

15.512/H/02



TUGAS AKHIR
(KS 1701)

**STUDI PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN
KECEPATAN PUTARAN MOTOR DIESEL KAPAL
DENGAN MENGGUNAKAN KONTROLER
LOGIKA FUZZY**

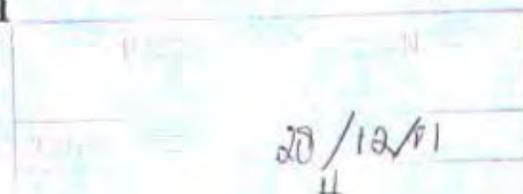


RSSP
629.29
Dwi
5-1
2001

Disusun Oleh :

WIDIGDO DWILAKSONO
NRP. 4296 100 029

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2001**



**STUDI PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN
KECEPATAN PUTARAN MOTOR DIESEL KAPAL
DENGAN MENGGUNAKAN KONTROLER
LOGIKA FUZZY**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**

Mengetahui/menyetujui

Dosen Pembimbing I

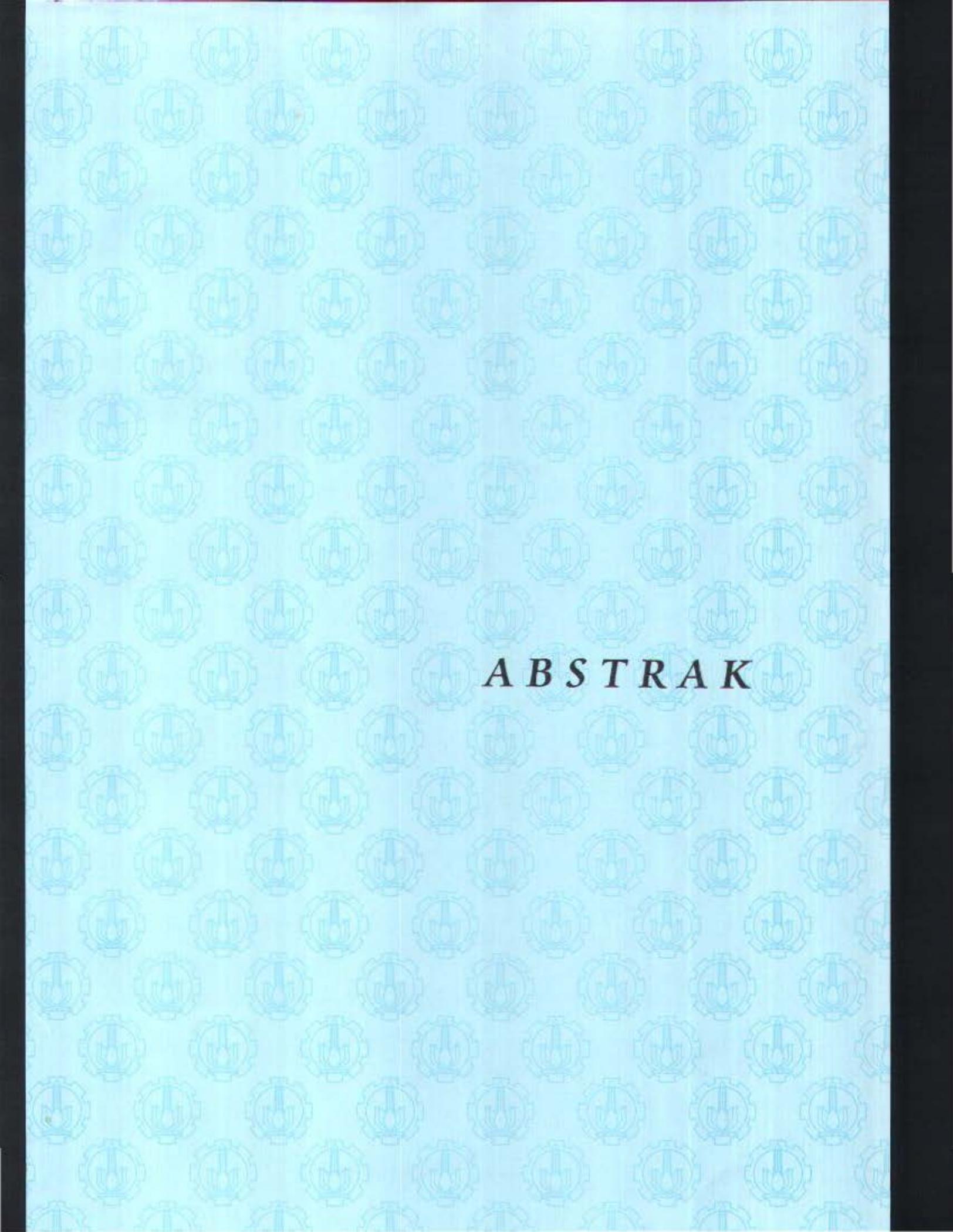
Dosen Pembimbing II

**Ir. Agung Zuhdi, MF
NIP. 131 646 637**



**Ir. Sardono Sarwito, M.Sc
NIP. 131 651 255**

**SURABAYA
JULI 2001**



ABSTRAK

ABSTRAK

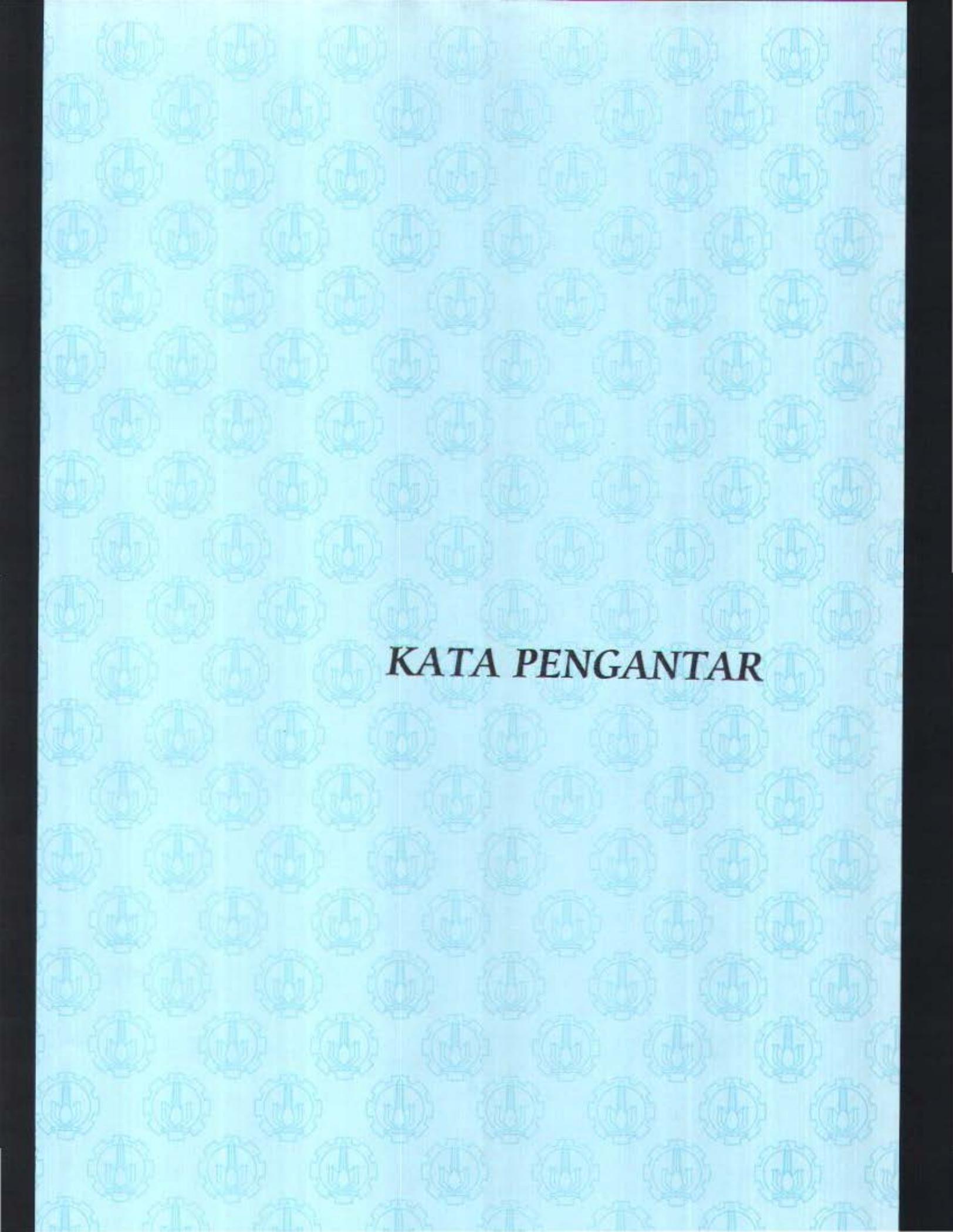
Konsep himpunan fuzzy merupakan konsep yang pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Konsep ini telah berkembang demikian pesatnya menjadi suatu teori yang cukup lengkap terutama penggunaannya dalam desain sistem pengendalian.

