang digerakkan. Untuk itu ada faktor pengali terhadap F, yaitu C_s sehingga didapat persamaan

$$F_k = F \times C_s$$

dengan : F_k = gaya keliling sebenar (N)

C_s = faktor tumbuk untuk penggerak motor listrik = 1,25

Roda gigi tidak berjalan benar-benar beraturan disebabkan sifat keelastisan gigi, gaya yang tidak konstan besarnya, titik kontak yang tidak konstan pada sisi gigi, tertinggalnya roda gigi yang digerakkan. Hal ini menyebabkan suatu percepatan yang berkorelasi dengan gaya ekstra. Gaya ekstra ini dinamakan gaya dinamik yang besarnya sebanding dengan besar kecepatan keliling roda gigi.

$$F_D = F_k \times (v/a)$$

dengan : $F_D =$ Gaya dinamik (N)

$v =$ kecepatan keliling

$a =$ konstanta konversi persamaan, $a = 10$ untuk gigi yang digarap sampai kecepatan keliling $v = 6$ m/det

Jika gaya keliling nominal tiap satuan panjang lebar roda gigi adalah $q = F/b$, maka gaya keliling dinamik spesifik q_D dapat dicari dengan

$$q_D \approx C_D \times v \times (C_S \times q + 2,6 \times f)$$

dengan : $q_D =$ gaya keliling dinamik spesifik (N/mm lebar roda gigi)

$$C_D = 0,025 \dots 0,050$$

Untuk kecepatan keliling rendah (< 5 m/det) dan beban gigi kecil gunakan harga C_D yang tinggi.

$v =$ kecepatan keliling (m/det)

$C_S =$ konstanta pengali statik terhadap gaya nominal hasil perhitungan

$q =$ gaya keliling nominal tiap satuan panjang lebar roda gigi (N/mm)

$f =$ kesalahan (μm)

$b =$ lebar gigi (mm)

Menurut DIN 3961 kesalahan dapat dihitung dengan:

$$f \leq g(3 + 0,3m + 0,2\sqrt{d})$$

dengan : $g = 4$

$m =$ modulus

$d =$ diameter jarak bagi terbesar di antara roda gigi (mm)

Selain itu nilai gaya keliling yang lebih besar daripada gaya nominal F disebabkan oleh beban ekstra setempat yang dialami roda gigi akibat pembagian beban yang tidak sama sepanjang roda gigi. Dalam perancangan ini poros yang digunakan ditumpu langsung pada kedua sisi di samping roda gigi yang digunakan, sehingga beban ekstra yang terjadi adalah disebabkan oleh resiko ketidaktepatan pembuatan di pabrik. Persamaan yang digunakan untuk perhitungan gaya/beban ekstra yang dialami roda gigi yaitu :

$$q_R = 2,5 \cdot f_R \times C_E$$

$$f_R = 0,75 \cdot g_R \sqrt{b} + g_k \times C_S \times q$$

dengan : q_R = beban ekstra gigi (N/mm)

C_E = faktor keelastikan, baja pada baja = 1

baja pada besi cor = 0,74

besi cor pada besi cor = 0,55

f_R = faktor kesalahan (μm)

$g_R = 2,0$

$g_k = 0$ untuk roda gigi yang ditumpu pada kedua sisi

0,03 untuk roda gigi yang ditumpu pada satu sisi

Dari persamaan di atas dapat dicari beban gigi total maksimum yaitu :

$$q_{\text{maks}} = C_S \times q + q_D + q_R$$

III.1.2.3. Perhitungan pada Lengkung dan Putus Geser

Gigi dibebani oleh gaya normal Q pada sisinya (lihat gambar III.3) yang apabila hanya satu gigi yang mengalami beban itu maka $Q = F/\cos \alpha$, kalau F merupakan gaya keliling nominal pada lingkaran jarak bagi. Apabila gaya Q dibuat menangkap di titik A pada garis sumbu gigi, maka gaya Q dapat diuraikan $Q' \perp$ garis sumbu dan Q'' sepanjang garis sumbu. Penampang berbahaya akan terdapat di BC, dekat di atas pembulatan akar. Gaya Q' menimbulkan dalam penampang tersebut suatu momen lengkung $M_b = Q' \times l$, gaya Q'' menimbulkan tegangan tekan.

Untuk sebuah roda gigi tertentu yang ukuran giginya sepadan dengan modulus m , dan pada sebuah sudut tekan tertentu α , σ_i akan tergantung pada harga q , dari jumlah gigi dan kalau perlu pada faktor pergeseran profil x akan menghasilkan

$$\sigma_i = C_e \cdot \mu \cdot q/m \approx 0,7 \cdot \mu \cdot q/m$$

$$\sigma_{\text{maks}} = C_e \cdot \mu \cdot q_{\text{maks}} / m$$

dengan : σ_i = tegangan ideal (N/mm^2)

μ = harga yang diukur pada jumlah gigi untuk tekanan sudut normal

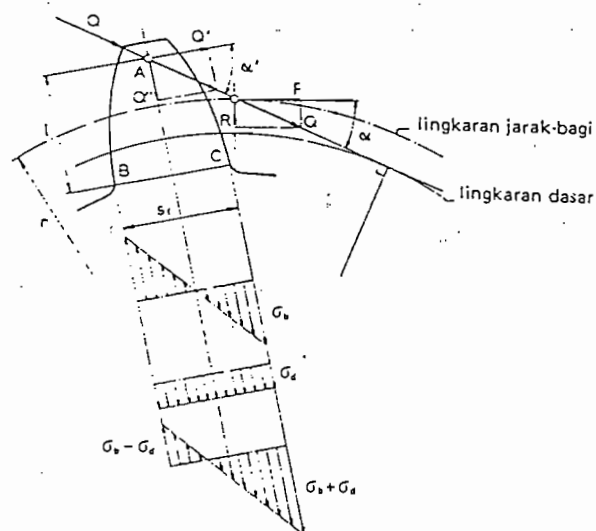
C_ϵ = harga normal = 0,7

q = gaya keliling nominal tiap satuan panjang lebar roda gigi (N/mm)

m = modul roda gigi

σ_{imaks} = tegangan ideal maksimal (N/mm^2)

q_{maks} = beban gigi total maksimal



Gambar III.3. Beban gigi

III.1.2.4. Contoh Perhitungan Roda Gigi pada Sendi 1

Dalam perhitungan ini diambil jumlah gigi surya $z_a = 10$ dan jumlah gigi planet $z_b = 25$ dengan modul $m = 5$. Untuk mencari jumlah gigi roda gigi dalam digunakan persamaan

$$z_c = z_a + 2 \times z_b$$

$$z_c = 10 + 2 \times 25 = 60$$

Perhitungan jarak bagi lingkaran (p) :

$$p = m \times \pi = 5 \times \pi = 15,7 \text{ mm}$$

Perhitungan jarak bagi kontak (pe) :

$$p_e = p \times \cos \alpha = 15,7 \times \cos 20^\circ = 14,75 \text{ mm}$$

Perhitungan tinggi gigi :

$$\text{Diketahui } h_a = m \text{ sehingga } h_f = 1,25 \times 5 = 6,25 \text{ mm}$$

$$h = h_a + h_f = 5 + 6,25 = 11,25 \text{ mm}$$

Perhitungan diameter lingkaran jarak bagi (d) :

$$d_{\text{surya}} = 5 \times 10 = 50 \text{ mm}$$

$$d_{\text{planet}} = 5 \times 25 = 125 \text{ mm}$$

$$d_{\text{dalam}} = 5 \times 60 = 300 \text{ mm}$$

Perhitungan diameter lingkaran kepala (d_h) :

$$d_{\text{hsurya}} = 50 + 2 \times 5 = 60 \text{ mm}$$

$$d_{\text{hplanet}} = 125 + 2 \times 5 = 135 \text{ mm}$$

$$d_{\text{hdalam}} = -300 + 2 \times 5 = -290 \text{ mm}$$

Perhitungan diameter lingkaran kaki (d_f) :

$$d_{\text{fsurya}} = 50 - 2 \times 6,25 = 37,5 \text{ mm}$$

$$d_{\text{fplanet}} = 125 - 2 \times 6,25 = 112,5 \text{ mm}$$

$$d_{\text{fdalam}} = -300 - 2 \times 6,25 = -312,5 \text{ mm}$$

Perhitungan diameter lingkaran dasar (d_g) :

$$d_{\text{gsurya}} = 50 \times \cos 20^\circ = 46,985 \text{ mm}$$

$$d_{\text{gplanet}} = 125 \times \cos 20^\circ = 108,25 \text{ mm}$$

$$d_{\text{gdalam}} = -300 \times \cos 20^\circ = -259,8 \text{ mm}$$

Lebar roda gigi (b) :

Diambil $b = 30 \text{ mm}$ dan perbandingan $b/d \leq 0,7$

$$\text{Roda gigi surya} \rightarrow 30/50 = 0,6$$

$$\text{Roda gigi planet} \rightarrow 30/125 = 0,24$$

Roda gigi dalam $\rightarrow 30/300 = 0,1$

Dari perhitungan di atas diketahui perbandingan b/d lebih kecil dari 0,7 sehingga dalam perancangan roda gigi dengan lebar 30 mm adalah aman.

Perhitungan tebal gigi (s) :

$$s = \pi \times m / 2 = \pi \times 5 / 2 = 7,85 \text{ mm}$$

Perbandingan putaran :

$$i = z_c / z_a = n_1 / -n_3$$

$$i = z_c / z_a = 60 / 10 = 6$$

diketahui $n_1 = 20 \text{ rpm}$, jadi $n_3 = -n_1 / i = -20 / 6 = -3,33 \text{ rpm}$

Perhitungan kecepatan keliling lingkaran gelinding :

$$v = (d \times \pi \times n_1) / 60 = (50 \times \pi \times 20) / 60 \times 1000 = 0,0523 \text{ m/det}$$

Perhitungan momen puntir poros :

$$\omega = 2 \times \pi \times n / 60 = 2 \times \pi \times 20 / 60 = 2,09 \text{ rad/det}$$

$$M = P / \omega = 21,5 / 2,09 = 44,935 \text{ Nm}$$

Sehingga gaya keliling F :

$$F_{\text{surya}} = M / r = 44,935 / 25 \times 10^{-3} = 1797,4 \text{ N}$$

$$F_{\text{planet}} = M / r = 44,935 / 62,5 \times 10^{-3} = 718,96 \text{ N}$$

$$F_{\text{dalam}} = M / r = 44,935 / 150 \times 10^{-3} = 229,57 \text{ N}$$

Perhitungan gaya keliling sebenarnya :

$$F_{\text{ksurya}} = F_{\text{surya}} \times C_s = 1797,4 \times 1,25 = 2246,75 \text{ N}$$

$$F_{\text{kplanet}} = F_{\text{planet}} \times C_s = 718,96 \times 1,25 = 898,7 \text{ N}$$

$$F_{\text{kdalam}} = F_{\text{dalam}} \times C_s = 229,57 \times 1,25 = 286,96 \text{ N}$$

Perhitungan gaya dinamik :

$$F_{\text{Dsurya}} = F_k \times (v/a) = 2246,75 \times (0,0523 / 10) = 11,76 \text{ N}$$

$$F_{\text{Dplanet}} = 898,7 \times (0,0523 / 10) = 4,7 \text{ N}$$

$$F_{\text{Ddalam}} = 286,96 \times (0,0523 / 10) = 1,5 \text{ N}$$

Perhitungan gaya keliling dinamik :

$$f \leq g(3 + 0,3m + 0,2\sqrt{d})$$

$$\leq 4(3+0,3 \times 5+0,2 \sqrt{300})$$

$$= 31,86 \mu\text{m}$$

diambil harga F_k yang paling besar yaitu 2246,75 N

$$q = F_k/b = 2246,75/30 = 74,89 \text{ N/mm lebar roda gigi}$$

jadi gaya keliling dinamik :

$$q_D \approx C_D \times v \times (C_S \times q + 2,6 \times f)$$

$$\approx 0,05 \times 0,0523 \times (1,25 \times 74,89 + 2,6 \times 31,86)$$

$$\approx 0,46 \text{ N/mm lebar roda gigi}$$

Perhitungan gaya/beban ekstra yang dialami roda gigi :

Harga C_E diambil 0,74 karena roda gigi surya dan roda gigi planet menggunakan bahan baja sedangkan untuk roda gigi dalam menggunakan bahan besi cor.

- Untuk roda gigi surya dan roda gigi planet :

$$\text{harga } g_k = 0,03$$

$$f_R = 0,75 \cdot g_R \sqrt{b} + g_k \times C_S \times q = 0,75 \cdot 2 \sqrt{30} + 0,03 \times 1,25 \times 74,89 = 11 \mu\text{m}$$

$$q_R = 2,5 \cdot f_k \times C_E = 2,5 \times 11 \times 0,74 = 20,35 \text{ N/mm lebar roda gigi}$$

- Untuk roda gigi dalam :

$$\text{harga } g_k = 0$$

$$f_R = 0,75 \cdot g_R \sqrt{b} + g_k \times C_S \times q = 0,75 \cdot 2 \sqrt{30} + 0 = 8,2158 \mu\text{m}$$

$$q_R = 2,5 \times 8,2158 \times 0,74 = 15,199 \text{ N/mm lebar roda gigi}$$

Perhitungan beban gigi total maksimum q_{maks} :

- Untuk roda gigi surya dan planet :

$$q_{\text{maks}} = C_S \times q + q_D + q_R = 1,25 \times 74,89 + 0,46 + 20,35 = 114,42 \text{ N/mm lebar roda gigi}$$

- Untuk roda gigi dalam :

$$q_{\text{maks}} = 1,25 \times 74,89 + 0,46 + 15,199 = 109,27 \text{ N/mm lebar roda gigi}$$

Dari perhitungan di atas diketahui beban maksimum q_{maks} roda gigi surya dan planet lebih besar dibandingkan dengan roda gigi dalam.

Perhitungan tegangan ideal (σ_i) :

Diketahui jumlah gigi surya $z_a = 10$ sehingga dapat menggunakan $\mu = 2,2$ dan pada roda gigi planet $z_b = 25$ dengan $\mu = 2,6$. sedangkan untuk roda gigi dalam $z_c = 60$ dapat menggunakan $\mu = 2$

Untuk roda gigi surya :

$$\begin{aligned}\sigma_i &= C_e \cdot \mu \cdot q/m \approx 0,7 \cdot \mu \cdot q/m \\ &= 0,7 \times 2,2 \times 74,89/5 = 23,066 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\sigma_{\text{maks}} = C_c \cdot \mu \cdot q_{\text{maks}}/m = 0,7 \times 2,2 \times 114,42/5 = 35,24 \text{ N/mm}^2$$

Untuk roda gigi planet :

$$\begin{aligned}\sigma_i &= 0,7 \times 2,6 \times 74,89/5 = 27,26 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{\text{maks}} &= 0,7 \times 2,6 \times 114,42/5 = 41,65 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Untuk roda gigi dalam :

$$\begin{aligned}\sigma_i &= 0,7 \times 2,0 \times 74,89/5 = 20,97 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{\text{maks}} &= 0,7 \times 2,0 \times 109,27/5 = 30,596 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

III.2. Pemilihan Bantalan

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban sehingga putaran atau gerakan bolak-balik poros dapat berlangsung secara halus dan aman. Bantalan harus mempunyai kekuatan untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika bantalan tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem akan menurun atau tidak dapat bekerja semestinya.

Bantalan dapat diklasifikasi menjadi dua, yaitu atas dasar gerakan bantalan terhadap poros dan atas dasar arah beban terhadap poros. Atas dasar gerakan bantalan terhadap poros terdiri dari bantalan luncur dan bantalan gelinding, sedangkan atas dasar arah beban terhadap poros terdiri dari bantalan radial dan bantalan gelinding khusus.

