

BAB III

PEMILIHAN KOMPONEN MEKANIS DAN PROSES MANUFAKTUR *TEST BED HYBRID*

III.1 Pemilihan Komponen Desain *Small test bed*

Desain *small test bed* ini dibagi kedalam beberapa bagian untuk memudahkan dalam proses manufaktur, perakitan dan modifikasi. Berikut ini adalah modul-modul yang akan dirangkai menjadi satu buah kesatuan *test bed*.

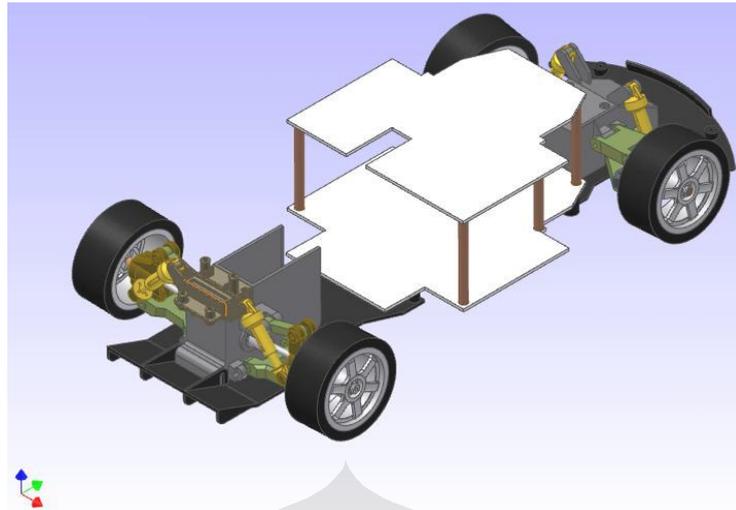
III.1.1 Rangka Dasar (*Chassis*)

III.1.1.1 Detail Desain

Bagian pertama dari desain *small test bed* ini adalah *chassis* kendaraan yang dimodifikasi dari model miniatur kendaraan *radio control*. Pemilihan model miniatur ini didasarkan pada kemudahan dalam proses modifikasi serta visualisasi parameter-parameter *inputan* dan *output* yang dihasilkan. Modifikasi yang dilakukan adalah dengan memotong *chassis* dasar untuk kemudian di sambung dengan lembaran *acrylic* dengan tebal 3mm. Dibuat pula landasan kedua (bertingkat) yang dimaksudkan untuk memudahkan dalam penginstalasian motor DC 24V yang akan berfungsi sebagai simulasi putaran *engine* (RPM). Sebagai penyangga digunakan *spacer* yang disusun menyerupai pilar penyangga.



Gambar III. 1 : Miniatur Model Mobil Radio Control



Gambar III. 2 : Modifikasi Chassis Model Radio control

III.1.1.2 Pemilihan Komponen Dan Material

Proses modifikasi dilakukan dengan mengganti dasar (alas) kendaraan *model* dengan menggunakan material lembaran *acrylic*. Material *acrylic* dipilih berdasarkan pertimbangan kemudahan dalam pembentukan (*forming*) serta bobotnya yang ringan namun memiliki kekuatan yang memadai.

III.1.1.3 Proses Manufaktur

- Proses pembuatan plat *acrylic* tahap pertama adalah dengan membuat pola gambar dengan dimensi 1:1.
- Pola tersebut digunting dan kemudian ditempelkan ke plat *acrylic* yang siap dipotong.
- Plat *acrylic* dengan pola yang sudah tergambar dengan jelas kemudian dipotong dengan menggunakan alat pemotong (*acrylic cutter*).

III.1.2 Modul Penggerak

Untuk mensimulasikan putaran RPM *engine* dan kecepatan kendaraan, digunakan sistem penggerak berupa dua buah motor listrik DC 24V, masing-masing untuk mensimulasikan putaran *engine* dan kecepatan kendaraan. Motor listrik DC yang digunakan memiliki spesifikasi putaran hingga 7000 RPM. Spesifikasi ini dirasa cukup untuk mensimulasikan putaran *engine* dan kecepatan kendaraan. Dengan menggunakan *variable volatage regulator*, maka putaran dari

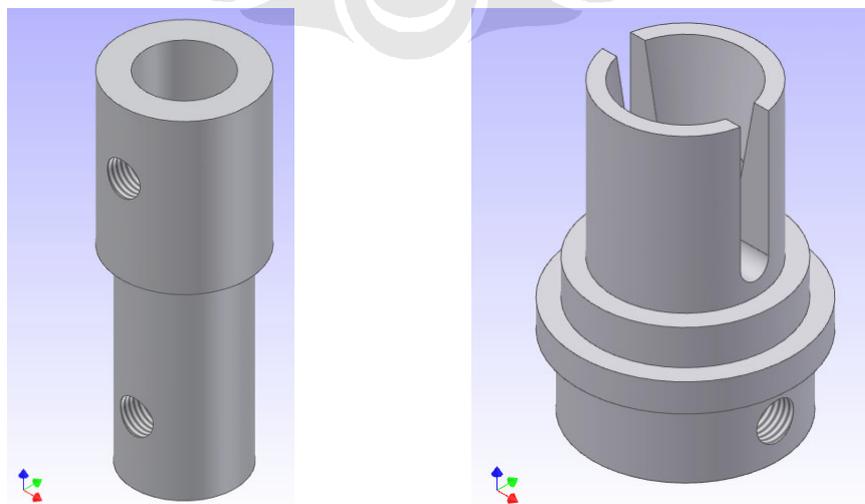
motor DC dapat disesuaikan frekuensi putarannya. Putaran dari motor DC inilah yang nanti akan dideteksi oleh sensor putaran sebagai parameter inputan.



Gambar III. 3 : Motor DC 24V

III.1.2.1 Detail Desain

Poros pada motor DC mempunyai ukuran diameter 4 mm. Hal ini sangat menyulitkan dalam proses perakitan karena ukuran poros tersebut tidak standar tersedia di pasaran secara bebas. Untuk memudahkan proses perakitan, maka dipilih poros berukuran diameter sebesar 6 mm yang mudah diperoleh di pasaran. Oleh sebab itu dilakukan modifikasi dengan membuat poros penghubung (*hub*) yang dapat mengatasi masalah tersebut. Pertimbangan untuk menggunakan poros berukuran idiameter 6 mm adalah kemudahan dalam ketersediaan di pasaran umum, serta mudah untuk dilakukan modifikasi dan perakitan. Berikut ini adalah detail desain dari poros penghubung (*hub*) yang digunakan pada *small test bed* ini.



(a)

(b)

Gambar III. 4 : (a) Hub motor DC ; (b) Hub poros penggerak roda belakang

III.1.2.2 Pemilihan Komponen Dan Material

Poros penghubung (*hub*) dibuat dengan menggunakan material aluminium. Pemilihan aluminium didasarkan pada kemudahan dalam proses manufaktur dengan menggunakan mesin CNC. Terlebih lagi komponen yang dibuat merupakan komponen yang relatif berukuran kecil. Selain itu penggunaan aluminium juga dapat mengurangi biaya produksi dan pembelian material.

Komponen *hub* akan diperkuat dengan menggunakan baut tanam dengan ukuran M3. Baut ini nantinya akan berfungsi sebagai pengikat poros agar tidak terlepas dari *hub*-nya.

III.1.2.3 Proses Manufaktur

Hub motor DC

- Langkah awal adalah dengan memotong material aluminium silinder berdiameter 19 mm dengan panjang 30 mm. Dimensi *hub* yang sebenarnya sepanjang 27 mm, namun potongan material diperpanjang untuk *clearance clamping* pada spindel.
- Kemudian dilakukan proses pembubutan sisi dengan menggunakan CNC *turning* hingga mencapai diameter sebesar 10 mm.
- Proses pembubutan tahap kedua dilakukan hingga benda kerja memiliki diameter 8 mm dengan jarak 15 mm dari ujung benda.
- Apabila proses pembubutan sudah selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan proses bor sesuai dengan diameter poros yang dibutuhkan, yaitu sebesar 4 mm dan 6 mm.
- Tahap terakhir adalah proses pembuatan ulir baut tanam ukuran M3. Proses penguliran ini terlebih dahulu diawali dengan proses pengeboran dengan menggunakan bor diameter 2,5 mm.

Hub poros roda belakang

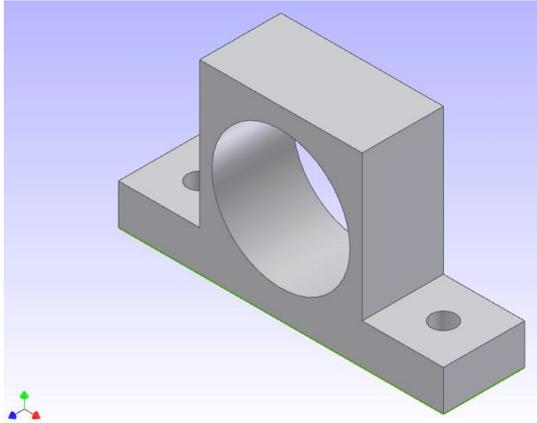
- *Hub* poros roda belakang memiliki dimensi panjang sebesar 20,5 mm. Langkah pertama adalah pemotongan material aluminium silinder berdiameter 19 mm sepanjang 25 mm dengan tambahan *clearance*.
- Pembubutan sisi masing-masing dilakukan untuk diameter 13 mm, 15 mm, 12,5 mm, dan 10 mm sesuai dengan dimensi panjangnya masing-masing.
- Langkah selanjutnya adalah proses pengeboran lubang berdiameter 6 mm untuk poros pada kedua sisi terluar *hub*.
- Pada salah satu sisi tempat meletakkan join roda, proses pengeboran kembali dilakukan dengan diameter sebesar 9 mm. Hingga terbentuk tirus dengan jarak 5 mm dari ujung benda kerja berdiameter paling kecil (10 mm).
- Sama seperti pada *hub* motor DC, pemasangan baut tanam M3 terlebih dahulu dilakukan dengan melakukan pemboran berdiameter 2,5 mm pada sisi silinder berdiameter 13 mm. Untuk kemudian dibuat proses penguliran dengan menggunakan tap M3.

III.1.3 Modul Transmisi Putaran

Selanjutnya putaran yang dihasilkan oleh motor DC akan ditransmisikan menuju poros putaran *encoder*, serta poros penggerak roda untuk memvisualisasikan putaran roda kendaraan yang terjadi akibat dari perputaran poros motor DC. Poros yang berputar ditopang oleh *bearing* lengkap dengan rumahnya (*bearing housing*). Pemilihan sistem transmisi ini menggunakan *pulley* dan *belt* yang akan dijelaskan lebih mendetail pada bagian selanjutnya.

