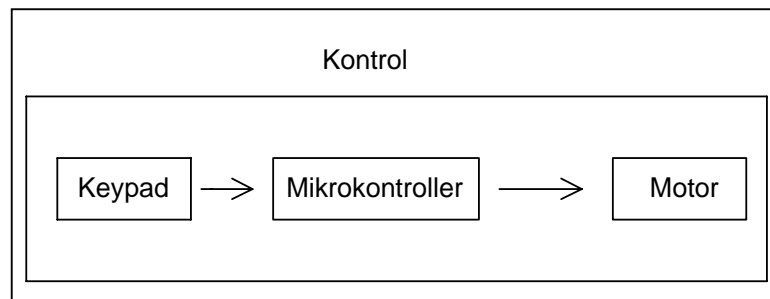


3. PERANCANGAN SISTEM

Sistem yang membentuk robot dua kaki adalah prosesor kontrol, rangkaian *driver*, PCB, mekanika dan fisik robot. Hal tersebut tercakup dalam tiga bagian besar, yaitu; perancangan mekanik, perancangan *software* dan perancangan *hardware*. Sistem prosesor kontrol serta rangkaian pendukungnya adalah rangkaian yang paling fleksibel karena dapat berubah fungsi dengan hanya merubah program yang dimasukkan ke dalam prosesor tersebut.



Gambar 3.1 Blok Diagram Robot

Robot ini memiliki dua kaki yang dapat mengangkat kaki mengikuti pemodelan gerak manusia. Pemodelan gerak manusia adalah model kaki yang menganut prinsip lutut menekuk ke depan. Selain model manusia ada pula tipe bipedal yang lain yaitu tipe unggas atau burung. Bipedal tipe ini memiliki engsel antara tungkai atas dan tungkai bawah yang menekuk ke belakang. Burung dapat mewakili tipe bipedal dengan lutut menekuk ke belakang.



Gambar 3.2 Kaki Burung

Sumber: *Gallery Corbis*, <<http://search.gallery.yahoo.com/search/corbis>>



Gambar 3.3 Kaki Manusia

Sumber: *Fifa Fotball*, <<http://www.fifa.com/en/index.html>>

Manusia ataupun makhluk lain yang berjalan dengan dua kaki harus memiliki keseimbangan sempurna. Saat berjalan, maka bagian tubuh atas atau alat gerak lain menyeimbangkan dengan gerakan kaki. Robot ini menggunakan satu buah pendulum keseimbangan. Keseimbangan ini untuk gerakan angkat kaki kanan dan kiri robot supaya seimbang. Maka, saat robot angkat kaki kiri maka pendulum bergerak ke kanan dan demikian pula sebaliknya. Untuk keseimbangan depan – belakang, dapat ditanggulangi dengan kaki lebar dan panjang menyerupai kaki bebek. Pemodelan kaki bebek yang panjang ini memiliki toleransi titik tumpu yang lebih luas, sehingga pergerakan kaki ke depan – belakang menjadi lebih fleksibel.

Beban keseimbangan:

$$\frac{\text{bebanA}}{\text{panjangB}} = \frac{\text{bebanB}}{\text{panjangA}} \quad (3.1)$$

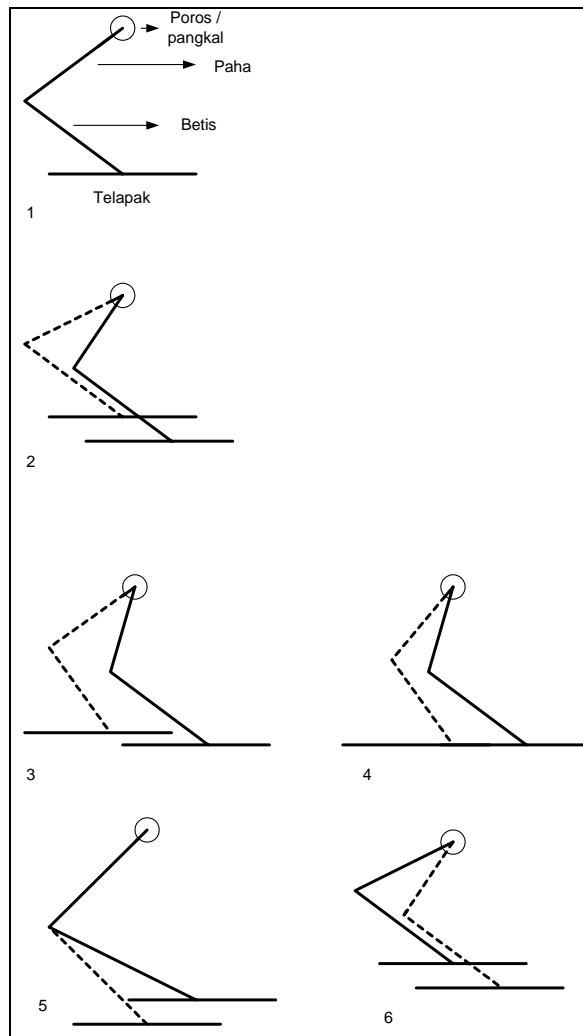
$$\frac{3kg}{100cm} = \frac{\text{beban}}{10cm}$$

$$\text{Beban} = 300gr$$

Maka, untuk panjang bilah keseimbangan sepanjang 100cm, maka beban dapat dipasang 300 gr. Bila bilah pengungkit dibuat lebih panjang, maka beban penyeimbang menjadi lebih ringan.

3.1. Gerakan Robot

Gerakan robot memiliki kemiripan gaya jalan manusia, tetapi tanpa menggerakkan telapak kaki dan tidak memiliki kemampuan berbelok. Gerakan ini memiliki satu gerakan dasar yang selalu diulang. Gerakan dasar adalah gerakan satu langkah kaki. Langkah gerakan ini dapat dikendalikan sepenuhnya melalui pemrograman.



