

BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PROGRAM

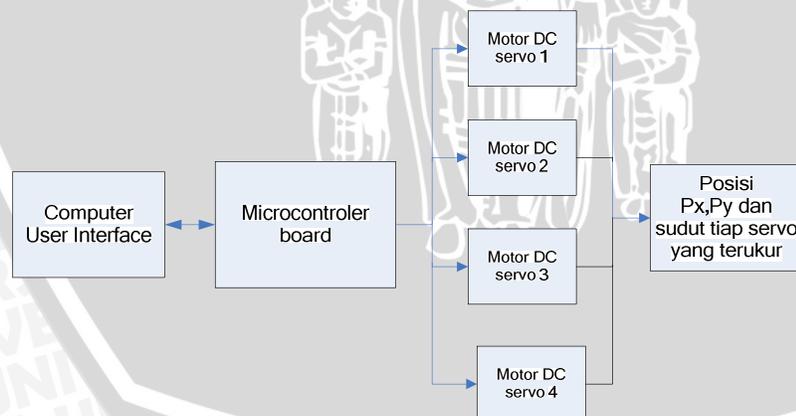
4.1 Perancangan Sistem

Perancangan sistem terlebih dahulu kita lakukan agar memudahkan pemahaman kita tentang pengendalian dan prinsip kerja dari robot lengan. Perancangan sistem robot lengan meliputi:

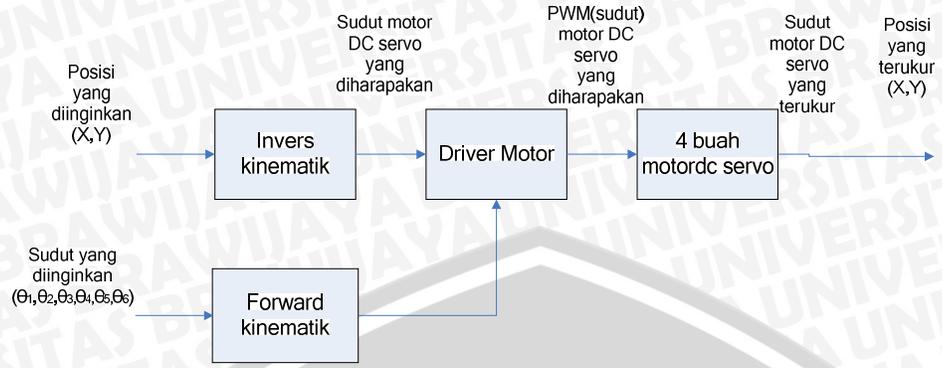
- Blok diagram dan prinsip kerja robot lengan
- Deskripsi *frame* robot lengan

4.1.1 Blok Diagram dan Prinsip Kerja Robot Lengan

Robot lengan ini pada dasarnya memiliki enam DOF (*degree of freedom*), namun yang akan dimanfaatkan untuk penerapan metode *forward* dan *invers* pada skripsi ini hanya empat DOF. Pada Gambar 4.1 (a) (b) adalah blok diagram perangkat keras dan lunak. Komputer sebagai antarmuka dengan pengguna, pengguna dapat menggunakan dua metode yaitu *forward kinematic* dan *invers kinematic*, blok mikrokontroler yaitu sebuah modul mikrokontroler Atmega 168 yang memiliki fungsi sebagai driver untuk mengatur posisi sudut motor servo, motor servo sebagai aktuator penggerak *end-effector*. *End-effector* adalah perangkat pada ujung robot lengan, yang dirancang untuk berinteraksi dengan lingkungan (berupa penjepit). Posisi *end-effector* dapat dilihat berdasarkan papan penunjuk koordinat *end-effector*.



(a) Blok Perangkat Keras Sistem



(b) Blok Perangkat Lunak Sistem

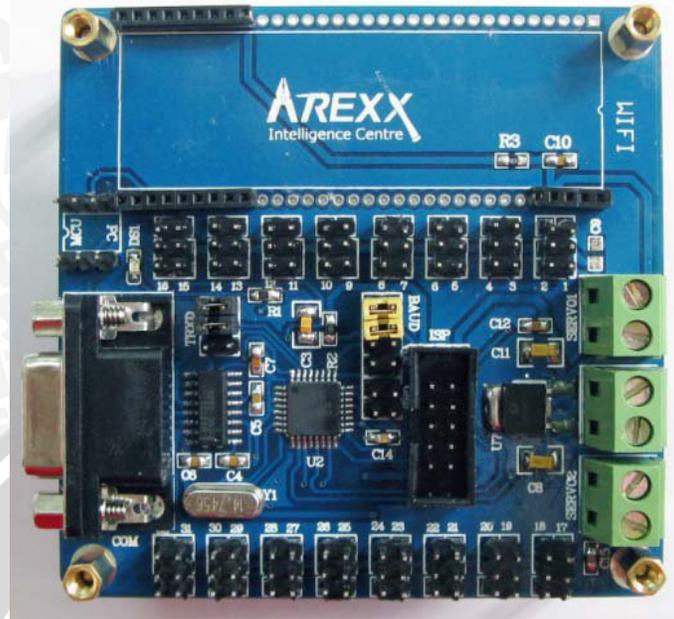
Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem

