

SISTEM PENDULUM TERBALIK

PROPOSAL TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mengikuti Sidang Proposal
Tugas Akhir pada mata kuliah Tugas Akhir I (IME 184400-02)

Disusun Oleh:

Jonathan Chandra

(2015630028)



**PROGRAM STUDI SARJANA
TEKNIK ELEKTRO (KONSENTRASI MEKATRONIKA)
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2019**

SISTEM PENDULUM TERBALIK

PROPOSAL TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mengikuti Sidang Proposal pada
mata kuliah Tugas Akhir I (IME 184400-02)

Disusun Oleh:

Jonathan Chandra

(2015630028)

Dosen Pembimbing :

Dr. Ali Sadiyoko, M.T.

Tua Agustinus Tamba, Ph.D

Program Studi Sarjana

Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika)

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Katolik Parahyangan

2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Judul Proposal Tugas Akhir:

SISTEM PENDULUM TERBALIK

Peserta Tugas Akhir I:

Jonathan Chandra

(2015630028)

Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika), Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan di atas telah melaksanakan proses bimbingan pembuatan Proposal Tugas Akhir dan menyusun Proposal Tugas Akhir sesuai ketentuan yang telah ditetapkan serta dinyatakan layak untuk mengikuti Sidang Proposa.

Bandung,.....

Dosen Pembimbing:

Dr. Ali Sadiyoko, M.T.
Pembimbing I

Tua Agustinus Tamba, Ph.D
Pembimbing II

PERNYATAAN TIDAK MENCONTEK ATAU MELAKUKAN TINDAKAN PLAGIAT

Saya yang bertandatangan dibawah ini,

JONATHAN CHANDRA

Dengan ini menyatakan bahwa Proposal Tugas Akhir dengan judul:

”SISTEM PENDULUM TERBALIK”

adalah hasil pekerjaan Saya. Seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini Saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan maka Saya bersedia menanggung sanksi yang akan dikenakan kepada Saya.

Bandung,.....

Jonathan Chandra

NPM: 2015630028

Abstrak

Abstrak memuat secara komprehensif (singkat, padat dan jelas) masalah/topik yang diangkat dalam penelitian Tugas Akhir serta usulan disain/solusi yang diajukan untuk menyelesaikan masalah/topik tersebut. Abstrak menjelaskan masalah yang diteliti, latar belakangnya, metode penyelesaian yang digunakan, perancangan alat atau sistem yang diusulkan serta kajian terhadap rancangan atau sistem mekatronika yang telah dibuat. Abstrak juga harus dengan jelas menyatakan dan memuat sumbangan/kontribusi hasil Tugas Akhir terhadap salah satu pihak (namun tidak terbatas): masyarakat, jurusan Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) UNPAR, entitas usaha/bisnis tertentu dan/atau ilmu pengetahuan. Semua hal ini harus dapat disampaikan dalam 1 halaman (maksimal 300 kata).

Template ini dibuat oleh Dr. Ir. Ali Sadiyoko, M.T. untuk membakukan format penulisan Proposal Tugas Akhir di Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika), Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan.

Kata kunci:

otomatis, lini produksi, transportasi

Kata Pengantar

Kata Pengantar adalah salah satu bagian pada sebuah dokumen (buku, laporan atau dokumen lain) yang berisi ungkapan rasa syukur penulis, ucapan-ucapan terima kasih, tujuan dan harapan penulis terhadap karyanya serta kritik atau saran yang membangun. Contoh bagian awal Kata Pengantar adalah sebagai berikut:

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena dengan rahmat-Nya lah penyusunan Proposal Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Proposal Tugas Akhir yang berjudul "Sistem Pendulum Terbalik" disusun, sebagai syarat untuk mengikuti Sidang Proposal pada mata kuliah Tugas Akhir I (IME 184400-02) pada Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) Universitas Katolik Parahyangan.

Kata pengantar terdiri atas tiga bagian utama yaitu pembukaan, isi, dan penutup, yaitu:

1. Pembukaan kata pengantar biasanya berisi ucapan rasa syukur penulis atas selesainya penulisan. Diawali dengan rasa syukur dan pujian kepada Tuhan Yang Maha Esa, dilanjutkan kepada tim pembimbing, keluarga, sahabat, dan orang-orang yang membantu dalam proses penyusunan karya tulis.
2. Isi kata pengantar berisi gambaran umum isi dari karya tulis yang disusun. Biasanya dimulai dengan menjelaskan permasalahan atau latar belakang lalu dilanjutkan dengan solusi yang nantinya akan dibahas dalam karya tulis.
3. Bagian penutup kata pengantar biasanya berisi permohonan maaf dan harapan penulis tentang karya tulis yang telah dibuat. Setiap karya selalu ada kekurangannya, maka permohonan maaf disampaikan atas kekurangan dalam menyusun karya tulis. Penulis juga sebaiknya menuliskan harapan tentang manfaat karya tulis yang dibuat serta kritik dari pembaca untuk perbaikan penulisan berikutnya

Contoh penulisan ucapan terima kasih adalah sebagai berikut :

Dalam melakukan penelitian ini, penulis mendapat banyak bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, diantaranya:

- Dr. Ali Sadiyoko, M.T. dan Tua Agustinus Tamba, Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir di Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) Universitas Katolik Parahyangan.
- Bapak dan ibu *isikan dengan nama orang tua Anda*, sebagai orangtua penulis. Terima kasih atas semua kasih sayang, perhatian dan dorongan kepada penulis.
- Nama rekan yang telah memberikan dorongan, perhatian serta diskusi yang sangat bermanfaat saat mengerjakan Tugas Akhir ini.
- Rekan-rekan di Lab A1,

Kata Pengantar ditulis dengan menggunakan Bahasa Indonesia formal dan sesuai dengan kaidah penulisan Bahasa Indonesia yang baik dan benar. Pada bagian ucapan terima kasih, hindari penggunaan kata-kata yang berkonotasi negatif meskipun itu adalah nama panggilan akrab kepada teman Anda. Gunakan pula ejaan nama yang benar. Kata pengantar maksimal 2 halaman.