Gambar 3.4 Gambar Teknik Gerakan Jalan

Berikut adalah gerakan robot terhadap posisinya secara mekatronika.

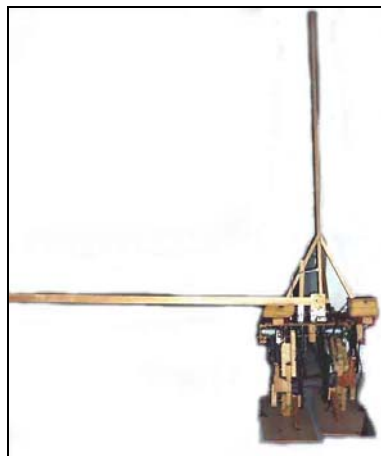
1. Robot kondisi siap jalan
2. Tekan kaki kiri

3. Majukan betis kanan
4. Turunkan kaki kanan
5. Angkat kaki kiri
6. Tarik kebelakang betis kanan
7. Angkat kaki kanan dan robot kembali ke kondisi pertama

Robot ini telah menyelesaikan tahap 1 kali langkah untuk selanjutnya diulang-ulang baik melalui kaki kanan terlebih dahulu maupun kaki kiri dahulu.

Pergerakan berikut adalah derakan robot dengan pendulumnya.

- Robot berdiri pada kedua kaki sejajar, keseimbangan maksimum, dua pendulum penyeimbang di tengah
- Mengangkat kaki pertama, lalu pendulum penyeimbang berpindah samping ke arah yang berseberangan
- Saat betis kaki pertama bergerak maju
- Kaki pertama turun menyentuh lantai, lalu pendulum kembali ke tengah
- Kaki kedua terangkat dari lantai, pendulum samping menuju kearah berseberangan.
- Bila kaki mengakhiri gerakan ke posisi sejajar, pendulum akan kembali ke tengah, ke posisi semula



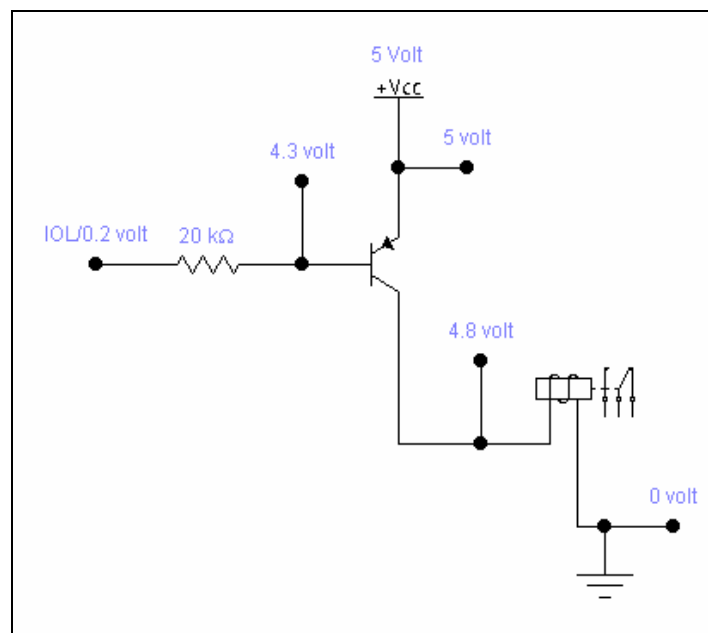
Gambar 3.5 Gerakan Pendulum

3.2. Perencanaan *Hardware*

Rangkaian yang didesain adalah sebgaiian besar berupa *driver relay* yang menggunakan transistor, dan sisanya adalah rangkaian *pull-up* untuk *input*.

3.2.1. *Driver Relay*

Driver relay dengan transistor dapat dibuat dan dihitung sebagai berikut: Dipilih β rata-rata (H_{fe}) minimal PNP C9012 = 220, lalu diasumsikan H_{fe} 200 untuk *overdrive*. Hambatan dalam (Ω) *relay* 5volt = 128Ohm



Gambar 3.6 *Driver Relay*

Maka, bila V_{EC} adalah 0,2volt, relay akan mendapat tegangan dari kaki kolektor sebesar 4,8volt. Sehingga arus rata-rata yang digunakan untuk pengaktifan *relay* adalah :

$$\text{Arus relay} = \frac{V_{cc}}{R.dalam} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} \text{Arus relay} &= \frac{4,8volt}{128\Omega} \\ &= 37,5 \text{ mA} \cong I_{EC} \end{aligned}$$

Untuk menjaga kemungkinan arus lonjak saat *relay* diaktifkan dan hambatan dalam *relay* yang bervariasi akibat produk massal dari pabrik, maka diasumsikan beban untuk *relay* ditambahkan 5mA. Beban *relay* menjadi 42.5mA dan dibulatkan keatas 43mA.

$$\text{Arus } I_B = \frac{I_C}{H_{fe}} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} \text{Arus } I_B &= \frac{43mA}{200} \\ &= 0.215 \text{ mA} \cong 215\mu\text{A} \end{aligned}$$

Arus demikian diasumsikan tidak membebani *buffer* prosesor karena berdasarkan *data sheet*, I_{OL} (*single current*) maksimum sebesar 24mA. Kemudian dicari harga R_{shunt} dengan V_{EB} adalah 0,7volt. Harga logika '0' diasumsikan 0,01volt. Maka harga tegangan untuk transistor aktif pada V_B adalah 4,3 volt.

$$\text{Harga } R = \frac{V_B - V_{Low}}{I_B} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \text{Harga } R &= \frac{4,3\text{volt} - 0,2\text{volt}}{0,215\text{mA}} \\ &= 19069,7 \cong 20\text{k}\Omega \quad (\text{harga termasuk overdrive}) \end{aligned}$$

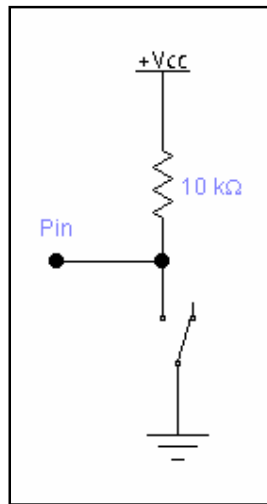
Maka dapat diambil R_{shunt} , yaitu 20k Ω .