Sumber: Perancangan



Gambar 4.2 Robot Lengan Daggu Hi-tech dan Servomotor

Sumber: Manual book arm robot



Gambar 4.3 Modul Mikrokontroler ATmega 168

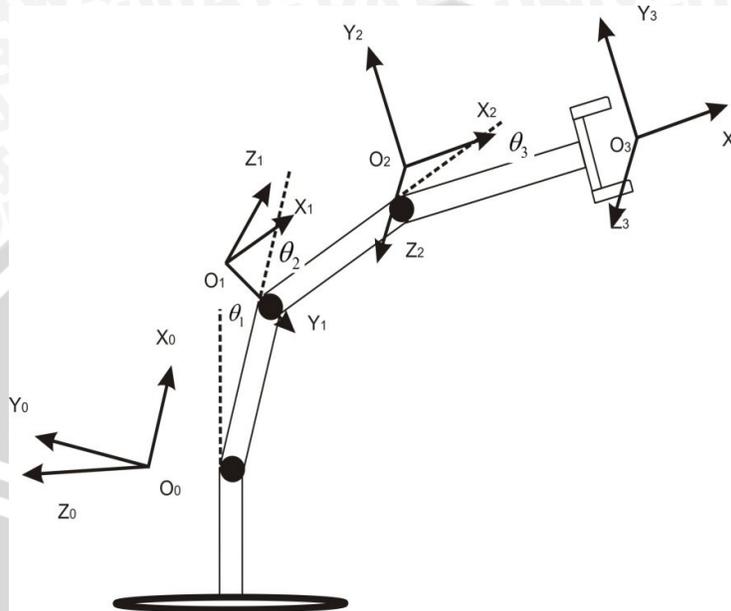
Sumber: Manual book arm robot

4.1.2 Deskripsi *Frame Robot Lengan*

Perancangan program dilakukan dengan terlebih dahulu mendefinisikan *frame* pada tiap-tiap *link* pada robot lengan, berikut pendefinisian *frame*. Pada robot *Six-servo robot arm DAGU Hi-Tech electronic* memiliki enam derajat kebebasan. Bagian-bagian pada robot lengan diantaranya batang-batang logam yang berfungsi sebagai *link*, lima buah motor servo yang berfungsi sebagai aktuator dan sebuah motor servo berfungsi sebagai penjapit pada *end effector*. Pengendalian lengan dibantu dengan suatu sistem mikrokontroler dan PC sebagai *interface*.

Pada skripsi ini hanya memanfaatkan empat derajat kebebasan. Sistem koordinat robot lengan mengacu pada standar yang digunakan Mark W. Spong, 2004, setiap *link* diberi nomor dimulai dari bagian *basement* yang tidak bergerak. *Basement* disebut *link 0*. Batang yang bergerak dan berhubungan dengan *basement* disebut *link 1*. Batang yang bergerak dan berhubungan dengan *link 1* disebut *link 2* dan seterusnya. Sehingga secara keseluruhan lengan robot terbentuk dari *link 0*, *link 1*, *link 2*, dan *end-effector*. Antara *link* yang satu dengan *link* tetangganya dihubungkan dengan *joint*. *Joint i+1* adalah *joint* yang menghubungkan *link i* dengan *link i+1*. Sehingga *joint 1* menghubungkan *link 0* dan *link 1*. Sedangkan *link 1* dan *link 2* dihubungkan dengan *joint 2* dan seterusnya. Dari keempat *joint* yang dimiliki lengan robot lengan, seluruhnya memiliki satu derajat kebebasan. *Frame*

merupakan sistem koordinat yang menggambarkan posisi sebuah *link* relatif terhadap *link* lainnya. Sistem koordinat ini melekat pada *link*. Penomoran *frame* sesuai dengan penomoran *link* yang dilekatinya. *Frame* ditempatkan pada *link* sehingga sumbu Z dari *frame* {*i*} yaitu Z_i , sejajar dengan sumbu putar (poros) dari *joint* *i*.



Gambar 4.4 Pendeklarasian *Frame* Pada Lengan Robot

Sumber: Perancangan

Beberapa parameter yang digunakan yaitu a_i, α_i, d_i , dan θ_i . Jarak dari Z_{i-1} ke Z_i diukur sepanjang X_i disebut a_i . Sudut antara Z_{i-1} dengan Z_i diukur sepanjang X_i disebut α_i . Parameter d_i adalah jarak dari X_{i-1} ke X_i diukur sepanjang Z_i . Parameter θ_i adalah sudut antara X_{i-1} dengan X_i diukur sepanjang Z_i . Tabel 4.1 menunjukkan parameter *link* dari lengan robot sesuai dengan peletakan *frame* yang ditunjukkan dalam Gambar 4.4.

Tabel 4.1 Parameter *Link* pada Lengan Robot

I	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	8 cm	0	0 cm	θ_1
2	8 cm	180°	0 cm	θ_2
3	16 cm	0°	0 cm	θ_3

Homogenus matrik pada tiap-tiap link

$$A_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & a_1 \cos \theta_1 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & a_1 \sin \theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots(4.1)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & \sin \theta_2 & 0 & a_2 \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 & -\cos \theta_2 & 0 & a_2 \sin \theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots(4.2)$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & a_3 \cos \theta_3 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & a_3 \sin \theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots(4.3)$$

4.2 Perancangan kinematika robot lengan

4.2.1 Forward kinematik

Secara garis besar *forward kinematic* adalah memberikan sudut kepada motor servo setelah itu kita dapatkan posisi *end-effector*. Perancangan *forward kinematic* kita hitung terlebih dahulu *homogenus* matrik semua *link*.