Penerapan logika fuzzy dalam sistem kontrol ini meliputi proses kuantisasi, fuzzifikasi, inference/reasoning, dan defuzzifikasi. Masukan berupa sinyal error dan delta error diterjemahkan menjadi tingkat kuantisasi, kemudian dicari derajat keanggotaannya pada fungsi-fungsi himpunan fuzzy yang telah didefinisikan sebelumnya. Berdasarkan rule-rule juga telah didefinisikan, maka didapatkan keputusan-keputusan. Dengan menggunakan metode defuzzifikasi Center of Area, keputusan-keputusan tersebut menghasilkan satu harga tingkat kuantisasi untuk sinyal keluaran. Harga tersebut diterjemahkan menjadi besaran sinyal kontrol yang sesuai, sebagai keluaran dari kontroler.

Untuk sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel ini sistem yang dirancang adalah MISO (Multi Input Single Output) dengan dua masukan yaitu error (e) dan delta error (Δe) serta satu keluaran yaitu sinyal atur (u). Strategi fuzzyfikasi dilakukan dengan 7 (tujuh) variabel linguistik: NB, NS, NK, NL, PK, PS, PB; 49 aturan dasar, sistem inferensi fuzzy yang dipakai adalah metode Min-Mamdani serta memakai defuzzifikasi Center Of Area.

Kecepatan putaran motor diesel yang teridentifikasi oleh sensor (tachogenerator) dibandingkan dengan kecepatan putar set point oleh detektor kesalahan. Sinyal dari detektor kesalahan diolah oleh kontroler (logika fuzzy) untuk menghasilkan sinyal yang dapat menggerakkan fuel rack setelah melalui aktuatur (elektro servohidrolis). Jumlah aliran bahan bakar yang masuk kedalam silinder motor ditentukan oleh gerak fuel rack yang merupakan unsur penting dalam menentukan kecepatan putaran motor tersebut.

Beberapa keterbatasan dalam sistem ini antara lain dalam menentukan stabilitas dan sensitivitas dari sistem yang disebabkan oleh pendekatan matematis terhadap sistem tersebut masih sulit untuk dilakukan.



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Assalmu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tak lupa sholawat serta salam teruntuk Nabi Besar Muhammad SAW yang telah mencurahkan segala perhatian, pikiran, cinta serta seluruh hidupnya untuk kepentingan ummat sepanjang masa.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk meraih gelar sarjana pada jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini telah berusaha dengan segenap kemampuan dengan harapan dapat menghasilkan karya sebaik mungkin, namun hasil penulisan masih terasa jauh dari sempurna. Meskipun demikian, besar harapan penulis semoga buku Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan almamater tercinta pada khususnya serta bangsa dan negara ini pada umumnya.

Penulis sadar sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini tak akan selesai tanpa ada bantuan dari pihak-pihak lain, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis haturkan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Yang tercinta Ayah dan Bunda, yang telah melahirkan, merawat, mendidik, dan membesarkanku untuk menjalani hidup ini.
2. Saudara-saudaraku tersayang, mbak Shinta dan semua adik-adikku, Tio, Ferry, Dian atas do'a-do'anya.

3. Bapak Ir. Agung Zuhdi, MF. selaku Dosen pembimbing I, yang telah mencurahkan segala perhatian, pikiran, dan waktunya untuk penulis.
4. Bapak Ir. Sardono Sarwito, M.Sc. selaku Dosen pembimbing II, yang juga telah mencurahkan segala perhatian, pikiran dan waktunya.
5. Bapak DR. Ir. A. A. Masroeri, M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS Surabaya.
6. Bapak Ir. Suryo Widodo Adji, M.Sc. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS Surabaya.
7. Bapak Ir. Alam Baheramsyah selaku Dosen Wali penulis selama ini.
8. Bapak Ir. Soemartojo yang telah memberikan pertimbangan dan nasihat-nasihatnya.
9. Bapak Ir. Indrajaya Gerianto M.Eng. atas perhatian dan pinjaman literaturnya.
10. Bapak Ir. Asianto juga atas perhatiannya.
11. Adikku tersayang, Riana, yang selalu mengingatkanku untuk cepet lulus, cepet kerja dan atas motivasi serta do'anya.
12. Sahabat karibku yang telah banyak membantuku, Anis "kecenk" Abaana Yusuf dan Abdul "fuzzy" Haris serta Mas Aris Nasuha.
13. Heru "CAT" Hermawan, Satryo "mechotot" Wibowo, Wendi "rules" Junaedi atas sumbang sih pikiran dan sebagainya yang teramat berarti buat penulis.
14. Temen-temen seperjuanganku, Idnillah, Dodik, Hendra, Didit, Heri, Reni, Iwan, tak lupa juga untuk Aris pinjaman printernya.
15. Rekan-rekan keputih IIB/23C yang banyak aku repotkan.
16. Rekan-rekan Gebang Lor 49 atas pengertian dan perhatiannya.

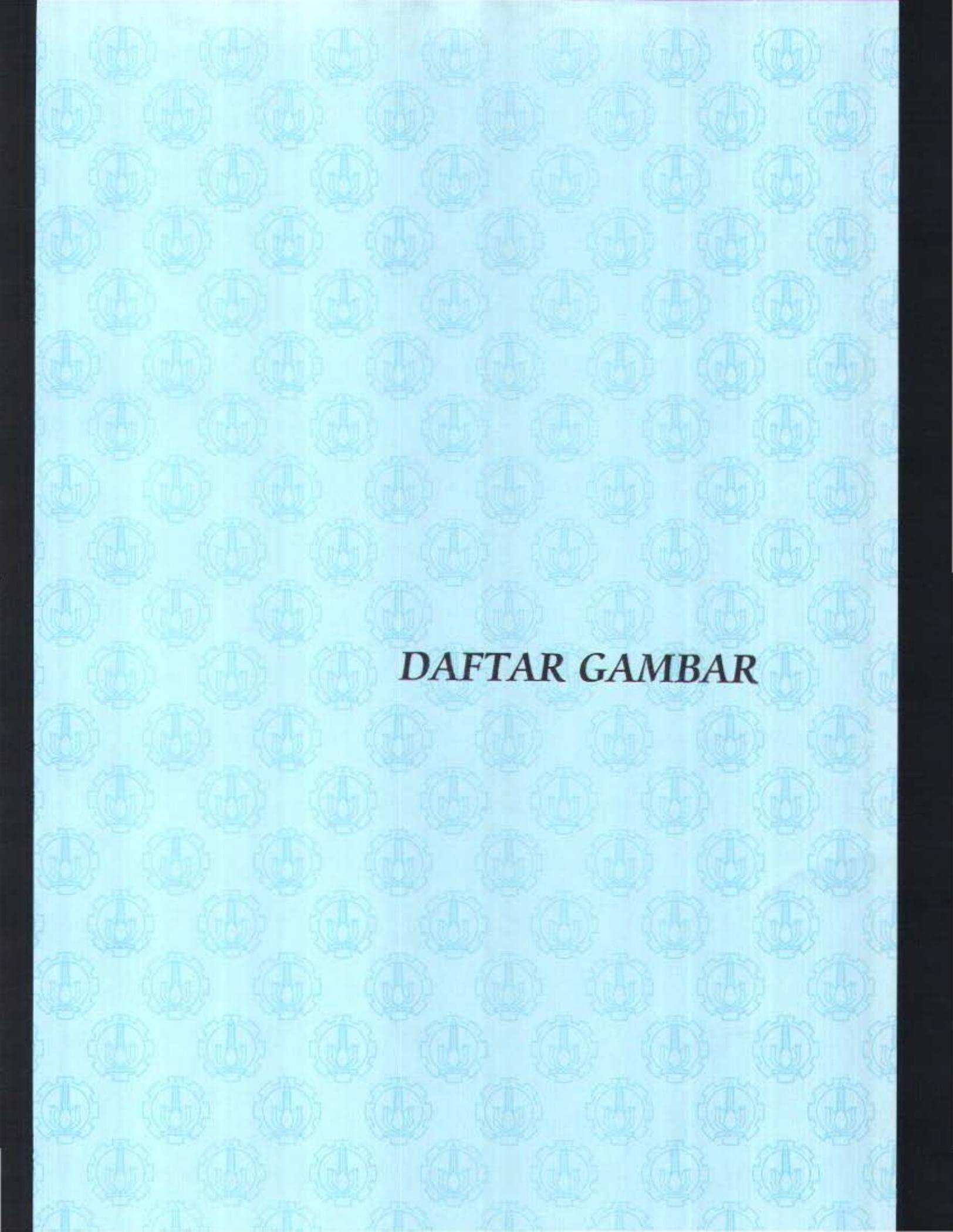
Dan masih banyak lagi nama yang tidak dapat penulis sebutkan disini, semoga segala bantuannya diberikan balasan oleh-Nya.