3.2.2. Rangkaian *Pull-up*

Rangkaian *pull-up* diperlukan bila sensor saklar memiliki tipe SW (*normally open*). Sifat dari SW adalah bila ditekan maka rangkaian akan tertutup, dan bila dilepas rangkaian akan terbuka. Prosesor membutuhkan logika '0' dan '1', jadi pada saat SW ditekan maka *pin* data terhubung dengan *ground* tetapi pada saat SW tidak ditekan, maka akan terjadi logika yang ambigu (*floating logic*) karena logika tidak dapat ditentukan (*logic high* atau *low*).

Resistor dipilih $10\text{k}\Omega$ agar arus sesaat yang melewati hambatan hanya $0,5\text{mA}$ saat *pin* data masih *ground*. Saat *pin* data tertarik menuju logika *high*, maka arus semakin kecil, demikian juga bila *pin input* prosesor terhubung langsung ke *ground* (0 volt).

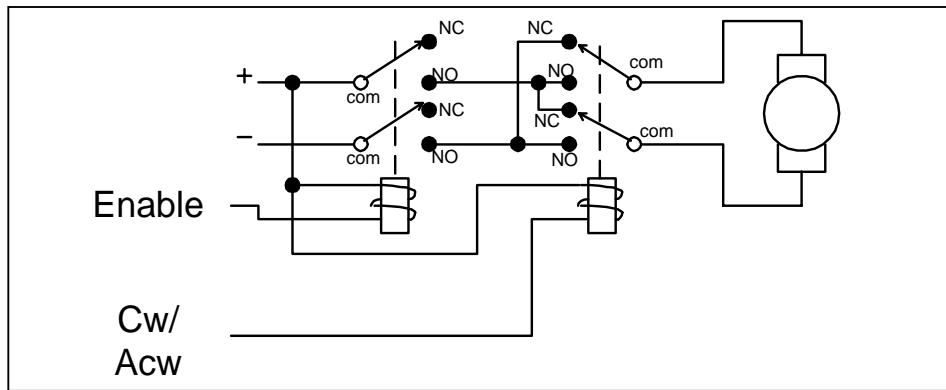
Rangkaian *pull-up* tetap diperlukan untuk semua *port* jika menggunakan saklar SW, meski untuk prosesor AT89C51 pada *port1*, *port2* dan *port3* memiliki *internal pull-up* kecuali *port0*.



Gambar 3.7 Rangkaian *Pull-up*

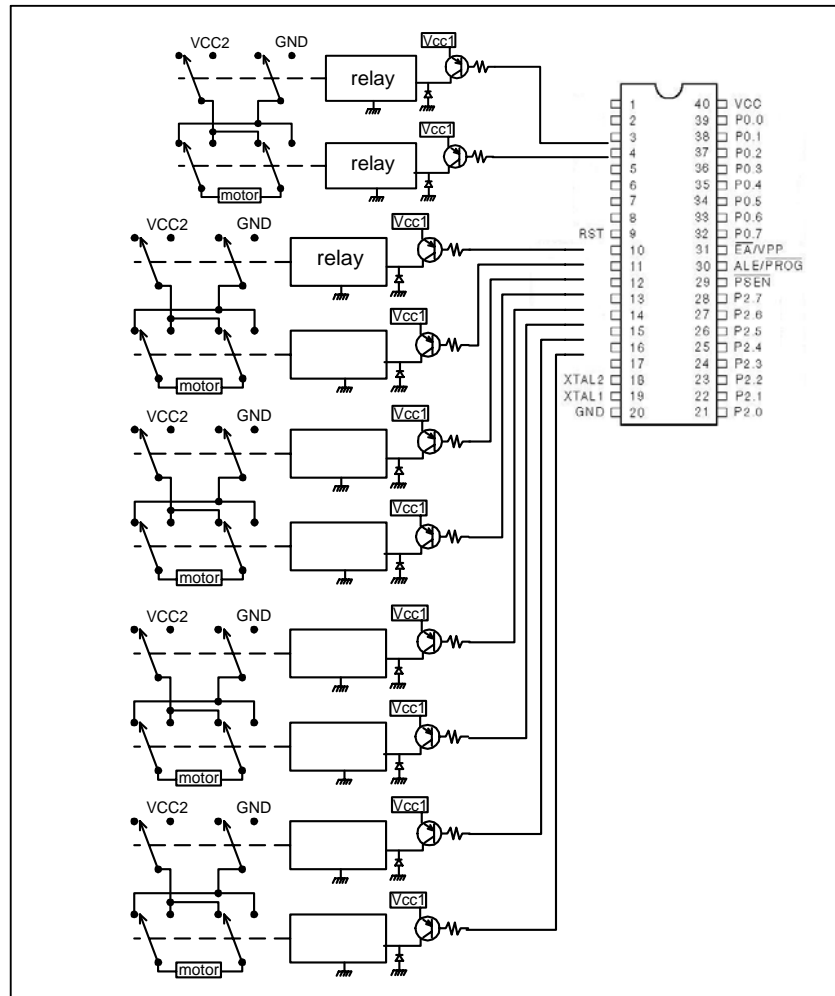
3.2.3. Rangkaian Sensor Gerakan

Sensor gerakan kaki untuk *axis* (sendi) menggunakan tipe saklar SW (*normally open*). Data yang diberikan adalah gerakan saat sendi merapat dan merenggang. Penggunaan saklar tipe ini menganut prinsip rangkaian *pull-up*. Untuk seluruh gerakan robot, dibutuhkan 11 buah sensor saklar SW dimana masing-masing sensor memiliki *pull-up*. Sensor ini terpasang pada *port P0* dan *P2* pada IC AT89C51. Pada *pin 35* dan *pin 36*, dipasang *pull-up* langsung ke *Vcc* untuk menghindari *noise* akibat logika mengambang karena *pin* tersebut tidak digunakan.