$${}^0T_3 = A_1 A_2 A_3 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & P_x \\ n_y & o_y & a_y & P_y \\ n_z & o_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots(4.4)$$

$$\begin{aligned} n_x &= \cos(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3) \\ n_y &= \sin(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3) \\ n_z &= 0 \end{aligned} \dots\dots(4.5)$$

$$\begin{aligned} o_x &= -\sin(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3) \\ o_y &= \cos(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3) \\ o_z &= 0 \end{aligned} \dots\dots(4.6)$$

$$\begin{aligned} a_x &= 0 \\ a_y &= 0 \\ a_z &= 1 \end{aligned} \quad \dots(4.7)$$

$$\begin{aligned} P_x &= a_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3) + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + a_1 \cos(\theta_1) \\ P_y &= a_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3) + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + a_1 \sin(\theta_1) \\ P_z &= 0 \end{aligned} \quad \dots(4.8)$$

Dimana

$$\begin{aligned} \cos(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3) &= \cos\theta_1(\cos\theta_2 \cos\theta_3 + \sin\theta_2 \sin\theta_3) - \sin\theta_1(\sin\theta_2 \cos\theta_3 - \cos\theta_2 \sin\theta_3) \\ \sin(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3) &= \sin\theta_1(\cos\theta_2 \cos\theta_3 + \sin\theta_2 \sin\theta_3) + \cos\theta_1(\sin\theta_2 \cos\theta_3 - \cos\theta_2 \sin\theta_3) \\ \cos(\theta_1 + \theta_2) &= \cos\theta_1 \cos\theta_2 - \sin\theta_1 \sin\theta_2 \\ \sin(\theta_1 + \theta_2) &= \sin\theta_1 \cos\theta_2 + \cos\theta_1 \sin\theta_2 \end{aligned} \quad \dots(4.9)$$

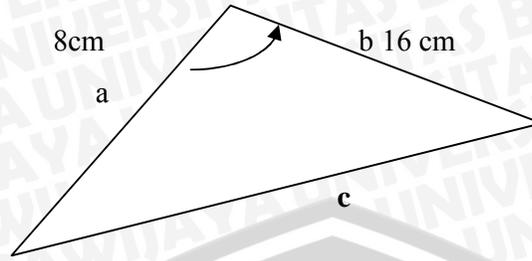
Matrik *forward* memberikan informasi orientasi dan posisi dari *end-effector*. Pada tugas akhir ini tidak membahas mengenai orientasi *end-effector* hanya posisi *end-effector*, dapat kita lihat pada persamaan diatas posisi koordinat (Px, Py) *end-effector* dapat kita hitung dengan memberikan masukan sudut pada motor servo untuk setiap *link*. Pergerakan robot merupakan kombinasi perubahan θ_1 , θ_2 dan θ_3 secara bersamaan. Namun karena keterbatasan kondisi fisik robot maka perubahan pada masing-masing sudut θ_1 , θ_2 dan θ_3 dibatasi agar tidak merusak robot.

4.2.2 *Invers Kinematic*

Pada *invers kinematic* kita menggunakan hukum *cosines* untuk mendapatkan solusi sudut pada posisi tertentu *end-effector*. Hukum *cosines* berlaku untuk sudut dalam segitiga, jadi kita berusaha membentuk segitiga pada tiap *link*.

4.2.2.1 Membentuk Segitiga untuk Tiap-tiap *Link*

- Pada mulanya kita lakukan pembentukan segitiga pada bagian *link* 3 dan 2. Seperti yang kita ketahui panjang $a_3 = b = 16$ cm, $a_2 = a = 8$ cm (lihat Tabel 4.1) dengan kemampuan maks/min sudut servomotor 90 derajat/-90 derajat dan netral pada 0 derajat. Kemampuan motor servo untuk membentuk sudut akan sangat menentukan panjang sisi c (lihat Gambar 4.5), Pada persamaan 4.10 didapatkan nilai c minimal 17.9 cm dan maksimal 24 cm.



Gambar 4.5 Segitiga *Link* Penghubung Bagian Atas

Sumber: Perancangan

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\phi \quad \dots(4.10)$$

C minimal

$$c^2 = 8^2 + 16^2 - 2 * 8 * 16 * \cos 90^0$$

$$c = 17.8885 \approx 17.9 \text{ cm}$$

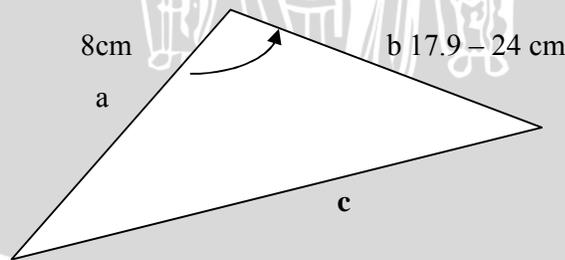
C maksimal

$$c^2 = 8^2 + 16^2 - 2 * 8 * 16 * \cos 180^0$$

$$c = 24 \text{ cm}$$

$$17.9 \text{ cm} \leq c \leq 24 \text{ cm}$$

- b. Motor servo pada bagian dasar (*link* 1), *link* 1 memiliki panjang $a_1 = 8 \text{ cm}$ (lihat Tabel 4.1). Pada sisi-sisi segitiga nilai $a_1 = a = 8 \text{ cm}$, pada segitiga pertama nilai c menjadi b antara 17.9 cm sampai 24 cm pada segitiga kedua ini (lihat Gambar 4.6). Kita pilih tiga nilai untuk panjang nilai b yaitu 17.9 cm , 21 cm dan 24 cm .