Pada sistem robot ini dibutuhkan gerakan yang halus sehingga di tiap-tiap sendi robot ini digunakan bantalan gelinding. Keuntungan menggunakan bantalan ini adalah gesekan yang terjadi sangat kecil. Elemen gelinding seperti bola atau rol dipasang di antara cincin luar dan cincin dalam. Dengan memutar salah satu cincin tersebut, bola atau rol akan membuat gerakan gelinding sehingga gesekan di antaranya akan jauh lebih kecil. Karena luas bidang kontak antara bola atau rol dengan cincinnya sangat kecil, maka besarnya beban persatuan luas atau tekanannya menjadi sangat tinggi. Dengan demikian bahan yang digunakan harus mempunyai ketahanan dan kekerasan yang tinggi.

III.2.1. Pemilihan Bahan Bantalan Gelinding

Gelang dan elemen gelinding pada bantalan gelinding umumnya dibuat dari baja bantalan khrom karbon tinggi yang dapat memberikan efek stabil pada perlakuan panas dan memberikan umur panjang dengan keausan yang sangat kecil. Untuk bantalan yang memerlukan ketahanan khusus terhadap kejutan, dipakai baja paduan karbon rendah yang kemudian diberi perlakuan panas dengan sementasi. Baja semen yang kedalaman sementasinya dan kekerasan dari inti dan permukaannya sedang, dapat menahan tumbukan yang besarnya beberapa kali kemampuan baja bantalan.

Bahan untuk sangkar, yang akan mengalami kontak gesekan dengan elemen gelinding harus tahan aus dan tidak mudah patah. Sangkar untuk bantalan kecil dibuat dengan mengepres pita baja yang difinis dari baja karbon rendah atau baja plat yang difinis. Untuk pemakaian khusus, plat kuningan atau plat baja tahan karat juga sering digunakan. Untuk bantalan besar dipakai baja karbon rendah atau kuningan berkekuatan tinggi.

III.2.2. Perhitungan Umur Bantalan

Pengertian umur dari sebuah bantalan gelinding adalah sebagai jumlah perputaran L (atau jumlah jam kerja L_h pada perputaran konstan) yang dijalani oleh

bantalan sebelum terjadi gejala pertama kelelahan bahan pada salah satu gelang atau benda gelinding.

Umur nominal L ialah jumlah perputaran yang dapat dijalani oleh sedikitnya 90 % dari jumlah bantalan tersebut dalam pemakaian sebelum terjadi gejala lelah dalam satu atau lain elemen, sedang setinggi-tingginya 10 % dari bantalan sudah, setelah perputaran yang lebih sedikit, boleh memperlihatkan gejala lelah.

Untuk menentukan umur nominal bantalan gelinding terlebih dahulu menentukan faktor kecepatan f_n dan faktor umur f_h dari bantalan dengan persamaan seperti dibawah ini.

$$f_n = (33,3 / n)^{1/3}$$

$$f_h = f_n (C/P)$$

dengan : n = putaran poros pada tiap-tiap sendi (rpm)

C = beban nominal dinamis spesifik (kg)

P = beban ekivalen dinamis (kg)

Dalam perhitungan ini, kecepatan putaran poros pada masing-masing sendi diambil dari tabel 2. Sedangkan harga C diambil dari tabel bantalan bola dengan menentukan dahulu dimensi dari bantalan, kemudian untuk beban diambil 100 kg.

Umur nominal L_h dapat dihitung dengan persamaan seperti dibawah ini

$$L_h = 500 \cdot f_h^3$$

Dengan bertambah panjangnya umur karena adanya perbaikan besar dalam mutu bahan dan karena tuntutan keandalan yang lebih tinggi, maka bantalan modern direncanakan dengan L_h yang dikalikan dengan faktor koreksi sehingga L_n dapat dicari dengan persamaan seperti di bawah.

$$L_n = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L_h$$

Nilai a_1 merupakan faktor keandalan yang diambil dari tabel harga faktor keandalan yaitu sebesar 95 % sehingga $a_1 = 0,62$. Untuk a_2 adalah faktor bahan yang besarnya 1, sedangkan a_3 merupakan faktor kerja yang besarnya 1.

Hasil perhitungan bantalan gelinding pada tiap sendi dapat dilihat dalam tabel di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Bantalan

Sendi	Dimensi bantalan (mm)				f_h	f_h	L_h (jam)	L_n (jam)
	d	D	B	R				
1	50	110	27	3	1,185	57,47	1929,55	1196,32
2	50	90	20	2	1,259	34,62	1629,6	1010,35
3	50	90	20	2	1,185	32,59	1597,1	990,2
4	50	90	20	2	1,1	25	1462	906,44
5	25	47	12	1	1,1	8,69	1027,96	637,34
6	20	42	12	1	0,94	6,90	952,3	590,43

III.3. Perhitungan Struktur Lengan Robot

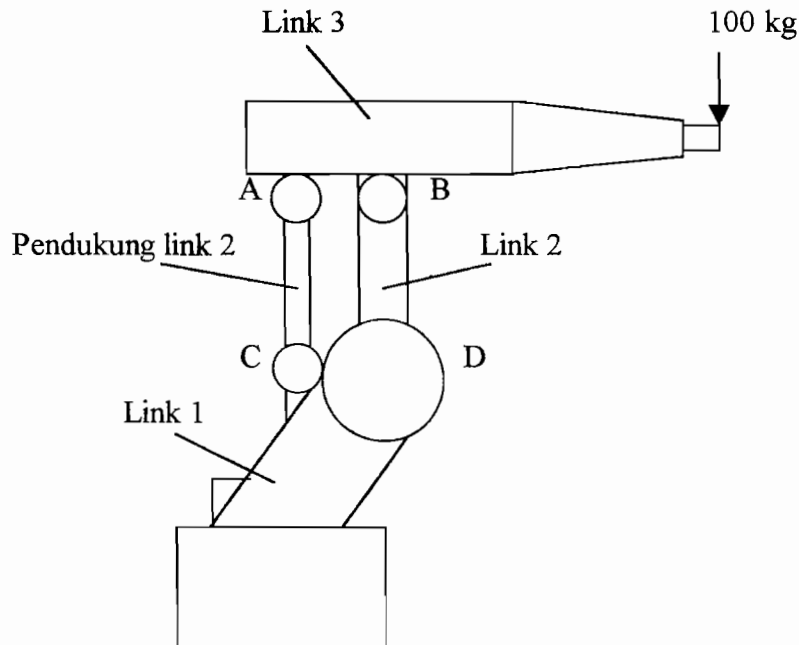
Dalam perancangan lengan robot yang perlu diperhatikan adalah kekuatan dari lengan robot untuk menahan beban yang diterimanya. Beban yang diterima lengan robot akan menimbulkan gaya-gaya reaksi pada sendi-sendi. Dengan mengetahui gaya-gaya reaksi ini kita dapat menghitung berapa besar tegangan yang terjadi pada lengan. Diketahui bahwa robot ini menggunakan tiga poros gerakan, sehingga yang menerima beban adalah link 1, 2, 3 dan pendukung link 2. Untuk mengetahui kekuatan lengan robot, maka kita harus menghitung tegangan yang terjadi pada lengan.

III.3.1. Perhitungan Gaya-Gaya Reaksi Lengan Robot

Seperti yang terlihat pada gambar III.4 di bawah ini, tiap-tiap sendi ditandai dengan huruf A, B, C, dan D. Dalam perhitungan gaya reaksi, beban diasumsikan berada pada ujung *end effector* yaitu sebesar 100 kg.

Posisi seperti pada gambar akan menimbulkan gaya reaksi terbesar, karena mempunyai jarak antara beban dengan sendi paling jauh.

Untuk mengetahui besarnya reaksi pada masing-masing sendi, maka perhitungan dimulai dari link 3. Seperti terlihat pada gambar III.5 dibawah, sendi A dan B dianggap sebagai tumpuan dan akan menimbulkan gaya vertikal.



Gambar III.4. Titik-titik tumpu

Untuk mengetahui besarnya gaya reaksi pada titik tumpu A dan B dapat menggunakan persamaan

$$\Sigma M_B = 0$$

$$-R_{VA} \times l_1 - 100 \times l_2 = 0$$

sehingga

$$R_{VA} = - (100 \times l_2) / l_1$$

Tanda negatif menunjukkan bahwa arah gaya reaksi di titik tumpu A adalah ke bawah. Untuk mencari reaksi di titik tumpu B dapat menggunakan persamaan

$$\Sigma M_A = 0$$

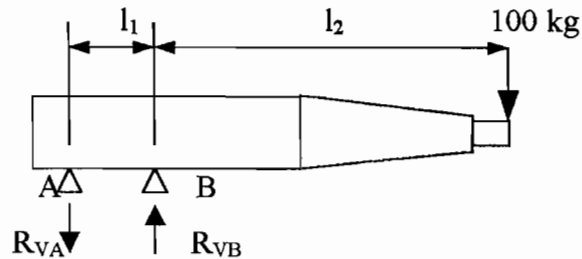
$$R_{VB} = 100 - R_{VA}$$

Diketahui panjang $l_1 = 250$ mm dan $l_2 = 1555$ mm, sehingga reaksi di titik tumpu A dan B dapat dicari seperti di bawah

$$R_{VA} = - (100 \times 1555) / 250 = - 622 \text{ kg } (\downarrow)$$

$$R_{VB} = 100 - (-622) = 722 \text{ kg } (\uparrow)$$

Hasil perhitungan reaksi di titik tumpu B adalah positif sehingga gaya reaksinya ke atas.



Gambar III.5. Gaya reaksi di titik tumpu A dan B

III.3.2. Perhitungan Kekuatan Lengan Robot

Beban yang berada di ujung *end effector* akan mengakibatkan tegangan lengkung pada link 3. Pada link 2 akan mendapat tegangan desak, sedangkan pendukung link 2 akan mendapat tegangan tarik. Untuk link 1 terdapat 2 gaya reaksi yang akan mengakibatkan tegangan desak. Sebelum mencari tegangan lengkung σ_{lk} terlebih dahulu dicari momen lengkung M_{lk} dengan persamaan

$$M_{lk} = F \times l_2$$

dengan : F = beban (kg)

Selain mencari momen lengkung, harus diketahui juga momen tahanan lengkung W_{lk} . Untuk penampang berbentuk cincin dengan diameter luar D dan diameter dalam d , momen tahanan lengkung dapat dicari dengan persamaan

$$W_{lk} = \left(\frac{\pi}{32}\right) \times (D^4 - d^4) / D$$

sehingga

$$\sigma_{lk} = M_{lk} / W_{lk}$$

Bahan yang digunakan link 3 adalah baja karbon S30C dengan kekuatan tarik $\sigma_{tr} = 48 \text{ kg/mm}^2$. Faktor keamanan terhadap tegangan lengkung dipakai sebesar 2, sehingga tegangan lengkung yang diijinkan diketahui yaitu sebesar 24 kg/mm^2 . Diketahui besarnya diameter luar link 3 adalah 200 mm dan mempunyai tebal 2 mm,

maka diameter dalam diketahui yaitu sebesar 196 mm. Dari persamaan di atas diperoleh momen lengkung M_{lk} sebesar 155500 kgmm dan momen tahanan lengkung W_{lk} sebesar 60940,99 mm³. Tegangan lengkung σ_{lk} diperoleh sebesar 2,55 kg/mm². Tegangan lengkung yang digunakan sebesar 24 kg/mm² sedangkan dari hasil perhitungan diperoleh sebesar 2,55 kg/mm², jadi konstruksinya aman.

Untuk mencari tegangan pada link 2, pendukung link 2, dan link 1 dapat menggunakan persamaan

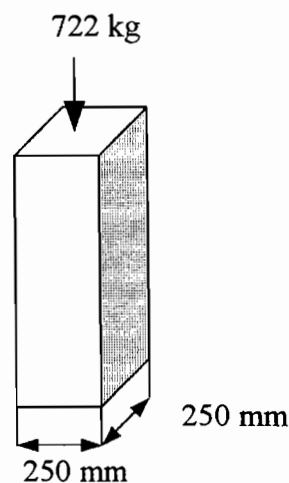
$$\sigma = F/A$$

dengan : F = gaya yang berasal dari reaksi di titik tumpu A dan B (kg)

$$A = \text{luas penampang (mm}^2\text{)}$$

Seperti yang terlihat pada gambar di bawah, link 2 dianggap berbentuk balok dan mendapat gaya tekan yang berasal dari gaya reaksi di B. Bahan yang digunakan pada link 2 adalah baja karbon cor SC37 dengan kekuatan tarik $\sigma_{tr} = 37 \text{ kg/mm}^2$. Angka faktor keamanan adalah 2, sehingga tegangan desak yang diijinkan adalah 18,5 kg/mm². Panjang penampang ditentukan 250 mm dan lebar 250 mm, sehingga luas penampang tekan dapat dicari yaitu :

$$A = 250 \times 250 = 62500 \text{ mm}^2$$



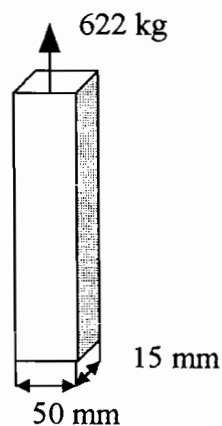
Gambar III.6. Bentuk link 2 dianggap seperti balok

Jadi tegangan desak yang terjadi pada link 2 sebesar :

$$\sigma_{des} = 722/62500 = 0,012 \text{ kg/mm}^2.$$

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa tegangan desak yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan tegangan desak yang diijinkan sehingga konstruksinya aman.

Untuk pendukung link 2 menggunakan bahan dari baja karbon S30C dengan kekuatan tarik $\sigma_{tr} = 48 \text{ kg/mm}^2$ dan faktor keamanan sebesar 2, sehingga tegangan tarik yang diijinkan sebesar 24 kg/mm^2 . Dari gambar dibawah diketahui bahwa pada pendukung link 2 mendapat tegangan tarik dari gaya reaksi di titik A yang besarnya 622 kg.



Gambar III.7. Gaya tarik pada pendukung link 2

Luas penampang dapat diketahui yaitu $A = 50 \times 15 = 750 \text{ mm}^2$ dan tegangan tarik $\sigma_{tr} = 622/750 = 0,83 \text{ kg/mm}^2$, jadi konstruksinya aman.

Pada link 1 terdapat gaya reaksi sebesar 100 kg dan mengakibatkan tegangan tarik. Gaya reaksi ini terbagi dua, karena pada link 1 terdapat dua tumpuan untuk menumpu link 2. Bahan yang digunakan pada link 1 adalah baja karbon cor SC37 dengan kekuatan tarik $\sigma_{tr} = 37 \text{ kg/mm}^2$. Angka faktor keamanan adalah 2, sehingga tegangan tarik yang diijinkan adalah $18,5 \text{ kg/mm}^2$. Untuk mempermudah perhitungan, konstruksi dari link 1 dianggap berbentuk seperti balok dengan luas penampang $A = 300 \times 50 = 15000 \text{ mm}^2$, sehingga tegangan tarik dapat dicari, yaitu :

$$\sigma_{tr} = 50/15000 = 0,0033 \text{ kg/mm}^2$$

Hasil perhitungan di atas lebih kecil dibandingkan dengan tegangan tarik yang diijinkan, sehingga konstruksinya dianggap aman.