Harapan kami sebagai penulis, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi segenap pembaca, dan juga kritik dan saran yang membangun guna mencapai hasil yang lebih baik.

Pada akhirnya penulis sangat menyadari bahwa tak ada gading yang tak retak demikian juga dengan penulis, sehingga perlu kiranya penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya atas kesalahan yang sengaja maupun yang tidak disengaja penulis lakukan.

Wassalamualaikum, Wr, Wb.

Penulis



DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Pemyajian grafis himpunan fuzzy A.
- Gambar 2.2 Grafik fungsi Triangular.
- Gambar 2.3 Definisi himpunsn Fuzzy dengan variabel linguitik dingin, hangat, dan panas.
- Gambar 2.4 Definisi himpunan Fuzzy lambat, sedang, dan cepat.
- Gambar 2.5 Grafik irisan (Intersection) dari himpunan Fuzzy lambat dan sedang.
- Gambar 2.6 Gabungan (Union) antara hinpunan Fuzzy sedang dan cepat.
- Gambar 2.7 Negasi atau komplemen dari cepat.
- Gambar 2.8 Struktur dasar kontrol logika Fuzzy.
- Gambar 2.9 Mekanisme Inferensi Max-Min Mamdani.
- Gambar 3.1 Skema diagram sistem loop tertutup pengendalian kecepatan motor diesel.
- Gambar 3.2 Blok diagram dinamika motor diesel.
- Gambar 3.4 Blok diagram akhir dinamika motor diesel.
- Gambar 3.5 Magnet Solenoid.
- Gambar 3.6 Blok diagram dinamika magnet solenoid.
- Gambar 3.7 Servovalve hidrolik proporsional integarl.
- Gambar 3.8 Blok diagram servomotor hidrolik dengan aksi PI.
- Gambar 3.9 Blok diagram sistem pengendalian elektronik kecepatan motor induk kapal.

- Gambar 4.1 Blok diagram pengatur logika Fuzzy.
- Gambar 5.1 Fungsi keanggotaan error.
- Gambar 5.2 Fungsi keanggotaan delta error.
- Gambar 5.3 Fungsi keanggotaan output kontrol.
- Gambar 5.4 Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan motor diesel dengan menggunakan kontroler logika Fuzzy (1) dan governor mekanis (2) dengan set point kecepatan putar 50 rpm.
- Gambar 5.5 Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan motor diesel dengan menggunakan kontroler logika Fuzzy (1) dan governor mekanis (2) dengan set point kecepatan putar 100 rpm.
- Gambar 5.6 Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan motor diesel dengan menggunakan kontroler logika Fuzzy (1) dan governor mekanis (2) dengan set point kecepatan putar 150 rpm.
- Gambar 5.7 Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan motor diesel dengan menggunakan kontroler logika Fuzzy (1) dan governor mekanis (2), set point 50 rpm, propeller dikopel langsung (torsi 100 Nm).
- Gambar 5.8 Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan motor diesel dengan menggunakan kontroler logika

Fuzzy (1) dan governor mekanis (2) dengan adanya gangguan step load.

Gambar 5.9a Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan motor diesel yang menggunakan kontroler logika Fuzzy dengan adanya gangguan gelombang.

Gambar 5.9b Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan motor diesel yang menggunakan governor mekanis dengan adanya gangguan gelombang.

Gambar 5.9c Grafik gabungan hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan motor diesel yang menggunakan controller logika Fuzzy (1) dan governor mekanis (2) dengan adanya gangguan gelombang.

Gambar 5.10 Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel dengan menggunakan kontroler logika fuzzy (1) dan governor mekanis (2) dengan adanya gangguan step down

Gambar 5.11 Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel medium speed dengan menggunakan kontroler logika fuzzy pada set point 500,600 dan 750 rpm. Khusus untuk set point 750 rpm dilakukan secara bertahap.

Gambar 5.12 Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan motor diesel high speed dengan menggunakan kontroler logika fuzzy pada set point 1100,1200 dan 1300 rpm secara bertahap.

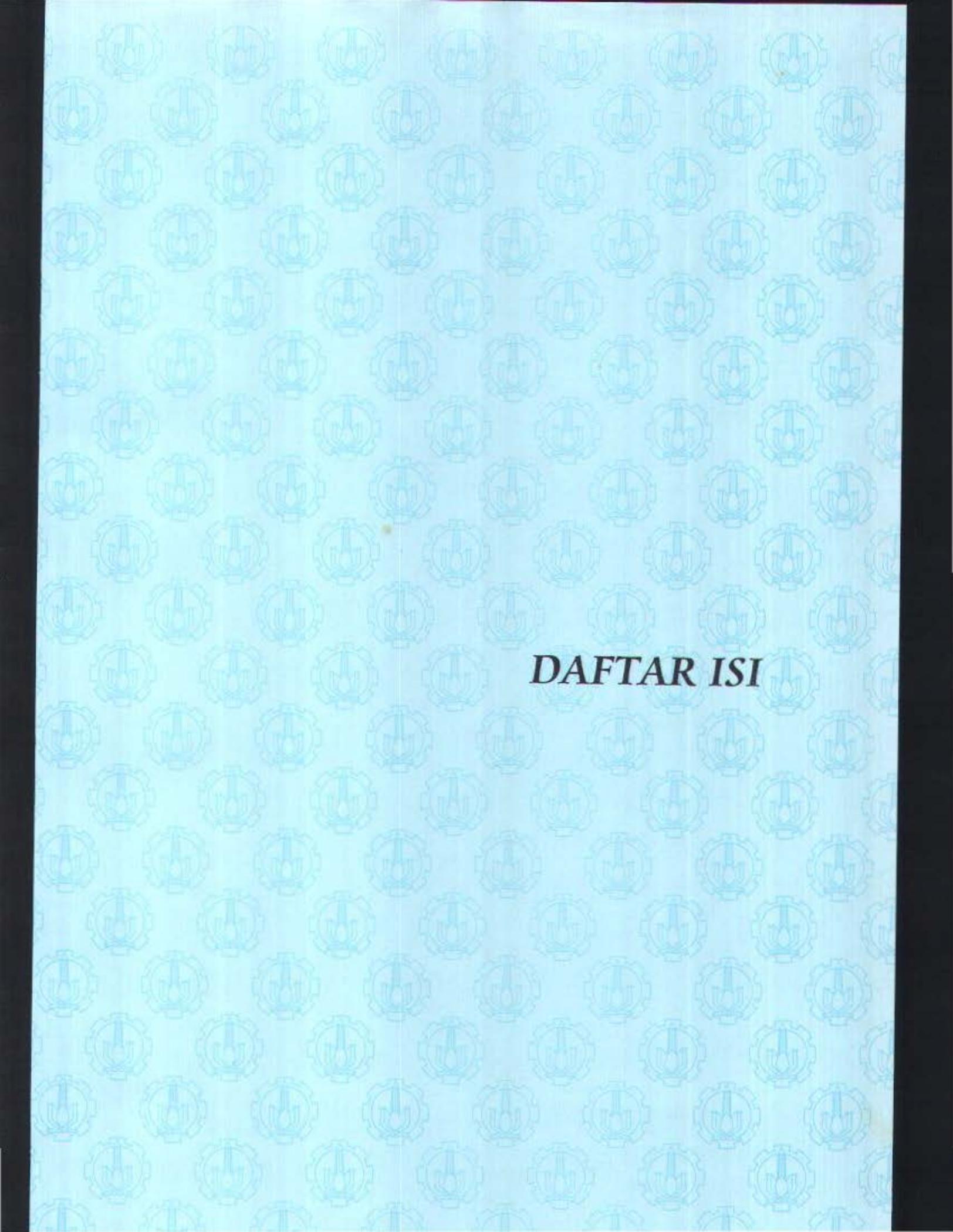


DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Pendefinisian bentuk fungsi segitiga uniform.