Gambar 4.6 Segitiga *Link* Penghubung Bagian Bawah

Sumber: Perancangan

Untuk nilai $b = 17.9 \text{ cm}$ C minimal

$$c^2 = 8^2 + 17.9^2 - 2 * 8 * 17.9 * \cos 90^0$$

$$c = 19.60637 \approx 19.7 \text{ cm}$$

C maksimal

$$c^2 = 8^2 + 17.9^2 - 2 * 8 * 17.9 * \cos 180^0$$

$$c = 25.9 \text{ cm}$$

$$19.7 \text{ cm} \leq c \leq 25.9 \text{ cm}$$

Untuk nilai b=21 cm C minimal

$$c^2 = 8^2 + 21^2 - 2 * 8 * 21 * \cos 90^0$$

$$c = 22.47220 \approx 22.5 \text{ cm}$$

C maksimal

$$c^2 = 8^2 + 21^2 - 2 * 8 * 21 * \cos 180^0$$

$$c = 29 \text{ cm}$$

$$22.5 \text{ cm} \leq c \leq 29 \text{ cm}$$

Untuk nilai b=24 cm C minimal

$$c^2 = 8^2 + 24^2 - 2 * 8 * 24 * \cos 90^0$$

$$c = 25.29822 \approx 25.3 \text{ cm}$$

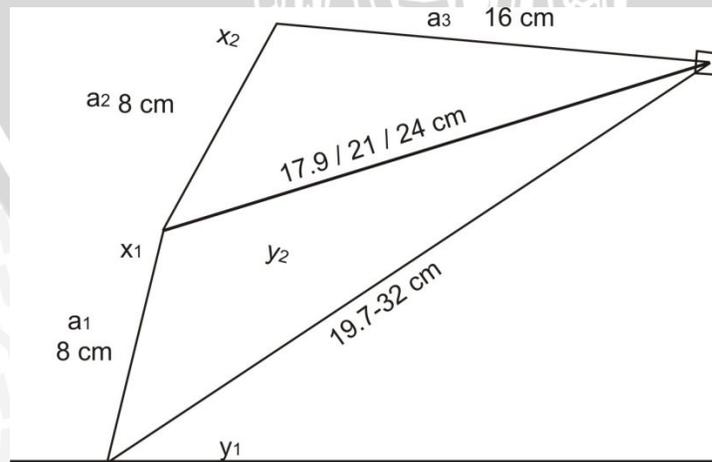
C maksimal

$$c^2 = 8^2 + 24^2 - 2 * 8 * 24 * \cos 180^0$$

$$c = 32 \text{ cm}$$

$$25.3 \text{ cm} \leq c \leq 32 \text{ cm}$$

Pembentuk segitiga adalah dengan cara dua *joint* terbahaw dihubungkan oleh suatu garis imajinasi keposisi yang diinginkan, dan *link* tiga (bagian atas) mengarahkan secara langsung *end-effector*. Terlihat ada dua buah segitiga yang terbentuk (lihat Gambar 4.7)

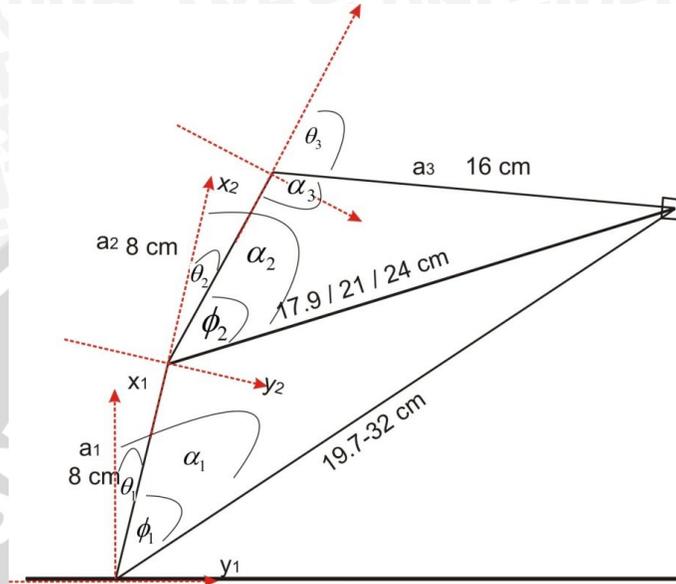


Gambar 4.7 Pembentukan Segitiga

Sumber: Perancangan

4.2.2.2 Solusi Sudut Motor Servo

Variable pada *frame* robot lengan didefinisikan kembali untuk memudahkan penyusunan solusi-solusi sudut pada motor servo.



Gambar 4.8 Invers Kinematic dengan Metode Segitiga

Sumber: Perancangan

- Solusi untuk motor servo *link* 1

$$\tan \alpha_1 = \frac{y_0}{x_0}$$

$$\alpha_1 = \arctan \frac{y_0}{x_0}$$

$$\phi_1 = \arccos \frac{(a^2 + c^2 - b^2)}{2 * a * c}$$

$$a = 8 \text{ cm}$$

$$b = \{17.9 \text{ cm}, 21 \text{ cm}, 24 \text{ cm}\}$$

$$c = \sqrt{y_0^2 + x_0^2}$$

Jika alpha 1 positif (+) maka

$$\theta_1 = \alpha_1 - \phi_1$$

Jika alpha 1 positif (-) maka

$$\theta_1 = \alpha_1 + \phi_1$$

- Solusi untuk motor servo *link 2*

$$x_1 = -8 + x_0 \cos \theta_1 + y_0 \sin \theta_1$$

$$y_1 = x_0 \sin \theta_1 - y_0 \cos \theta_1$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{y_1}{x_1}$$