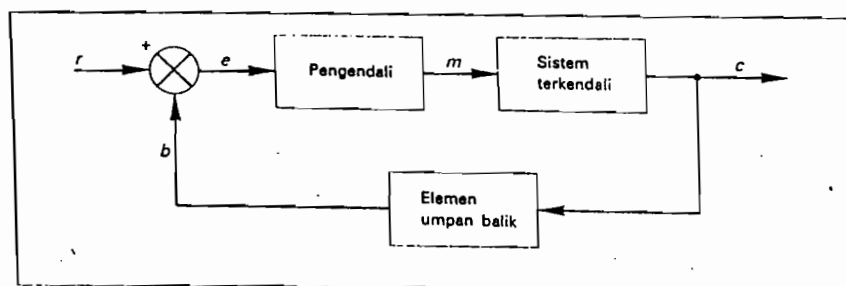
BAB IV

SISTEM KENDALI ROBOT

Banyak tipe dari sistem pengendalian yang digunakan dalam pengoperasian robot dalam industri manufaktur. Sistem pengendalian pada robot berkaitan dengan strategi yang memungkinkan sebuah komputer mengarahkan gerakan-gerakan dari sebuah robot. Dalam sistem pengendalian ini sangat tergantung pada penggunaan *end effector* dan sensor. Di samping itu juga terdapat dua tipe dari sistem kendali yaitu kendali loop tertutup dan loop terbuka.

IV.1. Kendali Loop Tertutup

Dalam sistem pengendalian ini sebuah kesalahan diukur dan kemudian digunakan untuk membetulkan proses yang terjadi, seperti yang digambarkan dengan diagram blok pada gambar IV.1. Tanda panah di dalam diagram menunjukkan arah aliran informasi yang informasinya dikirim sebagai sinyal elektronik. Kotak-kotak menggambarkan proses seperti informasi yang tertulis di dalamnya. Dalam prakteknya kotak-kotak tersebut dapat berupa sebuah mesin, komputer, ataupun beberapa rangkaian elektronik.



Gambar IV.1. Diagram blok untuk kendali loop tertutup

Huruf r kecil merupakan singkatan dari masukan referensi, yang menentukan satu nilai yang diharapkan bagi sistem yang dikendalikan tersebut. Untuk berbagai sistem yang akan menjadi pertimbangan kita, nilai r akan dihasilkan oleh komputer.

Lingkaran dengan silang di dalamnya disebut titik penjumlahan. Dalam diagram diatas tampak terdapat dua sinyal yang masuk ke titik penjumlahan tersebut yaitu r dan sinyal b (umpan balik dari keluaran). Keluaran dari titik penjumlahan adalah sinyal kesalahan (e), yang nilainya adalah selisih dari r dan b . Dengan kata lain, sinyal kesalahan e adalah perbedaan antara apa yang diinginkan dengan apa yang dihasilkan.

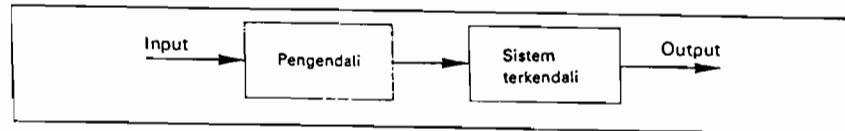
Kotak yang berlabel sebagai pengendali menerima sinyal kesalahan dan menghasilkan sinyal kontrol m . Kotak yang berlabel sistem terkendali adalah piranti yang sedang dikendalikan, seperti dalam sistem robot adalah sebuah motor listrik. Sistem pengendalian menjadi lengkap setelah sinyal keluaran c diumpankan kembali ke titik penjumlahan. Sebelum masuk ke titik penjumlahan, sinyal c pada umumnya melalui kotak elemen umpan balik, yang berfungsi mengalihkan sinyal c ke dalam bentuk yang dapat diterima di titik penjumlahan. Sebagai contoh, c adalah posisi sebuah motor dan b adalah tegangan listrik. Dalam hal ini, fungsi dari elemen umpan balik adalah mengalihkan posisi mekanis menjadi volt.

Jadi sistem loop tertutup adalah suatu lintasan tertutup dari aliran informasi dari masukan ke keluaran dan kembali ke masukan lagi.

IV.2. Kendali Loop Terbuka

Pada gambar IV.2 diperlihatkan sistem pengendalian loop terbuka. Sebagai contoh apabila mata kita ditutup, kita masih bisa menyelesaikan perintah dengan baik, dalam arti obyek yang kita cari dapat ditemukan dengan syarat dua faktor terpenuhi. Faktor pertama, setelah memutuskan ke arah mana tangan kita digerakkan, kita harus melakukan gerakan itu secara akurat. Faktor kedua adalah begitu operasi dijalankan,

obyek yang dicari tidak berpindah tempat ataupun bila bergerak, ke arah yang telah ditentukan atau dapat diperkirakan.



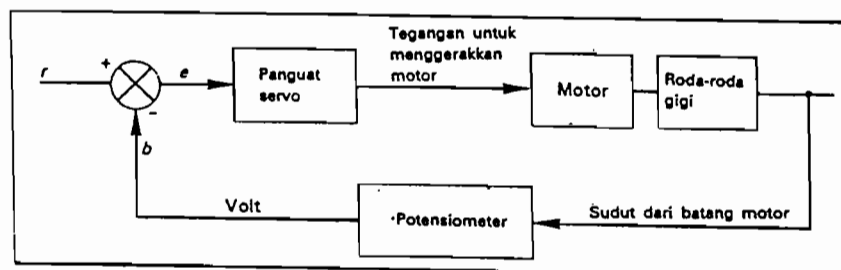
Gambar IV.2. Diagram blok untuk loop terbuka

Di dalam sistem pengendalian loop terbuka biasanya terdapat sistem loop tertutup juga. Hal ini dimungkinkan bila diinginkan keterulangan dari proses yang memerlukan ketelitian tinggi.

Melihat dari keterbatasan sistem, robot ini digunakan hanya untuk proses manufaktur, sehingga sistem pengendalian yang dapat digunakan adalah sistem pengendalian loop tertutup. Disamping itu juga, pengendalian loop tertutup lebih sederhana, lebih murah, dan sesuai untuk situasi di mana semua pengaruh telah dapat diperkirakan dan tidak tergantung pada faktor-faktor luar.

IV.3. Mekanisme Servo

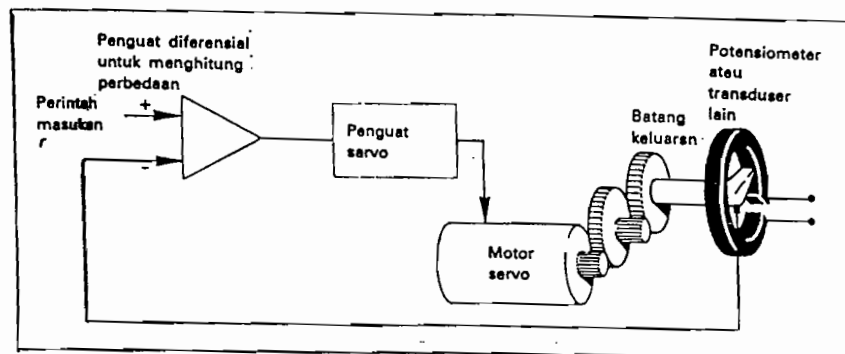
Mekanisme servo digunakan untuk pengendalian sudut putaran dari robot dan pergerakan lengan robot untuk menempuh jarak tertentu. Diagram blok pada gambar IV.3 memperlihatkan pengaturan servo posisi (*position servo*) untuk mengendalikan besarnya rotasi motor listrik.



Gambar IV.3. Diagram blok dari server posisi

Penguat servo merupakan penguat daya yang menghasilkan tegangan untuk menggerakkan motor ke posisi yang dikehendaki. Posisi sesungguhnya dari batang motor diukur oleh potensiometer. Dengan menambah rangkaian elektronik, pengaturan potensiometer akan menghasilkan sebuah tegangan yang merupakan sinyal umpan balik b . Selanjutnya, sinyal kesalahan akan dihasilkan secara elektronik di titik penjumlahan dengan tegangan sebesar e , yaitu selisih dari yang diharapkan r dengan apa yang didapat b .

Pada gambar IV.4 dapat dilihat bahwa roda-roda gigi dipakai untuk menggerakkan potensiometer. Gerakan potensiometer yang secara mekanik dialihkan menjadi sinyal listrik. Untuk penguat diferensial akan menghasilkan keluaran yang sebanding dengan perbedaan di antara kedua masukannya. Oleh karena itu masukan-masukan tersebut diberi tanda plus dan minus.



Gambar IV.4. Diagram yang lebih realistis dari servo posisi

Selain servo posisi ada juga yang menggunakan servo kecepatan (*speed servo*) yang cara kerjanya hampir sama. Perbedaan yang mendasar antar servo kecepatan dan servo posisi adalah pengalihan keluaran mekanik menjadi sinyal umpan balik elektrik. Untuk servo kecepatan menggunakan tachometer atau tachogenerator yang ditempatkan dalam motor dan menghasilkan tegangan yang besar kecilnya sebanding dengan kecepatannya. Posisi dan kecepatan motor perlu dikendalikan, sehingga dalam perancangan motor servo yang terdiri dari mekanisme seperti roda gigi,

potensiometer, dan tachometer dapat dirancang secara kompak ke dalam sebuah unit motor.

Pada umumnya motor servo dikendalikan oleh mikroprosesor karena hampir semua mikroprosesor yang digunakan otomatis adalah digital, sedangkan motor elektrik identik dengan piranti analog. Ada dua masalah yang akan dihadapi dalam menggabungkan mikroprosesor ke dalam sistem pengendalian, yaitu :

1. Mengalihkan pulsa digital dari keluaran mikroprosesor ke dalam bentuk level tegangan yang sesuai, yang dapat memberi tegangan kepada motor.
2. Mengalihkan level tegangan yang dihasilkan oleh potensiometer dan tachometer, ke dalam bentuk pulsa yang memungkinkan untuk digunakan sebagai masukan ke mikroprosesor.

IV.3.1. Robot Terkendali Servo

Untuk mengendalikan robot ini, digunakan servo yang menggunakan sinyal-sinyal yang berbeda untuk dikirimkan ke penggerak yaitu motor listrik. Robot yang dikendalikan secara servo dapat dibagi dua kategori yaitu pengendalian titik-ke-titik (*point-to-point*) dan pengendalian jalur berkesinambungan (*continuous path*). Masing-masing jenis pengendalian mempunyai sifat yang berbeda dan digunakan untuk jenis operasi yang berbeda.

Robot yang dikendali dengan menggunakan servo ini mempunyai gerakan mulus (*smooth*) dan berkesinambungan dalam hal pengendalian kecepatan dan percepatan dari setiap poros pada robot. Massa robot dan beban yang bergerak merupakan faktor yang penting dalam menentukan berapa besar tenaga yang akan diberikan.

Titik-titik di mana masing-masing poros mencapai batasnya tidak ditentukan dengan perhentian perangkat keras, tetapi dengan perhentian perangkat lunak. Perhentian perangkat lunak ditulis di dalam program pengendalinya dan posisi perhentian tersebut dapat terletak di mana saja sepanjang kemampuan robot. Dengan

adanya perhentian perangkat lunak ini, maka robot yang terkendali servo dapat memiliki beberapa program yang disimpan di dalam memori pengendali dan masing-masing program ini dapat saja dipilih atau dijalankan setiap saat.

Penggunaan perhentian perangkat lunak ini menimbulkan kesulitan untuk mendapatkan kemampuan pengulangan yang tinggi. Kemampuan yang ada dalam robot terkendali servo pada umumnya berkisar dari satu sampai dua milimeter. Untuk meningkatkan kemampuan ini diperlukan sensor internal yang berkualitas tinggi, pengendali yang lebih canggih, dan motor yang dirancang secara cermat.

IV.3.2. Kendali Servo Titik-ke-Titik

Ciri dari sebuah pengendalian servo titik-ke-titik adalah jumlah titik yang terbatas pada jalur dari *end effector* yang dimasukkan ke dalam memori komputer. Sebagai contoh, seandainya diinginkan *end effector* untuk bergerak dari titik A ke titik B, maka pertama kali robot digerakkan ke titik A dengan mengoperasikan pengendalian melalui kotak belajar (*teach-box*). Selanjutnya posisi masing-masing poros di titik ini dibaca oleh sensor internal dan direkam sebagai data di dalam memori pengendali. Operasi yang sama diulangi lagi dari untuk titik B dan juga titik-titik lainnya yang akan dipelajari. Di dalam dunia industri, pengajaran dengan metode ini dikenal sebagai *lead-through*.

Saat program dalam robot tersebut dijalankan, *end effector* bergerak secara berurutan dari masing-masing posisi yang sudah dipelajarinya. Untuk memungkinkan ini, pengendali umumnya akan mengaktifkan masing-masing penggerak pada suatu kecepatan di mana masing-masing poros akan mencapai titik akhir pada saat yang bersamaan. Hal ini dapat berarti bahwa *base* akan berputar pada kecepatan maksimalnya, sedangkan pergelangannya (*wrist*) akan berputar secara perlahan. Sinyal perintah yang dikirim dari pengendali ke penggeraknya dikalkulasi melalui program khusus. Oleh sebab itu tidak ada kaitan antara kecepatan dengan jalur yang ditempuh oleh poros-poros yang digerakkan selama mode pengajaran diaktifkan.

Dengan demikian, jalur mana yang paling tepat yang ditempuh oleh *end effector* menjadi tidak dapat diperkirakan.

Meskipun terdapat kelemahan-kelemahan yang dimiliki oleh pengendalian titik-ke-titik, robot jenis ini paling banyak digunakan dalam industri. Proses pengembalian putusan dan percabangan ke urutan lain yang berbeda, secara mudah dapat dimasukkan ke dalam program. Keuntungan yang diperoleh adalah jumlah memori yang relatif kecil, karena data hanya berisi sejumlah terbatas titik-titik yang perlu disimpan.

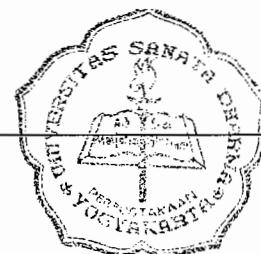
Kelebihan-kelebihan robot yang terkendali servo, yaitu :

1. End effector dapat ditempatkan di mana saja selama masih dalam lingkup kerja robot tersebut.
2. Kecepatan dan percepatan dari masing-masing poros dapat dikendalikan di setiap titik dalam gerakan.
3. Banyak program yang dapat disimpan dan dijalankan tanpa memerlukan pengaturan mekanik.
4. Urutan di mana diperlukan pergerakan yang cepat dari setiap poros, dapat dilakukan secara mulus. Hal ini diatasi dengan menganggap sinyal kesalahan adalah nol pada saat nilai minimum tertentu telah dilampaui.

IV.4. Respon Sesaat

Salah satu cara terpenting dalam mengevaluasi respon sesaat dari sebuah sistem adalah dengan memperhatikan akibat yang timbul apabila masukannya diberi perubahan bertingkat, atau yang disebut masukan bertingkat. Dalam prakteknya hal ini dilakukan dengan menggerakkan tangan robot ke posisi yang lain.

Di dalam menilai berbagai respon terhadap masukan bertingkat, harus disadari bahwa tidak ada satu pun sistem (secara fisik) yang dapat mengeluarkan masukan seperti itu. Untuk dapat mewujudkan hal tersebut, sebuah massa harus mendapat percepatan secara tiba-tiba. Pada kenyataannya, kita mencoba mendapatkan sebuah



respon sistem pengendalian yang optimal yang dapat menghasilkan respon terbaik. Dalam suatu situasi ideal, sistem pengendalian harus dapat menghasilkan keluaran yang diperlukan di dalam waktu yang seminimal mungkin dan tanpa kesalahan permanen. Hasil di lapangan menunjukkan bahwa respon yang optimal sangat berkaitan dengan biaya (salah satu faktor yang tidak dapat diabaikan di dalam perekayasaannya), sehingga biasanya menimbulkan pertentangan di dalam menentukan persyaratannya.