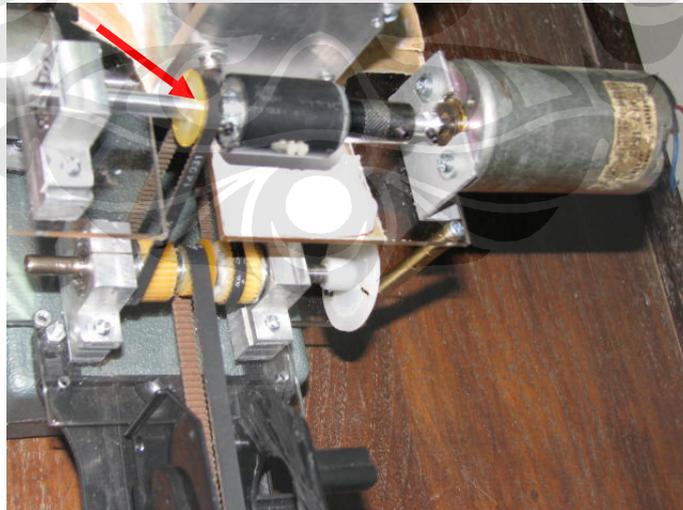
III.1.3.1 Detail Desain

Rumah *bearing* dibuat berdasarkan ukuran *bearing* standar yang digunakan. Proses pemilihan tipe *bearing* akan dijelaskan pada bagian selanjutnya. Material rumah *bearing* sendiri terbuat dari aluminium yang mengalami proses *machining*, hingga didapatkan bentuk profil yang sesuai dengan fungsinya.



Gambar III. 5 : Rumah Bearing

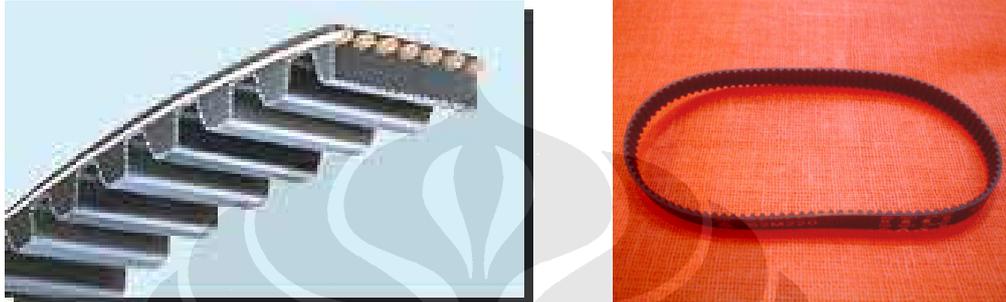
Desain *pulley* dan *belt* yang digunakan pada *test bed* kecil ini mengikuti pada standar yang telah ada. Disesuaikan dengan kapasitas putaran dan gaya yang dialami oleh sistem transmisi tersebut. Sistem *pulley* dan *belt* yang digunakan terdiri dari 2 bagian, yang pertama adalah *belt* dan *pulley* penggerak, yang menghubungkan sumber putaran motor DC dengan poros *encoder*. Poros *encoder* ini berfungsi sebagai parameter pengukur putaran (RPM) dan kecepatan penggerak roda. Sistem *belt* dan *pulley* bagian kedua meneruskan perputaran dari poros *encoder* menuju poros perputaran roda.



Gambar III. 6 : Sistem Penggerak Belt dan Pulley

III.1.3.2 Pemilihan Komponen Dan Material

Pemilihan komponen *belt* dan *pulley* dilakukan berdasarkan aplikasi dan operasional kerja dari *small test bed*. Untuk aplikasi ini digunakan *belt* dan *pulley* tipe S2M. Berikut ini adalah spesifikasi dan aplikasi komponen *belt* dan *pulley* tipe S2M yang digunakan pada *small test bed*.



Gambar III. 7 : Timing Belt Tipe S2M [9]

<i>Manufacturer</i>	: Mitsuboshi
<i>Type</i>	: <i>Round tooth timing belt</i>
<i>Series</i>	: 40 S2M 112 ; 40 S2M 134
<i>Belt width</i>	: 40 mm ; 40 mm
<i>Number of tooth</i>	: 56 ; 67
<i>Belt total length</i>	: 112 mm ; 134 mm

III.1.3.3 Proses Manufaktur

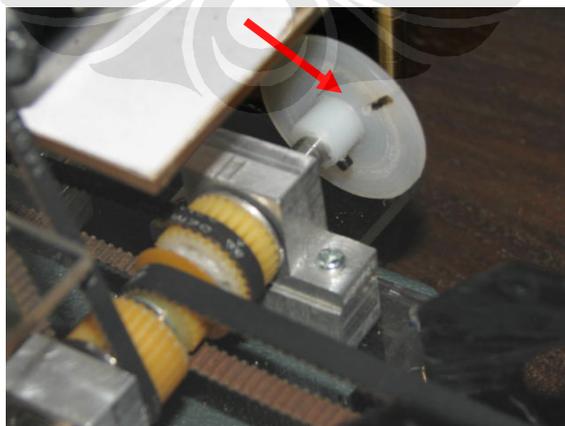
Untuk komponen *bearing* , *belt* dan *pulley* tidak memerlukan proses manufaktur, karena komponen-komponen tersebut merupakan komponen jadi yang tersedia dipasaran sesuai standar dan dapat langsung digunakan. Pada modul transmisi putaran komponen yang perlu dibuat secara khusus adalah komponen rumah *bearing* .

Rumah Bearing

- Proses manufaktur rumah *bearing* dilakukan dengan memotong aluminium persegi dengan tebal 15 mm sepanjang 27 mm dengan lebar 25 mm.
- Aluminium persegi yang sudah dipotong tadi dibentuk sesuai dengan profil menyerupai huruf T dengan jarak masing-masing 20 mm dari pinggir aluminium.
- Pada bagian pinggiran rumah *bearing* (*flange*) dibuat pula dudukan baut dengan ukuran 10 x 15 mm dengan tebal 5 mm.
- Dudukan baut dibuat dengan melakukan pengeboran berdiameter 3 mm, agar tepat dipasangkan dengan baut M3.

III.1.4 Modul Sensor Putaran

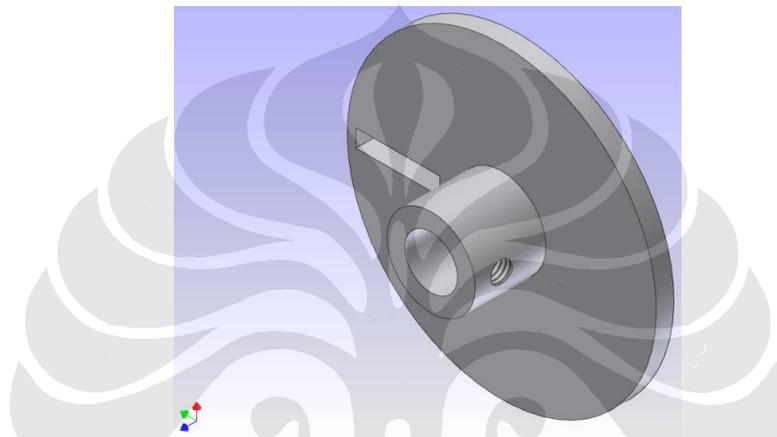
Parameter inputan berupa putaran RPM dan kecepatan kendaraan dideteksi dengan menggunakan sensor putaran. Sensor putaran itu sendiri dikenal sebagai sensor *rotary encoder*. Sensor *rotary encoder* dapat dibuat dengan menggunakan rangkaian *optocoupler* atau memang menggunakan sensor yang sudah didesain secara khusus dengan tingkat ketelitian lebih tinggi. Untuk pendeteksian RPM dan kecepatan kendaraan digunakan sensor *encoder* yang menggunakan rangkaian *optocoupler*. Hal ini dilakukan karena sistem pendeteksian kecepatan dan putaran *engine* tidak memerlukan tingkat ketelitian yang tinggi.



Gambar III. 8 : Piringan Encoder

III.1.4.1 Detail Desain

Untuk mendeteksi putaran pada motor DC diperlukan suatu komponen yang mampu bekerja dengan *optocoupler* sehingga menghasilkan *output* pembacaan RPM dan kecepatan. Piringan *encoder* digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Piringan *encoder* berbentuk seperti lingkaran tipis yang hanya memiliki satu celah. Celah tersebut yang akan digunakan oleh *optocoupler* sebagai mekanisme pembaca pulsa putaran atau kecepatan. Pengertian dan cara kerja *optocoupler* akan diterangkan pada bab selanjutnya.



Gambar III. 9 : Piringan Encoder (CAD Model)

III.1.4.2 Pemilihan Komponen Dan Material

Piringan *encoder* terbuat dari material nylon dengan pertimbangan kemudahan dalam proses *turning* menggunakan mesin CNC, serta diperlukan tingkat ketelitian yang tinggi karena dimensi dari komponen yang relatif kecil. Sifatnya yang ringan dan lentur juga menjadi salah satu pertimbangan dalam memilih material.

III.1.4.3 Proses Manufaktur

- Piringan *encoder* ini dibuat dengan menggunakan material nylon berdiameter 40 mm.
- Langkah pertama adalah dengan memotong material tersebut sepanjang 15 mm.

- Untuk kemudian dibubut hingga berdiameter 35 mm dengan ketebalan sebesar 2 mm.
- Langkah selanjutnya adalah melakukan pembubutan dengan diameter 10 mm dengan jarak 8 mm dari ujung material.
- Langkah terakhir adalah pembuatan lubang untuk memasukkan poros berdiameter 6 mm, serta ulir baut tanam M3.

III.1.5 Modul Sensor Kemiringan

Sedangkan untuk pendeteksian kemiringan digunakan jenis sensor *rotary encoder incremental*, yang memiliki tingkat resolusi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sensor *encoder* yang menggunakan rangkaian *optocoupler*.

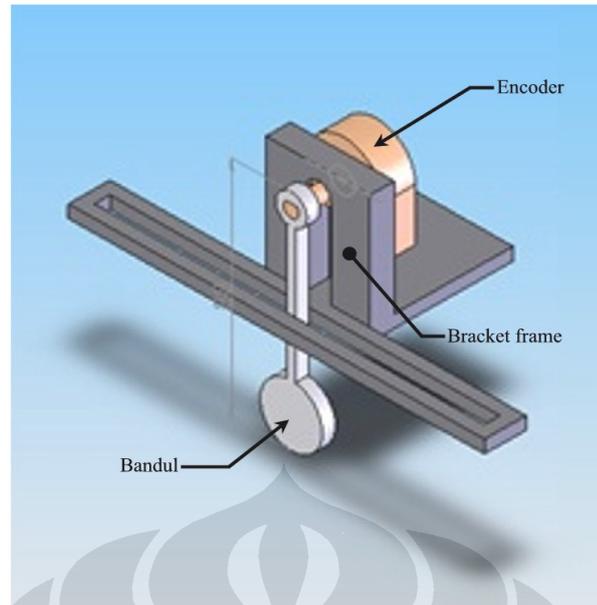
III.1.5.1 Detail Desain

Modul sensor kemiringan ini menggunakan sensor *incremental rotary encoder* dengan bentuk dan desain yang sangat kompak (menyatu). Sehingga tidak diperlukan lagi komponen pembaca seperti piringan *encoder*. Desain sensor yang kompak dapat dilihat pada gambar berikut.