$$\alpha_2 = \arctan \frac{y_1}{x_1}$$

$$\phi_2 = \arccos \frac{(a^2 + c^2 - b^2)}{2 * a * c}$$

$$a = 8 \text{ cm}$$

$$b = 16 \text{ cm}$$

$$c = \sqrt{y_1^2 + x_1^2}$$

Jika α_2 positif (+) maka

$$\theta_2 = -\alpha_2 + \phi$$

Jika α_2 negatif (-) maka

$$\theta_2 = -\alpha_2 - \phi$$

- Solusi untuk motor servo *link 3*

$$\phi_3 = \arccos \frac{(a^2 + b^2 - c^2)}{2 * a * b}$$

$$a = 8 \text{ cm}$$

$$b = 16 \text{ cm}$$

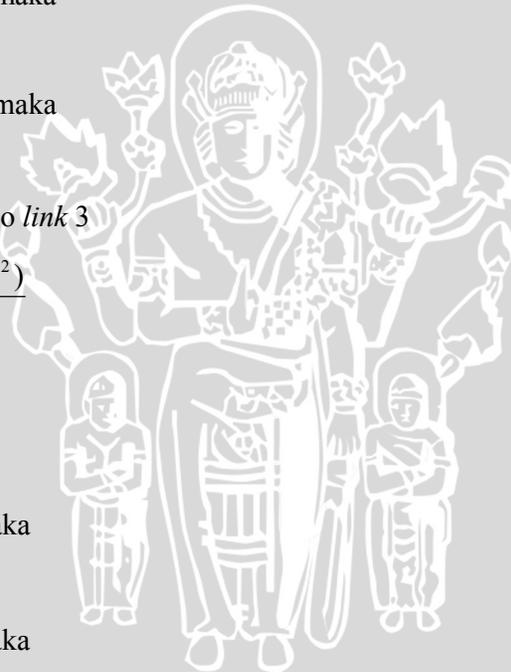
$$c = \sqrt{y_1^2 + x_1^2}$$

Jika ϕ_3 positif (+) maka

$$\theta_3 = -(180^\circ - \phi_3)$$

Jika ϕ_3 negatif (-) maka

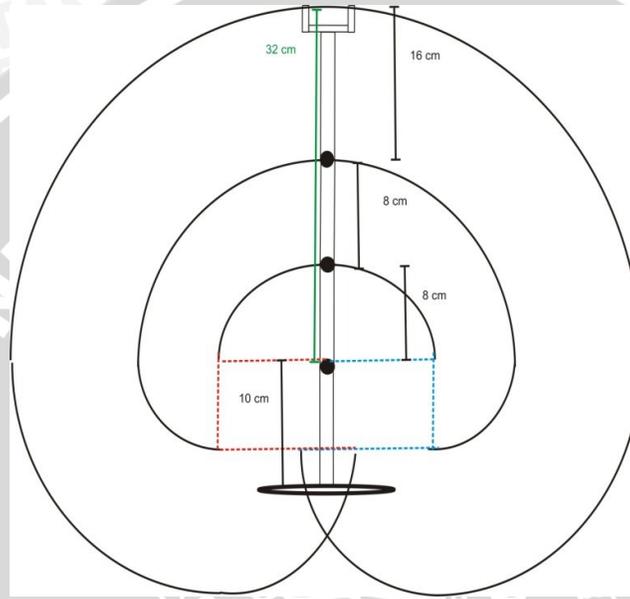
$$\theta_3 = (180^\circ - \phi_3)$$



4.3 Perancangan Pergerakan Robot Lengan

4.3.1 *Workspace* Robot Lengan

Workspace robot lengan adalah total luas yang memungkinkan terlewati (tersapu) oleh gerakan robot lengan. *Workspace* dapat kita tentukan dengan cara menggerakkan tiap motor servo secara berurutan sehingga kita dapat mengetahui jangkauan robot lengan dengan keterbatasan fisik robot.