Terima kasih atas pengertian dan kerja sama Anda. Besar harapan kami, Proposal Tugas Akhir Anda akan sangat berguna bagi perkembangan Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) Universitas Katolik Parahyangan pada khususnya serta khazanah keilmuan Teknik Mekatronika pada umumnya.

Daftar Isi

Abstrak	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iv
Daftar Tabel	vi
Daftar Gambar	vii
Daftar Simbol	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah.	2
1.3 Batasan Masalah dan Asumsi	2
1.4 Tujuan Tugas Akhir	2
1.5 Manfaat Tugas Akhir	3
1.6 Metodologi Tugas Akhir	3
1.7 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Hukum-hukum Rangkaian Listrik	5
2.1.1 Hukum Ohm	6
2.1.2 Hukum Kirchoff	6
2.2 Menyisipkan Persamaan	7
2.2.1 Membuat Persamaan (<i>Equation</i>)	7
2.2.2 Menuliskan Matrix	8
2.3 Menuliskan Referensi dan Sitasi	8
2.4 Menampilkan Gambar	9
2.4.1 Gambar Tipe Satu	9
2.4.2 Gambar Tipe Dua	10
2.4.3 Gambar Tipe Tiga	10
2.4.4 Gambar Tipe Empat	11

2.5	Menuliskan Tabel	11
BAB 3	PERANCANGAN SISTEM	13
3.1	Spesifikasi Sistem/Disain	13
3.2	Rincian Disain	14
3.2.1	Komponen Utama	14
3.2.2	Komponen lebih rinci	14
3.3	Rencana Pembuatan	14
3.4	Rencana Pengujian Sistem	15
3.5	Rincian Biaya	15
Daftar Pustaka		17
Lampiran A.	Beberapa Teori Pendukung	19
A.1	<i>Graph Theory Notations</i>	19
Lampiran B.	Listing dan Skema Sistem	21
B.1	Listing Program Sistem XYZ	21
B.2	Layout Rangkaian Listrik Sistem XYZ	22
B.3	Desain Mekanik Sistem XYZ	23
B.4	Diagram Grumman Sailboat	24

Daftar Tabel

Tabel 2.1	Contoh pertama	11
Tabel 3.1	Contoh kedua	13

Daftar Gambar

Gambar 1.1	Ilustrasi Sistem Pendulum Terbalik Linear	1
Gambar 2.1	Ilustrasi KCL pada <i>node</i> .	7
Gambar 2.2	Tanda 'cite' pada mesin pencari Google Scholar.	9
Gambar 2.3	<i>Icon</i> BibTeX pada hasil 'cite' pada mesin pencari Google Scholar.	9
Gambar 2.4	Tampak muka robot Aldebaran Nao.	10
Gambar 2.5	Nao kiri	10
Gambar 2.6	Nao kanan.	10
Gambar 2.7	Variasi warna dari robot Nao. (a) adalah Nao merah dan (b) adalah Nao biru. Kedua robot ini dibuat oleh Aldebaran Robotics yang berpusat di Perancis.	11
Gambar 2.8	Beberapa gambar robot Nao. (a) dan (b) adalah Nao merah dan Nao berdua; (c) dan (d) adalah Nao biru dan Nao merah di dalam lingkaran; (e) dan (f) adalah Nao biru dan Nao merah; (g) dan (h) adalah Nao berdua dan Nao merah di dalam lingkaran.	12
Gambar 3.1	Contoh Gantt Chart.	15
Gambar B.1	Rangkaian elektronik XYZ.	22
Gambar B.2	Komponen A.	23
Gambar B.3	Skema Grumman Sailboat.	24

Daftar Singkatan

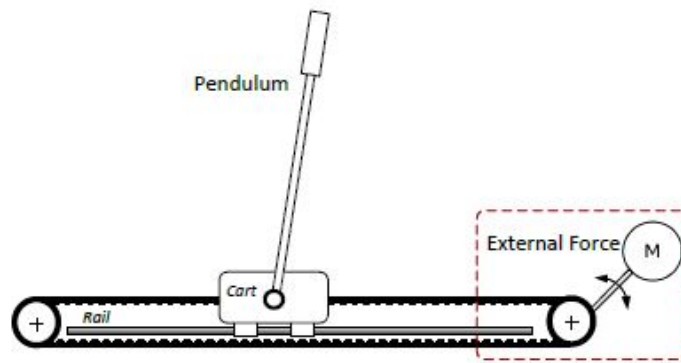
SPT	Sistem Pendulum Terbalik
-----	--------------------------

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sistem pendulum terbalik adalah sistem yang sering digunakan untuk mendemonstrasikan dinamika sistem dan implementasi sistem kontrol [1]. Sistem pendulum terbalik dapat digunakan sebagai salah satu *benchmark* pada penerapan teori kontrol. *Benchmark* dari teori kontrol yang dimaksud adalah penggunaan model yang telah diturunkan dan melakukan pengukuran validasi terhadap efisiensi serta performansi dari metode kontrol yang diimplementasikan pada sistem yang digunakan [2]. Stabilisasi dari batang pada posisi tegak lurus merupakan salah satu *benchmark* dari teori kontrol [3].



Gambar 1.1. Ilustrasi Sistem Pendulum Terbalik Linear

Sistem pendulum terbalik sendiri adalah sistem non-linear yang dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu linear dan rotari [3]. Sistem pendulum terbalik linear terdiri dari suatu batang yang diletakkan pada sebuah kereta (*cart*) seperti pada gambar 1.1. Kereta (*cart*) akan digerakkan menggunakan motor yang akan dikendalikan sehingga menghasilkan gerakan ayunan dari batang yang berfungsi untuk menjaga batang dapat mencapai posisi vertikal terhadap bidang horizontal [4].