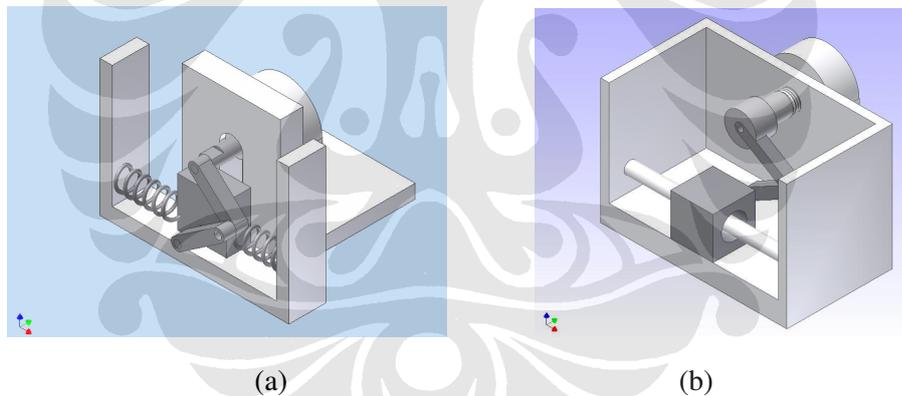
Gambar III. 10 : Incremental Rotary Encoder USDigital S5 [13]

Seperti terlihat pada gambar bahwa komponen *input* pada sensor *encoder* hanya berupa poros dengan diameter sebesar 6 mm. Untuk itu diperlukan suatu mekanisme kerja khusus, agar sensor putaran tersebut mampu membaca besarnya kemiringan sudut. Desain awal adalah dengan membuat mekanisme bandul yang dipasangkan pada ujung poros sensor, namun desain ini memiliki kelemahan dalam hal menjaga osilasi seandainya terjadi guncangan.



Gambar III. 11 : Sensor Kemiringan (Mekanisme Bandul)

Sedangkan pada tahap pengembangan selanjutnya, digunakan suatu mekanisme lengan yang mampu mengurangi terjadinya efek osilasi.



Gambar III. 12 : (a) Pengembangan tahap 1 ; (b) Pengembangan Tahap 2

Dengan adanya massa (beban) yang mampu bergerak searah horizontal, maka posisi perpindahan massa tersebut dapat dikonversikan menjadi sebuah langkah putaran pada *encoder*. Pergerakan massa itu pula yang nantinya akan menyesuaikan dengan derajat kemiringan dari kendaraan. Sejalan dengan pengembangan desain sensor kemiringan, desain yang terbaik adalah desain sensor kemiringan hasil pengembangan tahap kedua. Desain tersebut mengaplikasikan mekanisme batang-lengan untuk mengurangi terjadinya efek

osilasi akibat penggunaan sistem pegas, serta bentuk penutup (*casing*) yang lebih tertutup. Sehingga pergerakan massa menjadi lebih stabil dan mudah dikontrol.

III.1.5.2 Pemilihan Komponen Dan Material

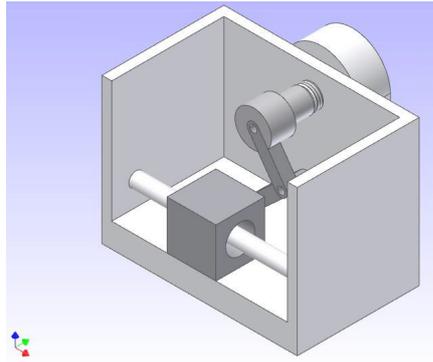
Sensor kemiringan tersusun atas komponen sensor *rotary encoder* dan *Casing* tempat sensor tersebut bekerja. Sensor *encoder* sendiri sudah merupakan satu kesatuan, sehingga yang hanya perlu dilakukan adalah pembuatan *casing* tempat *encoder* tersebut dipasang. *Casing encoder* terbuat dari aluminium pejal yang mengalami proses *machining (frais)*. Material aluminium dipilih karena sifatnya yang mudah di *machining* serta kemudahan dalam mendapatkannya di pasaran. Salah satu keuntungan lainnya adalah bobot yang ringan serta tahan terhadap korosi. Sehingga mudah untuk diimplementasikan didalam berbagai macam kondisi kerja. Operasional kerja dari modul sensor ini tidak berada dalam kondisi yang ekstrim dan berat (*heavy load environment*), sehingga pemilihan material aluminium sebagai pembentuk rumah (*casing*) sensor ini cukup ideal.

Sedangkan untuk massa pemberat digunakan material besi pejal ST 41, hal ini disebabkan oleh kebutuhan akan massa yang memiliki bobot berat (massa jenis lebih berat). Hal ini diperlukan agar proses perpindahan massa didalam jalurnya dapat berlangsung dengan tetap dan stabil mengikuti arah kemiringan kendaraan.

III.1.5.3 Proses Manufaktur

Modul sensor kemiringan tersusun atas 4 buah komponen, yaitu rumah sensor (*casing*); lengan sensor kemiringan; *hub* lengan sensor kemiringan; serta massa pemberat. Ketiga komponen tersebut mengalami proses manufaktur yang berbeda satu sama lain. Keempat proses tersebut akan dijelaskan masing-masing pada bagian berikut :

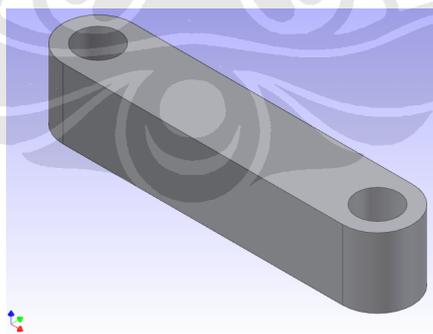
Rumah sensor (*Casing*)



Gambar III. 13 : Modul Sensor Kemiringan

- Rumah sensor tersusun atas empat aluminium pejal dengan dimensi keseluruhan 80 x 50 mm dengan ketinggian 60 mm.
- Sebagai dasar rumah sensor digunakan aluminium dengan dimensi ukuran 70 x 50 mm dengan ketebalan 10 mm.
- Untuk sisi samping rumah sensor digunakan aluminium pejal dengan ukuran 60 x 50 mm dengan ketebalan sebesar 5 mm sebanyak dua buah.
- Sedangkan pada sisi belakang digunakan aluminium pejal dengan ukuran 70 x 50 mm dengan ketebalan 5 mm.

Lengan sensor kemiringan

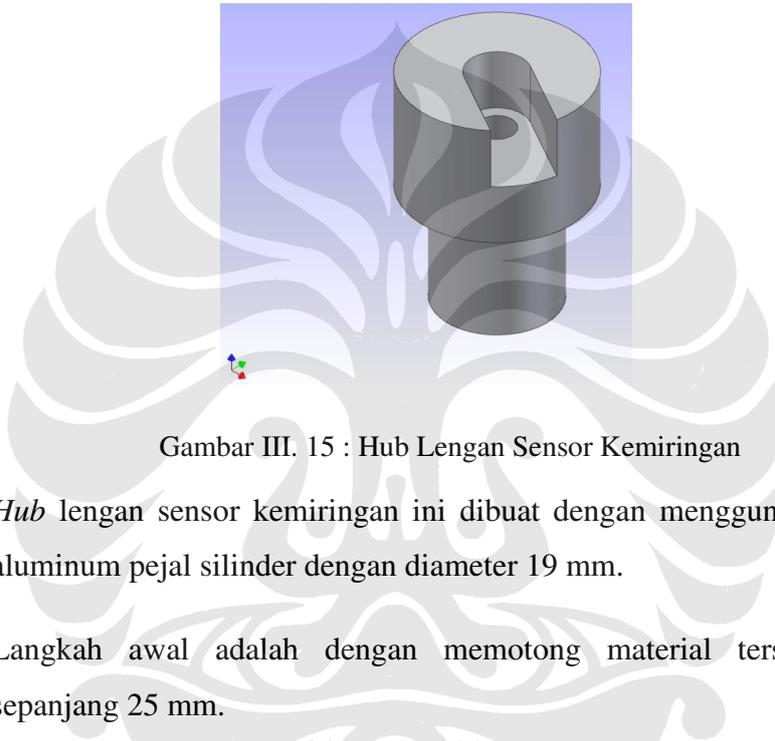


Gambar III. 14 : Lengan Sensor Kemiringan

- Tahap pertama adalah dengan memotong aluminium pejal (tebal 5 mm) dengan dimensi awal 27 x 15 mm.
- Aluminium berukuran persegi panjang tersebut kemudian mengalami proses *milling* dengan ukuran dimensi 25 x 5 mm sebanyak 2 buah.

- Pada kedua ujung lengan dilakukan proses *milling* profil *fillet* dengan jari-jari sebesar 2,5 mm.
- Sedangkan pada tahap terakhir adalah melakukan pengeboran dua buah lubang dengan diameter 3 mm tembus.

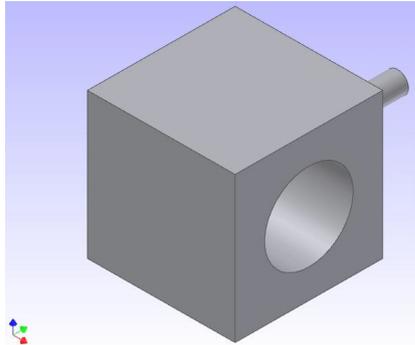
Hub lengan sensor kemiringan



Gambar III. 15 : Hub Lengan Sensor Kemiringan

- *Hub* lengan sensor kemiringan ini dibuat dengan menggunakan material aluminum pejal silinder dengan diameter 19 mm.
- Langkah awal adalah dengan memotong material tersebut dengan sepanjang 25 mm.
- Untuk kemudian dilakukan proses pemesinan (*turning*) untuk pengurangan diameter sebesar 15 dan 10 mm, dengan jarak masing-masing 10 mm dari ujung benda.
- Langkah selanjutnya adalah melakukan pengeboran lubang diameter 6 mm sejauh 12 mm dari ujung *hub* berdiameter kecil.
- Kemudian dilanjutkan dengan pengeboran lubang sebesar 3 mm tembus.
- Bagian terakhir dari pembuatan *hub* ini adalah dengan membuat profil ceruk dengan lebar 2 mm dari salah satu kuadran lingkaran *hub* berdiameter 15 mm menuju pusat lingkaran.

Massa pemberat

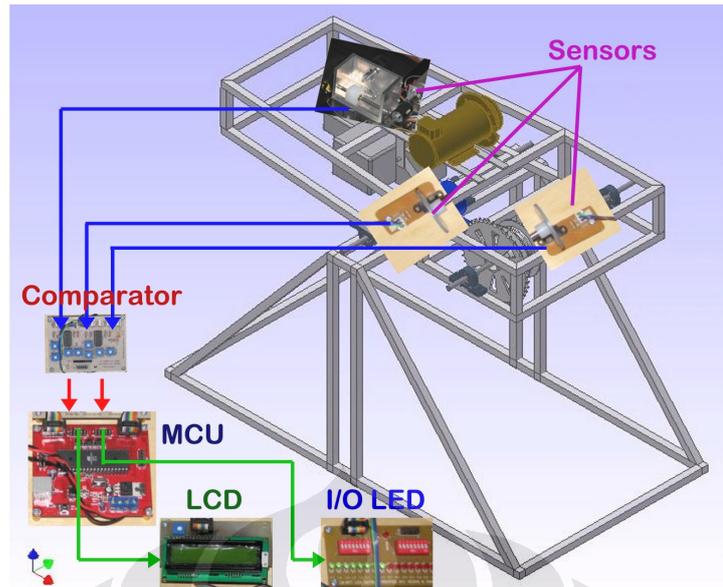


Gambar III. 16 : Mass Pemberat

- Berbeda deangan komponen lainnya pada modul sensor kemiringan ini, massa pemberat dibuat dari material besi pejal kotak ST 41 berukuran 25 x 25 mm.
- Dimesi yang dibutuhkan adalah kubus sebesar 20 x 20 x 20 mm. Sehingga yang perlu dilakukan adalah melakukan proses frais material tersebut hingga mendekati dimensi yang sebenarnya.
- Setelah terbentuk besi kubus pejal dengan ukuran 20 x 20 x 20 mm, dilanjutkan dengan proses pengeboran lubang dengan diameter 12 mm. Untuk meletakkan *linear bearing* yang akan bertumpu pada poros berdiameter 6 mm.