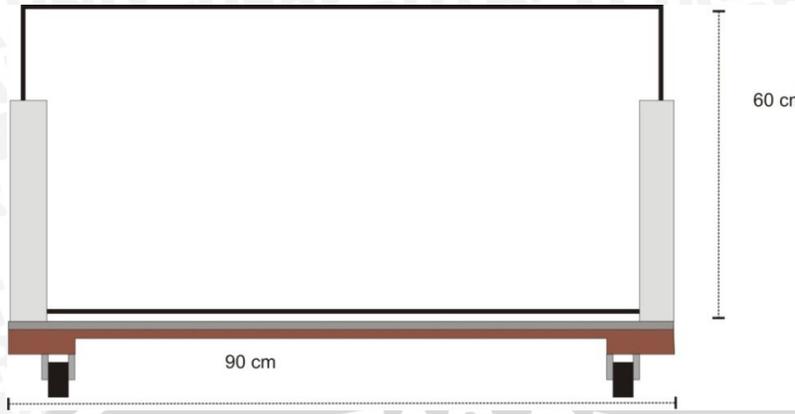


Gambar 4.9 *Workspace* Robot Lengan

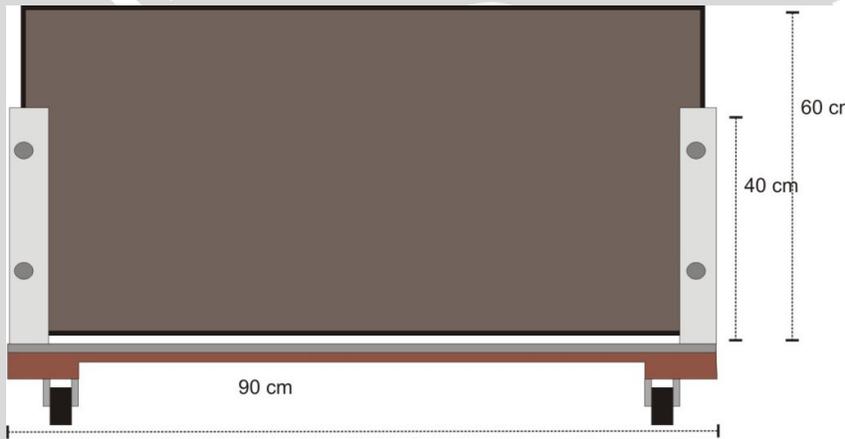
Sumber: Perancangan

Motor servo yang kita gunakan memiliki keterbatasan sudut yaitu antara -90 derajat sampai 90 derajat. Motor servo paling bawah kita gerakkan (dari sudut min hingga max) maka akan terbentuk setengah lingkaran dengan jari-jari 32 cm. Kondisikan motor servo bagian bawah pada kondisi sudut maks atau min lalu gerakan motor servo bagian tengah sehingga kita dapatkan ruang gerak baru yang terlewati (tersapu), yaitu seperempat lingkaran dengan jari-jari 24 cm. Tetap dalam kondisi motor servo bagian tengah membentuk seperempat lingkaran baru, kita gerakkan motor servo bagian paling atas sehingga terbentuk seperempat lingkaran baru dengan jari-jari 16 cm.

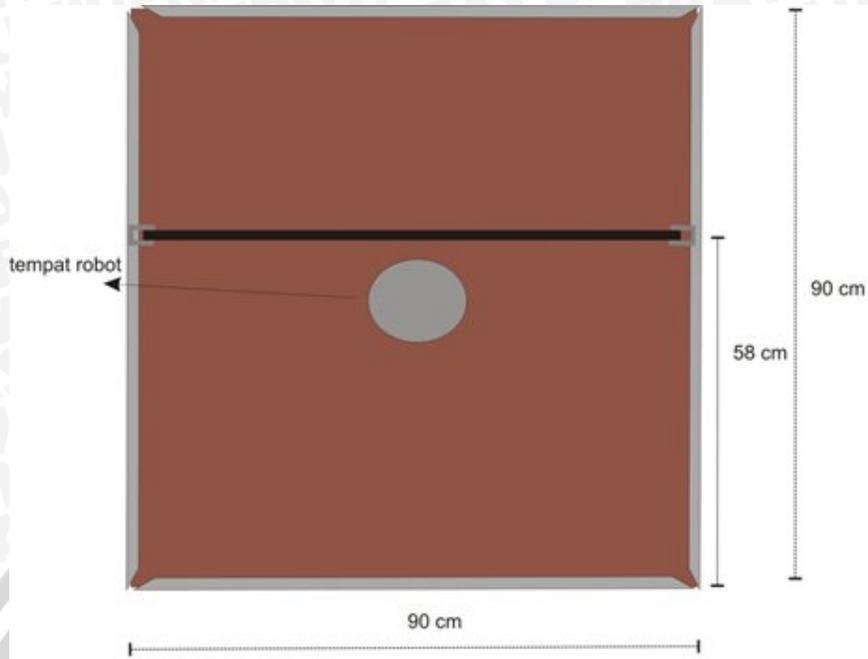
Dalam Gambar 4.9, menunjukkan *workspace* robot lengan tanpa ada batasan medan. Setelah kita ketahui *workspace* robot lengan maka dapat kita lakukan perancangan medan robot lengan untuk mengambil objek. Medan robot lengan kami sesuaikan dengan kemampuan jangkauan robot lengan (lihat Gambar 4.10). Penempatan papan difungsikan untuk mengukur posisi dari *end-effector*.