Tabel 4.2 Penurunan kaidah atur dengan tabel Mac Vicar-Whelan.



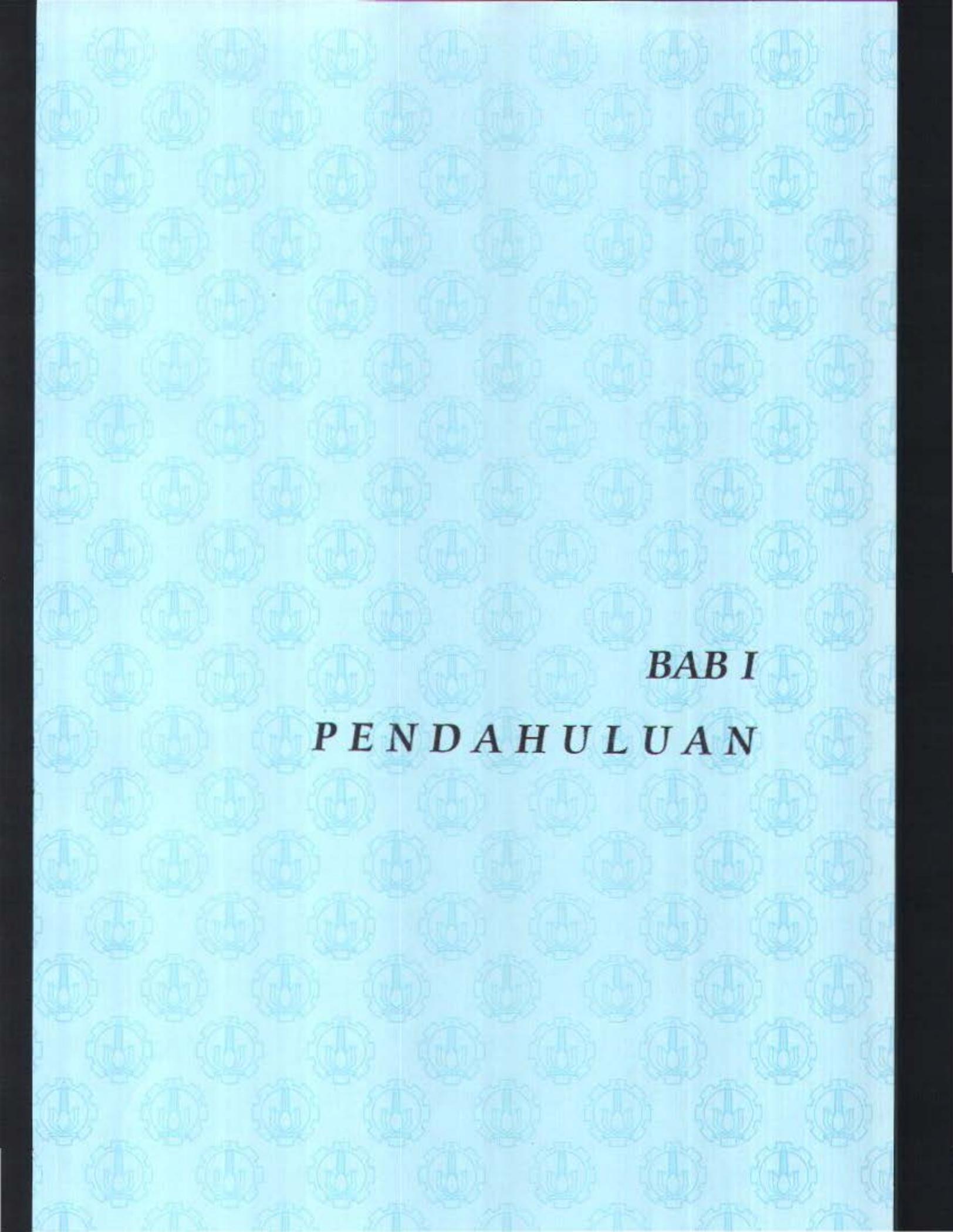
DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	x
Daftar Isi	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Metodologi	3
BAB II LOGIKA FUZZY	5
2.1 Definisi Himpunan Fuzzy	7
2.2 Fungsi Keanggotaan (Membership Function)	8
2.3 Variabel Linguistik	9
2.4 Linguistic Hedge	11
2.5 Operasi Himpunan Fuzzy	12

2.6	Kontroller Logika Fuzzy	16
2.7	Struktur Dasar Kontroller Logika Fuzzy	17
BAB III SISTEM PENGENDALIAN KECEPATAN PUTARAN MOTOR		
	DIESEL KAPAL	23
3.1	Beban Motor	23
3.2	Fungsi Pengendali	24
3.3	Karakteristik Pengendali	25
3.4	Pengendali Kecepatan Lebih	27
3.5	Dinamika Elemen Sistem Pengendalian	28
3.5.1	Dinamika Motor Diesel	28
3.5.2	Dinamika Transducer Kecepatan	31
3.5.3	Dinamika Aktuator	33
3.5.3.1	Solenoid	33
3.5.3.2	Servomotor Hidrolik	36
BAB IV PERANCANGAN PENGONTROL LOGIKA FUZZY		39
4.1	Penentuan Variabel Masukan dan Keluaran Fuzzy	40
4.2	Strategi Pengaturan Pengatur Logika Fuzzy	41
4.3	Basis Data	42
4.4	Penyusunan Aturan Dasar	45
4.5	Logika Pengambilan Keputusan	48
4.6	Defuzzyfikasi	48
BAB V SIMULASI DAN ANALISA SISTEM		50
5.1	Metode Pengujian	53

5.1.1 Uji Respon Step	53
5.1.2 Uji Pembebanan	53
5.2 Analisa Hasil Pengujian	54
BAB VI PENUTUP	74
DAFTAR PUSTAKA	77
Lampiran A Grafik step respon hasil simulasi untuk motor diesel medium speed	
Lampiran B Grafik step respon hasil simulasi untuk motor diesel high speed	
Lampiran C Data-data penunjang	
Lampiran D Tachometers	



BAB I
PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi saat ini berlangsung dengan sangat cepat dan pesatnya. Khususnya pada bidang sistem pengendalian, saat ini sejumlah aplikasi kontroler logika fuzzy telah banyak digunakan oleh banyak kalangan dari industri berat sampai dengan rumah tangga. Teknik kontrol yang pertama kali dipaparkan oleh Lotfi Zadeh dan direalisasikan pada sistem kontrol yang sebenarnya dalam skala lab oleh Ebrahim Mamdani dkk, telah berhasil dikembangkan di Jepang untuk keperluan industri maupun rumah tangga. Sejak itu banyak perusahaan Jepang menawarkan produk komersial yang diperkaya dengan teknologi fuzzy seperti autofocus, transmisi otomatis dari mobil, kontrol AC, kulkas dan elevator(Kuswadi,1996)

Berangkat dari kenyataan diatas maka perlu kiranya teknologi kontroler logika fuzzy ini untuk diterapkan lebih lanjut pada teknologi perkapalan. Khususnya pada sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel. Kegunaan sistem pengendali kecepatan putaran (governor) adalah menjaga putaran mesin pada kecepatan yang diinginkan tanpa tergantung pada beban maksimum yang dapat dibawa oleh motor diesel.

Sebagai gambaran, bahwa pada keadaan tertentu beban baling-baling kapal tidak konstan, karena (trim) kapal yang disebabkan oleh adanya gelombang.