Dalam prakteknya, respon sesaat sangat dipengaruhi oleh mekanisme robot. Berat dari lengan robot dan apakah ia sedang mengangkat beban yang berat atau ringan, akan mempengaruhi seberapa cepat responnya terhadap motor yang mengendalikannya. Sebagai contoh apabila motor hanya mengendalikan beban yang sangat ringan, ada kemungkinan sinyal kendali yang dikirim ke motor akan menyebabkan lengan robot bergerak terlalu cepat dan bereaksi secara berlebihan. Selanjutnya, hal ini akan menghasilkan kesalahan baru dengan arah kebalikannya. Sebaliknya apabila beban terlalu berat, maka diperlukan sinyal kendali yang lebih besar untuk dikirim, sebagai kompensasi adalah dengan beban yang berat akan mengakibatkan lengan robot tidak bergerak. Hal ini merupakan efek dari kelembaman, yaitu sifat yang dimiliki oleh suatu benda yang melawan terhadap perubahan arah atau gerakan, pada saat dikenakan gaya padanya.

Selain masalah kelembaman, terdapat juga masalah lain yaitu *hysteresis* yang secara harafiah diartikan sebagai tertinggal di belakang dan terjadi pada saat hubungan mekanik dan roda gigi mengalami kerusakan. Dalam situasi seperti ini, motor dapat saja terus bergerak tetapi tidak menghasilkan efek apapun terhadap robot sampai kerusakan tersebut telah diperbaiki.

Salah satu masalah yang dihadapi dalam memasang pengendali servo adalah memastikan besar penguatan yang paling tepat. Pengaturan yang mana pada saat kelakuan yang tidak stabil tidak timbul, disebut sebagai penguatan kritik. Pengurangan penguatan di bawah nilai tersebut akan menyebabkan sistem lebih stabil, tetapi apabila pengurangan itu terlalu besar dapat timbul efek yang tidak

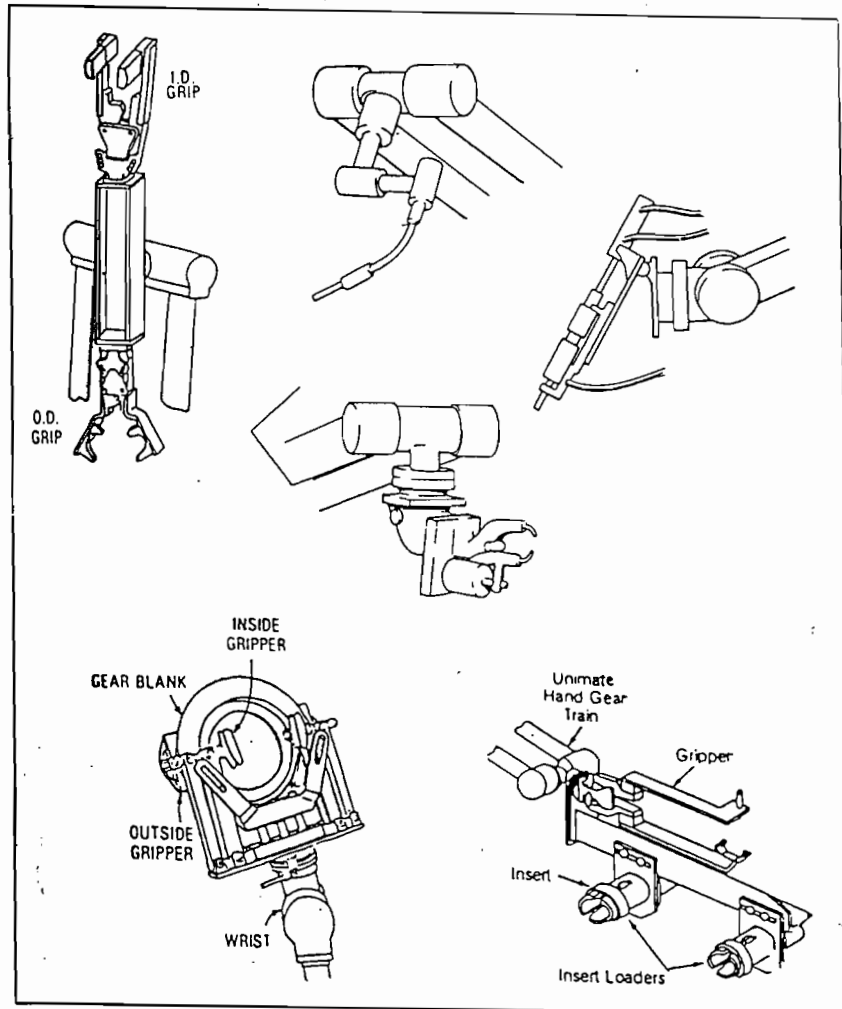
diinginkan, yaitu tindakan pengendalian yang lebih lema. Karena hanya sedikit sistem yang tetap stabil di dalam berbagai kondisi, maka dalam prakteknya pada saat perancangan harus diperhatikan kestabilan relatif dari sistem. Hal ini dapat diukur berdasarkan beberapa kriteria matematik yang berbeda, yang akan memberikan petunjuk jangkah di mana kondisi keluaran masih stabil.

IV.5. End Effector

Kerja dari robot tergantung pada piranti yang dipasang pada lengan robot, di mana piranti ini dikenal sebagai *end effector*. Dalam perancangan *end effector* harusnya diusahakan untuk memiliki derajat fleksibilitas yang mendekati tangan manusia. Dibandingkan dengan tangan manusia sangatlah fleksibel dan hampir mampu melakukan gerakan apapun. Meskipun demikian, robot memiliki kelebihan yang tidak dimiliki oleh manusia yaitu apabila tangan mereka tidak mampu melakukan suatu pekerjaan, maka tangan lain yang berbeda dapat dipasang untuk menggantikannya.

End effector ini terletak di ujung lengan robot dan dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu sebagai pencengkeram (*gripper*) dan sebagai peralatan (*tool*) seperti yang terlihat dalam gambar IV.5. Piranti pencengkeram digunakan untuk memegang atau mencengkeram sebuah objek. Untuk mencengkeram objek dapat menggunakan tangan mekanik, pengait, magnet, atau penghisap. Sedangkan dalam piranti peralatan digunakan robot untuk operasi pada sebuah objek seperti peralatan bor, penyemprot cat, gerinda, alat las, dan lain-lain.

Dalam merancang sebuah *end effector* dan menentukannya apakah termasuk pencengkeram atau peralatan, akan tergantung pada bagaimana robot tersebut dikendalikan. Untuk merancangan sebuah pencengkeram, sedemikian rupa sehingga tidak diperlukan manuver yang terlalu banyak untuk meraih benda yang akan dikerjakan dan kecepatan *end effector* harus dikendalikan secara kontinyu setiap saat.



Gambar IV.5. End effector : peralatan dan pencengkeram

IV.5.1. Macam-Macam Pencengkeram

Pekerjaan yang dilakukan robot untuk mencengkeram dapat dikelompokkan menjadi empat kategori yaitu:

1. Tidak ada cengkeraman

Benda yang dikerjakan ditempatkan pada sebuah *jig* (pemegang yang dirancang khusus untuk keperluan tertentu) dan robot melakukan aktivitas terhadap benda

tersebut seperti melakukan penyemprotan cat, pengelasan, pemotongan, dan pengeboran.

2. Cengkeraman kasar

Robot mencengkeram benda yang dikerjakan tetapi tidak diperlukan ketepatan dalam melakukannya. Cengkeraman kasar ini dapat digunakan dalam menangani dan mencelupkan cetakan, menurunkan cetakan, menurunkan tungku pembakaran, menumpukkan kotak, dan sebagainya.

3. Cengkeraman presisi

Robot mencengkeram benda yang memerlukan penempatan yang presisi seperti menaikkan dan menurunkan peralatan mesin.

4. Perakitan

Robot digunakan untuk merakit komponen-komponen dan membutuhkan posisi yang akurat. Robot ini menggunakan umpan balik sensor yang memungkinkan robot memantau dan memperbaiki gerakan yang dilakukannya. Hanya sekitar satu persen robot yang ada sekarang termasuk ke dalam kategori ini.

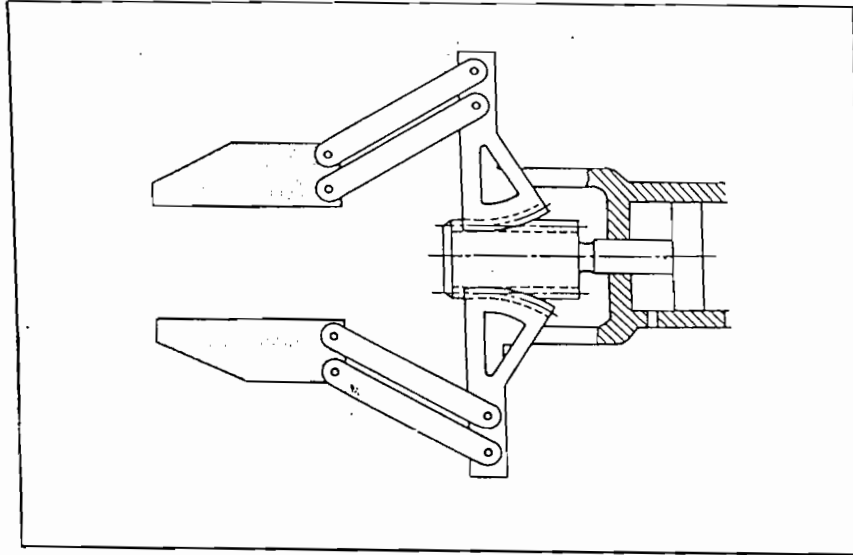
Untuk pengoperasian pencengkeram kita dapat menggunakan pencengkeram mekanik, penghisap, magnetik, pengait, dan sebagainya. Dalam perancangan, robot ini menggunakan pencengkeram mekanik.

IV.5.2. Pencengkeram Mekanik

Pencengkeram mekanik sering disebut sebagai tangan robot yang memiliki dua atau tiga jari yang tidak mempunyai persendian sebanyak jari-jari yang ada pada manusia seperti terlihat dalam gambar IV.6.

Tangan mekanik ini harus mengandalkan gesekan untuk pengamanan selama digenggam. Gesekan antara pencengkeram dan obyek tergantung pada dua faktor. Pertama adalah jenis permukaan yang bersentuhan, sebagai contoh logam pada logam, karet pada logam, permukaan halus, permukaan kasar. Kedua adalah gesekan bergantung kepada besar tenaga yang melekatkan kedua permukaan tersebut. Untuk

mendapatkan seberapa besar gesekan yang diperlukan, permukaan dari pencengkeram harus diperhatikan.



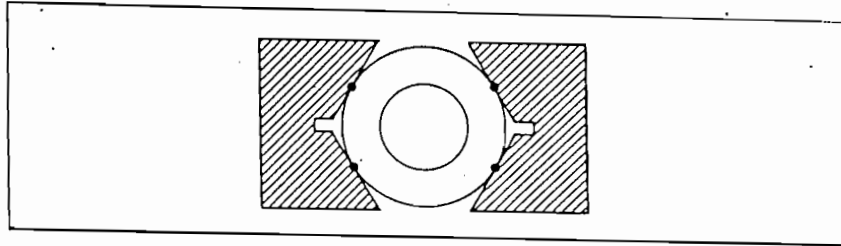
Gambar IV.6. Tangan robot dengan dua jari

IV.5.3. Lapisan Pencengkeram (*gripper pad*)

Lapisan pencengkeram ini terbuat dari bahan polyurethane yaitu sejenis plastik yang dipasang pada pencengkeramnya sehingga gesekan yang terjadi pada pencengkeram akan besar. Polyurethane mempunyai sifat lentur sehingga dapat memperkecil kerusakan pada benda yang sedang dikerjakan apabila tenaga yang diberikan berlebihan.

Bentuk benda harus menjadi pertimbangan karena untuk mencengkeram permukaan yang melengkung biasanya digunakan lapisan pencengkeram yang melengkung, sesuai dengan permukaannya. Untuk bahan polyurethane ini, pada saat pencengkeramannya dijepit maka lapisan ini akan bersentuhan dengan semua bagian permukaan benda. Apabila lapisan ini terbuat dari material yang keras seperti besi, maka permukaan yang melengkung akan menimbulkan masalah. Untuk mengatasi

masalah ini maka pencengkeram menggunakan lapisan yang berbentuk V. Dengan lapisan ini akan didapatkan empat titik sentuh seperti yang terlihat dalam gambar IV.7. Kelebihan lain adalah mereka dapat digunakan untuk obyek lain yang memiliki kelengkungan yang beragam.



Gambar IV.7. Penggunaan *V-shaped gripper pad* memastikan empat titik kontak pada permukaan melengkung

Karena lapisan pencengkeram besi tidak selentur plastik, maka kadangkala kadang perlu dibuat pencengkeramnya sendiri yang memiliki kelenturan. Hal ini dapat dilakukan dengan memasang pegas ke dalam sambungan mekaniknya atau mengoperasikan pencengkeram dengan udara yang bertekanan.

IV.6. Sistem Sensor Robot

Pengontrolan pada robot industri dalam beberapa kasus tergantung dari jenis sistem penginderaan yang bervariasi. Sistem sensor biasanya merubah sebuah jenis energi seperti energi cahaya, panas, suara, elektromagnetik, dan gerak menjadi energi listrik. Energi listrik tersebut disuplai dengan menggunakan masukan dari sensor yang akan berpengaruh pada pengoperasian robot. Tujuan penggunaan sensor ini agar robot dapat lebih pandai dalam mengerjakan sesuatu.

Dalam robotika, sensor dibagi dalam dua kategori yaitu sensor eksternal, yang dipasang di luar robot, dan sensor internal, yang dipasang di dalam robot. Sensor yang digunakan untuk sistem robot ini adalah sensor internal. Alasan penggunaan sensor internal karena pada robot ini diperlukan untuk mengamati posisi, kecepatan,

dan akselerasi berbagai sambungan mekanik. Sensor internal ini merupakan bagian dari mekanisme servo.

BAB V

PEMELIHARAAN ROBOT

Pemeliharaan adalah aktivitas untuk mengembalikan sistem ke kondisi pengoperasian yang optimal. Jenis aktifitas pemeliharaan yang dilakukan tergantung pada umur sistem dan jenis kegagalan yang terantisipasi. Kita harus selalu ingat bahwa robot merupakan sebuah mesin dan meskipun sangat canggih, tetapi tetap memerlukan pemeliharaan untuk menjaga agar robot tersebut tetap dalam kondisi baik. Dalam pemeliharaan robot yang dilakukan adalah pemeriksaan robot dan mencari masalah-masalah yang timbul selama pengoperasian dari robot. Pemeriksaan robot dilakukan secara rutin yaitu setiap hari, setiap satu minggu, tiga minggu, enam minggu, dan setiap satu tahun.

V.1. Pemeriksaan Harian

Prosedur pemeriksaan harian ini dilaksanakan sebelum semua pengoperasian dari robot dijalankan. Prosedur-prosedur yang dilaksanakan dalam pemeriksaan ini yaitu :

1. Sebelum tombol power ditekan pada posisi ON.
 - a. Periksa kabel power apakah sudah benar-benar dihubungkan dengan sistem robot dan tidak ada yang kendur.
 - b. Periksa kabel penghubung antara robot dengan unit penggerak apakah sudah dihubungkan.
 - c. Periksa benda-benda disekitar robot yang mungkin dapat mengganggu kerja atau gerakan lengan robot.
 - d. Periksa kebersihan dari robot.
2. Pada saat power dinyalakan.

Periksa bahwa robot tidak ada kerusakan dan tidak ada suara-suara yang tidak seperti biasanya.

3. Selama pengoperasian.
 - a. Selama pengoperasian periksa apakah terdapat getaran atau suara yang tidak seperti biasanya.
 - b. Periksa program yang digunakan untuk menggerakkan lengan robot apakah terjadi kesalahan atau tidak.
 - c. Periksa gerakan dari lengan robot apakah pada posisi yang tepat.
 - d. Selama robot beroperasi tidak diperbolehkan benda-benda atau orang berada di sekitar robot karena akan mengganggu kerja dari robot.