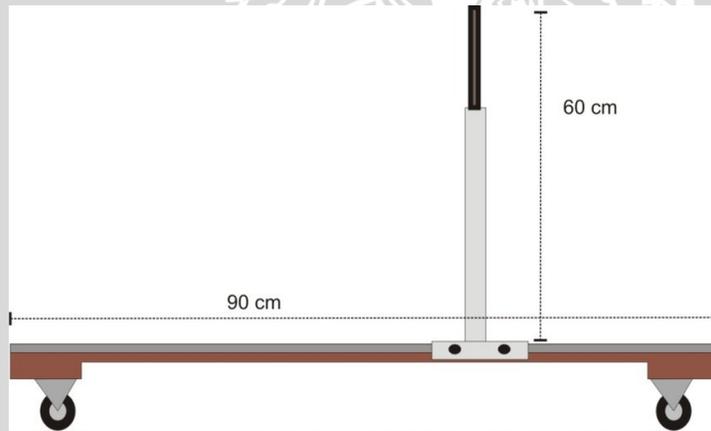
(a) Tampak depan



(b) Tampak belakang



(c) Tampak atas



(d) Tampak samping

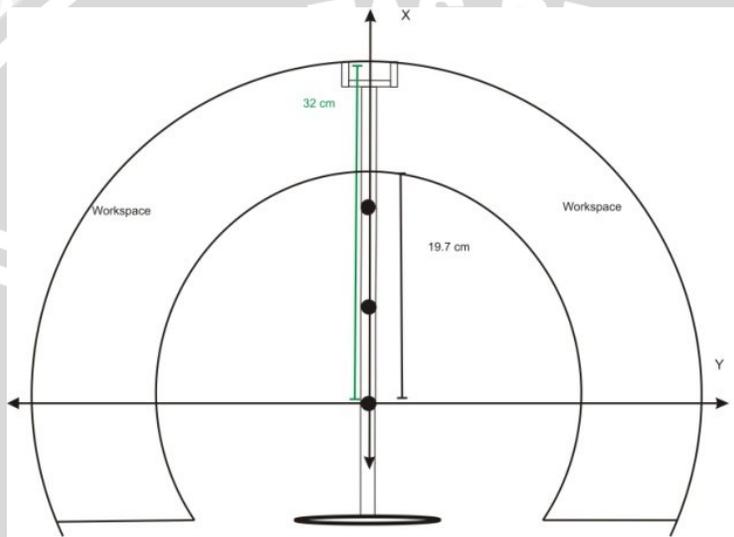
Gambar 4.10 Rancangan Medan Robot Lengan

Sumber: Perancangan

4.3.2 Skema Gerak Robot Lengan

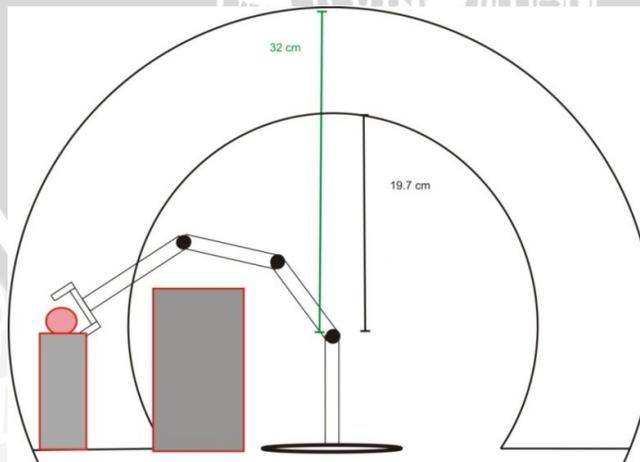
Gerak robot lengan sangat dipengaruhi kemampuan motor servo robot lengan dan juga jangkauan posisi yang mungkin dituju oleh metode *invers kinematic* dengan solusi *triangle*. Perancangan *invers kinematic* dengan solusi *triangle* diketahui memiliki jangkauan posisi antara 19.7 cmsampai 32 cm dari koordinat dasar, selama objek berada pada jangkauan tersebut maka robot lengan akan mampu mengambil objek tersebut.

Objek ditaruh pada posisi dalam jangkauan, posisi penghalang dan objek diatur sesuai dengan kemampuan robot lengan. Posisi objek dapat ditaruh pada semua posisi dalam area solusi *invers kinematic*.