Gambar 3.9 *Driver Motor DC*

Dipilih penggunaan *relay* daripada model transistor hibrid adalah fleksibilitas dalam rangkaiannya. *Driver* motor dengan *relay* memungkinkan untuk penggantian bermacam-macam motor DC bila dibutuhkan. Motor DC dengan kekuatan torsi tertentu dapat dengan mudah diatur kecepatan dan torsi dengan merubah variasi tegangan dan arus catu daya. Berikut adalah gambar rangkaian *relay* kontrol pada prosesor.

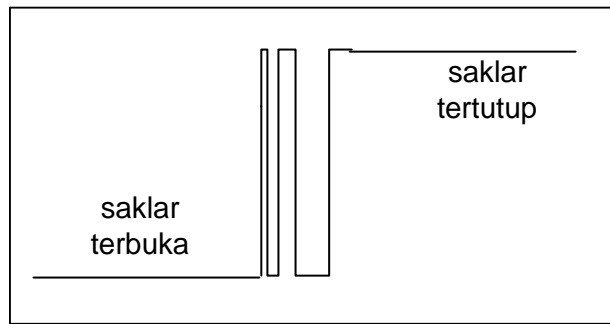


Gambar 3.10 Rangkaian *Relay* Pada Prosesor

3.2.5. *Debounce Circuit*

Rangkaian *debounce circuit* digunakan untuk melindungi rangkaian digital terhadap *noise* yang muncul akibat kegiatan buka / tutup saklar.

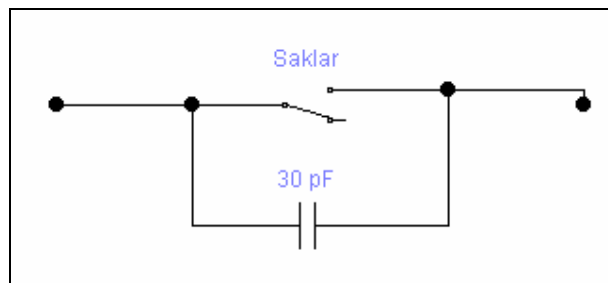
Tegangan *bounce* muncul karena kondisi yang mirip dengan prinsip saklar tidak sempurna atau *close loop* yang tidak stabil. Peloncatan elektron ini bisa terjadi karena dua konduktor pada saklar memiliki beda tegangan, terutama jika kondisi saklar melayani arus yang besar.



Gambar 3.11 *Bounce*

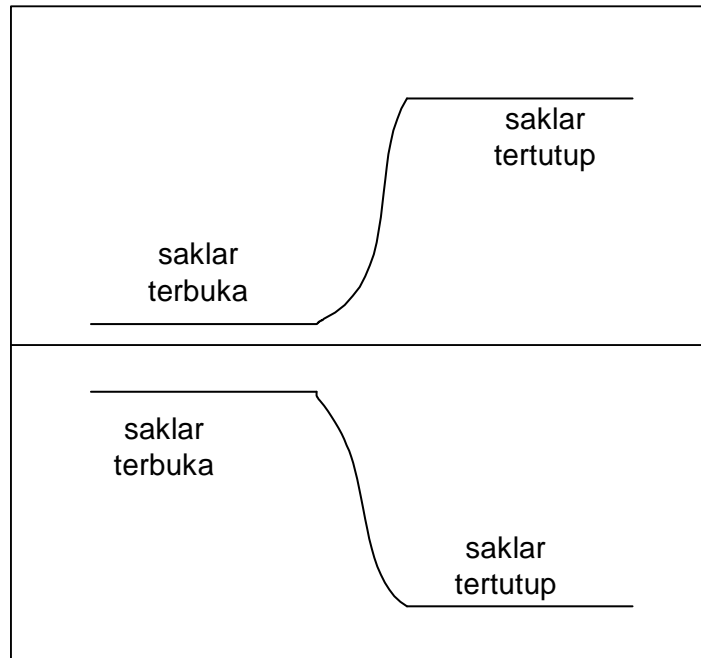
Peloncatan elektron pada arus besar memiliki efek negatif, yaitu timbulnya bunga api sesaat. Bunga api ini bila secara terus menerus dapat menimbulkan kerak dan oksidasi pada media sentuh pada saklar. Saat lapisan kerak dan oksidasi cukup tebal, maka akan terjadi gangguan arus listrik pada saklar.

Pemakaian kapasitor yang dihubungkan secara paralel pada saklar dapat mengurangi dampak negatif bunga api. Kapasitor akan meredam tegangan *bounce* hingga saat saklar transisi terbuka sehingga *bounce* akan berkurang saat menuju kondisi terbuka. Efek yang serupa juga terjadi saat transisi saklar tertutup, yaitu kapasitor memiliki reaksi yang lebih cepat untuk hubung singkat karena kapasitor memiliki sifat untuk hubung singkat sesaat saat kapasitor kondisi *charge*.



Gambar 3.12 *Filter Saklar*

Kapasitor dipilih yang memiliki nilai kecil. Kapasitor 30pF dipilih, karena secara percobaan terbukti efektif dan sesuai untuk reaksi saklar dari *relay* DPDT (*relay* saklar ganda) sangat cepat $\pm 10\text{ms}$. Semakin kecil nilai kapasitor, semakin cepat pula reaksi isi dan buang muatannya.