Dalam beberapa tahun terakhir, terdapat beberapa pengaplikasian dari sistem pendulum terbalik, seperti *Two-Wheeled Self-Balancing Robot* dan kontrol *Rocket Thruster* saat lepas landas [5–7]. Metode kontrol pada sistem pendulum terbalik yang dapat digunakan adalah kontrol LQR (*Linear Quadratic Regulator*), Logika Fuzzy, Jaringan Neural dan Kontrol PID. [5, 7–9]

1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah.

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah di atas, dapat diidentifikasi masalah untuk menyelesaikan penelitian sistem pendulum terbalik adalah:

1. Apa saja komponen dari sistem pendulum terbalik?
2. Apa saja komponen dari sistem pendulum terbalik yang perlu dimodelkan?
3. Bagaimana cara memodelkan sistem pendulum terbalik?
4. Apa Metode kontrol yang tepat untuk mengendalikan motor agar dapat digunakan simpangan maksimal dari sistem pendulum terbalik yaitu $\theta = 180^\circ$?

1.3 Batasan Masalah dan Asumsi

Agar penelitian Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik, perlu ada batasan pada masalah utama di atas. Batasan masalah tersebut antara lain:

1. Sistem yang akan dibangun masih berupa rancangan purwarupa (prototype).
2. Sistem pendulum terbalik akan menggunakan satu buah batang.
3. Sistem akan dibangun dengan basis Arduino atau Raspberry Pi.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah membuat model dan mengimplementasikan metode kontrol umpan balik pada sistem pendulum terbalik dan membuat prototipe dari sistem, serta menampilkan performa dari sistem pendulum terbalik menggunakan suatu metode kontrol untuk dapat mempertahankan posisi dari batang yang diinginkan (tegak Lurus terhadap bidang horizontal) dengan sudut simpangan $\theta=180^\circ$.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Berikut adalah manfaat dari penelitian sistem pendulum terbalik untuk beberapa pihak, antara lain:

- Laboratorium Kontrol yang ingin memperlihatkan implementasi teori kontrol pada suatu sistem (pada kasus ini Sistem Pendulum Terbalik).
- Pembaca yang ingin mempelajari pemanfaatan teori kontrol pada sistem pendulum terbalik.
- Penelitian pribadi, untuk menambah pengetahuan dan pengalaman menyelesaikan masalah nyata di lapangan.
- Pengembangan ilmu pengetahuan, terutama pada bidang sistem kontrol, dan sistem pengukuran dan akuisisi data.

1.6 Metodologi Tugas Akhir

Metodologi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu metode eksperimen yang diawali dengan studi literatur terlebih dahulu. Mempelajari topik penelitian yang akan dikerjakan, mencari solusi dari masalah, mempelajari seluruh komponen yang akan digunakan, dan mempelajari cara memodelkan dan mengendalikan sistem pendulum terbalik.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan Proposal Tugas Akhir ini dibagi menjadi 3 bab, yakni sebagai berikut:

1. **Bab 1 Pendahuluan.** Dalam bab ini dijelaskan mengenai latar belakang masalah, identifikasi dan perumusan masalah, batasan masalah dan asumsi, tujuan Tugas Akhir, manfaat Tugas Akhir, metodologi Tugas Akhir serta sistematika penulisan Proposal Tugas Akhir.
2. **Bab 2 Tinjauan Pustaka.** Bab ini berisi teori-teori yang berhubungan dengan pemecahan masalah dan dibutuhkan dalam pengolahan data serta analisis. Teori-teori dasar ini diperoleh melalui proses telaah pustaka yang intensif pada sejumlah pustaka yang direkomendasikan oleh dosen pembimbing, seperti misalnya: teori rangkaian listrik, teori sistem digital yang sesuai, teori tentang pengendali (mikroprosesor, arduino, raspberry Pi atau PLC), teori pengukuran dan akuisisi data, cara kerja sensor yang digunakan dan aktuator yang dibutuhkan dalam rancangan

sistem mekatronika.

3. **Bab 3 Perancangan Sistem.** Dalam bab ini dipaparkan antara lain:

- (a) Kriteria/ spesifikasi produk/sistem yang Anda usulkan.
- (b) Usulan disain untuk menyelesaikan masalah yang telah dipaparkan di bab sebelumnya (Bab 1). Pada bagian ini, usulan disain dituliskan hingga detil.
- (c) Proses/prosedur pembuatan disain produk/sistem.
- (d) Rencana pengujian produk/sistem.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori yang berhubungan dengan pemecahan masalah dan dibutuhkan dalam pengolahan data serta analisis pada penelitian Tugas Akhir ini. Teori-teori dasar ini diperoleh melalui proses telaah pustaka yang intensif pada sejumlah pustaka yang direkomendasikan oleh dosen pembimbing, seperti misalnya: teori rangkaian listrik, teori sistem digital yang sesuai, teori tentang pengendali (mikroprosesor, Arduino, Raspberry Pi atau PLC), teori pengukuran dan akuisisi data, cara kerja sensor yang digunakan dan aktuator yang dibutuhkan dalam rancangan sistem mekatronika.

Tinjauan literatur harus dapat meringkas apa yang sudah diketahui hingga saat ini (*state of the art*), merinci konsep-konsep kunci dan faktor-faktor utama atau parameter dan hubungan yang mendasarinya, menggambarkan setiap pendekatan yang ada yang saling melengkapi, menyebutkan ketidakkonsistenan atau kekurangan dalam karya yang diterbitkan, mengidentifikasi hasil yang dilaporkan yang tidak meyakinkan atau bertentangan, dan memberikan alasan yang kuat untuk melakukan penelitian lebih lanjut.