Untuk mengatasi adanya perubahan beban tersebut, maka setiap motor diesel kapal dilengkapi dengan pengatur kecepatan putaran motor variabel. Governor yang digunakan pada motor diesel beroperasi dengan mengendalikan jumlah bahan bakar yang dimasukkan kedalam silinder.

1.2. PERMASALAHAN

Adanya olah gerak kapal yang sangat dinamis (trim, heaving, rolling dll) akibat gelombang air laut, angin dan sebagainya, menyebabkan kecepatan putaran propeller menjadi berubah-ubah karena adanya perubahan beban yang diterimanya sehingga kecepatan putaran motor induk juga berubah-ubah. Hal ini kurang menguntungkan bagi performansi / unjuk kerja dari motor induk. Sehingga perlu dipertimbangkan sistem pengendalian kecepatan putaran yang cukup handal untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Berangkat dari latar belakang kontroler logika fuzzy seperti disebutkan pada sub bab sebelumnya, penulis berupaya melakukan sebuah penelitian terhadap sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel yang menggunakan kontroler logika fuzzy untuk membuktikan kemampuan dari sistem ini.

1.3. BATASAN MASALAH

Untuk mencegah melebarnya permasalahan maka dalam tugas akhir ini penulis akan lebih memperhatikan pada studi perancangan sistem pengendalian kecepatan putaran motor induk di kapal. Dalam tugas akhir ini

penulis tidak membahas sampai pada pembuatan alat fisik dari sistem (kontroler) tersebut serta aspek ekonomisnya.

1.4. TUJUAN

Tujuan penelitian dalam tugas akhir ini adalah:

- untuk menerapkan teknologi kontroler logika fuzzy pada governor motor diesel kapal sehingga mampu untuk mengatur dan mempertahankan kecepatan putaran motor diesel sesuai dengan yang diinginkan
- mendapatkan grafik respon dinamik sistem kontrol, dari grafik tersebut dapat diketahui kemampuan kontroler dalam mengatur kecepatan putaran motor diesel.

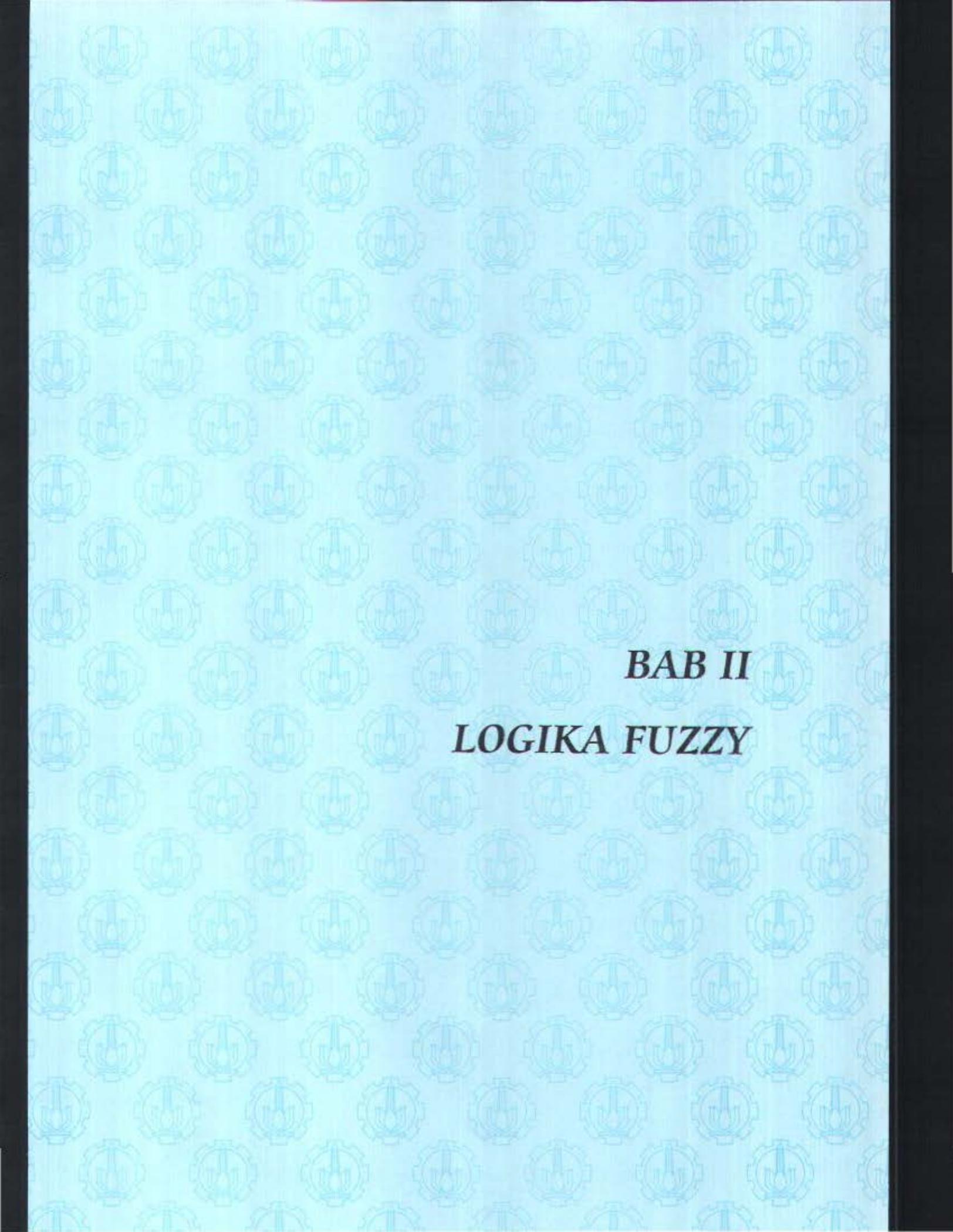
1.5. MANFAAT

Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan kontroler terbaik untuk motor diesel kapal serta sebagai alternatif lain dalam menentukan sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel kapal.

1.6. METODOLOGI

Secara umum metodologi penyelesaian masalah dalam Tugas Akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Mendapatkan informasi dari beberapa sumber yaitu buku-buku yang berkenaan dengan pengendalian kecepatan putaran motor dan buku-buku tentang teori himpunan dan logika fuzzy
2. Mengumpulkan data-data yang diperlukan dari berbagai sumber yang ada.
3. Membuat model matematis dari sistem atau plant
4. Mendefinisikan dan menentukan jumlah variabel linguistik yang akan digunakan dalam aksi atur ini
5. Membuat tabel pandang (look up table) untuk menentukan kaidah-kaidah atur pengaturan logika fuzzy sesuai dengan perintah variabel linguistik yang ditentukan
6. Membuat simulasi kontroler logika fuzzy dengan menggunakan software yang mampu melakukan fuzzyfikasi, penalaan logika fuzzy dan defuzzyfikasi.
7. Menguji kebenaran kontroler logika fuzzy dengan memberikan gangguan yang berupa perubahan beban.
8. Membandingkan hasil keluaran sistem yang menggunakan kontroler logika fuzzy dengan sistem konvensional dalam hal ini governor mekanis.
9. Hasil ini kemudian dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk grafik.



BAB II
LOGIKA FUZZY

BAB II

LOGIKA FUZZY

Dalam memandang suatu fenomena logika manusia tidak hanya terdiri dari dua nilai kebenaran yaitu nol dan satu, tetapi merupakan logika multi nilai yang berangsur-angsur antara suatu penggolongan dengan penggolongan lainnya. Cara berpikir manusia pada dasarnya tidak hanya pada sesuatu yang bersifat eksak atau pasti, tetapi berupa penggolongan-penggolongan dengan batasan-batasan yang samar.

Konsep ini melatarbelakangi konsep teori fuzzy yang diperkenalkan oleh Lotfi A Zadeh tahun 1965 untuk merepresentasikan dan menganalisa fenomena-fenomena di alam nyata yang serba samar atau tidak tepat ditinjau dari cara berpikir manusia mengenai fenomena-fenomena tersebut.