Gambar 3.13 Transisi Saklar Dengan Kapasitor

Penambahan *debounce circuit* secara umum diharapkan akan menghasilkan gerakan tegangan sesuai gambar 3.13.

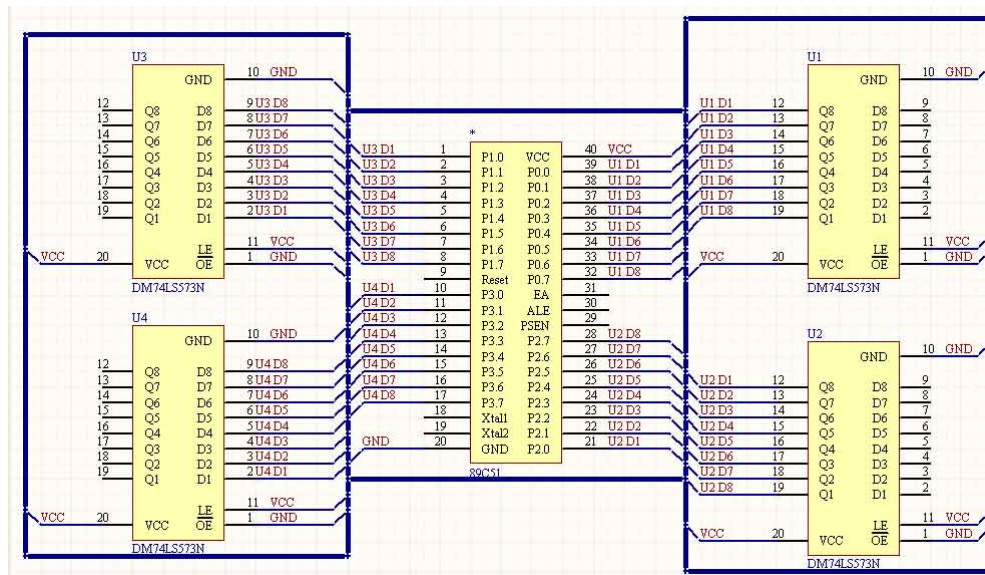
3.2.2. Rangkaian Penyangga

Rangkaian penyangga / *buffer* digunakan untuk menjembatani prosesor dengan komponen lain selain IC TTL. Prosesor dapat melakukan proses yang lebih baik bila berkomunikasi dengan sesama IC digital dibanding komponen lain. IC *buffer* ini akan berkomunikasi langsung ke transistor, *pull-up* atau yang lainnya dengan sifat pasif, yaitu selalu memaksa keadaan logika *lacth* selama inputnya tidak berubah. Pada prosesor, saat kondisi sedang komunikasi dengan komponen lain dapat mengakibatkan *error state*.

Penggunaan *buffer* dapat memudahkan perancangan desain, karena kemampuan arus pada prosesor dapat diabaikan. Semua IC TTL biasanya selalu didesain untuk dapat berkomunikasi secara sempurna dengan semua keluarga mikrokontroler.

IC 74HCT573 dipilih karena memiliki jumlah *buffer* 8 buah, sehingga sesuai dengan jumlah *bit* pada tiap *port* AT89C51. IC *buffer* ini memiliki kemampuan arus 2,6mA pada logika “1” dan 24mA pada logika “0”. Arus demikian sangat memadai untuk kontrol transistor berbeban relay. Maka untuk 4 *port*, dibutuhkan 4 buah IC 74HCT573.

IC 74HCT573 digunakan hanya fungsi *buffer*, maka pin *latch enable* (LE) dipasang selalu pada logika “1” dan pin *output enable* (OE) dipasang selalu pada logika “0”. Pada logika demikian, IC 74HCT573 akan selalu aktif dan mengikuti data dari *port inputnya*.



Gambar 3.14 *Buffer* Prosesor

3.3. PCB

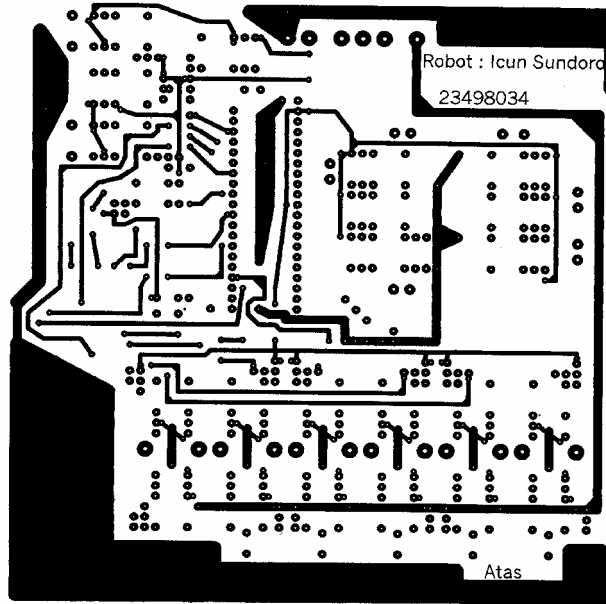
Desain awal dengan PCB cetak menggunakan sistim desain dua *layer*. Rangkaian ini dibuat dengan PCB Designer. Program ini memiliki karakteristik yaitu jalur / *layer* dibuat secara langsung tanpa memerlukan skematik.