Hasil penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian yang sedang dilakukan juga diletakkan pada bab Tinjauan Pustaka. Bab ini diletakkan sesudah Bab Pendahuluan dan disebut sebagai Bab 2. Bagian ini merupakan perantara antara Judul Bab dan Judul sub-bab pertama; bagian ini berisikan ringkasan dari Bab 2. Sebagai bagian pengantar untuk Bab 2, ceritakan apa yang dituliskan dalam Bab 2 ini, maksimal $\frac{1}{4}$ halaman.

Berikut ini contoh teori yang biasa digunakan pada penelitian di Teknik Mekatronika.

2.1 Hukum-hukum Rangkaian Listrik

Beberapa hukum utama yang harus diketahui oleh seorang calon sarjana Teknik Mekatronika antara lain adalah:

1. Hukum Ohm
2. Hukum Kirchhoff
3. dst ...

2.1.1 Hukum Ohm

Salah satu hukum utama yang harus diketahui oleh seorang calon sarjana Teknik Mekatronika adalah hukum Ohm. Pada tahun 1827, Georg Simon Ohm (1789-1854), seorang ahli fisika Jerman, menemukan hubungan langsung yang bersifat proporsional antara tegangan yang muncul di kedua terminal sebuah resistor dengan arus yang melaluinya. Hubungan inilah yang sekarang dikenal sebagai Hukum Ohm, yang secara matematis dapat dituliskan sebagai:

$$v = iR \quad (2.1)$$

dst ...

2.1.2 Hukum Kirchhoff

Ketika rangkaian elektronika bertambah rumit, maka Hukum Ohm tidak mencukupi lagi untuk melakukan analisis. Perlu hukum lain untuk melengkapi analisis. Pada tahun 1847, seorang fisikawan Jerman bernama Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) menerbitkan 2 buah hukum untuk membantu analisis, yang dikenal sebagai Hukum Arus Kirchhoff (*Kirchhoff's Current Law*, KCL) dan Hukum Tegangan Kirchhoff (*Kirchhoff's Voltage Law*, KVL).

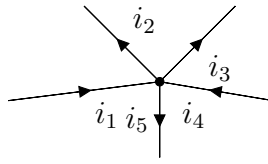
Hukum pertama Kirchhoff (KCL) menyatakan:

Penjumlahan arus yang menuju sebuah *node* (atau sebuah lingkungan tertutup) adalah sama dengan nol. [?]

Secara matematis dapat dituliskan sebagai:

$$\sum_{n=1}^N i_n = 0 \quad (2.2)$$

Ilustrasi untuk hukum KCL ini dapat dilihat pada Gambar 2.1. Persamaan



Gambar 2.1. Ilustrasi KCL pada *node*.

yang sesuai bagi ilustrasi pada Gambar 2.1 adalah:

$$\begin{aligned} i_1 - i_2 - i_3 + i_4 - i_5 &= 0 \\ i_1 + i_3 &= i_2 + i_4 + i_5. \end{aligned} \tag{2.3}$$

2.2 Menyisipkan Persamaan

Beberapa contoh cara menyisipkan persamaan.

2.2.1 Membuat Persamaan (*Equation*)

Untuk membuat persamaan di baris yang sama, dapat menggunakan tanda 'dollar' (\$) dan dilanjutkan dengan persamaannya sendiri. Contoh, persamaan berikut ini: $\theta(\vec{r}_1, \dots, \vec{r}_N)$ yang akan menghasilkan $\theta(\vec{r}_1, \dots, \vec{r}_N)$. Untuk menuliskan karakter khusus seperti huruf ö dalam kata "Schrödinger", dapat menggunakan cara penulisan simbol yang umum berlaku di lingkungan \LaTeX . Anda dapat mencari di internet dengan kata kunci "latex math symbol". Salah satu dokumen tentang simbol matematika di \LaTeX dapat diperoleh pada link berikut: <https://reu.dimacs.rutgers.edu/Symbols.pdf>.

Untuk menuliskan persamaan yang berdiri sendiri dan memiliki nomer urut persamaan, gunakan lingkungan *equation*, seperti berikut:

```
\begin{equation}
\begin{split}
i_1-i_2-i_3+i_4-i_5=0 \\\
i_1+i_3=i_2+i_4+i_5.
\end{split}
\end{equation}
```

Hasilnya akan menjadi seperti berikut:

$$\begin{aligned} i_1 - i_2 - i_3 + i_4 - i_5 &= 0 \\ i_1 + i_3 &= i_2 + i_4 + i_5. \end{aligned} \tag{2.4}$$

2.2.2 Menuliskan Matrix

Contoh berikut ini adalah cara penulisan matrix, dengan ukuran huruf dkecilkan hingga ukuran `\footnotesize`:

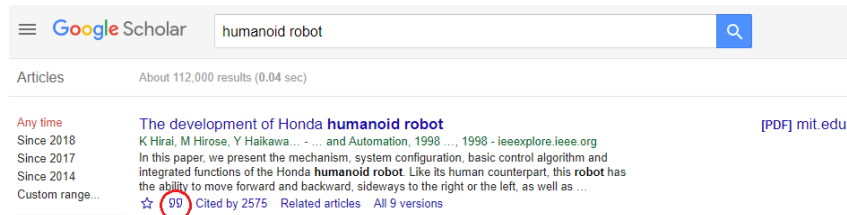
$$\Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots \mathbf{r}_N) = \frac{1}{\sqrt{N!}} \begin{vmatrix} \phi_1(\mathbf{r}_1) & \phi_2(\mathbf{r}_1) & \cdots & \phi_N(\mathbf{r}_1) \\ \phi_1(\mathbf{r}_2) & \phi_2(\mathbf{r}_2) & \cdots & \phi_N(\mathbf{r}_2) \\ \phi_1(\mathbf{r}_3) & \phi_2(\mathbf{r}_3) & \cdots & \phi_N(\mathbf{r}_3) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_1(\mathbf{r}_N) & \phi_2(\mathbf{r}_N) & \cdots & \phi_N(\mathbf{r}_N) \end{vmatrix} \tag{2.5}$$