III.2 Pemilihan Komponen Dan Material Desain *Large Test Bed*

Keseluruhan fungsi dan alur desain *large test bed* sama dengan *small test bed*. Adaptasi sistem dilakukan dari *small test bed* ke *large test bed*. Adaptasi berupa sensor-sensor pembaca *input*, dan penunjukkan *output* . Secara sederhana posisi *test bed* dan sistem kontrol dapat digambarkan seperti gambar di bawah. Desain sistem kontrol *test bed* ini sudah memenuhi segala spesifikasi dan kebutuhan yang telah dijabarkan.



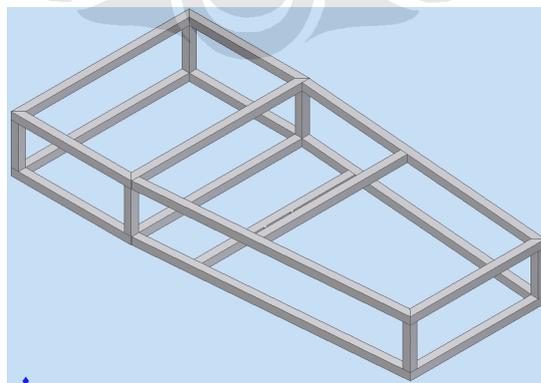
Gambar III. 17 : Konfigurasi Test bed Dengan Sistem Kontrol

III.2.1 Rangka Utama Dan Rangka Dudukan

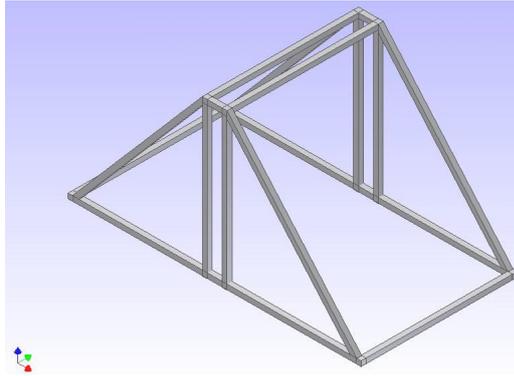
Rangka utama dan rangka dudukan ini didesain untuk menopang dua buah tenaga penggerak yaitu motor bakar dan motor listrik. Kedua tenaga penggerak ini akan dirangkai secara paralel menggunakan sistem transmisi rantai dan *sprocket* yang akan menghubungkan sumber tenaga dengan poros roda.

III.2.1.1 Detail Desain

Struktur rangka utama dan rangka dudukan ini dirangkai dari besi *hollow* kotak berukuran 1x1 inci, yang didesain dan dirangkai sesuai dengan bentuk seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar III. 18 : Frame atas



Gambar III. 19 : Frame dudukan

Desain rangka ini dibuat secara kompak dan sederhana sehingga mampu mengakomodasi berbagai macam komponen seperti motor bakar dan motor listrik, sistem transmisi, serta poros roda penggerak. Secara garis besar ukuran dari rangka *test bed* ini adalah sebesar 1500 x 800 mm, dengan tinggi rangka sebesar 1000 mm. Rangka bagian atas nantinya akan dipasangkan pada bagian atas rangka dudukan yang berfungsi pula sebagai penopang rangka utama pada saat dilakukan uji coba simulasi pergerakan kendaraan.

III.2.1.2 Pemilihan Komponen Dan Material

Material yang digunakan sebagai rangka *large test bed* adalah material besi hollow (ST41) dengan ketebalan sebesar 2 mm. Pertimbangan dalam memilih material ini adalah material ini sudah tersedia di pasaran secara umum sehingga tidak menyulitkan dalam proses produksi. Komponen kedua yang perlu diperhatikan adalah pemilihan *bearing* dan poros yang digunakan sebagai penopang rangka *test bed* ini. Sebagai penopang digunakan poros besi ST41 dengan diameter sebesar 19 mm, serta menggunakan empat buah *bearing* FYH UCP204 dengan diameter poros sebesar 19 mm.

Tabel III. 1 : Spesifikasi Bearing UCP 204 [7]

Unit No.	Standard		Mass kg	Basic Load Ratings kN		Factor f_0
	Housing No.	Bearing No.		C_r	C_{0r}	
UCP201	P203	UC201	0.63	12.8	6.65	13.2
UCP201-8		UC201-8	0.63			
UCP202		UC202	0.61			
UCP202-10		UC202-10	0.61			
UCP203		UC203	0.60			
UCP204-12	P204	UC204-12	0.66	12.8	6.65	13.2
UCP204		UC204	0.66			
UCP205-14	P205	UC205-14	0.80	14.0	7.85	13.9
UCP205-15		UC205-15	0.80			
UCP205		UC205	0.80			
UCP205-16		UC205-16	0.80			

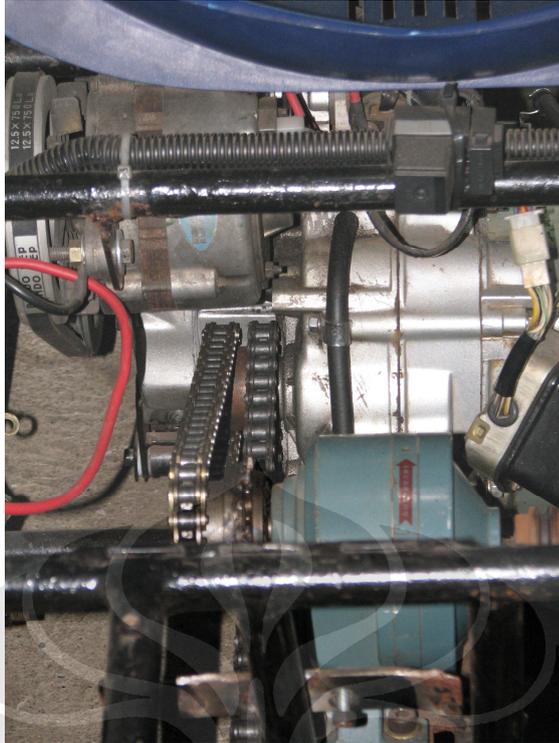
Berdasarkan datasheet spesifikasi *bearing* yang disediakan oleh manufacturer, diketahui bahwa satu buah *bearing* tipe UCP 204 memiliki kemampuan menahan gaya dan beban maksimal sebesar 12.8 kN. Oleh sebab itu penggunaan *bearing* UCP sebagai penahan poros *large test bed* masih dalam batas ambang operasional.

III.2.2 Sistem Transmisi Penggerak

Sistem transmisi penggerak terdiri dari sistem *reduction gear* dan komponen *sprocket* dan rantai. Sistem transmisi yang digunakan merupakan sistem penggerak yang lazim digunakan pada kendaraan motor bebek komersial.

III.2.5.1 Detail Desain

Secara spesifik sistem transmisi rantai dan *sprocket* yang digunakan adalah sistem transmisi paralel yang menggabungkan kinerja motor bakar dan motor listrik. Konfigurasi transmisi paralel yang digunakan dapat diperhatikan dalam gambar berikut.



Gambar III. 20 : Sistem Transmisi Paralel

Selain sistem transmisi penggerak rantai dan *sprocket*, sistem *large test bed* ini dilengkapi pula dengan mekanisme pengereman yang berfungsi untuk melakukan simulasi torsi. Sistem rem yang digunakan adalah sistem rem tromol yang biasa digunakan pada kendaraan roda dua.

III.2.5.2 Pemilihan Komponen Dan Material

Berikut ini adalah beberapa komponen transmisi yang diadaptasi dan digunakan pada *large test bed* :

Reduction gear



Gambar III. 21 : TPG Reduction gear

Manufacturer : TPG (Taiwan)
Type : GH D 18
Gear Ratio : 1 : 20

Sprocket Tromol Roda Belakang



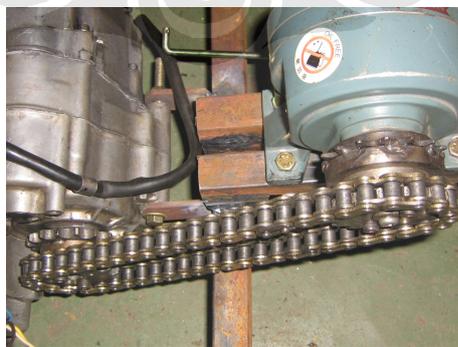
Gambar III. 22 : Rear Sprocket

Manufacturer : Indoparts
Type : 428 - 47
Jumlah gigi : 47

Sprocket engine Depan

Manufacturer : Indoparts
Type : 428 - 15
Jumlah gigi : 15

Rantai :



Gambar III. 23 : DID Rantai and sprocket

Manufacturer : DID
Type : 428NZ

Pin Length : 18.9 mm

Roller Dia. : 8.5 mm

Berdasarkan perbandingan jumlah gigi pada masing-masing sprocket, secara keseluruhan didapatkan perbandingan rasio putaran antara roda belakang dengan *engine* adalah sebesar 1 : 3,2 (15 : 47). Sedangkan perbandingan antara motor DC dengan roda belakang adalah sebesar 1 : 64 dengan kondisi setelah melewati *reduction gear* dengan rasio 1 : 20.

Berikut ini adalah tabel spesifikasi dan standar dari masing-masing jenis rantai yang digunakan pada kendaraan roda dua komersial. Berdasarkan tabel spesifikasi diketahui bahwa rantai tipe 428 NZ memiliki *tensile stress average* sebesar 25.5 kN. Hal ini sesuai dengan aplikasi pada desain *test bed* yang masih dalam batas kondisi operasional.