Gambar 3.15 Desain Awal PCB

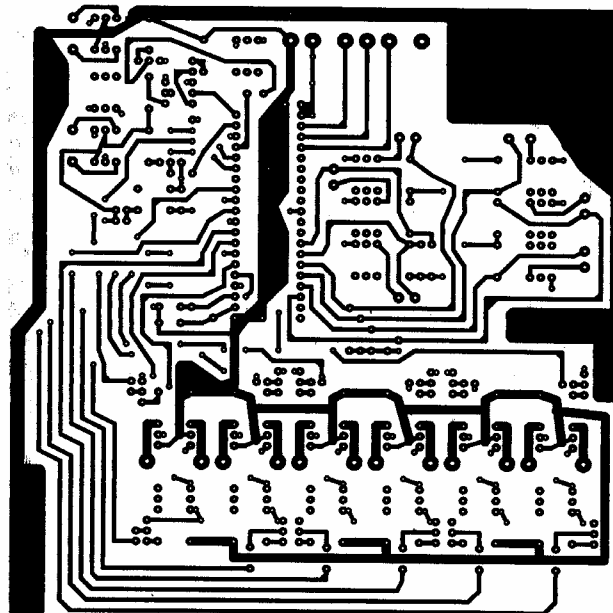
Jalur-jalur pada PCB dibuat menggunakan jalur minimal menggunakan 40mil supaya arus dapat lewat dengan baik. Jalur suply Vcc baik untuk rangkaian digital maupun motor dibuat sependek mungkin. Lebar jalur Vcc digital 80mil dan untuk motor 130mil. Jalur belok 90° diusahakan untuk diberi blok jalur pada siku untuk meminimalkan pengumpulan muatan pada jalur yang menyiku dan penurunan *speed data*. Untuk *ground*, jalur diblok mengelilingi PCB dan mengisi ruang-ruang kosong tanpa mengabaikan estetika desain.

File c:\pcb\ta2.pcb, Version count 46, Proof print, Solder-side, RED
Windows PCB Designer by Niche Software
Created 17:40 05 Nov 2003 (Last Saved at 10:48 07 Nov 2003)



Gambar 3.16 Desain *Layer* Komponen

File c:\pcb\ta2.pcb, Version count 46, Proof print, Component side, BLUE
Windows PCB Designer by Niche Software
Created 17:40 05 Nov 2003 (Last Saved at 10:48 07 Nov 2003)



Gambar 3.17 Desain *Layer* Solder

3.4. Catu Daya

Sistem catu daya harus memenuhi seluruh kebutuhan arus listrik yang diperlukan. Pada pin V_{cc} prosesor dipasang kapasitor kopling $\pm 100\text{nF}$, untuk mengurangi efek *riple* karena *cycle* prosesor yang bekerja dalam satuan nano detik.

- Pada tegangan jala-jala PLN adalah $220\text{ VAC} / 50\text{ Hz}$. (f)
- Bila tegangan sekunder adalah 12 Volt
- Arus beban adalah 300mA (I)

$$V_R = \frac{I}{fC} \quad (3.5)$$

$$C = \frac{\text{Arusbeban}}{V_R - f} \quad (V_R \text{ didapat melalui osiloskop})$$

$$C = \frac{300\text{mA}}{\pm 3\text{volt} \times 50}$$

$$C = 1999\ \mu\text{F} \cong 2000\ \mu\text{F}$$

Harga kapasitor yang sanggup menghaluskan *ripple* sebesar $2000\ \mu\text{F}$. Semakin besar nilai kapasitansi, akan semakin baik untuk menjaga tegangan DC. Kapasitor bernilai $6600\ \mu\text{F}$ (pararel 2 kapasitor $3300\ \mu\text{F}$) pada catu daya 5 volt digunakan juga untuk meminimalkan tegangan *ripple* akibat pengaktifan *relay* 5 volt yang menjadi satu catu daya dengan rangkaian prosesor. Pemasangan kapasitor $13200\ \mu\text{F}$ pada catu daya motor untuk meminimalkan tegangan drop karena beban motor berat (V_{cc2}). Kapasitor tersebut terdiri dari 4 buah kapasitor bernilai $3300\ \mu\text{F}$ dipararel. Kapasitor diatas bukanlah harga yang mutlak, karena catu daya juga telah dilengkapi dengan *regulator* tegangan.

Rata-rata arus total yang digunakan pada kondisi semua komponen aktif:

$$\text{Arus total} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I \text{ terakhir} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned}\text{Arus total} &= (10 \text{ relay} \times 42\text{mA}) + (\text{rangkaiannya prosesor } 300\text{mA}) + \\ &\quad (5 \text{ motor} \times 0,5\text{A}) + (5 \text{ selenoid} \times 300\text{mA}) \\ &= 4,72 \text{ A} \cong 5 \text{ A}\end{aligned}$$

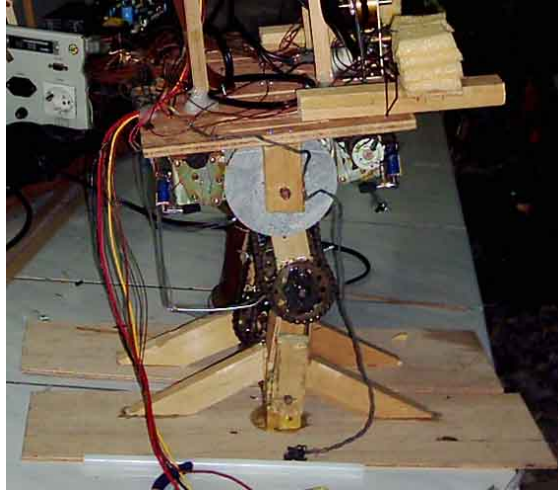
Perhitungan diatas pada asumsi penarikan arus maksimum yang memungkinkan. Pada kenyataannya semua komponen di atas tidak akan aktif secara bersamaan.

Sistem penggunaan catu daya ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu dengan menggunakan dua catu daya yang terpisah, dimana sistem kontrol (prosesor + *relay*) menggunakan catu daya sendiri sebesar 5 volt dan untuk sistem mekanik penggerak (motor) menggunakan catu daya sendiri, dimana catu daya mekanik ini besarnya dapat diatur antara 3 volt sampai 12 volt. Penggunaan catu daya ganda ini bertujuan untuk meminimalisasikan adanya gangguan daya dan *noise* akibat penggunaan sistem mekanik dan sistem elektrik (prosesor) sebagai kontrol.