V.2. Pemeriksaan dan Perawatan Robot

1. Pemeriksaan setiap 1 minggu.
 - a. Periksa kabel-kabel apakah rusak atau terkelupas. Apabila dijumpai kabel yang rusak atau terkelupas, kabel tersebut diperbaiki atau diganti.
 - b. Periksa saklar-saklar dan penghubung apakah kendur atau tidak.
 - c. Periksa baut-baut padaudukan robot apakah ada yang kendur atau hilang.
2. Pemeriksaan setiap 3 minggu.
 - a. Periksa sikat-sikat motor listrik servo pada masing-masing joint. Apabila ukuran dari sikat-sikat sudah melewati batas pemakaian, ganti dengan yang baru.
 - b. Periksa rem pada joint 1, 2, dan 3, pastikan jarak antara disk dan koil sekitar 0,1 mm.
3. Pemeriksaan setiap 6 minggu.
 - a. Periksa limit switch pada masing-masing joint apakah masih berbunyi atau tidak, jika tidak berbunyi diperbaiki atau diganti.
 - b. Periksa bantalan pada masing-masing sendi apakah terjadi kerusakan.
4. Pemeriksaan setiap 1 tahun.

- a. Ganti semua kabel baik pada lengan robot maupun pada sistem pendukung untuk penggerak robot.
- b. Periksa limit switch bahwa batas pengoperasian pada lengan robot dalam posisi yang benar (pada posisi referensi dengan z-phase pada encoder).
- c. Penggantian sikat-sikat motor listrik servo pada sendi 1, 2, dan 3.
- d. Penggantian motor listrik servo pada sendi 4, 5, dan 6.
- e. Ganti pelumas pada sistem penggerak untuk semua sendi.

V.3. Masalah-Masalah Dalam Pengoperasian

Kemungkinan-kemungkinan penyebab timbulnya masalah yang terjadi selama pengoperasian, yaitu :

1. Power tidak mau dihidupkan.
 - a. Kabel power belum dimasukkan pada stop kontak.
 - b. Sekering putus atau terbakar.
 - c. Kesalahan dalam pemilihan tegangan listrik.
2. Lengan robot tidak mau bergerak.
 - a. Kabel power dari motor listrik tidak terhubung.
 - b. Rem masih dalam keadaan terkunci.
 - c. Lengan robot berhubungan dengan mechanical stopper atau semacamnya.
 - d. Terjadi kerusakan atau kesalahan dalam program pengendalian lengan robot.
3. Robot berhenti ketika beroperasi.
 - a. Tegangan listrik turun.
 - b. ERROR LED menyala dan kemungkinan yang menyebabkan adalah beban terlalu besar, terjadi kerusakan pada kabel.
 - c. Motor listrik mengalami kerusakan atau terbakar, ganti motor yang rusak.
 - d. Tombol emergency tertekan tanpa disengaja, untuk mengatasinya matikan robot kemudian dinyalakan kembali dan mulai lagi dari posisi awal.

- e. Power tidak dapat mengisi pada saat itu juga, untuk mengatasinya restart robot pada posisi awal.
4. Program tidak dapat ditulis pada komputer.
 - a. Saklar pemilihan teaching box pada posisi ON, pindahkan pada posisi OFF.
 - b. ERROR LED pada posisi ON, pindahkan pada posisi OFF.
 - c. Pada drive unit mode pilih personal computer mode.
 - d. Reset swith belum ditekan setelah switch ditekan selama memasukkan program, untuk mengatasinya tekan reset swith.
 - e. Kabel hubungan personal computer belum terhubung.
 5. Ketepatan dalam mengambil benda kurang.
 - a. Robot tidak pada posisi yang tepat.
 - b. Baut pada sistem transmisi penggerak ada yang kendur atau hilang.
 - c. Kesalahan dalam pemograman, ulangi dalam memasukkan angka ketepatan dalam mengambil benda.
 6. Mekanisme pencengkeram tidak mau menutup atau membuka.
 - a. Salah dalam memasukkan parameter perintah.
 - b. Terjadi kemacetan pada mekanisme penggerak.

BAB VI

KESIMPULAN DAN PENUTUP

Dari data-data yang diketahui dan hasil perhitungan pada bab-bab di atas, dapat kita gunakan untuk menentukan bahan, ukuran, dan kekuatan komponen dari robot. Selain itu juga dapat digunakan untuk pemilihan komponen-komponen pendukung lainnya.

Hasil perancangan yang diperoleh terdiri dari :

1. Spesifikasi robot

Robot Panasonic ini menggunakan enam derajat kebebasan dan geometri anthropomorphic dengan jenis persendian revolusi.

2. Mekanisme penggerak

Untuk menggerakkan lengan robot digunakan motor listrik servo dengan arus bolak-balik (AC) yang dipasang pada masing-masing sendi. Dari hasil perhitungan diketahui putaran, daya dan torsi motor listrik pada masing-masing sendi seperti yang terlihat dalam tabel 2.

Pada perhitungan roda gigi pada sendi 1 diperoleh hasil sebagai berikut :

Jumlah gigi roda gigi surya $z_a = 10$

Jumlah gigi roda gigi planet $z_b = 25$

Jumlah gigi roda gigi dalam $z_c = 60$

Perbandingan putaran $i = 6$

Modulus $m = 5$

Sudut tekan bidang kontak = 20°

Jarak bagi lingkaran $p = 15,7$ mm

Jarak bagi lingkaran kontak $p_e = 14,75$ mm

Tinggi gigi total $h = 11,25$ mm

Diameter lingkaran jarak bagi d :

-Roda gigi surya = 50 mm

-Roda gigi planet = 125 mm

-Roda gigi dalam = 300 mm

Diameter lingkaran kepala d_h :

-Roda gigi surya = 60 mm

-Roda gigi planet = 135 mm

-Roda gigi dalam = 290 mm

Diameter lingkaran kaki d_f :

-Roda gigi surya = 37,5 mm

-Roda gigi planet = 112,5 mm

-Roda gigi dalam = 312,5 mm

Diameter lingkaran dasar d_g :

-Roda gigi surya = 46,985 mm

-Roda gigi planet = 108,25 mm

-Roda gigi dalam = 259,8 mm

Lebar gigi $b = 30$ mm

Tebal gigi $s = 7,85$ mm

Bahan roda gigi surya dan roda gigi planet menggunakan baja karbon S35C sedangkan untuk roda gigi dalam menggunakan bahan besi cor FC30.

3. Bantalan

Bahan bantalan menggunakan baja bantalan khrom karbon tinggi, sedangkan bahan dari sangkar bantalan menggunakan baja karbon atau kuningan. Ukuran dan umur dari bantalan dapat dilihat dalam tabel 3.

4. Struktur lengan robot

Bahan yang digunakan pada link 1 dan link 2 adalah baja karbon cor SC37 sedangkan pada pendukung link 2 dan link 3 menggunakan baja karbon S30C. Dengan beban sebesar 100 kg, struktur dari lengan robot adalah aman.

5. Sistem kendali robot

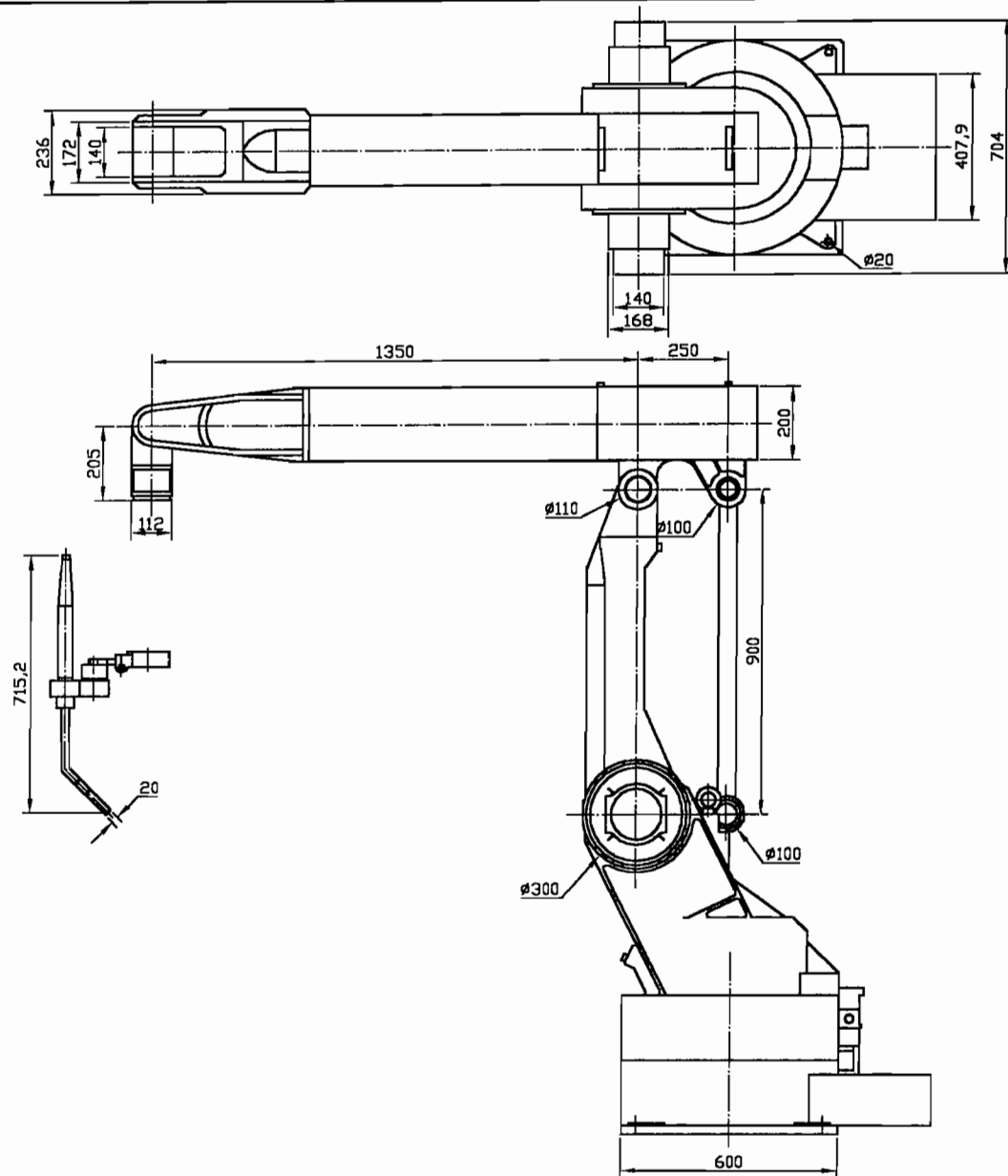
Robot Panasonic ini menggunakan mekanisme servo untuk mengendalikan sudut putar dari lengan robot. Sensor yang di gunakan adalah sensor internal yang digunakan untuk mengamati posisi, kecepatan, dan akselerasi dari robot.

Dari data-data yang diperoleh pada bab-bab di atas diambil kesimpulan bahwa perancangan robot Panasonic ini telah selesai.

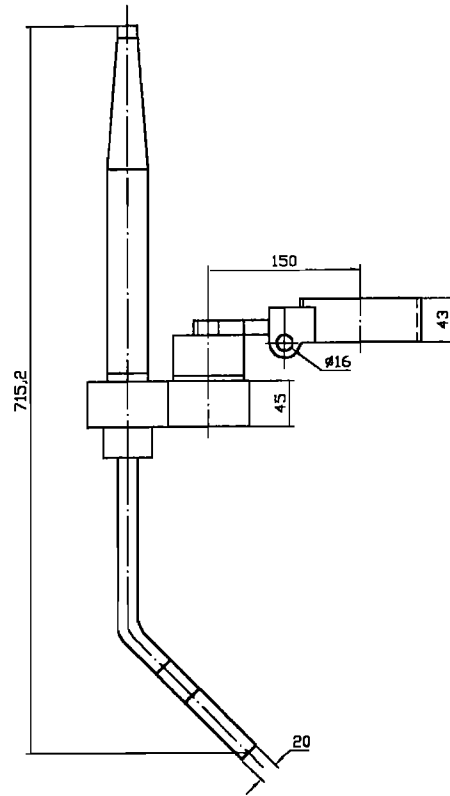
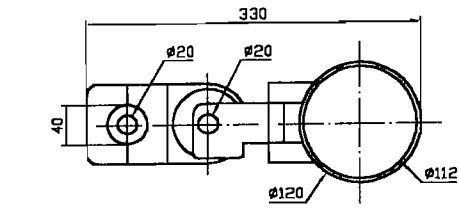
DAFTAR PUSTAKA

- Craig, John J., 1989, *Robotics Mechanics and Control*, cetakan ke-2, Addison Wesley Publishing Company, USA.
- Masterson, James W., 1985, *Robotics*, Reston Publishing Company, Inc., Reston, Virginia.
- Niemann, G., 1986, *Elemen Mesin*, jilid I, edisi ke-2, penerbit Erlangga, Jakarta.
- Sharon, D., 1992, *Robot dan Otomasi Industri*, penerbit PT. Elex Media Komputindo Gramedia, Jakarta.
- Spong, Mark W., 1989, *Robot Dynamics and Control*, John. Willey and Sons Incorporation.
- Stolk, C. Kros, 1993, *Elemen Mesin Elemen Konstruksi Bangunan Mesin*, cetakan ketiga, penerbit Erlangga.
- Sularso, 1997, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, cetakan ke-9, Pradnya Paramita, Jakarta.