Tabel III. 2 : Spesifikasi Rantai 428 NZ [5]

SUPER NON-O-RING NZ			Features: • SDH treatment on pins • Quad-ripped pins • Solid bushing										
Model No.	Pin Length		Roller Dia. mm	Plate Thickness		Weight		Tensile Strength		Seal Type	Wear Resistance Index: Std. Chain = 100	Connecting Link	
	mm	in.		Inner	Outer	Kgs/ 100 Links	Lbs/ 100 Links	KN	Lbs.			Rivet (Z)	Clip (F)
420NZ2	16.25	0.640	7.77	1.8	1.8	0.81	1.78	21.9	4,930	-	410	-	Rj
428NZ	18.90	0.744	8.50	2.0	2.0	1.00	2.20	25.5	5,740	-	410	•	•
520NZ	18.35	0.722	10.20	2.2	2.2	1.61	3.54	35.8	8,050	-	410	•	•
525NZ	20.60	0.811	10.22	2.4	2.2	1.81	3.99	39.2	8,820	-	410	•	•
50(530)NZ	22.55	0.888	10.20	2.4	2.4	1.85	4.07	38.3	8,600	-	410	•	•
PROFESSIONAL O-RING V			The Professional O-Ring Series is a high quality O-Ring chain with excellent wear resistance. D.I.D Professional V Series chain is a great value O-Ring chain.										
Model No.	Pin Length		Roller Dia. mm	Plate Thickness		Weight		Tensile Strength		Seal Type	Wear Resistance Index: Std. Chain = 100	Connecting Link	
	mm	in.		Inner	Outer	Kgs/ 100 Links	Lbs/ 100 Links	KN	Lbs.			Rivet (Z)	Clip (F)
420V	16.90	0.665	7.77	1.5	1.5	0.73	1.60	15.8	3,560	○	700	•	Rj
428V	20.10	0.791	8.50	1.8	1.8	1.03	2.27	23.6	5,300	○	1,890	•	•

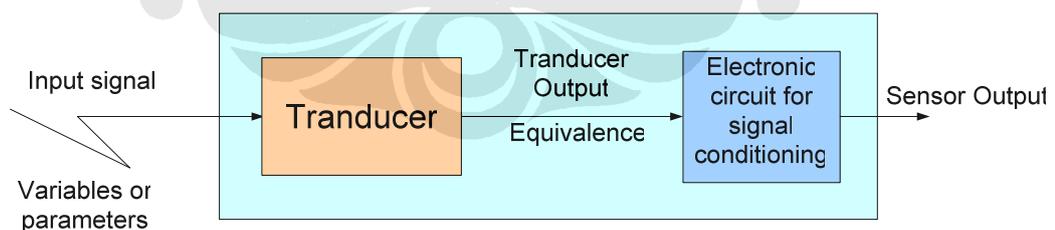
BAB IV

PEMILIHAN KOMPONEN ELEKTRIK, SENSOR, DAN PENGKONDISIAN SINYAL

IV.1. *Tranducers* dan Sensor

Sensor dan *tranducer* merupakan bagian terpenting dalam sistem input yang digunakan dalam sebuah sistem kontrol. *Tranducer* merupakan elemen dasar yang mengubah atau mentransformasikan suatu energi kedalam bentuk lainnya [8]. Energi didalam sistem kontroler dapat didefinisikan sebagai sebuah sinyal, sehingga secara lebih spesifik *tranducer* merupakan alat pengubah sinyal dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Dalam aplikasinya *tranducer* banyak digunakan sebagai pengkuantitas parameter-parameter fisik, elektrik, fluida, serta parameter mekanikal lainnya seperti temperatur, tekanan, medan magnet, tegangan, aliran, getaran, putaran, dan lain sebagainya.

Secara umum sensor dan *tranducer* memiliki pengertian yang sama. Perbedaan yang lebih mendasar antara sensor dengan *tranducer* adalah *tranducer* merupakan elemen fisik dari sebuah sensor. Dengan kata lain sensor merupakan *tranducer* dengan pengkondisi sinyal yang terintegrasi.



Gambar IV. 1 : Tranducer and Signal Conditioning [8]

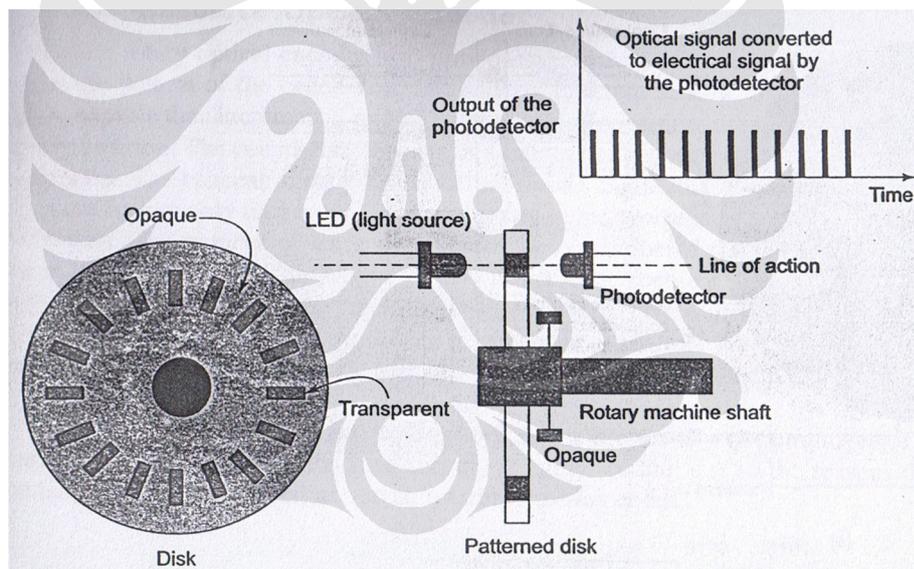
IV.1.1. Sensor *Encoder*

Optical encoder merupakan jenis sensor yang paling banyak digunakan untuk mendeteksi putaran, posisi, kecepatan, percepatan dan arah putaran dari sebuah mekanisme berputar seperti pada rotor, shaft, piston dan mesin *rotary*

lainnya. *Encoder* merupakan alat yang berfungsi mengubah posisi atau putaran, ke dalam sebuah sinyal digital sehingga mampu diolah oleh kontroler. Sistem pendeteksian posisi tersebut dapat terjadi akibat mekanisme cakram berputar yang memiliki jalur (*track*) yang mampu diterjemahkan oleh *transducer* ke dalam sinyal digital. Secara umum sensor *encoder* terbagi ke dalam dua jenis yaitu sistem incremental dan absolut.

IV.1.1.1. *Encoder Incremental*

Sensor *encoder* bekerja dengan cara mendeteksi cakram tidak tembus cahaya (buram) yang memiliki beberapa segmen transparan seperti terlihat dalam Gambar IV.2, Cahaya yang berasal dari LED (sebagai sumber cahaya) akan ditangkap oleh *photodetector* apabila cahaya tersebut melewati celah transparan pada cakram yang berputar. Sinyal yang diterima oleh *photodetector* secara berkelanjutan ini akan menciptakan sebuah pulsa digital secara simultan.

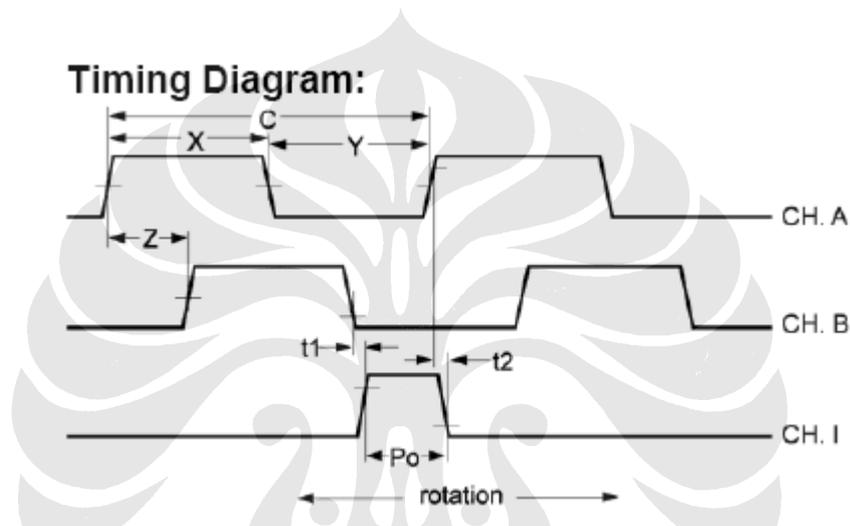


Gambar IV. 2 : Optical Encoder Sebagai Pengukur Posisi Dan Kecepatan [8]

Pada aplikasi sebenarnya cakram pada sensor *encoder* ini dihubungkan pada sebuah shaft atau rotor yang berputar. Sehingga perputaran cakram *encoder* akan menghasilkan sebuah pola pulsa digital yang dapat mendeteksi perputaran dan posisi, sehingga dapat dilakukan perhitungan kecepatan, percepatan dan parameter turunan lainnya. Sinyal keluaran didapatkan dari hasil pembacaan *photodetector*. Besar dan banyaknya pulsa yang dihasilkan bergantung pada posisi

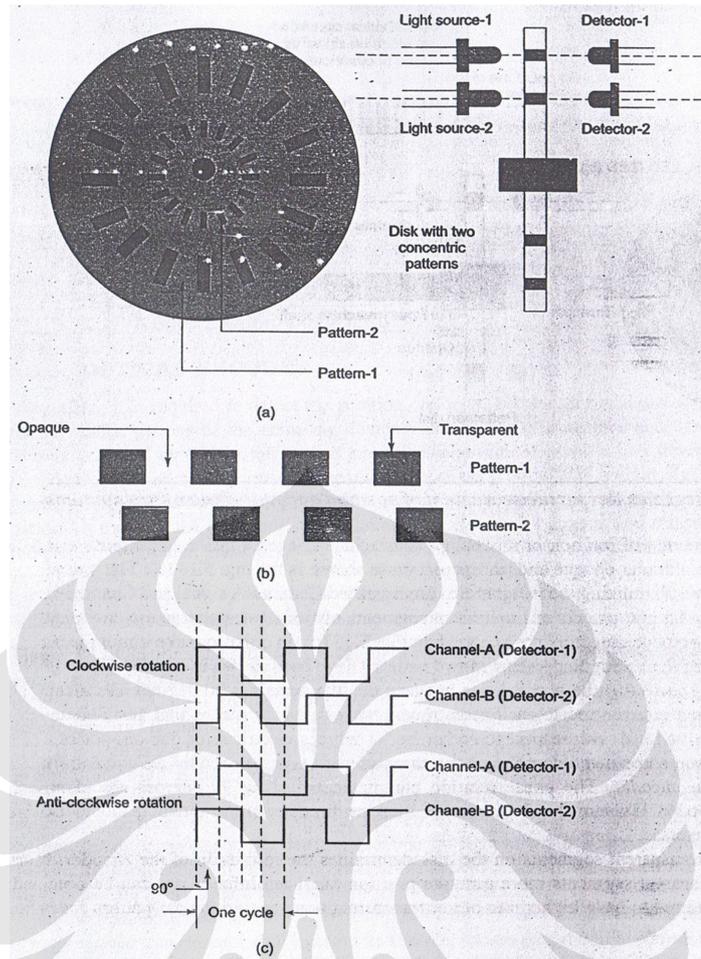
dari cakram dan jumlah pulsa per detik yang diukur berdasarkan kecepatan perputaran cakram. Sehingga dapat disimpulkan, prinsip dasar dari sebuah *encoder* incremental adalah jumlah perhitungan elektronik yang berasal dari perhitungan (*incremental*) sinyal keluaran.

Untuk mengetahui arah perputaran rotor yang berputar diperlukan dua buah pola yang biasa disebut dengan sinyal *Channel-A* dan sinyal *Channel-B*. Kedua sinyal ini memiliki perbedaan fase dalam satuan derajat elektrik. Seperti yang terlihat pada ilustrasi berikut



Gambar IV. 3 : Timing Diagram of Incremental Rotary Encoder [12]

Perbedaan fase yang terjadi adalah sebesar 90° derajat elektrik. Perbedaan fase inilah yang akan menentukan arah perputaran rotor. Secara sederhana apabila sinyal digital pada *Channel-A* mendahului sinyal digital pada *Channel-B* maka arah dari pergerakan dari rotor tersebut adalah searah jarum jam, begitu pula untuk kondisi sebaliknya. Jumlah segmen transparan pada cakram *encoder* menentukan besarnya resolusi (ketelitian) dari sebuah *encoder*.