Pada dasarnya logika manusia dalam pengenalan atau pendekatan terhadap suatu obyek, selalu didasarkan pada klasifikasi secara kualitatif atau sering disebut terminologi linguistik. Seperti manusia diklasifikasikan dengan variabel linguistik besar, sedang, kecil; tinggi, pendek; kondisi cuaca diklasifikasikan dengan variabel linguistik : cerah, agak cerah, gelap dan lain-lain. Sifat kebenaran yang dikandung oleh suatu variabel linguistik tersebut adalah samar atau kabur, karena batas antara suatu kebenaran yang satu dengan kebenaran yang lain adalah tidak tegas atau tidak jelas (*vagueness*). Sebagai contoh: suatu pernyataan menyebutkan "Seandainya cuaca *cerah*, saya akan *sering* berolahraga".

“Seandainya saya sudah *besar*, maka saya akan *rajin* belajar”. Seberapa *cerah* dan seberapa *sering*, bagaimana mengukur besar tubuh seseorang, seberapa tingkat *rajin*, hal tersebut sulit untuk dibuat batasan dengan dasar-dasar kuantitatif. Jika *cerah* dikategorikan sebagai kondisi langit yang terang dengan tidak ada awan sama sekali, lalu bagaimana dengan kondisi langit yang sekitar 1-5% berawan, apakah bisa dikategorikan *tidak cerah*, hal tersebut tidak dapat dibenarkan karena pada dasarnya selisih 1-5% berawan tidak dapat dijadikan suatu batasan untuk tidak dikatakan *cerah*. Sehingga semua pernyataan tersebut dapat diterima oleh logika tanpa memperhitungkan batas-batas kondisi sebenarnya, kebenaran inilah yang disebut dengan kebenaran Fuzzy.

Konsep kekaburan dan ketidakpastian tersebut yang melatarbelakangi konsep logika fuzzy yang diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh, professor dari Universitas California, Barkeley pada tahun 1965. Ide awalnya adalah bagaimana cara menyajikan *ke-kabur-an*. Penyajian tersebut harus cukup menggambarkan *ke-kabur-an* tetapi dilain pihak harus cukup sederhana sehingga komputasinya menjadi lebih mudah.

Logika Fuzzy atau Logika Kabur adalah metodologi untuk menyatakan hukum operasional dari suatu sistem dengan ungkapan-ungkapan bahasa (variabel linguistik), bukan dengan persamaan matematis.

Banyak sistem yang terlalu kompleks untuk dimodelkan secara akurat, meskipun dengan persamaan matematis yang kompleks. Dalam kasus semacam itu ungkapan bahasa yang digunakan dalam logika fuzzy dapat membantu dalam mendefinisikan karakteristik operasional sistem dengan lebih baik. Variabel

linguistik tersebut merubah sinyal-sinyal yang berupa variabel numerik crisp, diubah kedalam suatu pernyataan yang menggambarkan kekaburan dan ketidakjelasan batas-batas suatu kebenaran.

Aturan yang dipakai dalam logika fuzzy tidak berdasarkan pada logika yang hanya mempunyai 2 nilai kebenaran saja, yaitu : benar atau salah, ya atau tidak, akan tetapi kebenaran dalam logika fuzzy adalah multi nilai yang bervariasi dari suatu kebenaran ke kebenaran yang lain atau bervariasi dari 0 (salah) sampai 1 (benar).

2.1. Definisi Himpunan Fuzzy

Pada dasarnya manusia mengenal obyek dengan memberi klasifikasi secara kualitatif seperti : besar, kecil, sedang, tinggi, rendah dan sebagainya. Sifat kebenaran yang dikandungnya samar karena batas kebenaran yang satu dengan yang lainnya tidak tegas. Kebenaran inilah yang disebut kebenaran fuzzy.

Suatu himpunan fuzzy A dalam suatu semesta pembicaraan $U\{u\}$ didefinisikan oleh pasangan :

$$A : \{(u, \mu_A(u)/u \in A)\} \quad (2.1)$$

Dimana $(u) : u \rightarrow [0, 1]$ adalah derajat keanggotaan dari u .

Jika A adalah himpunan fuzzy diskrit terbatas maka

$$A : \mu_A(u) u_1 + \dots + \mu_A(u_n) u_n \quad (2.2)$$

dan jika u kontinyu maka himpunan fuzzy bisa dituliskan sebagai berikut

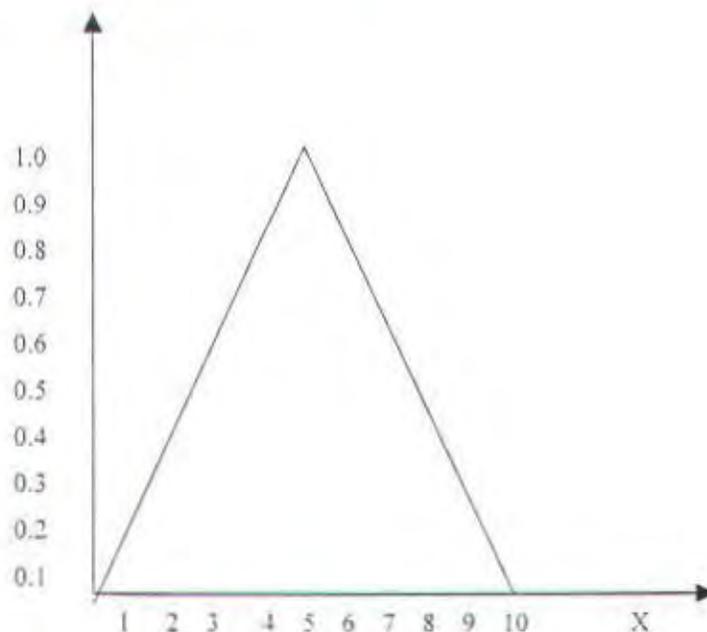
$$A : \int_X \mu_A(u)/x \quad (2.3)$$

tanda garis miring diatas bukan menyatakan suatu pembagian melainkan bahwa nilai keanggotaan terurut relatif terhadap harga u yang bersangkutan.

Sebagai contoh misalkan X adalah semesta pembicaraan bilangan cacah yang kurang dari 10. $X = \{0,1,2,\dots,10\}$, sedangkan himpunan fuzzy A didefinisikan ssebagai bilangan yang dekat 5. Maka himpunan fuzzy A adalah :

$$A = 0/0 + 0.2/1 + 0.4/2 + 0.6/3 + 0.8/4 + 0.6/7 + 0.4/8 + 0.2/9 + 0/1$$

Penyajianya secara grafis adalah :



Gambar 2.1 Penyajian grafis himpunan fuzzy A

2.2. Fungsi Keanggotaan (Membership Function)

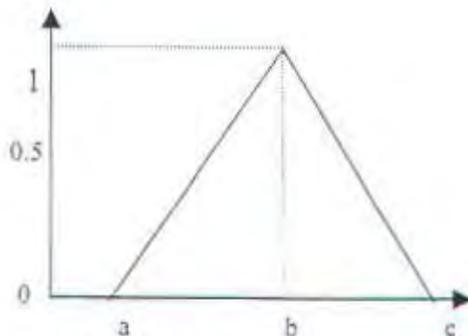
Sebuah fungsi keanggotaan pada suatu himpunan fuzzy A dinotasikan dengan $\mu_A(x)$ yang mengkararakteristikkan suatu derajat keanggotaan (membership value) x pada himpunan fuzzy A dalam semesta pembicaraan X .

Fungsi keanggotaan biasanya diekpresikan dalam grafik fungsi keanggotaan. Grafik fungsi keanggotaan yang sering digunakan dalam mendefinisikan fungsi keanggotaan adalah: Triangular.

Fungsi keanggotaan Triangular dispesifikasikan dengan 3 parameter {a,b,c} yaitu :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (2.4)$$

Bentuk grafik Fungsi Triangular ditunjukkan pada gambar 2.2 :



Gambar 2.2 Grafik Fungsi Triangular

2.3. Variabel Linguistik

Seperti yang telah ditekankan oleh Zadeh, bahwa pendekatan teknik konvensional dalam analisa sistem pada dasarnya tidak cocok untuk menyelesaikan sistem humanistik, dimana perilaku sistem sangat kuat dipengaruhi oleh keputusan, persepsi dan emosi manusia. Hal tersebut merupakan manifestasi dari apa yang disebut prinsip ketidakcocokan (Principle Of Incompatibility) yaitu jika kompleksitas dari sistem bertambah, kemampuan kita untuk membuat

pernyataan-pernyataan yang teliti dan signifikan tentang perilaku sistem menjadi berkurang. Hal ini yang mendasari Zadeh untuk memproporsionalkan konsep variabel linguistik sebagai alternatif dalam pendekatan untuk memodelkan pikiran manusia. Seperti contoh dalam bahasa sehari-hari, kita lebih sering mengatakan : “suhu tubuh kita adalah hangat”, daripada mengatakan : “suhu tubuh kita mencapai 37 C.