2.3 Menuliskan Referensi dan Sitasi

Jika Anda menuliskan sebuah kutipan dari sebuah referensi, Anda harus menuliskan dari mana kutipan tersebut diambil/dikutip. Gunakan perintah `\cite{bib_id}`, setelah kutipan tersebut. Proposal Tugas Akhir pada Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) UNPAR menggunakan standar sitasi dan penulisan referensi dari IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) [?]. Dengan menggunakan standar *style* IEEE (`ieeetr`), Anda dapat lebih praktis menuliskan sumber sitasi, misalkan [?,?]. Jika lebih banyak dari 2 sumber, *style* ini dapat dituliskan [?,?,?,?]? dan sebagainya.

Penulisan referensi pada Daftar Pustaka tidak diurutkan berdasar alfabet, namun berdasar urutan kemunculannya di bagian teks utama dokumen ini. Gunakan mesin pencari Google Scholar untuk mencari referensi dan gunakan fasilitas '*cite*' (**Gambar 2.2**) dan BibTeX (**Gambar 2.3**) yang ada.

Catatan: sitasi pada subbab ini hanya contoh, tidak menunjukkan topik yang sebenarnya.



Gambar 2.2. Tanda 'cite' pada mesin pencari Google Scholar.



Gambar 2.3. Icon BibTeX pada hasil 'cite' pada mesin pencari Google Scholar.

2.4 Menampilkan Gambar

Untuk gambar yang digunakan pada Proposal Tugas Akhir ini bisa menggunakan tipe apa aja, namun disarankan menggunakan file gambar dengan ekstensi .eps. File gambar dengan ekstensi .eps memiliki resolusi yang baik dan halus. Anda boleh juga menggunakan file gambar dengan ekstensi .png, yang memiliki fitur transparansi. Jika Anda menggunakan L^AT_EX, disarankan untuk tidak menggunakan file gambar dengan ekstensi .tif atau gif.

2.4.1 Gambar Tipe Satu

Satu gambar dan terletak di tengah. dapat dilihat pada **Gambar 2.4**

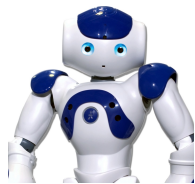


Gambar 2.4. Tampak muka robot Aldebaran Nao.

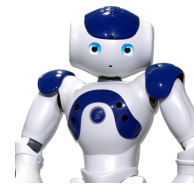
Cara melakukan sitasi gambar adalah seperti ini: pada **Gambar 2.4**, dengan cara men-*cite* di *caption*-nya.

2.4.2 Gambar Tipe Dua

Dua gambar dengan dua *caption* terpisah, dapat dilihat pada **Gambar 2.5** dan **Gambar 2.6**



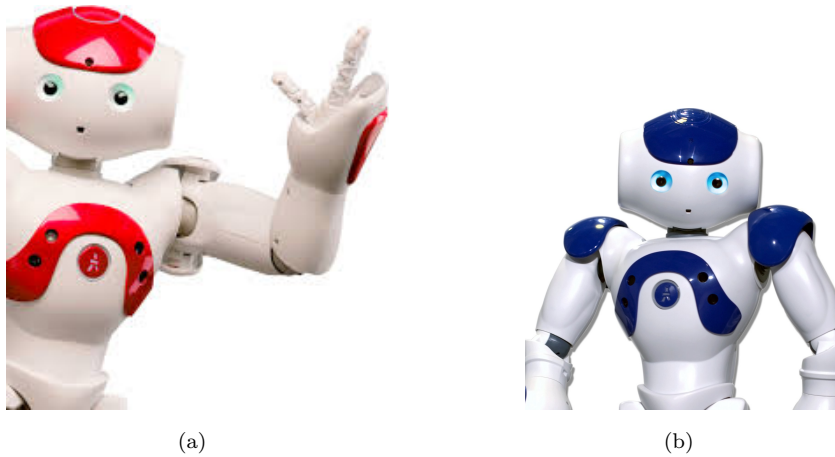
Gambar 2.5. Nao kiri



Gambar 2.6. Nao kanan.

2.4.3 Gambar Tipe Tiga

Contoh dua gambar dengan satu *caption*, dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7. Variasi warna dari robot Nao. (a) adalah Nao merah dan (b) adalah Nao biru. Kedua robot ini dibuat oleh Aldebaran Robotics yang berpusat di Perancis.

2.4.4 Gambar Tipe Empat

Satu *caption* dengan banyak gambar, dapat dilihat pada **Gambar 2.8**. *Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.*

2.5 Menuliskan Tabel

Tabel pada Proposal Tugas Akhir ini dituliskan dengan format rata-tengah (*centered alignment*) dan penulisan *caption* di atas tabel. Contoh penulisan tabel dapat dilihat pada **Tabel 2.1** berikut ini.

Tabel 2.1. Contoh pertama

<i>Title</i> ₁	<i>title</i> _{DUA}	Title 3	Title 4
1647	1.97	0.68	1.90
2301	2.92	1.06	2.75
2969	3.23	1.16	3.78
4625	6.72	1.87	5.59



Gambar 2.8. Beberapa gambar robot Nao. (a) dan (b) adalah Nao merah dan Nao berdua; (c) dan (d) adalah Nao biru dan Nao merah di dalam lingkaran; (e) dan (f) adalah Nao biru dan Nao merah; (g) dan (h) adalah Nao berdua dan Nao merah di dalam lingkaran.