Penggunaan trafo 5 Ampere untuk catu daya motor dan 500 mili Ampere untuk prosesor dan *relay* diasumsikan mencukupi untuk penggunaan kebutuhan arus tersebut. Perhitungan kasar diatas adalah kondisi pada saat semua bagian aktif, sedangkan pada saat robot bekerja, banyak bagian yang aktif secara bergantian.

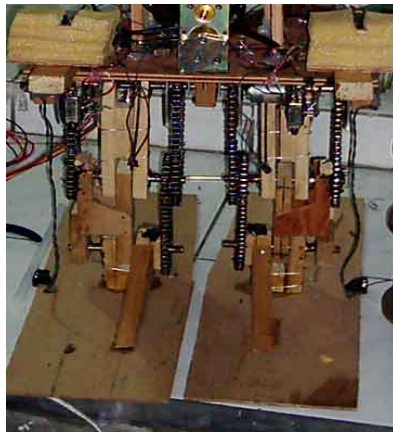
3.5. Fisik Robot

Robot ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:



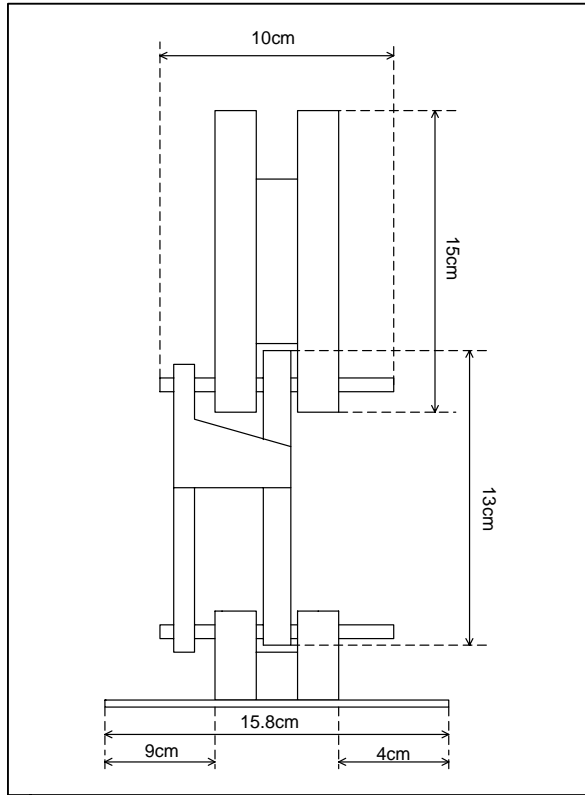
Gambar 3.18 Tampak Samping

| | |
|------------------------------|--------------------------------|
| Tinggi robot hingga pinggang | : 33 cm |
| Lebar robot | : 33 cm |
| Dimensi kayu rangka | : 3 x 1.5 cm |
| Dimensi papan pinggang | : 33 x 24 x 0.8 cm |
| Panjang paha | : 15 cm |
| Panjang betis | : 13 cm |
| Jarak antar kaki | : 11 cm pada kedua paha |
| Telapak kaki | : 48 x 15.8 cm tebal : 3 mm |