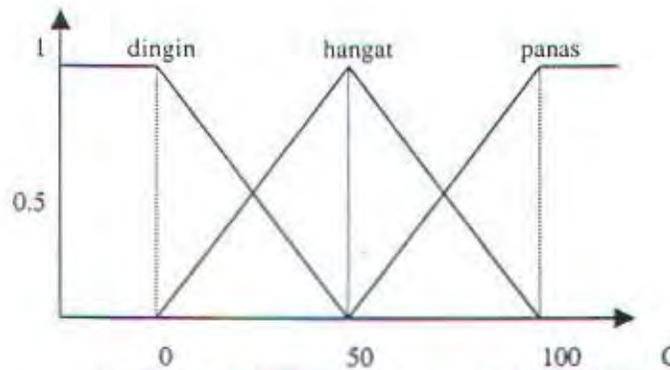
Suatu himpunan fuzzy dapat didefinisikan dengan dasar variabel linguistik tertentu yang dikarakteristikkan sebagai :

$$(x, T(x), X, G, M); \quad (2.5)$$

dimana x adalah nama variabel linguistik; $T(x)$ adalah himpunan *term (term set)* dari x yang merupakan linguistik value atau linguistik term; X adalah semesta pembicaraan, G adalah aturan syntactic untuk menghasilkan nama dalam $T(x)$ dan M adalah aturan semantic untuk menghubungkan tiap nilai dengan dengan artinya $M(A)$; dimana $M(A)$ menyatakan himpunan fuzzy A dalam X . Sebagai contoh : Suatu semesta pembicaraan suhu $T\{suhu\}$, dinyatakan dengan variabel linguistik : *dingin, hangat dan panas*. Maka perangkat istilah $T\{suhu\}$ dapat ditulis:

$$T\{suhu\} = \{dingin, hangat, panas\}$$

Selanjutnya dimisalkan variabel linguistik berada pada semesta pembicaraan 0 sampai 100 C. Dalam semesta ini, *dingin* menyatakan suhu sekitar 0 C, *hangat* menyatakan suhu sekitar 50 C dan *panas* menyatakan suhu sekitar 100 C, atau secara grafik, seperti pada gambar 2.3 :



Gambar 2.3 Definisi himpunan Fuzzy dengan Variabel linguistik *dingin, hangat dan panas.*

Pada harga suhu 0 C, derajat keanggotaan dingin adalah 1 sedangkan derajat keanggotaan untuk hangat dan panas adalah 0. Pada suhu 50 C keanggotaan hangat adalah 1 sedangkan derajat keanggotaan dingin dan panas adalah 0, demikian juga pada suhu 100 C derajat keanggotaan panas adalah 1 sedangkan derajat keanggotaan hangat dan dingin adalah 0. Misalkan pada suhu 25 C, maka derajat keanggotaan dingin adalah 50% dan hangat adalah 50%.

2.4. Linguistic Hedge

Untuk mengembangkan himpunan yang lebih banyak dari satu variabel linguistik dengan hanya menggunakan sedikit term, dipakai metode Linguistic Hedge, yaitu : metode operasi pengintensifan, pergeseran dan sebagainya.

Beberapa Hedge yang telah didefinisikan antara lain :

$$\text{Very, Very } x = x^2 = \int \mu_x^2(x) / x \quad (2.6)$$

$$\text{More or Less } (x) = \int_x^a \mu_x(x) / x, \quad 0 < a < 1 \quad (2.7)$$

Rather

$$\mu_{\text{rather}A}(x) = \mu_A(x + c), \quad c = \text{konstanta pergeseran.} \quad (2.8)$$

2.5. Operasi Himpunan Fuzzy

Himpunan fuzzy memiliki basis atau aturan untuk memanipulasi secara sistematis konsep kekaburan dan ketidakpastian dengan menggunakan operasi himpunan fuzzy yang dilakukan dengan memanipulasi fungsi keanggotaannya.

Beberapa operasi dasar himpunan, untuk himpunan fuzzy A dan B pada semesta pembicaraan X antara lain :

Gabungan (Union) atau Disjunction, dapat ditulis :

$$\mu_{(A \cup B)}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = \mu_A(x) \vee \mu_B(x), \quad x \in X \quad (2.9)$$

Irisan (Intersection) atau Konjunction, dapat ditulis :

$$\mu_{(A \cap B)}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad x \in X \quad (2.10)$$

Komplemen atau Negation

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x); \quad x \in X \quad (2.11)$$

Produk Aljabar (Aljabre Product)

Produk aljabar dari himpunan fuzzy A dan B, fungsi keanggotaan $\mu_A(x)$ dan $\mu_B(x)$ ditulis :

$$\mu_{(A \cdot B)}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x), x \in X \quad (2.12)$$

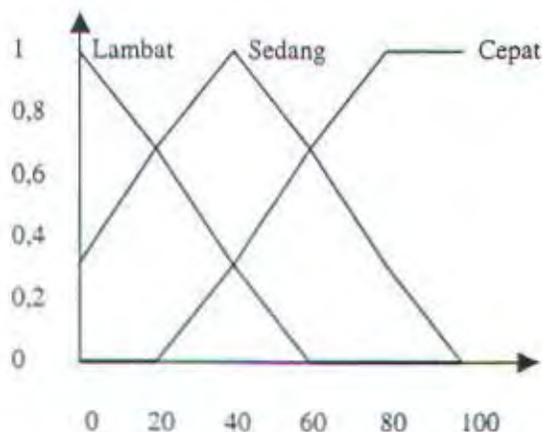
Sebagai contoh: misalnya X menyatakan suatu kecepatan antara 0 sampai 100 Km/jam, atau ditulis $X = \{0, 20, 40, 60, 80, 100\}$ dengan variabel linguistik kecepatan adalah : *lambat*; *sedang*; *cepat* dan ketiga himpunan fuzzy tersebut didefinisikan sebagai :

$$A = \text{Lambat} = 1/0 + 0,7/20 + 0,3/40 + 0/60 + 0/80 + 0/100$$

$$B = \text{Sedang} = 0,3/0 + 0,7/20 + 1/40 + 0,7/60 + 0,3/80 + 0/100$$

$$C = \text{Cepat} = 0/0 + 0/20 + 0,3/40 + 0,7/60 + 1/80 + 1/100$$

Grafik fungsi keanggotaan ketiga himpunan fuzzy tersebut terlihat seperti pada gambar 2.6.:



Gambar 2.4 Definisi himpunan fuzzy lambat, sedang, cepat

Dari beberapa operasi himpunan fuzzy yang telah dikemukakan diatas maka dapat diketahui :

➤ *Irisan (Intersection) atau Conjunction*

Irisan atau conjunction antara lambat dan sedang adalah:

$$\mu_{(A \cap B)}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned}
 &= \min(0,3,1)/0 + \min(0,7,0,7)/20 + \min(1,0,3)/40 + \min(0,7,0)/60 \\
 &+ \min(0,0,3)/80 + \min(0,0)/100. \\
 &= 0,3/0 + 0,7/20 + 0,3/40 + 0/60 + 0/80 + 0/100.
 \end{aligned}$$

Sedang produk aljabar dari lambat dan sedang adalah :

$$\begin{aligned}
 \mu_{(A \cdot B)}(x) &= (0,3 \cdot 1)/0 + (0,7 \cdot 0,7)/20 + (1,0 \cdot 0,3)/40 + (0,7 \cdot 0)/60 + \\
 &(0,3 \cdot 0)/80 + (0 \cdot 0)/100 \\
 &= 0,3/0 + 0,49/20 + 0,3/40 + 0/60 + 0/80 + 0/100
 \end{aligned}$$

atau secara grafik, terlihat pada gambar 2.7.