LAMPYRAN

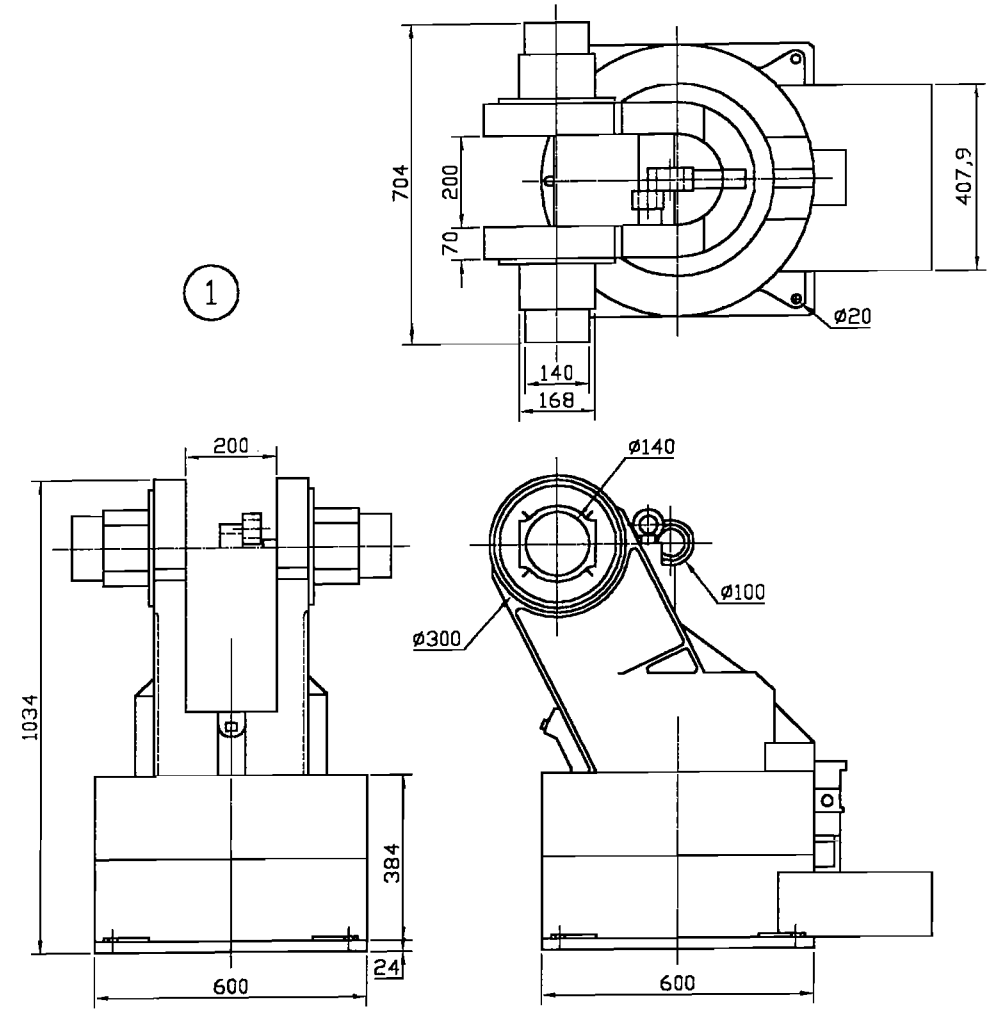
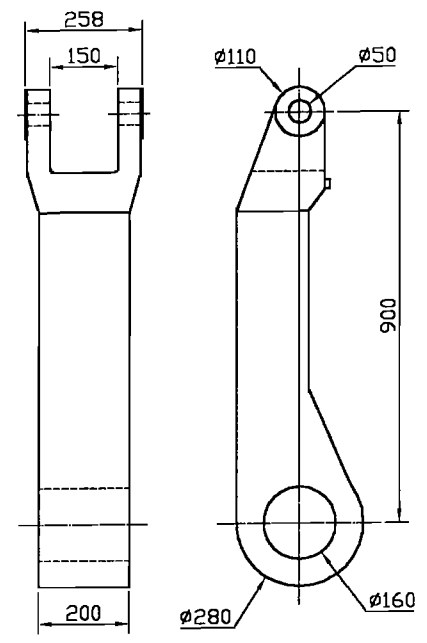
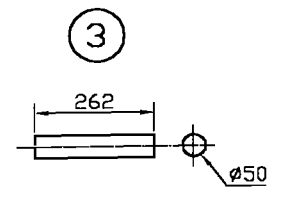


	SKALA : 1:1	DIGAMBAR : WIDO	KETERANGAN	
	SATUAN : mm	No.MHS : 955214059		
	TANGGAL : 18-5-2001	DIPERIKSA : Ir.G.HARJANTO		
TEKNIK MESIN USD	ROBOT PANASONIC AW-005	1	Ao	



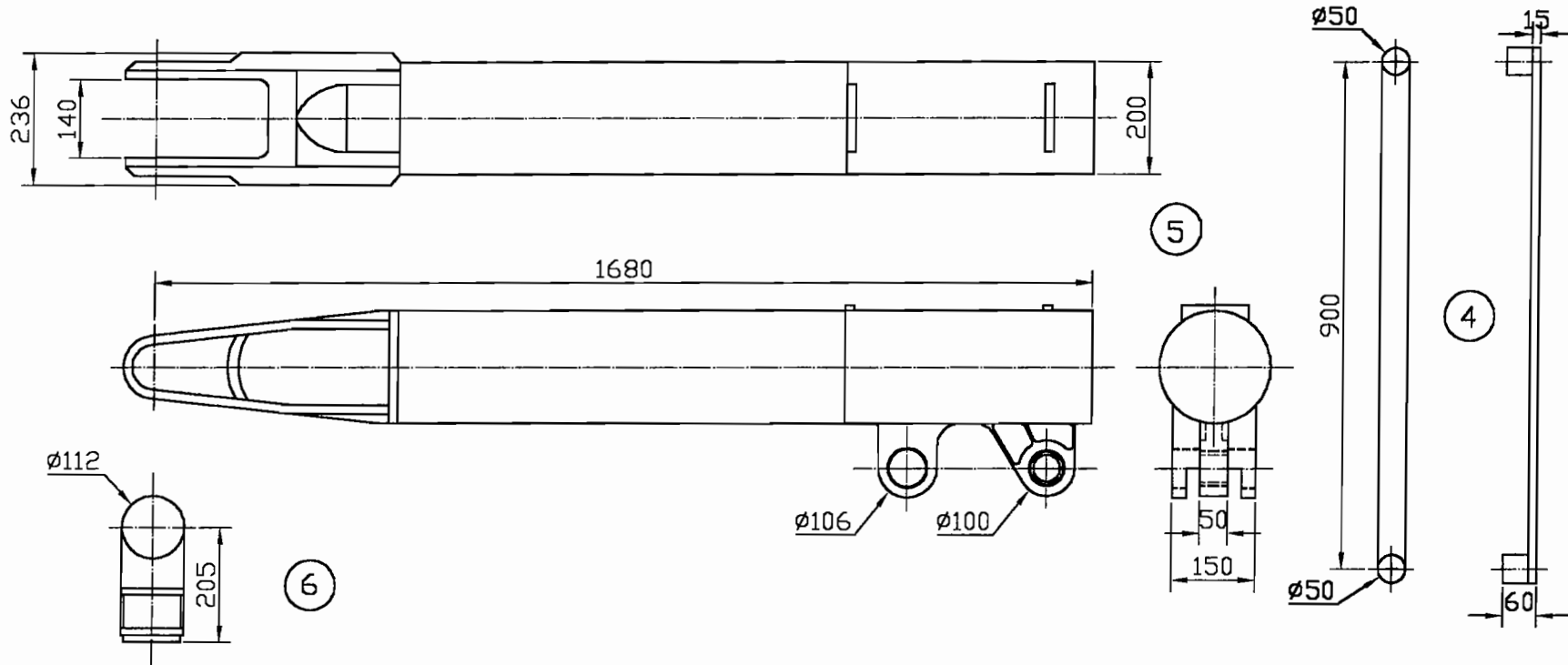
	SKALA : 1:1	DIGAMBAR : WIDO	KETERANGAN	
	SATUAN : mm	No.MHS : 955214059		
	TANGGAL: 18-5-2001	DIPERIKSA : Ir.G.HARJANTO		
TEKNIK MESIN USD	ALAT PENGELAS		1	Ao

No.	Nama bagian	Bahan	Jml.	Catatan
1	Link 1	SC37	1	
2	Link 2	SC37	1	
3	Poros sendi 3	SNC 2	1	



	SKALA : 1:1	DIGAMBAR : WIDO	KETERANGAN	
	SATUAN : mm	No.MHS : 955214.059		
	TANGGAL: 18-5-2001	DIPERIKSA : Ir.G.HARJANTO		
TEKNIK MESIN USD	ROBOT PANASONIC AW-005		1	Ao

No.	Nama bagian	Bahan	Jml.	Catatan
4	Pendukung Link 2	S30C	1	
5	Link 3	S30C	1	
6	End effector	S30C	1	



TEKNIK MESIN USD		ROBOT PANASONIC AW-005		KETERANGAN	
SKALA : 1:1	DIGAMBAR : WIDO				
SATUAN : mm	No.MHS : 955214059				
TANGGAL: 18-5-2001	DIPERIKSA : Ir.G.HARJANTO				
				2	Ao

```

=====
CHARACTER*40 NFILE
CHARACTER*40 XFILE
CHARACTER JLHGGG*39
CHARACTER JLHGPP*39
CHARACTER BHNGGS*39
CHARACTER BHNGGP*39
CHARACTER TGLIS*39
CHARACTER TGLIP*39
CHARACTER BHNP*39
CHARACTER Un*39
REAL n1,i,ig,Kt,m
WRITE(*,'(10(/))')
WRITE(*,10)
10  FORMAT(10X,' ~~~~~~',/,/,
+      10X,'          RODA GIGI LURUS',/,/,
+      10X,'          WIDO',/,/,
+      10X,'          955214059',/,/,
+      10X,'          TEKNIK MESIN',/,/,
+      10X,'          USD',/,/,
+      10X,'          YOGYAKARTA',/,/,
+      10X,' ~~~~~~')
WRITE(*,'(2(/))')
CALL MENU(NOMOR)
SELECT(NOMOR) FROM
CASE1
CALL IN1(P,n1,i,a)
CALL IN2(fc)
CALL HIT1(P,fc,Pd)
100  continue
200  continue
300  continue
CALL IN3(m,alf,z1,z2)
CALL IN4(JLHGGG,Y1,JLHGPP,Y2)
CALL HIT2(z1,z2,ig)
CALL HIT3(z1,z2,m,d1,d2,ao)
CALL HIT4(m,hf,ha)
CALL HIT5(m,d1,d2,dh1,dh2,hf,df1,df2,ha,h)
CALL HIT6(d1,n1,v,Pd,Ft)
CALL HIT7(v,fv)
CALL IN5(BHNGGS,Tb1,BHNGGP,Tb2)
CALL IN6(TGLIS,Ta1)
CALL IN7(TGLIP,Ta2)
CALL IN8(b)
CALL IN9(BHNP,Tb)
CALL IN10(Sf1,Sf2)
CALL HIT8(Tb,Sf1,Sf2,Ta)
CALL HIT9(Pd,n1,T)
CALL IN11(Kt,Cb,Un,t1,t2)
CALL HIT10(Ta,Kt,Cb,T,ds,df1,t2,Sk)
CALL HIT11(b,m,X,BB,BA,terus)
IF(terus.EQ.0)GOTO 100
CALL HIT12(d1,b,Y,BBdb,terus)
IF(terus.EQ.0)GOTO 200
CALL HIT13(Sk,m,Z,BBSkm,terus)
IF(terus.EQ.0)GOTO 300
CASE2
CALL INF(P,n1,a,fc,m,alf,z1,z2,b,Sf1,Sf2,
+      Kt,Cb,Un,t1,t2)
CALL HITFL(Pd,ig,d1,d2,ao,hf,ha,dh1,dh2,df1,df2,h,

```

```

+          Y1,Y2,v,Ft,fv,BHNGGS,Tb1,BHNGGP,Tb2,Ta1,
+          Ta2,BHNP,Tb,Ta,T,ds,Sk,X,Y,Z)
END SELECT
CALL OUTDT(P,n1,a,fc,m,alf,z1,z2,b,Sf1,Sf2,
+          Kt,Cb,Un,t1,t2)
CALL OUTHT(Pd,ig,d1,d2,ao,hf,ha,dh1,dh2,df1,df2,h,
+          Y1,Y2,v,Ft,fv,BHNGGS,Tb1,BHNGGP,Tb2,Ta1,
+          Ta2,BHNP,Tb,Ta,T,ds,Sk,X,Y,Z)
CALL OUTDF(P,n1,a,fc,m,alf,z1,z2,b,Sf1,Sf2,
+          Kt,Cb,Un,t1,t2)
CALL OUTHF(Pd,ig,d1,d2,ao,hf,ha,dh1,dh2,df1,df2,
+          h,Y1,Y2,v,Ft,fv,BHNGGS,Tb1,BHNGGP,Tb2,
+          Ta1,Ta2,BHNP,Tb,Ta,T,ds,Sk,X,Y,Z)
STOP
END

```

C=====

```

SUBROUTINE IN1(P,n1,i,a)
REAL n1,i
WRITE(*,10)
10  FORMAT('Daya yang ditransmisikan      (kW)=' ,\ )
    READ(*,*)P
    WRITE(*,20)
20  FORMAT('PUTARAN POROS                (rpm)=' ,\ )
    READ(*,*)n1
    WRITE(*,30)
30  FORMAT('Perbandingan reduksi         (i)=' ,\ )
    READ(*,*)i
    WRITE(*,40)
40  FORMAT('Jarak sumbu poros            (mm)=' ,\ )
    READ(*,*)a
    RETURN
END

```

```

SUBROUTINE IN2(fc)
WRITE(*,10)
10  FORMAT('FAKTOR KOREKSI              (fc)=' ,\ )
    READ(*,*)fc
    RETURN
END

```

```

SUBROUTINE IN3(m,alf,z1,z2)
REAL m
WRITE(*,10)
10  FORMAT('Modulus roda gigi           (m)=' ,\ )
    READ(*,*)m
    WRITE(*,20)
20  FORMAT('Sudut tekan roda gigi       =' ,\ )
    READ(*,*)alf
    WRITE(*,30)
30  FORMAT('Jumlah gigi roda gigi surya   z1=' ,\ )
    READ(*,*)z1
    WRITE(*,40)
40  FORMAT('Jumlah gigi roda gigi planet  z2=' ,\ )
    READ(*,*)z2
    RETURN
END

```

```

SUBROUTINE IN8(b)
WRITE(*,10)
10  FORMAT('Lebar gigi (b)=' ,\ )

```

```

READ(*,*)b
RETURN
END

SUBROUTINE IN10(Sf1,Sf2)
WRITE(*,10)
10  FORMAT('Faktor keamanan 1          (Sf1)=' ,\ )
    READ(*,*)Sf1
    WRITE(*,20)
20  FORMAT('Faktor keamanan 2          (Sf2)=' ,\ )
    READ(*,*)Sf2
    RETURN
END

SUBROUTINE IN11(Kt,Cb,Un,t1,t2)
CHARACTER Un*39
REAL Kt
WRITE(*,10)
10  FORMAT('Faktor koreksi momen puntir (Kt)=' ,\ )
    READ(*,*)Kt
    WRITE(*,20)
20  FORMAT('Faktor lenturan           (Cb)=' ,\ )
    READ(*,*)Cb
    WRITE(*,30)
30  FORMAT('Ukuran nominal pasak      (bxh)=' ,\ )
    READ(*, '(A)')Un
    WRITE(*,40)
40  FORMAT('Ukuran standar pasak      (t1)=' ,\ )
    READ(*,*)t1
    WRITE(*,50)
50  FORMAT('Ukuran standar pasak      (t2)=' ,\ )
    READ(*,*)t2
    RETURN
END

SUBROUTINE HIT1(P,fc,Pd)
Pd=P*fc
WRITE(*,10)Pd
10  FORMAT('Daya rencana                (Pd)=' ,F10.3,'kW')
    RETURN
END

SUBROUTINE HIT2(z1,z2,ig)
REAL ig
ig=z2/z1
WRITE(*,10)ig
10  FORMAT('Perbandingan gigi          (ig)=' ,F10.3)
    RETURN
END

SUBROUTINE HIT3(z1,z2,m,d1,d2,ao)
REAL m
d1=z1*m
WRITE(*,10)d1
10  FORMAT('Diameter lingkaran jarak bagi (d1)=' ,F10.3,'mm')
    d2=z2*m
    WRITE(*,20)d2
20  FORMAT('Diameter lingkaran jarak bagi (d2)=' ,F10.3,'mm')
    ao=(d1+d2)/2
    WRITE(*,30)ao