Gambar 4.11 Ruang Solusi untuk Metode *Invers Kinematic*

Sumber: Perancangan

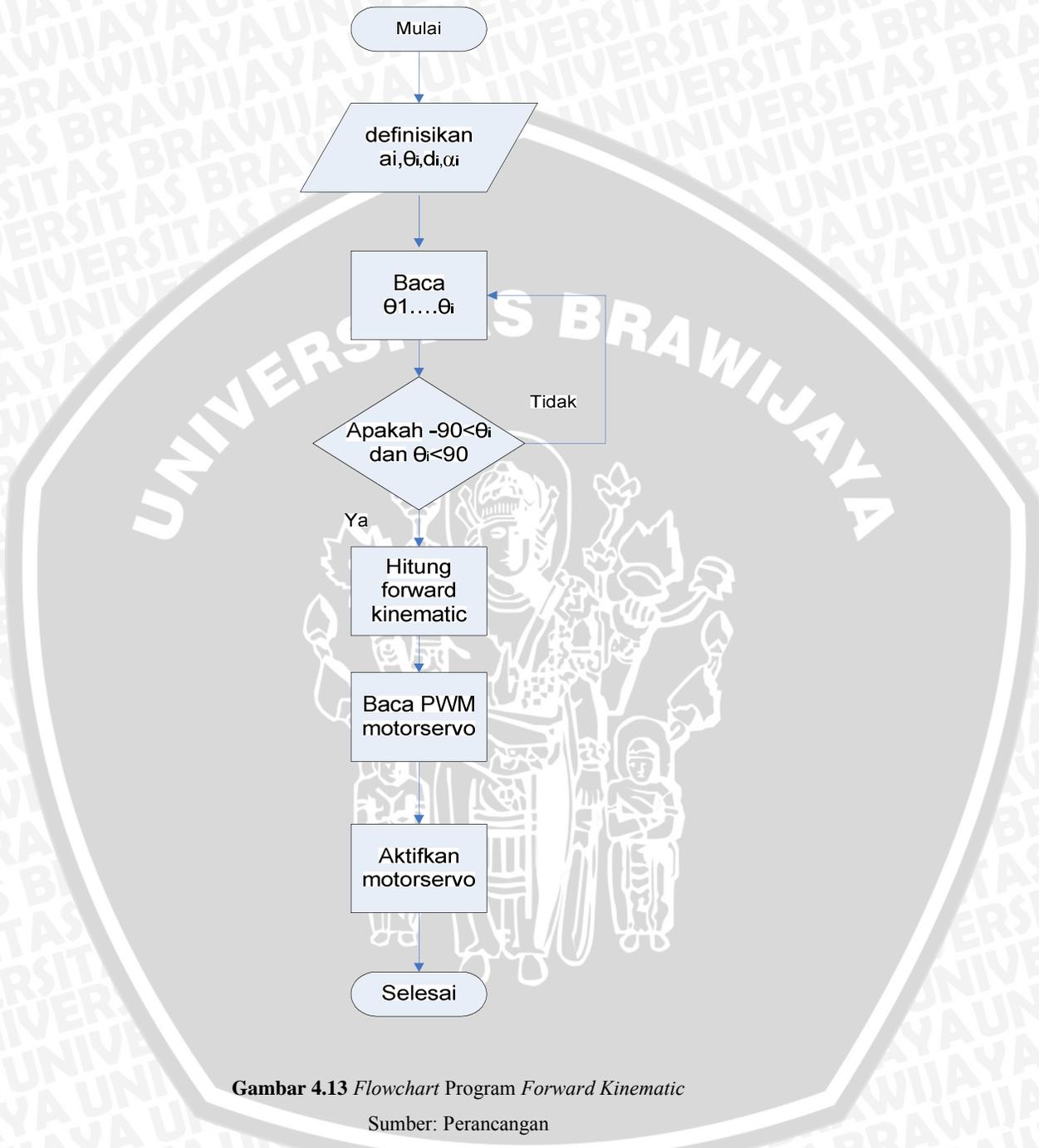


Gambar 4.12 Penempatan Objek dan Penghalang

Sumber: Perancangan

4.4 Perancangan Perangkat Lunak

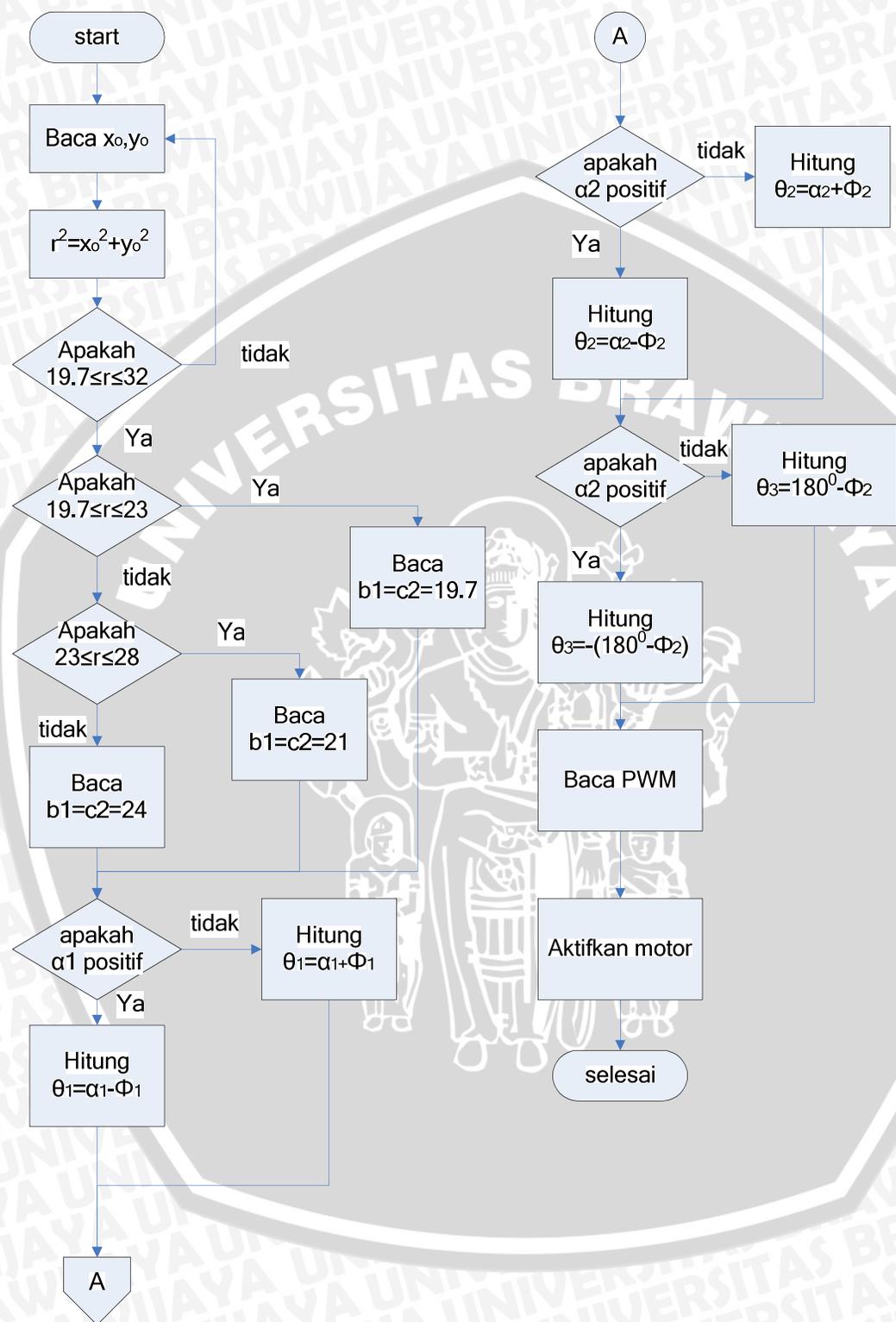
Flowchart *forward kinematic*



Gambar 4.13 Flowchart Program Forward Kinematic

Sumber: Perancangan

Flowchart *invers kinematic*



Gambar 4.14 Flowchart Program Invers Kinematic

Sumber: Perancangan