Tabel 2.1 di atas adalah tabel random. *Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.*

BAB 3

PERANCANGAN SISTEM

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

3.1 Spesifikasi Sistem/Disain

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Tabel 3.1. Contoh kedua

<i>Title</i> ₁	<i>title</i> _{DUA}	Title 3	Title 4
1647	1.97	0.68	1.90
2301	2.92	1.06	2.75
2969	3.23	1.16	3.78
4625	6.72	1.87	5.59

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

3.2 Rincian Disain

3.2.1 Komponen Utama

Pada bagian ini, Anda tampilkan disain/sistem utama Anda. Tampilkan rancangan bagian/komponen yang penting saja. Bagian/ skema lebih rinci dapat Anda letakkan pada bagian Lampiran.

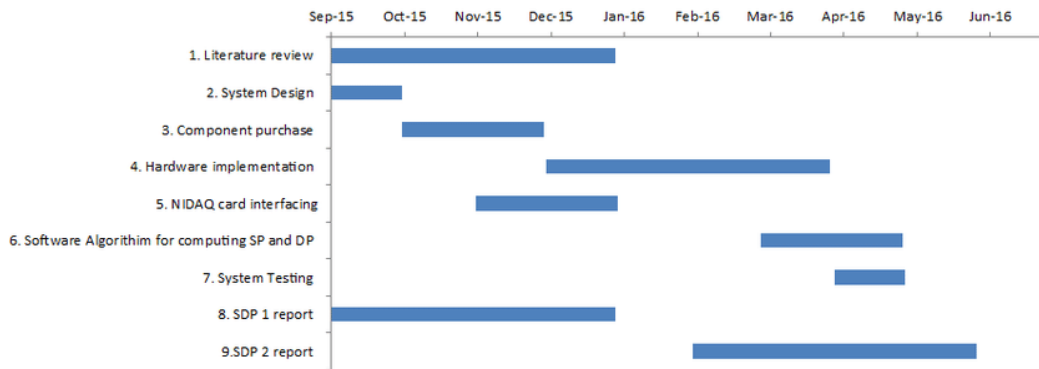
3.2.2 Komponen lebih rinci

Bagan atau skema disain yang berukuran lebih dari ukuran kertas A4 dapat dicetak menggunakan kertas berukuran lebih besar dari A4. Pada saat dikumpulkan, skema ini harus dilipat menjadi berukuran A4. Perhatikan juga bahwa ada ukuran *margin* kiri untuk dokumen ini, sebesar 4 cm. Letakkan gambar skema ini pada bagian Lampiran.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

3.3 Rencana Pembuatan

Dalam bagian ini dijabarkan prosedur/rencana kerja/urutan pembuatan dari sistem/disain yang diusulkan. Tampilkan pula jadwal rencana pembuatan disain Anda, menggunakan diagram Gantt Chart. Tambahkan beberapa titik



Gambar 3.1. Contoh Gantt Chart.

capstone (titik capaian) pada rencana Anda. *Capstone* ini penting saat Anda mulai mengerjakan disain, saat Tugas Akhir II nantinya. Hal ini akan membiasakan Anda untuk memenuhi target capaian tertentu pada suatu proses.

Bila Gantt Chart Anda terlalu panjang, maka Anda dapat meletakkan Gantt Chart ini pada bagian Lampiran.

3.4 Rencana Pengujian Sistem

Pada bagian ini, dijabarkan tentang bagaimana Anda akan menguji performa dari disain Anda. Karena hasil disain/simulasi/produk Anda merupakan jawaban dari sebuah masalah, maka perhatikan variabel/ parameter disain awal yang ada pada masalah awal. Contoh dari hal ini antara lain: ukuran/dimensi alat yang dihasilkan, kecepatan perhitungan (pada kasus simulasi), ketepatan mencapai tujuan (akurasi) dan lain sebagainya.

3.5 Rincian Biaya

Jika hasil akhir Tugas Akhir Anda berupa sebuah produk yang memerlukan biaya pembuatan atau pembelian material, maka Anda dapat meletakkan tabel kebutuhan biaya pada bagian ini. Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) UNPAR tidak menanggung biaya pembelian material dan proses pemesinan dari disain Anda. Oleh karena itu, sesuaikan disain Anda dengan kemampuan finansial Anda. Jika disain Anda memang *'marketable'*, maka disarankan untuk mencari *'investor'* untuk proyek Anda. Walau begitu, Program Studi tetap dapat menyediakan/ mengadakan **seba-**

gian komponen yang diperlukan, sepanjang komponen tersebut memang telah dianggarkan dalam Rencana Anggaran Program Studi.

Hak cipta dan hasil produk Tugas Akhir sepenuhnya menjadi milik Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) Universitas Katolik Parahyangan.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Daftar Pustaka

- [1] K. H. Lundberg and T. W. Barton, “History of inverted-pendulum systems,” *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 42, no. 24, pp. 131–135, 2010.
- [2] O. Boubaker, “The inverted pendulum: A fundamental benchmark in control theory and robotics,” pp. 1–6, 2012.
- [3] S. Jadlovska and J. Sarnovsky, “Swingup and stabilizing control of classical and rotary inverted pendulum systems,” pp. 38–41, 2012.
- [4] P. Bakaráč, M. Kalúz, *et al.*, “Design and development of a low-cost inverted pendulum for control education,” pp. 398–403, 2017.
- [5] C. W. Anderson, “Learning to control an inverted pendulum using neural networks,” *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 9, no. 3, pp. 31–37, 1989.
- [6] R. C. Ooi, “Balancing a two-wheeled autonomous robot,” *University of Western Australia*, vol. 3, 2003.
- [7] H. Hellman and H. Sunnerman, “Two-wheeled self-balancing robot: Design and control based on the concept of an inverted pendulum,” 2015.
- [8] P. Kumar, O. Mehrotra, and J. Mahto, “Controller design of inverted pendulum using pole placement and lqr,” *International Journal Of Research in Engineering and Technology (IJRET)*, vol. 1, pp. 532–538, 2012.
- [9] A. N. K. Nasir, M. A. Ahmad, and M. F. Rahmat, “Performance comparison between lqr and pid controllers for an inverted pendulum system,” in *AIP Conference Proceedings*, vol. 1052, pp. 124–128, AIP, 2008.