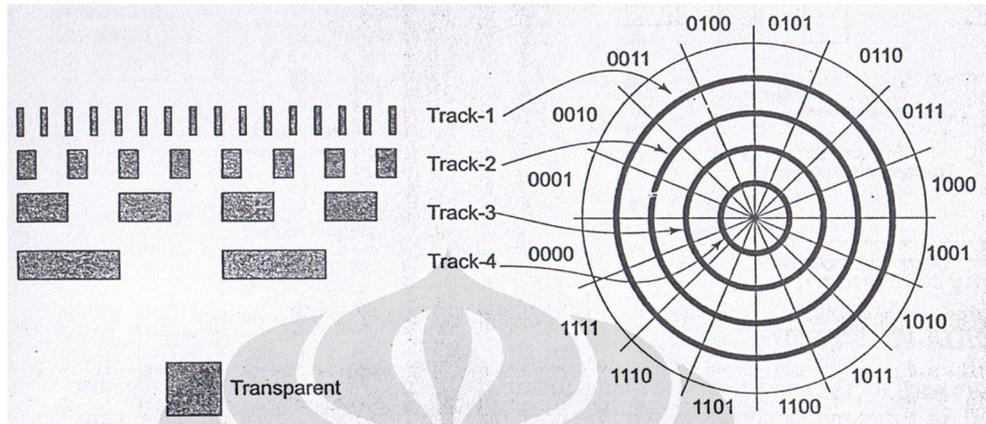


Gambar IV. 4 : (a) Quadrature increment encoder ; (b) Relative angular placements of two patterns ; (c) Quadrature output of two photodetectors [8]

IV.1.1.2. Encoder Absolut

Encoder absolut menyediakan data tambahan seperti posisi angular dan kecepatan yang merupakan pola turunan dengan kondisi yang berbeda. *Encoder* tipe ini memiliki mekanisme yang lebih kompleks dari *encoder* incremental. Masing-masing posisi memiliki kode atau pola yang unik (berbeda satu sama lain). Pola tersebut dapat disebut sebagai *track*. Secara umum *encoder* absolut hanya memiliki 8 sampai dengan 14 *tracks*. Jumlah *track* yang dimiliki menentukan resolusi dari *encoder* yang digunakan. Masing-masing *track* memiliki *photodetector* untuk mendeteksi pola-pola unik yang terbentuk. Seperti pada gambar IV.5 *encoder* absolut tersebut memiliki 4 buah *tracks*, yang berarti dalam satu kali putaran terdapat 16 sinyal digital yang berlainan (2^4). Sehingga apabila sebuah *encoder* memiliki 12 *track*, maka posisi yang mungkin terdeteksi adalah

sebanyak ($2^{12} = 1024$ posisi). Panjang segmen dari setiap *track* juga menjadi perhatian yang penting untuk menciptakan sistem pengkodean binari yang tepat.



Gambar IV. 5 : Binary conformant coded disk for absolute encoder [8]

Namun pada kenyataannya sistem pendeteksian *encoder* dengan menggunakan cakram berpola kode binari sangat sulit untuk diaplikasikan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kemungkinan terjadinya kesalahan (*error*). Untuk itu teknik pengkodean yang lebih banyak dipilih adalah sistem pengkodean "gray coding" yang lebih *reliable* dan *robust*. Sebagai ilustrasi, sistem pengkodean menggunakan binari dapat menyebabkan terjadi kesalahan pembacaan. Pada gambar IV.4 terlihat sebuah *encoder* standar dengan tiga buah *tracks*.

Berdasarkan standar pengkodean binari, didapatkan konfigurasi sebagai berikut :

Tabel IV. 1 : Konfigurasi track pada berbagai macam posisi [8]

Sector	Track 1	Track 2	Track 3	Angle
1	OFF	OFF	OFF	0° to 45°
2	OFF	OFF	ON	45° to 90°
3	OFF	ON	OFF	90° to 135°
4	OFF	ON	ON	135° to 180°

5	ON	OFF	OFF	180° to 225°
6	ON	OFF	ON	225° to 270°
7	ON	ON	OFF	270° to 315°
8	ON	ON	ON	315° to 360°

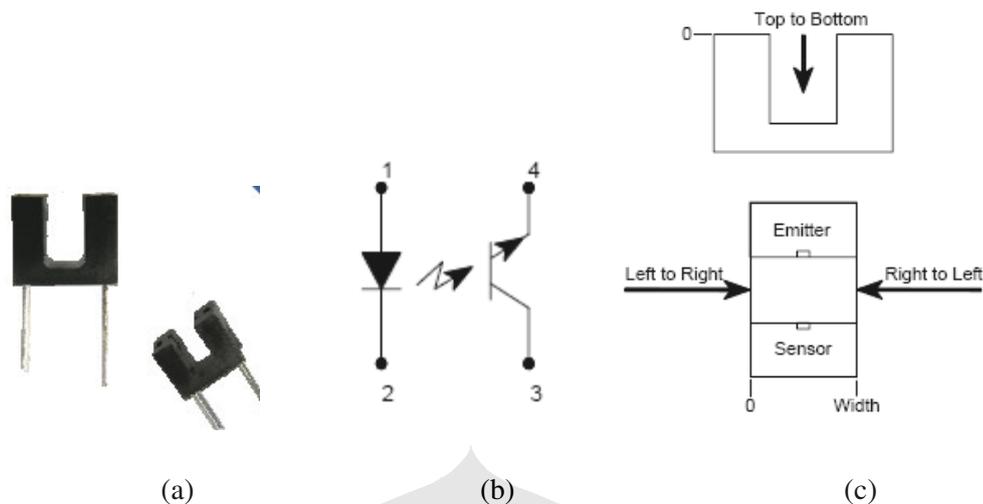
Pada contoh diatas, kode binari akan dihasilkan pada saat piringan cakram berputar. Konfigurasi *Track 1*, *Track 2*, dan *Track 3* memiliki standar binarinya masing-masing yang akan menghasilkan data pulsa digital yang berbeda-beda berdasarkan posisi dan posisi benda yang dideteksi. Kesalahan mulai terjadi apabila *encoder* berada pada posisi yang tidak tepat. Misalnya pada saat putaran *encoder* berhenti di batas pertengahan antara dua *track* (segmen), maka *encoder* tidak dapat menentukan kode binari yang sesuai digunakan.

IV.1.2. Encoder Pada Test bed Kontroler Hybrid

Jenis *encoder* yang digunakan pada *test bed hybrid* ini merupakan *encoder incremental* yang berfungsi untuk mendeteksi putaran dan posisi dari kendaraan. *Encoder incremental* dipilih karena parameter yang dideteksi adalah parameter putaran yang tidak memerlukan pendeteksian secara detail mencakup arah perputaran. Hal ini sesuai dengan pengertian dari *encoder incremental* diatas, yang hanya berfungsi untuk menghitung jumlah putaran (*incremental*).

IV.1.2.1 Sensor Encoder Pendeteksi Putaran

Pada tahap awal pendeteksian putaran digunakan sensor *encoder* yang merupakan rangkaian dari *transducer* optocoupler. *Optocoupler* sendiri merupakan sensor yang bekerja dengan menggunakan prinsip infrared sebagai transmitter dan phototransistor sebagai receiver. *Optocoupler* dirancang dengan desain yang memiliki slot cekungan diantara transmitter dan receiver.



Gambar IV. 6 : (a) Optocoupler ; (b) Infrared Transmission ; (c) Optocoupler Slot [11]

Apabila slot terbuka bebas (tidak ada yang menghalangi) maka keluaran dari phototransistor akan bernilai ON, sedangkan apabila terdapat sebuah objek yang menghalangi celah antara transmitter dengan receiver maka *optocoupler* akan bernilai OFF. Kondisi ON/OFF inilah yang akan memberikan sinyal input bagi komparator untuk dapat mengeluarkan sinyal digital yang mampu diolah oleh mikrokontroler.

IV.1.2.2 Sensor *Encoder* Pendeteksi Kemiringan

Sedangkan untuk sensor pendeteksi kemiringan digunakan sensor incremental yang memiliki dua buah indeks. Kedua buah indeks tersebut berfungsi untuk membedakan arah perputaran. Secara sederhana dijelaskan, banyaknya putaran dibagi dengan resolusi *encoder* akan menghasilkan jumlah putaran yang dapat dianalogikan sama dengan besarnya sudut perputaran. Sudut perputaran tersebut yang akan didefinisikan sebagai sudut kemiringan posisi kendaraan, yang selanjutnya akan diolah oleh kontroler untuk mengambil sebuah keputusan. Arah perputaran yang berbeda akan menentukan kondisi kemiringan dari kendaraan, apakah sedang menanjak atau sedang berjalan pada jalan turunan. Berbeda dengan sensor pendeteksi putaran, penggunaan sensor *USDigital S5-360* sebagai pendeteksi kemiringan dimaksudkan untuk memperoleh ketelitian dalam mengakuisisi data.

Sensor *encoder* yang digunakan sebagai pendeteksi kemiringan adalah :



Gambar IV. 7 : USDIGITAL S5-360 Rotary encoder [13]

<i>Manufacturer</i>	: USDigital
<i>Type</i>	: <i>Incremental Rotary Encoder</i>
<i>Series</i>	: S5-360 –BM
<i>Resolution</i>	: 360°
<i>Operating voltage</i>	: 4.5 -5.5 volt
<i>Output voltage</i>	: 2.5 Volt
<i>Maximum Shaft Speed</i>	: 10.000 RPM

IV.2. Pengatur Tegangan

Test bed yang dirancang memerlukan berbagai macam sumber tegangan dari masing-masing komponen seperti kontroler dan aktuator. Salah satu cara untuk untuk mengurangi biaya produksi adalah dengan menggunakan satu buah catu daya disertai dengan rangkaian tegangan pengatur untuk menghasilkan beberapa nilai tegangan yang dibutuhkan.

IV.2.1. Pembagi Tegangan

Sebuah pembagi tegangan memiliki tegangan keluaran yang sesuai (linear) dengan tegangan input. Besarnya perbandingan antara tegangan output dengan tegangan input disebut dengan *gain*.

$$g = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (IV.1)$$

Berdasarkan persamaan diatas [8], tegangan keluaran dapat dihitung dengan menggunakan rumus [8]:

$$V_o = gV_{in} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (IV.2)$$

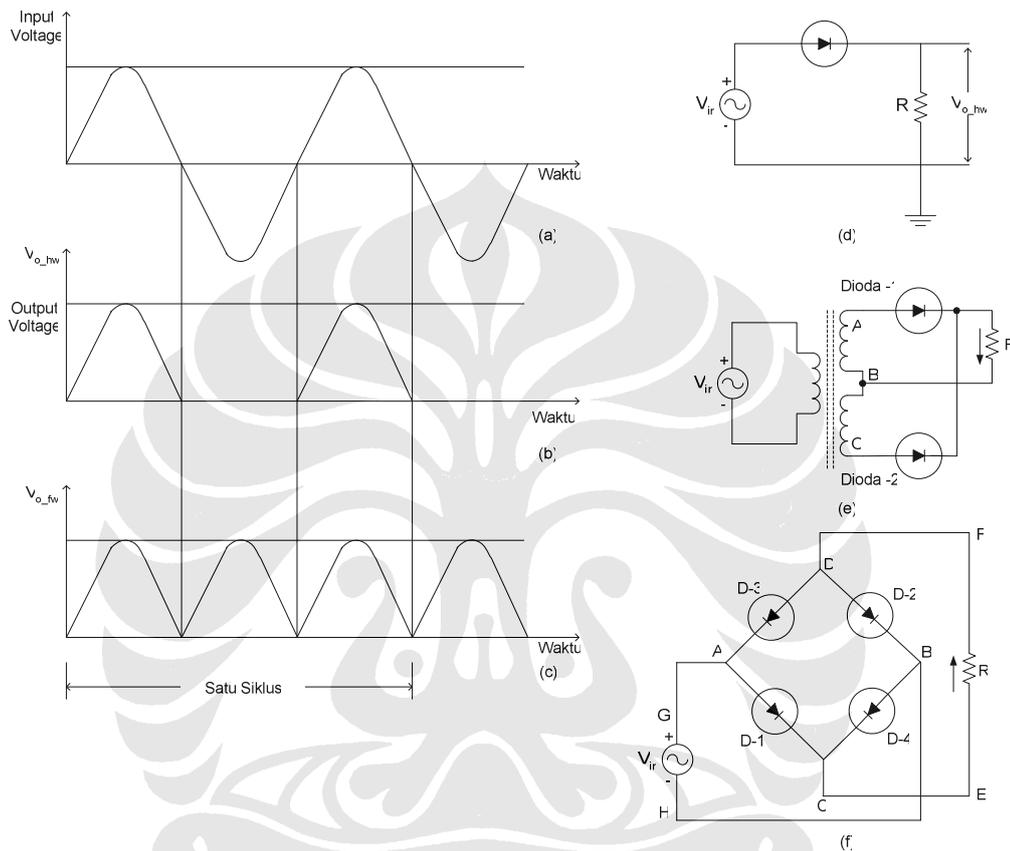
Berdasarkan perhitungan rumus tersebut maka dalam menentukan besarnya voltage regulator yang akan digunakan harus berdasarkan pada jangkauan nilai tegangan keluaran yang diinginkan. Namun pada aplikasinya hal tersebut dapat dipermudah dengan menggunakan komponen yang sudah memiliki spesifikasi tertentu disesuaikan dengan spesifikasi yang kita butuhkan.

IV.2.2. Penyearah Tegangan

Dioda semikonduktor menggunakan dua jenis material semikonduktor (tipe p dan tipe n) yang melewati *carrier* dari satu tipe ke yang lainnya menyebrangi *junction* tetapi melawan setiap aliran dalam arah yang berlawanan. Dioda semikonduktor adalah bentuk paling sederhana dari alat pengontrol *carrier*. Aksi aliran yang *unidirectional* adalah dasar dari penyearah tegangan, proses dimana arus AC diubah atau disearahkan menjadi DC. Dua istilah, dioda dan penyearah tegangan, sering digunakan saling bergantian. Perubahan dari AC ke DC dibutuhkan dalam banyak aplikasi, termasuk dalam sistem kontrol. Penyearahan tegangan dapat dicapai dalam dua cara, penyearahan setengah gelombang, dan gelombang penuh.

Jika sinyal input tegangan AC (V_{in}) dalam setengah siklus positif, dioda dalam *forward bias* dan arus mengalir melalui dioda. Jika V_{in} dalam setengah siklus negatif, dioda dalam keadaan *reverse bias*, dan tidak ada arus yang mengalir. Sehingga tidak ada gelombang negatif pada output walaupun ada setengah siklus negatif di V_{in} . Output penyearah tegangan setengah gelombang adalah DC secara alami, karena hanya ada gelombang positif saja. Karena hanya ada setengah gelombang yang muncul pada output, sirkuit yang menghasilkan gelombang ini disebut penyearah setengah gelombang.

Sirkuit Penyearah gelombang penuh menyearahkan bagian gelombang negatif dari input sekaligus bagian gelombang positifnya. Seluruh siklus negatif dan positif muncul pada output. Ada dua tipe sirkuit penyearah gelombang penuh, yaitu yang disebut *center-tapped* menggunakan *transformer* dan dua dioda, dan yang disebut *bridge-type* menggunakan empat dioda.



Gambar IV. 8 : (a) AC input ; (b) Output half wave rectifier ; (c) Output full wave rectifier; (d) Half wave rectifier circuit ; (e) Center tapped full wave rectifier circuit; (f) Bridge type full wave rectifier circuit. [8]

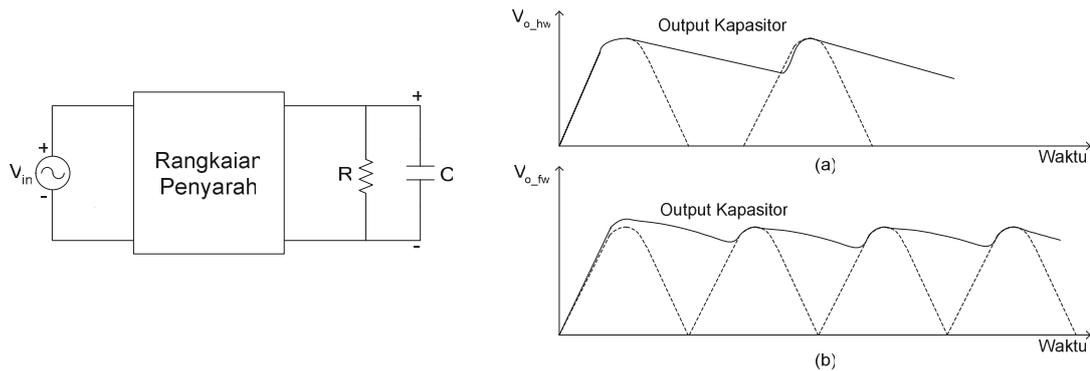
Pada sebuah tipe *center-tapped*, koil sekunder dari transformer memiliki titik tengah. Pada setengah siklus positif di koil sekunder, A adalah positif, sehingga B dan C adalah negatif terhadap A (C juga negatif terhadap B). Karena A adalah positif, dioda 1 akan menghantarkan, dan arus akan melewati resistor ke B. B adalah titik referensi dan harus di-*ground*-kan. Pada setengah siklus negatif, A adalah negatif terhadap B dan lebih negatif lagi terhadap C. Sehingga C adalah positif. Dioda 2 akan menghantarkan arus, yang akan melewati resistor dalam arah yang sama ketika dioda 1 menghantarkan selama setengah siklus positif. Jadi

walaupun sinyal input adalah setengah siklus positif atau negatif, arah aliran arus melalui resistor tidak berubah. Konsekuensinya, tegangan output adalah positif sepanjang waktu.

Fenomena yang mirip muncul pada sirkuit jembatan penyearah tegangan (*bridge-type*). Pada setengah siklus positif sinyal input, A akan positif dan B negatif. Arus akan mengalir melalui D-1 dan D-2. Loop arus adalah GACEFDBH. Selama input sinyal setengah siklus negatif, loop arus adalah HBCEFDAG. Dalam hal ini sinyal output adalah sinusoidal secara alami. Output ini disebut sinyal DC pulsatif dan tidak disebut sinyal DC karena output ini berpulsa secara alami.

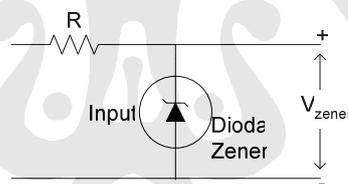
Output berpulsa ini membutuhkan penghalusan agar dihasilkan sinyal DC yang relatif konstan. Tegangan yang konstan didapatkan dengan menghubungkan kapasitor pada sirkuit output penyearah tegangan. Kapasitor menghaluskan sinyal output dengan menyaring riaknya. Biasanya kapasitor besar yang disebut kapasitor penghalus digunakan, dan harus dihubungkan secara paralel terhadap *load*.

Sirkuit penghalusan bekerja dengan cara : selama periode naik dari output sinyal, kapasitor mulai mengisi, sampai puncak gelombang. Selama periode turun, kapasitor menahan nilai maksimum dan mulai melepaskan tegangan melalui resistor. Nilai dari kapasitor harus ditentukan untuk menghindari pelepasan yang cepat. Sehingga tegangan pada kapasitor tidak pernah mencapai nol. Kemampuan pelepasan tergantung oleh konstanta waktu yang nilainya tergantung pada R dan C-nya. Karena kapasitor tidak bisa melepaskan tegangan dengan cepat, selama sinyal output dalam periode naik, kapasitor akan mengisi lagi sampai puncak tegangan. Saat ini, kapasitor mulai mengisi tidak dari nol tetapi dari level dimana tegangannya sama dengan tegangan sisa pada kapasitor. Tegangan sisa adalah tegangan pada kapasitor yang masih ada setelah pelepasan tegangan. Secara umum, kapasitor bernilai besar akan menampilkan efek penghalusan yang lebih baik.



Gambar IV. 9 : (a) Smoothed output half wave rect. signal;(b) Smoothed output full wave rect. signal [8]

Dioda zener digunakan untuk menstabilkan atau meregulasikan tegangan di sirkuit. Dioda zener selalu dihubungkan dalam kondisi *reverse bias* dan didesain untuk bekerja pada tegangan *reverse breakdown* yang dikenal sebagai tegangan zener. Tegangan pada dioda zener relatif konstan pada variasi arus output yang besar.



Gambar IV. 10 : Penyearah menggunakan dioda zener [8]

IV.2.3. Pengatur Tegangan Pada *Test bed* Kontroler *Hybrid*

Pengatur tegangan pada kontroler *hybrid* ini menggunakan komponen IC LM 338 dan LM 323, yang merupakan komponen IC spesifik pengatur tegangan. Penggunaan LM 338 dan LM 323 ini disesuaikan dengan rangkaian *filtering* sehingga menghasilkan keluaran yang stabil. IC LM 338 dan LM 323 dipilih berdasarkan kinerja dan spesifikasi yang dimilikinya, juga kepraktisan dalam menggunakannya tanpa memerlukan konfigurasi komponen elektrik yang terlalu banyak. Berikut ini adalah spesifikasi dari kedua IC *voltage regulator* tersebut.

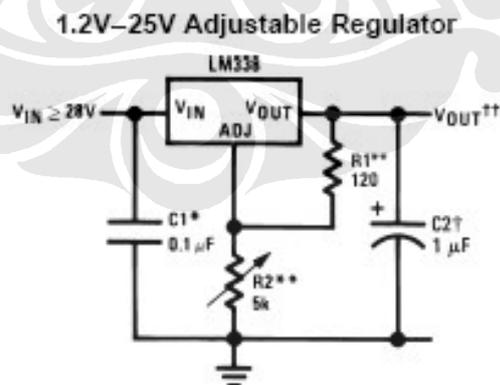
24 Volt – 5 A Voltage Regulator



Gambar IV. 11 : LM 338 [10]

<i>Manufacturer</i>	: National Semiconductors
<i>Tipe</i>	: 5A adjustable voltage regulator
<i>Seri</i>	: LM 338
<i>Jangkauan tegangan operasi</i>	: 1.2 volt hingga 32 volt
<i>Tegangan Input maksimum</i>	: 40 VDC
<i>Temperatur Operasi</i>	: 0° C - 125° C

Skematik aplikasi LM 338 sebagai voltage regulator :



Gambar IV. 12 : Skematik 1.2-25V DC voltage regulator [10]

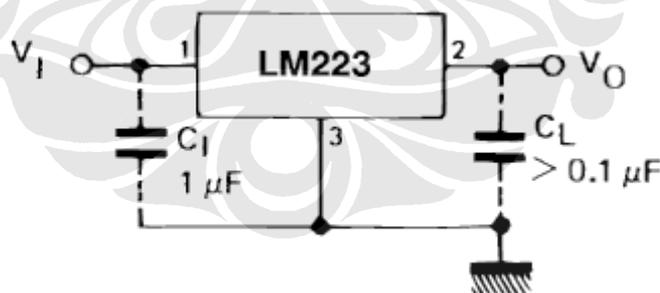
5 Volt – 3 A Voltage Regulator



Gambar IV. 13 : LM 323 [10]