```

```

30  FORMAT('Jarak sumbu poros          (ao)=' ,F10.3, 'mm' /)
    RETURN
    END

    SUBROUTINE HIT4(m,hf,ha)
    REAL m
    hf=1.25*m
    WRITE(*,10)hf
10  FORMAT('Dedendum/tinggi kaki      (hf)=' ,F10.3, 'mm' /)
    ha=m
    WRITE(*,20)ha
20  FORMAT('Adendum/tinggi kepala    (ha)=' ,F10.3, 'mm' /)
    RETURN
    END

    SUBROUTINE HIT5(m,d1,d2,dh1,dh2,hf,df1,df2,ha,h)
    REAL m
    dh1=d1+(2*m)
    WRITE(*,10)dh1
10  FORMAT('Diameter lingkaran kepala 1 (dh1)=' ,F10.3, 'mm' /)
    dh2=d2+(2*m)
    WRITE(*,20)dh2
20  FORMAT('Diameter lingkaran kepala 2 (dh2)=' ,F10.3, 'mm' /)
    df1=d1-(2*hf)
    WRITE(*,30)df1
30  FORMAT('Diameter lingkaran kaki 1  (df1)=' ,F10.3, 'mm' /)
    df2=d2-(2*hf)
    WRITE(*,40)df2
40  FORMAT('Diameter lingkaran kaki 2  (df2)=' ,F10.3, 'mm' /)
    h=hf+ha
    WRITE(*,50)h
50  FORMAT('Tinggi gigi total          (h)=' ,F10.3, 'mm' /)
    RETURN
    END

    SUBROUTINE HIT6(d1,n1,v,Pd,Ft)
    REAL n1
    v=(3.14*d1*n1)/(60*1000)
    WRITE(*,10)v
10  FORMAT('Kecepatan keliling          (v)=' ,F10.3, 'm/s' /)
    Ft=(102*Pd)/v
    WRITE(*,20)Ft
20  FORMAT('Gaya tangensial            (Ft)=' ,F10.3, 'kg' /)
    RETURN
    END

    SUBROUTINE HIT7(v,fv)
    fv=6/(6+v)
    WRITE(*,10)fv
10  FORMAT('Faktor dinamis              (fv)=' ,F10.3)
    RETURN
    END

    SUBROUTINE HIT8(Tb,Sf1,Sf2,Ta)
    Ta=Tb/(Sf1*Sf2)
    WRITE(*,10)Ta
10  FORMAT('Tegangan geser poros          (Ta)=' ,F10.3, 'kg/mm^2' /)
    RETURN
    END

```

```

SUBROUTINE HIT9(Pd,n1,T)
REAL n1
T=9.74*(10**5)*(Pd/n1)
WRITE(*,10)T
10  FORMAT('Momen puntir poros (T)=';F10.3;'kgmm'/)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE HIT11(b,m,X,BB,BA,terus)
REAL m
WRITE(*,10)
10  FORMAT('BATAS BAWAH b/m (BB)=';'\)
READ(*,*)BB
WRITE(*,20)
20  FORMAT('BATAS ATAS b/m (BA)=';'\)
READ(*,*)BA
terus=1
X=b/m
IF(X.LT.BB.OR.X.GT.BA)terus=0
WRITE(*,30)X
30  FORMAT('b/m =' ;F10.3)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE HIT12(d1,b,Y,BBdb,terus)
WRITE(*,10)
10  FORMAT('BATAS BAWAH d/b (BBdb)=';'\)
READ(*,*)BBdb
terus=1
Y=d1/b
IF(Y.LT.BBdb)terus=0
WRITE(*,20)Y
20  FORMAT('HARGA d/b =' ;F10.3)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE HIT13(Sk,m,Z,BBSkm,terus)
REAL m
WRITE(*,10)
10  FORMAT('BATAS BAWAH Sk/m (BBSkm)=';'\)
READ(*,*)BBSkm
terus=1
Z=Sk/m
IF(Z.LT.BBSkm)terus=0
WRITE(*,20)Z
20  FORMAT('HARGA Sk/m =' ;F10.3)
RETURN
END

```

```

=====
SUBROUTINE OUTDT(P,n1,a,fc,m,alf,z1,z2,b,Sf1,Sf2,
+           Kt,Cb,Un,t1,t2)
CHARACTER Un*39
REAL n1,Kt,m
WRITE(*,'(1(/))')
WRITE(*,10)
10  FORMAT(10X,'~~~~~',/,/,
+         10X,'      DATA DAN HASIL PERHITUNGAN',/,/,
+         10X,'      RODA GIGI LURUS',/,/,
+         10X,'~~~~~')
WRITE(*,'(1(/))')

```



```

WRITE(*,20) P,n1,a,fc,m,alf,z1,z2,b,Sf1,Sf2,
+           Kt,Cb,Un,t1,t2
20  FORMAT('Daya yang ditransmisikan           (P)=' ,F10.3,'kW' ,/,
+         'Putaran poros                     (n1)=' ,F10.3,'rpm' ,/,
+         'Jarak sumbu poros                 (a)=' ,F10.3,'mm' ,/,
+         'Faktor koreksi                    (fc)=' ,F10.3,/,
+         'Modulus roda gigi                 (m)=' ,F10.3,'mm' ,/,
+         'Sudut tekan roda gigi            (alfa)=' ,F10.3,'drjd' ,/,
+         'Jumlah gigi roda gigi surya      (z1)=' ,F10.3,/,
+         'Jumlah gigi roda gigi planet     (z2)=' ,F10.3,/,
+         'Lebar gigi                        (b)=' ,F10.3,'mm' ,/,
+         'Faktor keamanan 1                (Sf1)=' ,F10.3,/,
+         'Faktor keamanan 2                (Sf2)=' ,F10.3,/,
+         'Faktor koreksi momen puntir      (Kt)=' ,F10.3,/,
+         'Faktor lenturan                  (Cb)=' ,F10.3,/,
+         'Ukuran nominal pasak             (bxh)=' ,1X,A,/,
+         'Ukuran standar pasak            (t1)=' ,F10.3,'mm' ,/,
+         'Ukuran standar pasak            (t2)=' ,F10.3,'mm' )
RETURN
END
SUBROUTINE OUTHHT(Pd,ig,d1,d2,ao,hf,ha,dh1,dh2,df1,df2,h,
+               Y1,Y2,v,Ft,fv,BHNGGS,Tb1,BHNGGP,Tb2,Ta1,
+               Ta2,BHNP,Tb,Ta,T,ds,Sk,X,Y,Z)
CHARACTER BHNGGS*39
CHARACTER BHNGGP*39
CHARACTER BHNP*39
REAL ig
WRITE(*,10) Pd,ig,d1,d2,ao,hf,ha,dh1,dh2,df1,df2,
+           h,Y1,Y2,v,Ft,fv
10  FORMAT('Daya rencana                       (Pd)=' ,F10.3,'kW' ,/,
+         'Perbandingan gigi                 (ig)=' ,F10.3,/,
+         'Diameter lingkaran jarak bagi    (d1)=' ,F10.3,'mm' ,/,
+         'Diameter lingkaran jarak bagi    (d2)=' ,F10.3,'mm' ,/,
+         'Jarak sumbu poros                 (ao)=' ,F10.3,'mm' ,/,
+         'Dedendum/tinggi kaki            (hf)=' ,F10.3,'mm' ,/,
+         'Adendum/tinggi kepala           (ha)=' ,F10.3,'mm' ,/,
+         'Diameter lingkaran kepala 1     (dh1)=' ,F10.3,'mm' ,/,
+         'Diameter lingkaran kepala 2     (dh2)=' ,F10.3,'mm' ,/,
+         'Diameter lingkaran kaki 1       (df1)=' ,F10.3,'mm' ,/,
+         'Diameter lingkaran kaki 2       (df2)=' ,F10.3,'mm' ,/,
+         'Tinggi gigi total                (h)=' ,F10.3,'mm' ,/,
+         'Faktor bentuk gigi 1            (Y1)=' ,F10.3,/,
+         'Faktor bentuk gigi 2            (Y2)=' ,F10.3,/,
+         'Kecepatan keliling              (v)=' ,F10.3,'m/s' ,/,
+         'Gaya tangensial                  (Ft)=' ,F10.3,'kg' ,/,
+         'Faktor dinamis                   (fv)=' ,F10.3)
WRITE(*,20) BHNGGS,Tb1,BHNGGP,Tb2,Ta1,Ta2,BHNP,Tb,Ta,
+           T,ds,Sk,X,Y,Z
20  FORMAT('Bahan roda gigi surya             =' ,1X,A,/,
+         'Kekuatan tarik bahan roda gigi 1 (Tb1)=' ,F10.3,'kg/mm^2' ,/,
+         'Bahan roda gigi planet             =' ,1X,A,/,
+         'Kekuatan tarik bahan roda gigi 2 (Tb2)=' ,F10.3,'kg/mm^2' ,/,
+         'Tegangan lentur ijin bahan gigi 1 (Ta1)=' ,F10.3,'kg/mm^2' ,/,
+         'Tegangan lentur ijin bahan gigi 2 (Ta2)=' ,F10.3,'kg/mm^2' ,/,
+         'Bahan poros yang dipakai          =' ,1X,A,/,
+         'Kekuatan tarik poros              (Tb)=' ,F10.3,'kg/mm^2' ,/,
+         'Tegangan geser poros              (Ta)=' ,F10.3,'kg/mm^2' ,/,
+         'Momen puntir poros                (T)=' ,F10.3,'kgmm' ,/,
+         'Diameter poros standar           (ds)=' ,F10.3,'mm' ,/,
+         'Tebal dasar alur pasak           (Sk)=' ,F10.3,'mm' ,/

```

```

+      'Harga b/m                      =',F10.3,/,
+      'Harga d/m                      =',F10.3,/,
+      'Harga Sk/m                     =',F10.3)
RETURN
END
SUBROUTINE OUTDF(P,n1,a,fc,m,alf,z1,z2,b,Sf1,Sf2,
+      Kt,Cb,Un,t1,t2)
CHARACTER*40 NFILE
CHARACTER Un*39
REAL n1,Kt,m
WRITE(*,10)
READ(*,'(A)')NFILE
10  FORMAT('NAMA FILE DATA           =',\))
OPEN(9,FILE=NFILE)
WRITE(*,20)P,n1,a,fc,m,alf,z1,z2,b,Sf1,Sf2,
+      Kt,Cb,Un,t1,t2
20  FORMAT('Daya yang ditransmisikan      (P)=' ,F10.3, 'kW' ,/,
+      'Putaran poros                    (n1)=' ,F10.3, 'rpm' ,/,
+      'Jarak sumbu poros                 (a)=' ,F10.3, 'mm' ,/,
+      'Faktor koreksi                    (fc)=' ,F10.3,/,
+      'Modulus roda gigi                 (m)=' ,F10.3, 'mm' ,/,
+      'Sudut tekan roda gigi            (alfa)=' ,F10.3, 'drjd' ,/,
+      'Jumlah gigi roda gigi surya       (z1)=' ,F10.3,/,
+      'Jumlah gigi roda gigi planet      (z2)=' ,F10.3,/,
+      'Lebar gigi                         (b)=' ,F10.3, 'mm' ,/,
+      'Faktor keamanan 1                 (Sf1)=' ,F10.3,/,
+      'Faktor keamanan 2                 (Sf2)=' ,F10.3,/,
+      'Faktor koreksi momen puntir      (Kt)=' ,F10.3,/,
+      'Faktor lenturan                   (Cb)=' ,F10.3,/,
+      'Ukuran nominal pasak              (bxh)=' ,1X,A,/,
+      'Ukuran standar pasak             (t1)=' ,F10.3, 'mm' ,/,
+      'Ukuran standar pasak             (t2)=' ,F10.3, 'mm' )
CLOSE(9)
RETURN
END

SUBROUTINE OUTHF(Pd,ig,d1,d2,ao,hf,ha,dh1,dh2,df1,df2,
+      h,Y1,Y2,v,Ft,fv,BHNGGS,Tb1,BHNGGP,Tb2,
+      Ta1,Ta2,BHNP,Tb,Ta,T,ds,Sk,X,Y,Z)
CHARACTER*40 XFILE
CHARACTER BHNGGS*39
CHARACTER BHNGGP*39
CHARACTER BHNP*39
REAL ig
WRITE(*,10)
READ(*,'(A)')XFILE
10  FORMAT('NAMA FILE HASIL           =',\))
OPEN(9,FILE=XFILE)
WRITE(*,20)Pd,ig,d1,d2,ao,hf,ha,dh1,dh2,df1,df2,
+      h,Y1,Y2,v,Ft,fv
20  FORMAT('Daya rencana                  (Pd)=' ,F10.3, 'kW' /,
+      'Perbandingan gigi                 (ig)=' ,F10.3,/,
+      'Diameter lingkaran jarak bagi     (d1)=' ,F10.3, 'mm' /,
+      'Diameter lingkaran jarak bagi     (d2)=' ,F10.3, 'mm' /,
+      'Jarak sumbu poros                   (ao)=' ,F10.3, 'mm' /,
+      'Dedendum/tinggi kaki               (hf)=' ,F10.3, 'mm' /,
+      'Adendum/tinggi kepala              (ha)=' ,F10.3, 'mm' /,
+      'Diameter lingkaran kepala 1        (dh1)=' ,F10.3, 'mm' /,
+      'Diameter lingkaran kepala 2        (dh2)=' ,F10.3, 'mm' /,
+      'Diameter lingkaran kaki 1         (df1)=' ,F10.3, 'mm' /,

```



```

+       'Diameter lingkaran kaki 2           (df2)=' , F10.3, 'mm' //,
+       'Tinggi gigi total                   (h)=' , F10.3, 'mm' //,
+       'Faktor bentuk gigi 1                (Y1)=' , F10.3, //,
+       'Faktor bentuk gigi 2                (Y2)=' , F10.3, //,
+       'Kecepatan keliling                   (v)=' , F10.3, 'm/s' //,
+       'Gaya tangensial                       (Ft)=' , F10.3, 'kg' //,
+       'Faktor dinamis                        (fv)=' , F10.3)
WRITE(*, 30) BHNGGS, Tb1, BHNGGP, Tb2, Ta1, Ta2, BHNP, Tb, Ta,
+       T, ds, Sk, X, Y, Z
30  FORMAT('Bahan roda gigi surya              =' , 1X, A, //,
+       'Kekuatan tarik bahan roda gigi 1 (Tb1)=' , F10.3, 'kg/mm^2' //,
+       'Bahan roda gigi planet              =' , 1X, A, //,
+       'Kekuatan tarik bahan roda gigi 2 (Tb2)=' , F10.3, 'kg/mm^2' //,
+       'Tegangan lentur ijin bahan gigi 1 (Ta1)=' , F10.3, 'kg/mm^2' //,
+       'Tegangan lentur ijin bahan gigi 2 (Ta2)=' , F10.3, 'kg/mm^2' //,
+       'Bahan poros yang dipakai            =' , 1X, A, //,
+       'Kekuatan tarik poros                (Tb)=' , F10.3, 'kg/mm^2' //,
+       'Tegangan geser poros                (Ta)=' , F10.3, 'kg/mm^2' //,
+       'Momen puntir poros                  (T)=' , F10.3, 'kgmm' //,
+       'Diameter poros standar              (ds)=' , F10.3, 'mm' //,
+       'Tebal dasar alur pasak              (Sk)=' , F10.3, 'mm' //,
+       'Harga b/m                            =' , F10.3, //,
+       'Harga d/m                            =' , F10.3, //,
+       'Harga Sk/m                          =' , F10.3)
CLOSE(9)
RETURN
END

```

=====

```

SUBROUTINE INF(P, n1, a, fc, m, alf, z1, z2, b, Sf1, Sf2,
+       Kt, Cb, Un, t1, t2)
CHARACTER*25 NFILE
CHARACTER Un*39
REAL n1, Kt, m
WRITE(*, 10)
READ(*, '(A)') NFILE
10  FORMAT('NAMA FILE DATA                    =' , \)
OPEN(9, FILE=NFILE)
20  FORMAT(40X, F10.3)
30  FORMAT(40X, A)
READ(9, 20) P
READ(9, 20) n1
READ(9, 20) a
READ(9, 20) fc
READ(9, 20) m
READ(9, 20) alf
READ(9, 20) z1
READ(9, 20) z2
READ(9, 20) b
READ(9, 20) Sf1
READ(9, 20) Sf2
READ(9, 20) Kt
READ(9, 20) Cb
READ(9, 30) Un
READ(9, 20) t1
READ(9, 20) t2
CLOSE(9)
RETURN
END
SUBROUTINE HITFL(Pd, ig, d1, d2, ao, hf, ha, dh1, dh2, df1, df2, h,
+       Y1, Y2, v, Ft, fv, BHNGGS, Tb1, BHNGGP, Tb2, Ta1,