Lampiran A

1. *Graph Theory Notations*
2. *Social Force Model*

Lampiran A

Beberapa Teori Pendukung

A.1 *Graph Theory Notations*

It is natural to model information exchange among vehicles by directed or undirected graphs.¹ Suppose that a team consists of p vehicles. A *directed graph* is a pair $(\mathcal{V}_p, \mathcal{E}_p)$, where $\mathcal{V}_p = 1, \dots, p$ is a finite nonempty *node* set and $\mathcal{E}_p \subseteq \mathcal{V}_p \times \mathcal{V}_p$ is an *edge* set of ordered pairs of nodes, called *edges*. The edge (i, j) in the edge set of a directed graph denotes that vehicle j can obtain information from vehicle i , but not necessarily *vice versa*. Self-edges (i, i) are not allowed unless otherwise indicated. For the edge (i, j) , i is the *parent node* and j is the *child node*. In contrast to a directed graph, the pairs of nodes in an *undirected graph* are unordered, where the edge (i, j) denotes that vehicles i and j can obtain information from each other. Note that an undirected graph can be viewed as a special case of a directed graph, where an edge (i, j) in the undirected graph corresponds to edges (i, j) and (j, i) in the directed graph. If an edge $(i, j) \in \mathcal{E}_p$, then node i is a *neighbor* of node j . The set of neighbors of node i is denoted as \mathcal{N}_i . A *weighted graph* associates a weight with every edge in the graph. In this book, all graphs are weighted. The *union* of a collection of graphs is a graph whose node and edge sets are the unions of the node and edge sets of the graphs in the collection.

Lampiran B

1. *Listing* Program
2. *Layout* Rangkaian Listrik Sistem XYZ
3. Desain Mekanik Sistem XYZ
4. Diagram Skema Grumman Sailboat

Lampiran B

Listing dan Skema Sistem

B.1 Listing Program Sistem XYZ

```
void setup() {
  // Open serial communications and wait for port to open:
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) {
    ; // wait for serial port to connect.
    Needed for native USB port only
  }

  Serial.print("Initializing SD card...");

  if (!SD.begin(4)) {
    Serial.println("initialization failed!");
    while (1);
  }
  Serial.println("initialization done.");

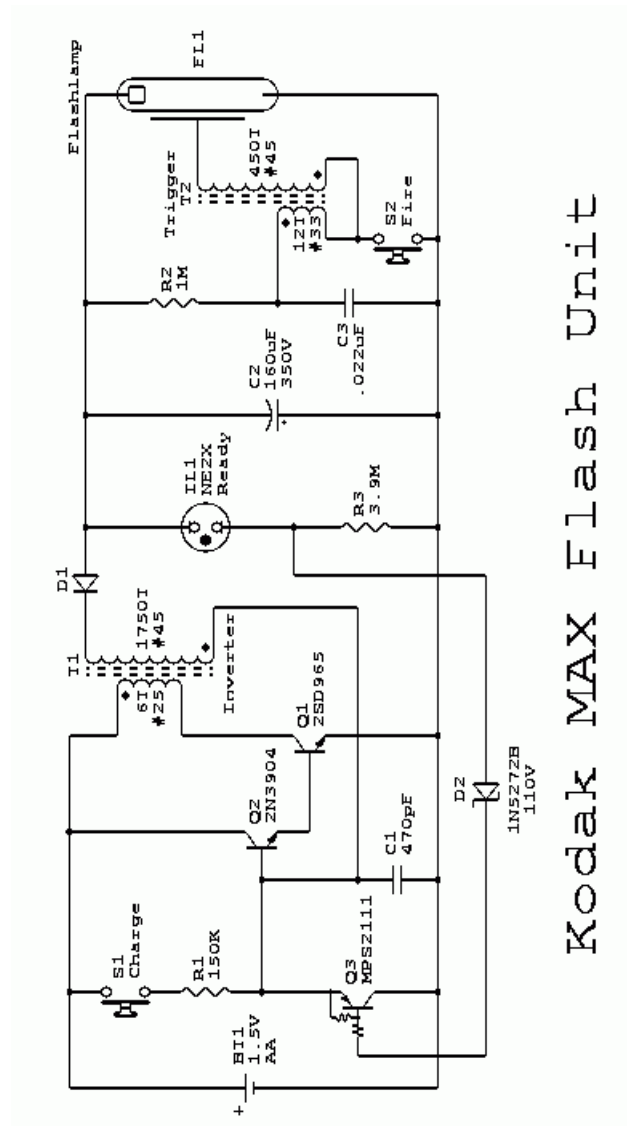
  root = SD.open("/");

  printDirectory(root, 0);

  Serial.println("done!");
}

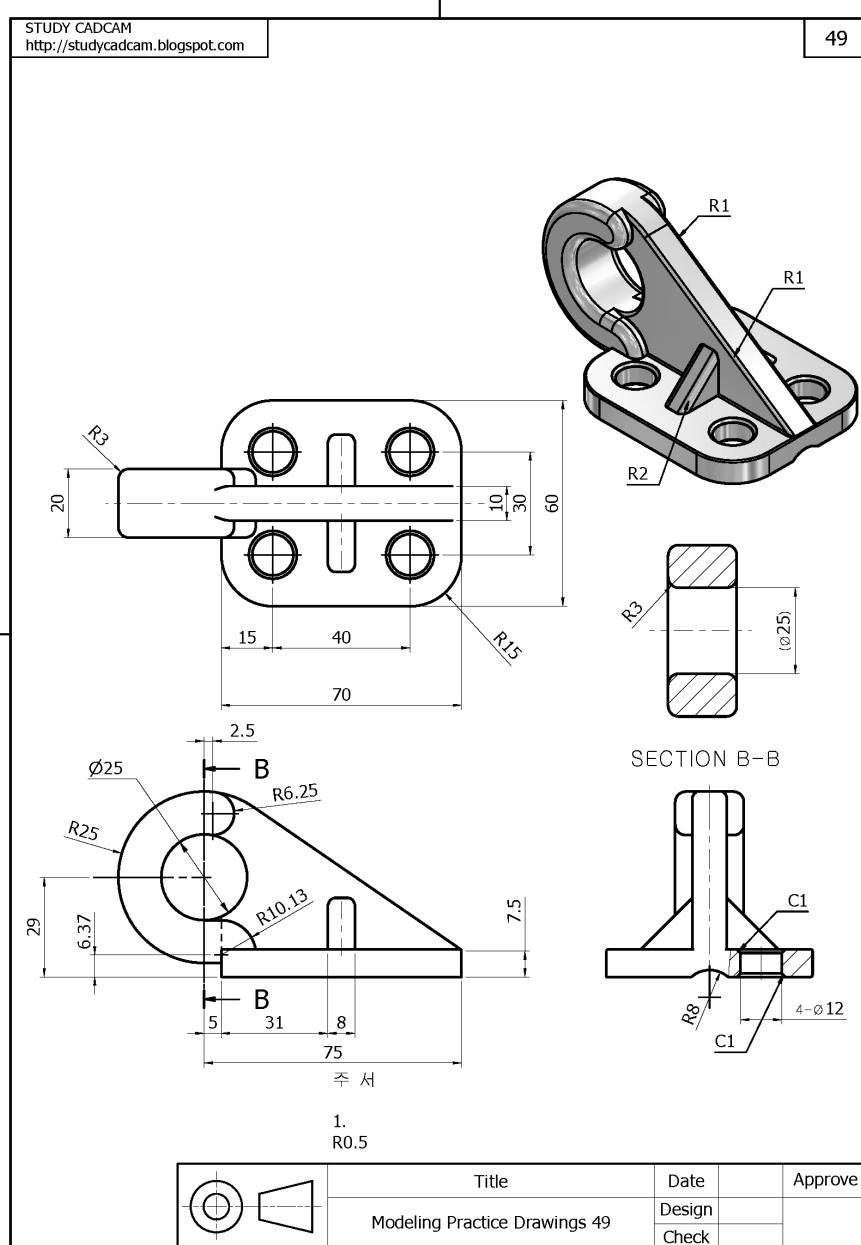
void loop() {
  // nothing happens after setup finishes.
}
```