<i>Manufacturer</i>	: National Semiconductors
<i>Type</i>	: 5V - 3A <i>voltage regulator</i>
<i>Seri</i>	: LM 323 / LM 223
<i>Tegangan operasi</i>	: 5V DC
<i>Tegangan Input maksimum</i>	: 20V DC
<i>Temperatur Operasi</i>	: 0° C - 125° C

Skematik aplikasi LM 223 / LM 323 sebagai voltage regulator :

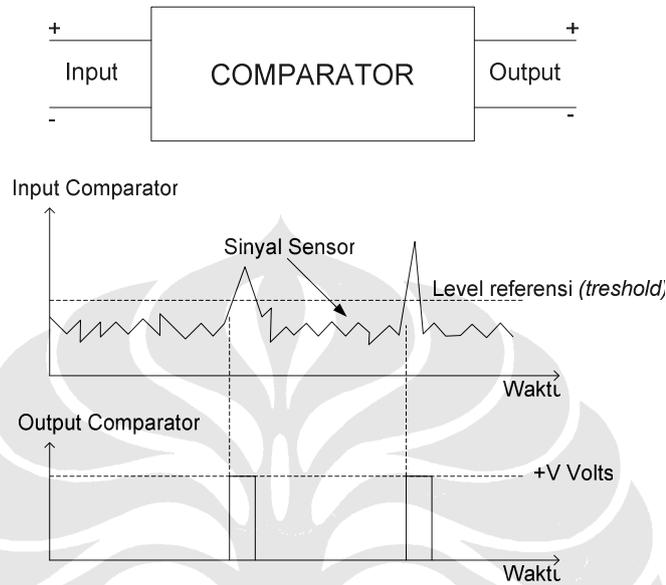


Gambar IV. 14 : Skematik 5V voltage regulator [10]

IV.3. Comparator

Comparator banyak digunakan pada banyak aplikasi dimana pembandingan digital diperlukan. *Comparator* adalah sebuah sirkuit elektronik yang secara umum terdiri dari sebuah tegangan referensi, pada tegangan tersebut sinyal lain dibandingkan. Jika sinyal yang akan dibandingkan lebih besar dari tegangan

referensi, sirkuit komparator menyediakan output dalam bentuk pulsa atau sinyal. Pada gambar berikut, sinyal sensor dibandingkan dengan tegangan referensi pada komparator, yang akan menghasilkan pulsa ketika sinyal sensor melebihi batas referensi.



Gambar IV. 15 : Diagram Skematik Comparator [8]

Pada kondisi tertentu sebuah sirkuit sensor dan komparator terintegrasi menjadi satu. Kombinasi jenis ini biasanya digunakan pada sistem kontrol *feedback*.

IV.3.1. Operational Amplifier

Sirkuit komparator dapat didesain menggunakan dioda, transistor, dan *Operastional Amplifier*. *Intergrated circuit* untuk komparator juga ada. Komparator berbasis *operational amplifier* (OPAMP) dapat dibuat dalam *mode* pembalik atau tidak-pembalik. Karakteristik OPAMP mengetahui bahwa transisi output muncul tergantung pada pengaturan terminal input. Empat kombinasi tersedia untuk transisi OPAMP, yaitu :

- *Mode* pembalik (*inverting*) :

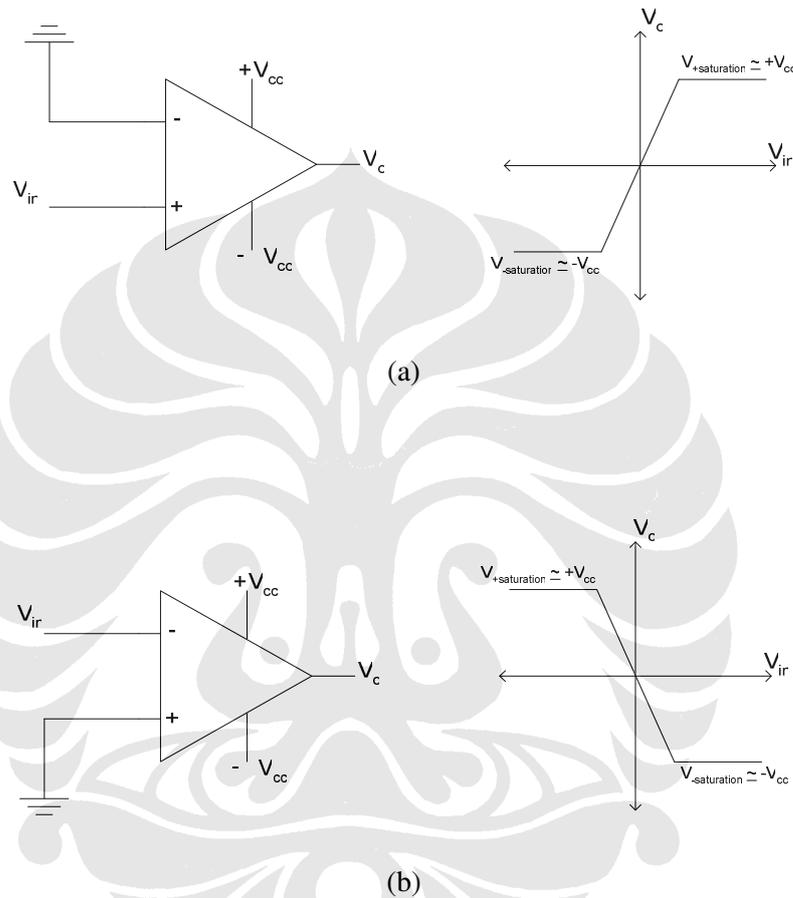
$$V_o = V_{+saturasi} \text{ untuk } V_{in} > 0$$

$$V_o = V_{-saturasi} \text{ untuk } V_{in} < 0$$

- Mode tidak-pembalikan (*non inverting*) :

$$V_o = V_{+saturasi} \text{ untuk } V_{in} < 0$$

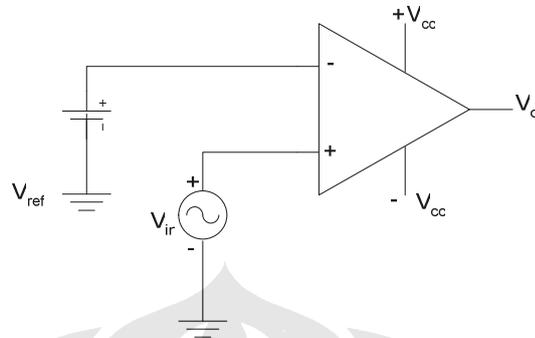
$$V_o = V_{-saturasi} \text{ untuk } V_{in} > 0$$



Gambar IV. 16 : OPAMP Transistion (a) Inverting ; (b) Non Inverting [8]

Dua loop terbuka sirkuit OPAMP yang ditunjukkan pada gambar di atas dapat digunakan sebagai komparator. Transisi terjadi berdasarkan apakah tegangan referensi ($V_{ref} = V_{in}$) lebih kecil dari nol atau lebih besar dari nol. Dapat dikatakan bahwa titik transisi sudah ditentukan pada level tegangan nol. Referensi tegangan yang nol dapat digantikan oleh tegangan referensi arbitrari, yang bisa menjadi tegangan untuk pembandingan. Gambar berikut menunjukkan sirkuit komparator yang menggunakan OPAMP dalam *mode* tidak-pembalikan. Pada gambar, sebuah tegangan referensi dihubungkan pada terminal pembalik. Sinyal

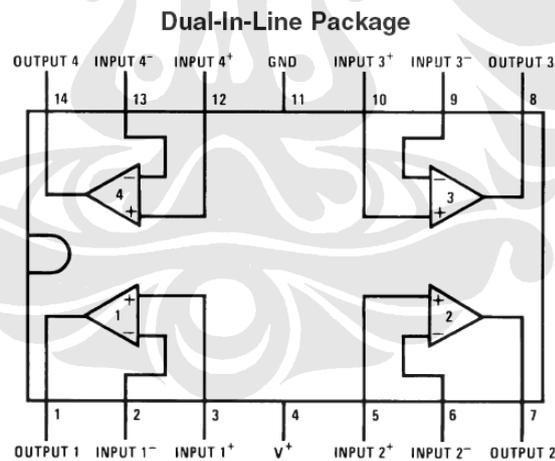
yang dibandingkan dengan tegangan referensi diberikan pada terminal tidak-pembalikan. Kapanun tegangan input melebihi tegangan referensi, transisi muncul, menghasilkan pulsa output.



Gambar IV. 17 : Comparator menggunakan OPAMP [8]

IV.3.2. Comparator Pada Test bed Kontroler Hybrid

Comparator yang digunakan pada test bed ini merupakan comparator yang terintegrasi dalam satu buah IC. IC komparator yang digunakan adalah LM 324 yang terdiri dari 4 buah operasional amplifier (OP-AMP) terintegrasi.



Gambar IV. 18 : LM 324 Schematic [10]

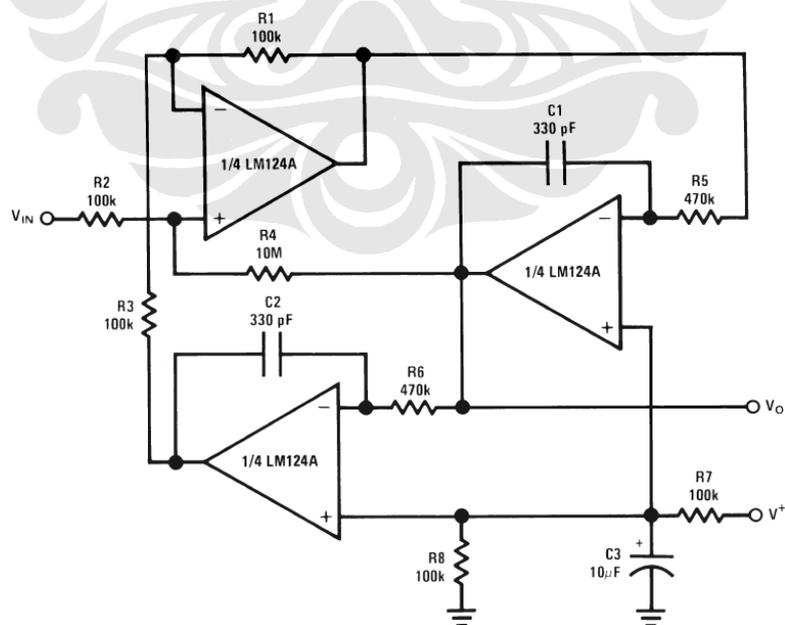
Berikut ini adalah spesifikasi lengkap dari IC LM 324 yang digunakan sebagai comparator didalam test bed ini.



Gambar IV. 19 : LM 324 [10]

<i>Manufacturer</i>	: National Semiconductors
<i>Type</i>	: Low Power Quad Amplifiers
<i>Seri</i>	: LM 324
<i>Tegangan operasi</i>	: 5V DC
<i>Output Swing</i>	: 0 – 1,5 Volt

Berikut ini adalah skematik aplikasi dari *comparator* LM 324 yang digunakan pada *test bed* salah satu komponen kontroler *test bed*.



Gambar IV. 20 : Skematik aplikasi LM 324 sebagai comparator [10]