```

```

+           Ta2, BHNP, Tb, Ta, T, ds, Sk, X, Y, Z)
CHARACTER*25 XFILE
CHARACTER BHNGGS*39
CHARACTER BHNGGP*39
CHARACTER BHNP*39
REAL ig
WRITE(*,10)
READ(*,'(A)')XFILE
10  FORMAT('NAMA FILE HASIL           =',\))
OPEN(9,FILE=XFILE)
20  FORMAT(40X,F10.3)
30  FORMAT(40X,A)
READ(9,20)Pd
READ(9,20)ig
READ(9,20)d1
READ(9,20)d2
READ(9,20)ao
READ(9,20)hf
READ(9,20)ha
READ(9,20)dh1
READ(9,20)dh2
READ(9,20)df1
READ(9,20)df2
READ(9,20)h
READ(9,20)Y1
READ(9,20)Y2
READ(9,20)v
READ(9,20)Ft
READ(9,20)fv
READ(9,30)BHNGGS
READ(9,20)Tb1
READ(9,30)BHNGGP
READ(9,20)Tb2
READ(9,20)Ta1
READ(9,20)Ta2
READ(9,30)BHNP
READ(9,20)Tb
READ(9,20)Ta
READ(9,20)T
READ(9,20)ds
READ(9,20)Sk
READ(9,20)X
READ(9,20)Y
READ(9,20)Z
CLOSE(9)
RETURN
END

```

C=====Statement Select

```

SUBROUTINE MENU(NOMOR)
WRITE(*,10)
10  FORMAT(10x,' MENU DATA:           ',/,
+        10x,' 1.DATA BARU           ',/,
+        10x,' 2.DATA LAMA           ',/,
+        10x,' PILIH DATA (1/2)?:',\))
READ(*,*)NOMOR
RETURN
END

```

C=====FAKTOR BENTUK GIGI

```

SUBROUTINE IN4(JLHGGS,Y1,JLHGGP,Y2)
CHARACTER JLHGGS*39

```

```

CHARACTER JLHGGP*39
WRITE(*,'(1(/))')
WRITE(*,5)
5  FORMAT(1X,'          TABEL FAKTOR BENTUK GIGI          ',/,/,
+      1X,'-----',/,/,
+      1X,'JUMLAH GIGI          Y ',/,/,
+      1X,'-----')
OPEN(9,FILE='FAKGG.DAT')
100 READ(9,10,END=300)NO,JLHGGGS,Y1
10  FORMAT(I3,1X,A,F10.3)
WRITE(*,10)NO,JLHGGGS,Y1
GOTO 100
300 CLOSE(9)
WRITE(*,6)
READ(*,*)NFILE
6  FORMAT('Pilih nomor berapa untuk jumlah gigi z1=',\))
OPEN(9,FILE='FAKGG.DAT')
DO 400 I=1,NFILE
READ(9,20,END=350)NO,JLHGGGS,Y1
20  FORMAT(I3,1X,A,F10.3)
400 CONTINUE
WRITE(*,30)JLHGGGS
30  FORMAT('Jumlah gigi yang dipakai (z1)=' ,A)
WRITE(*,35)Y1
35  FORMAT('Faktor bentuk gigi (Y1)=' ,F10.3)
350 CLOSE(9)

WRITE(*,'(1(/))')
WRITE(*,7)
7  FORMAT(1X,'          TABEL FAKTOR BENTUK GIGI          ',/,/,
+      1X,'-----',/,/,
+      1X,'JUMLAH GIGI          Y ',/,/,
+      1X,'-----')
OPEN(9,FILE='FAKGG.DAT')
500 READ(9,40,END=600)NO,JLHGGP,Y2
40  FORMAT(I3,1X,A,F10.3)
WRITE(*,40)NO,JLHGGP,Y2
GOTO 500
600 CLOSE(9)
WRITE(*,8)
READ(*,*)NFILE
8  FORMAT('Pilih nomor berapa untuk jumlah gigi z2=',\))
OPEN(9,FILE='FAKGG.DAT')
DO 700 I=1,NFILE
READ(9,50,END=360)NO,JLHGGP,Y2
50  FORMAT(I3,1X,A,F10.3)
700 CONTINUE
WRITE(*,60)JLHGGP
60  FORMAT('Jumlah gigi yang dipakai (z2)=' ,A)
WRITE(*,65)Y2
65  FORMAT('Faktor bentuk gigi (Y2)=' ,F10.3)
360 CLOSE(9)
RETURN
END

C=====BAHAN RODA GIGI
SUBROUTINE IN5 (BHNGGS ,Tb1 ,BHNGGP ,Tb2)
CHARACTER BHNGGS*39
CHARACTER BHNGGP*39
WRITE(*,'(1(/))')
WRITE(*,5)

```

```

5   FORMAT(1X, '          TABEL BAJA KARBON UNTUK KONSTRUKSI MESIN          ',/,
+       1X, '-----',/,
+       1X, 'LAMBANG',/,
+       1X, '-----')
OPEN(9, FILE='BHNS.DAT')
100  READ(9, 10, END=300) NO, BHNGGS, Tb1
10   FORMAT(I3, 1X, A, F10.3)
WRITE(*, 10) NO, BHNGGS, Tb1
GOTO 100
300  CLOSE(9)
WRITE(*, 6)
READ(*, *) NFILE
6   FORMAT('Pilih bahan roda gigi surya nomor =', \)
OPEN(9, FILE='BHNS.DAT')
DO 400 I=1, NFILE
READ(9, 20, END=350) NO, BHNGGS, Tb1
20   FORMAT(I3, 1X, A, F10.3)
400  CONTINUE
WRITE(*, 30) BHNGGS
30   FORMAT('Bahan roda gigi yang dipakai=', A)
WRITE(*, 35) Tb1
35   FORMAT('Kekuatan tarik (Tb1)=' , F10.3, 'kg/mm^2')
350  CLOSE(9)

WRITE(*, '(1(/))')
WRITE(*, 7)
7   FORMAT(1X, '          TABEL BAJA KARBON UNTUK KONSTRUKSI MESIN          ',/,
+       1X, '-----',/,
+       1X, 'LAMBANG',/,
+       1X, '-----')
OPEN(9, FILE='BHNS.DAT')
200  READ(9, 15, END=600) NO, BHNGGP, Tb2
15   FORMAT(I3, 1X, A, F10.3)
WRITE(*, 15) NO, BHNGGP, Tb2
GOTO 200
600  CLOSE(9)
WRITE(*, 8)
READ(*, *) NFILE
8   FORMAT('Pilih bahan roda gigi planet nomor =', \)
OPEN(9, FILE='BHNS.DAT')
DO 500 I=1, NFILE
READ(9, 25, END=360) NO, BHNGGP, Tb2
25   FORMAT(I3, 1X, A, F10.3)
500  CONTINUE
WRITE(*, 40) BHNGGP
40   FORMAT('Bahan roda gigi yang dipakai=', A)
WRITE(*, 45) Tb2
45   FORMAT('Kekuatan tarik (Tb2)=' , F10.3, 'kg/mm^2')
360  CLOSE(9)
RETURN
END

=====TEGANGAN LENTUR YANG DIIJINKAN
SUBROUTINE IN6(TGLIS, Tal)
CHARACTER TGLIS*39
WRITE(*, '(1(/))')
WRITE(*, 5)
5   FORMAT(1X, '          TABEL BAJA KARBON UNTUK KONSTRUKSI MESIN          ',/,
+       1X, '-----',/,
+       1X, 'LAMBANG',/,
+       1X, '-----')
WRITE(*, 5) Tal

```

```

OPEN(9, FILE='BHNTGLIS.DAT')
100 READ(9,10,END=300)NO,TGLIS,Ta1
10  FORMAT(I3,1X,A,F10.3)
WRITE(*,10)NO,TGLIS,Ta1
GOTO 100
300 CLOSE(9)
WRITE(*,6)
READ(*,*)NFILE
6  FORMAT('Pilih bahan roda gigi surya nomor =',\ )
OPEN(9, FILE='BHNTGLIS.DAT')
DO 400 I=1,NFILE
READ(9,20,END=350)NO,TGLIS,Ta1
20  FORMAT(I3,1X,A,F10.3)
400 CONTINUE
WRITE(*,30)Ta1
30  FORMAT('Tegangan lentur yang diijinkan (Ta1)=' ,F10.3, 'kg/mm^2')
350 CLOSE(9)
RETURN
END

SUBROUTINE IN7(TGLIP,Ta2)
CHARACTER TGLIP*39
WRITE(*, '(1(/))')
WRITE(*,5)
5  FORMAT(1X, '          TABEL BAJA KARBON UNTUK KONSTRUKSI MESIN          ',/,
+        1X, '-----',/,
+        1X, 'LAMBANG', Ta2, '/',
+        1X, '-----')
OPEN(9, FILE='BHNTGLIS.DAT')
100 READ(9,10,END=300)NO,TGLIP,Ta2
10  FORMAT(I3,1X,A,F10.3)
WRITE(*,10)NO,TGLIP,Ta2
GOTO 100
300 CLOSE(9)
WRITE(*,6)
READ(*,*)NFILE
6  FORMAT('Pilih bahan roda gigi planet nomor =',\ )
OPEN(9, FILE='BHNTGLIS.DAT')
DO 400 I=1,NFILE
READ(9,20,END=350)NO,TGLIP,Ta2
20  FORMAT(I3,1X,A,F10.3)
400 CONTINUE
WRITE(*,30)Ta2
30  FORMAT('Tegangan lentur yang diijinkan (Ta2)=' ,F10.3, 'kg/mm^2',/)
350 CLOSE(9)
RETURN
END

C=====BAHAN POROS
SUBROUTINE IN9(BHNP,Tb)
CHARACTER BHNP*39
WRITE(*, '(1(/))')
WRITE(*,5)
5  FORMAT(1X, '          TABEL BAJA KARBON UNTUK KONSTRUKSI MESIN          ',/,
+        1X, '-----',/,
+        1X, 'LAMBANG', Tb, '/',
+        1X, '-----')
OPEN(9, FILE='BAHAN.DAT')
100 READ(9,10,END=300)NO,BHNP,Tb
10  FORMAT(I3,1X,A,F10.3)
WRITE(*,10)NO,BHNP,Tb

```

```

GOTO 100
300 CLOSE(9)
WRITE(*,6)
READ(*,*)NFILE
6 FORMAT('Pilih bahan poros nomor =',\ )
OPEN(9,FILE='BAHAN.DAT')
DO 400 I=1,NFILE
READ(9,20,END=350)NO,BHNP,Tb
20 FORMAT(I3,1X,A,F10.3)
400 CONTINUE
WRITE(*,30)BHNP
30 FORMAT('Bahan poros yang dipakai=',A)
WRITE(*,35)Tb
35 FORMAT('Kekuatan tarik (Tb)=' ,F10.3,'kg/mm^2',/)
350 CLOSE(9)
RETURN
END

```

C=====DIAMETER POROS

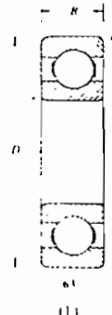


```

SUBROUTINE HIT10(Ta,Kt,Cb,T,ds,df1,t2,Sk)
REAL Kt
DIMENSION DPSTD(72)
ds=((5.1/Ta)*Kt*Cb*T)**0.33333333
DATA DPSTD/4,4.5,5,6,7,8,9,10,11,12,14,16,
+      18,19,20,22,24,25,28,30,32,38,40,
+      42,45,48,50,55,56,60,63,65,70,71,
+      75,80,85,90,95,100,110,120,125,130,
+      140,150,160,170,180,190,200,220,240,
+      250,260,280,300,320,340,360,380,400,
+      420,440,450,460,480,500,530,560,600,630/
WRITE(*,10)ds
10 FORMAT('Diameter poros hasil hitungan=' ,F10.3,'mm')
DO 100 I=1,72
IF(ds.LE.DPSTD(I))THEN
ds=DPSTD(I)
GOTO 200
ENDIF
100 CONTINUE
200 CONTINUE
WRITE(*,30)ds
30 FORMAT('Diameter poros standard (ds)=' ,F10.3,'mm')
Sk=(df1/2)-((ds/2)+t2)
WRITE(*,40)Sk
40 FORMAT('Tebal dasar alur pasak & kaki gigi (Sk)=' ,F10.3,'mm'/)
RETURN
END

```


Tabel A. Bantalan gelinding.

$C_u \cdot F_u$		5	10	15	20	25
$F_u \cdot VF_r \leq c$	X	1				
	Y	0				
$F_u \cdot VF_r > c$	X	0,56				
	Y	1,26	1,49	1,64	1,76	1,85
e		0,35	0,29	0,27	0,25	0,24

Jenis terbuka	Nomor bantalan		Ukuran luar (mm)				Kapasitas nominal dinamis spesifik C (kg)	Kapasitas nominal statis spesifik C ₀ (kg)
	Dua sekat	Dua sekat tanpa kontak	d	D	B	r		
6000			10	26	8	0,5	360	196
6001	6001ZZ	6001VV	12	28	8	0,5	400	229
6002	02ZZ	02VV	15	32	9	0,5	440	263
6003	6003ZZ	6003VV	17	35	10	0,5	470	296
6004	04ZZ	04VV	20	42	12	1	735	465
6005	05ZZ	05VV	25	47	12	1	790	530
6006	6006ZZ	6006VV	30	55	13	1,5	1030	740
6007	07ZZ	07VV	35	62	14	1,5	1250	915
6008	08ZZ	08VV	40	68	15	1,5	1310	1010
6009	6009ZZ	6009VV	45	75	16	1,5	1640	1320
6010	10ZZ	10VV	50	80	16	1,5	1710	1430
6200	6200ZZ	6200VV	10	30	9	1	400	236
6201	01ZZ	01VV	12	32	10	1	535	305
6202	02ZZ	02VV	15	35	11	1	600	360
6203	6203ZZ	6203VV	17	40	12	1	750	460
6204	04ZZ	04VV	20	47	14	1,5	1000	635
6205	05ZZ	05VV	25	52	15	1,5	1100	730
6206	6206ZZ	6206VV	30	62	16	1,5	1530	1050
6207	07ZZ	07VV	35	72	17	2	2010	1430
6208	08ZZ	08VV	40	80	18	2	2380	1650
6209	6209ZZ	6209VV	45	85	19	2	2570	1880
6210	10ZZ	10VV	50	90	20	2	2750	2100
6300	6300ZZ	6300VV	10	35	11	1	635	365
6301	01ZZ	01VV	12	37	12	1,5	760	450
6302	02ZZ	02VV	15	42	13	1,5	895	545
6303	6303ZZ	6303VV	17	47	14	1,5	1070	660
6304	04ZZ	04VV	20	52	15	2	1250	785
6305	05ZZ	05VV	25	62	17	2	1610	1080
6306	6306ZZ	6306VV	30	72	19	2	2090	1440
6307	07ZZ	07VV	35	80	20	2,5	2620	1840
6308	08ZZ	08VV	40	90	23	2,5	3200	2300
6309	6309ZZ	6309VV	45	100	25	2,5	4150	3100
6310	10ZZ	10VV	50	110	27	3	4850	3650

Tabel B. Baja bahan konstruksi mesin (JIS G 4051)

Lambang	Perlakuan	Batas mulur (kg/mm^2)	Kekuatan tarik (kg/mm^2)
S30C	normalising	29	48
	tempering	34	55
S35C	normalising	31	52
	tempering	40	48
S40C	normalising	33	55
	tempering	45	62

Sumber: Sularso, 1997, Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Lampiran

Tabel C. Baja karbon cor (JIS G 5101)

Lambang	Batas mulur (kg/mm^2)	Kekuatan tarik (kg/mm^2)	Keterangan
SC 37	18	37	Untuk bagian motor
SC42	21	42	Untuk konstruksi umum
SC46	23	46	
SC49	25	49	

Sumber: Sularso, 1997, Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Lampiran