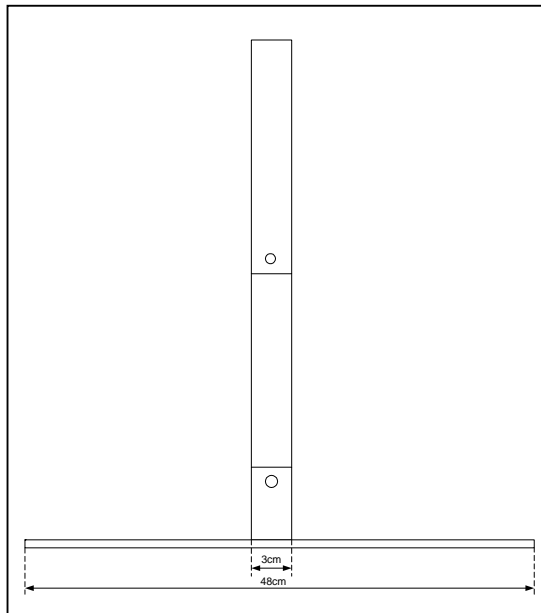


Gambar 3.19 Tampak Depan

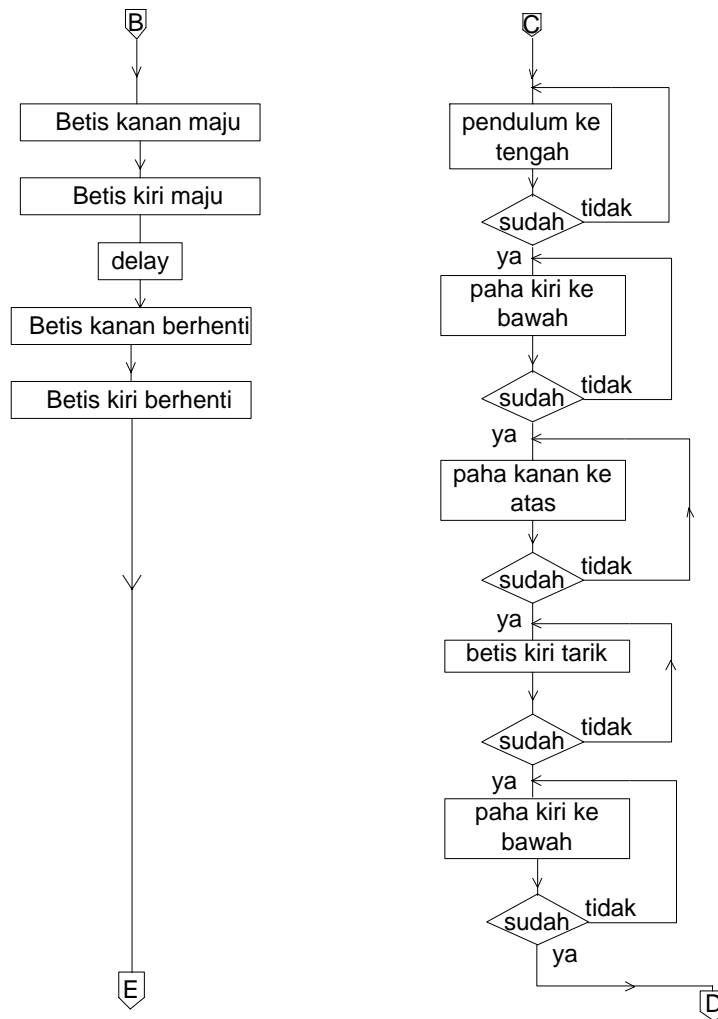
| | | |
|------------------------------------|------------|--|
| Titik tumpu kaki pada telapak | | : 9 cm dari tepi luar 24 cm dari ujung telapak |
| Penyangga kaki pada telapak | | : kayu rangka kemiringan $\pm 30^\circ$ |
| Besi pejal | | : \varnothing 8 mm engsel pada pangkal pinggang 33 cm engsel tiap persendian 10 cm |
| Motor | | : N-416023K motor DC 12 Volt, 5 jangkar |
| Transmisi motor (<i>gearbox</i>) | | : Servo motor tipe: ELB-10-F |
| Roda gigi | Pangkal | : aluminium 3 mm Gigi nomor 0.3 diameter 10 cm Diameter dalam 2.2 cm tempat <i>bearing</i> |
| | Tiap sendi | : gear kamprat sepeda motor Honda Grand Lubang diameter dalam 2.2 cm |
| Rantai | | : Rantai kamprat sepeda motor 4 tak |
| <i>Bearing / laker</i> | | : <i>Bearing</i> nomor D608 |



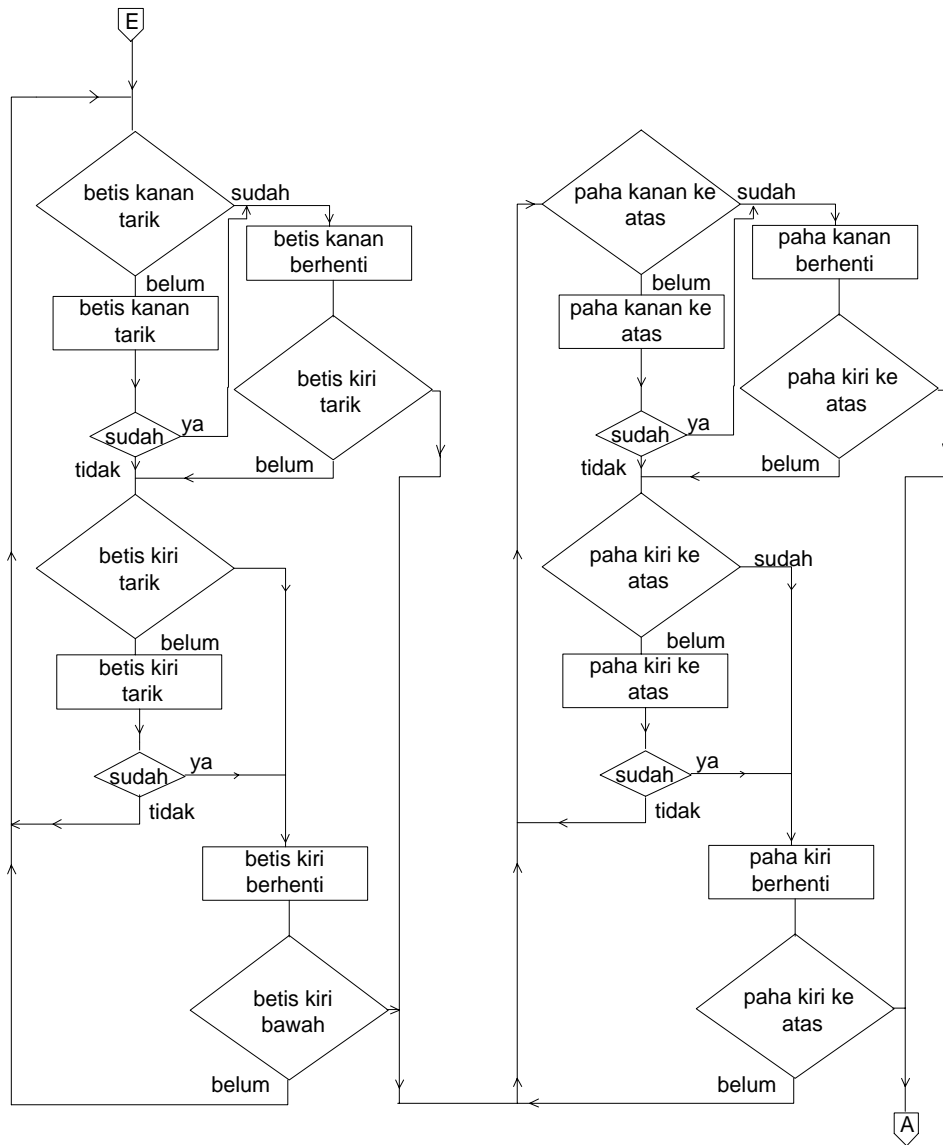
Gambar 3.20 Rangka Dasar Tampak Depan



Gambar 3.21 Rangka Dasar Tampak Samping



Gambar 3.22 Flow Chart Gerakan Robot (sambungan)



Gambar 3.22 Flow Chart Gerakan Robot (sambungan)