B.2 Layout Rangkaian Listrik Sistem XYZ



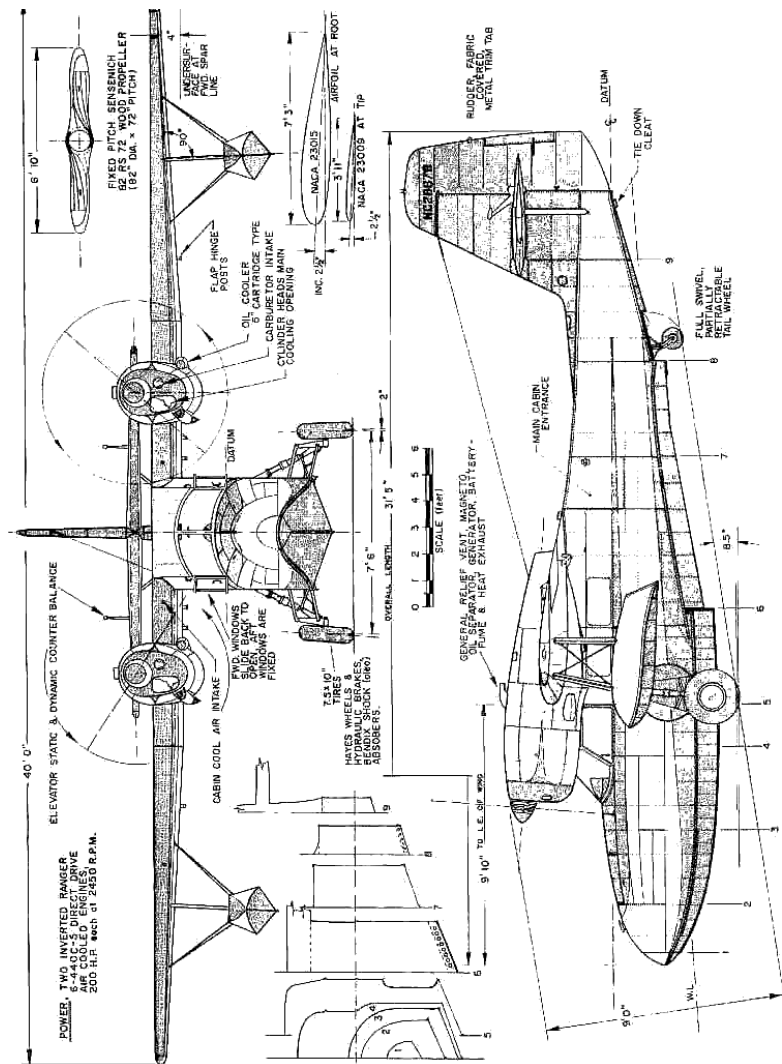
Gambar B.1. Rangkaian elektronik XYZ.

B.3 Desain Mekanik Sistem XYZ



Gambar B.2. Komponen A.

B.4 Diagram Grumman Sailboat



Gambar B.3. Skema Grumman Sailboat.