Gabungan (Union) atau Disjunction

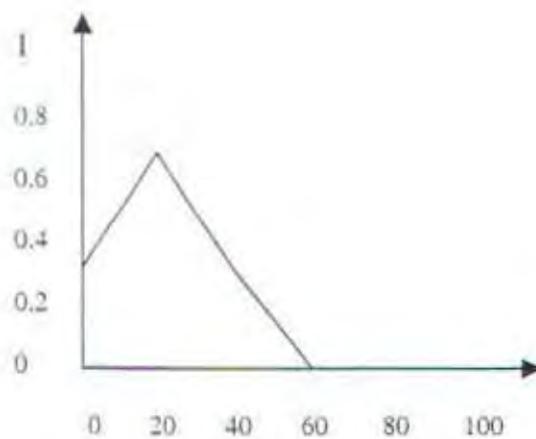
Gabungan antara sedang dan cepat adalah :

$$\begin{aligned}
 \mu_{(B \cup C)}(x) &= \max\{\mu_B(x), \mu_C(x)\} = \mu_B(x) \vee \mu_C(x), \quad x \in X \quad (2.14) \\
 &= \max(0,0,3)/0 + \max(0,0,7)/20 + \max(0,3,1)/40 + \max \\
 &(0,7,0,7)/60 + \max(1,0,3)/80 + \max(0,3,1)/100. \\
 &= 0,3/0 + 0,7/20 + 1/40 + 0,7/60 + 1/80 + 1/100.
 \end{aligned}$$

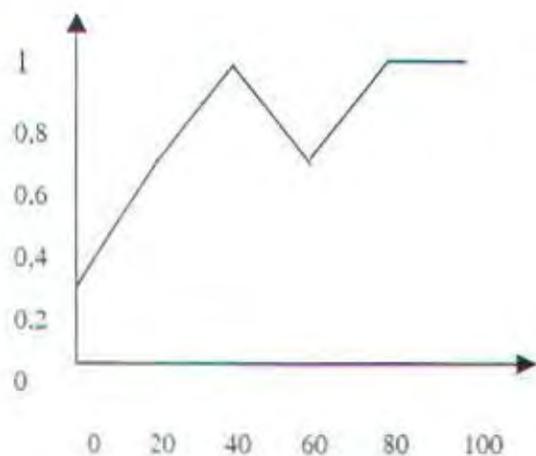
Sedang produk aljabar dari sedang dan cepat adalah :

$$\begin{aligned}
 \mu_{(B \cdot C)}(x) &= (0,3 \cdot 0)/0 + (0,7 \cdot 0)/20 + (1 \cdot 0,3)/40 + (0,7 \cdot 0,7)/60 + (0,3 \cdot 1)/80 \\
 &+ (0 \cdot 1)/100 \\
 &= 0,3/0 + 0,7/20 + 1/40 + 0,7/60 + 1/80 + 1/100
 \end{aligned}$$

atau secara grafik dapat digambar 2.5:



Gambar 2.5 Grafik *Irisan (Intersection)* dari himpunan fuzzy *lambat* dan *sedang*



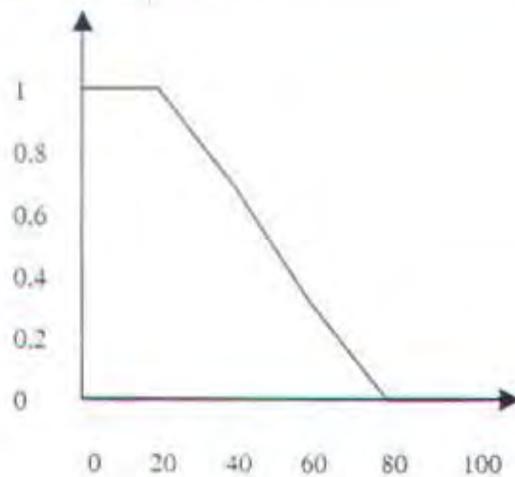
Gambar 2.6 Gabungan (union) antara himpunan fuzzy *sedang* dan *cepat*

Komplemen (Negasi)

Komplemen dari cepat adalah tidak cepat atau :

$$\begin{aligned} \mu_{\bar{c}}(x) &= (1-0)/0 + (1-0)/20 + (1-0,3)/40 + (1-0,7)/60 + (1-1)/80 + (1-1)/100 \\ &= 1/0 + 1/20 + 0,7/40 + 0,3/60 + 0/80 + 0/100. \end{aligned}$$

secara grafik, terlihat seperti pada gambar 2.7 :



Gambar 2.7 Negasi atau Komplemen dari Cepat

2.6. Kontroller Logika Fuzzy

Beberapa sistem kontrol loop terbuka sering dijumpai dapat diubah menjadi sistem kontrol loop tertutup, jika operator manusia dipandang sebagai kontroler, membandingkan masukan dan keluaran kemudian melakukan aksi koreksi yang berdasarkan selisih atau kesalahan yang diperoleh.

Jika kita berusaha menganalisa sistem kontrol loop tertutup yang melibatkan operator manusia semacam itu, kita akan menjumpai persoalan yang sulit dalam menuliskan persamaan matematis yang menggambarkan perilaku dan kemampuan nalar manusia, belum lagi kebanyakan proses yang ada, adalah sistem yang kompleks, non-linear, dan mudah dipengaruhi faktor-faktor gangguan sekitar. Proses-proses tersebut pada kenyataannya bisa dikendalikan secara manual dengan hasil yang cukup baik. Operator manusia tersebut biasanya adalah tenaga terampil yang mengandalkan pengalaman praktis, tanpa dilatarbelakangi teori-teori pengendalian yang rumit. Hal ini disebabkan operator tersebut mengendalikan proses dengan dasar logika yang juga non-linear dan kompleks,

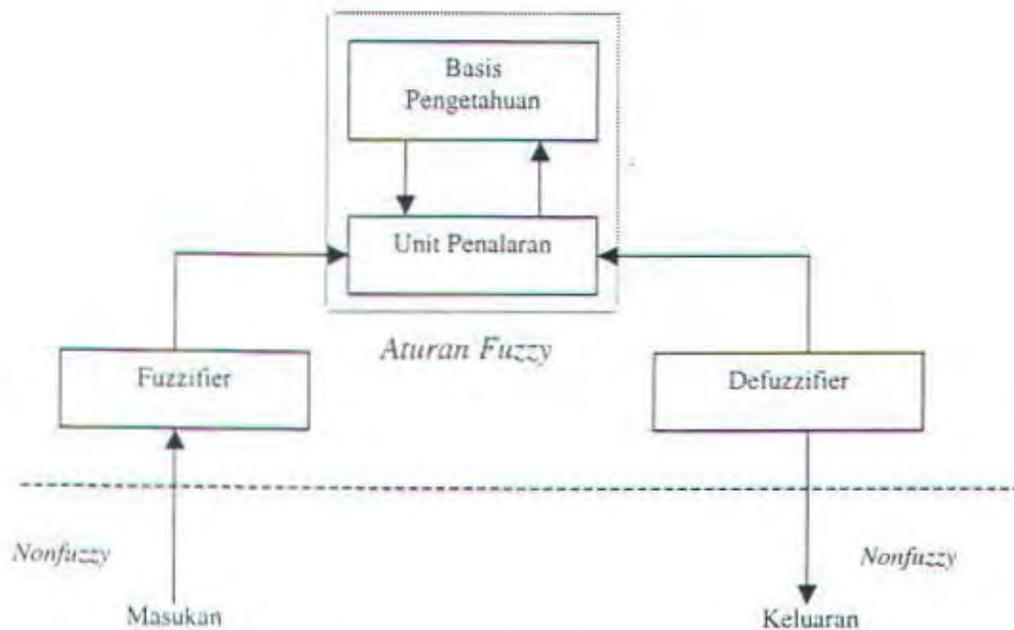
yang dibangun oleh pengalaman dalam waktu yang panjang, sehingga pengendalian yang dilakukan sepenuhnya bersifat intuitif.

Untuk mendesain sistem pengendalian otomatis bagi proses-proses tersebut, diperlukan metode khusus, dalam hal ini digunakan teori logika *fuzzy*.

Kontrol logika fuzzy merupakan sistem kontrol cerdas (*Intellegent Control System*) yang memanfaatkan/mengimplementasikan nalar/logika manusia (*human operator*) sebagai pengendali proses dengan berdasarkan logika *fuzzy*.

2.7. Struktur Dasar Kontroller Logika Fuzzy

Struktur dasar kontrol logika fuzzy ditunjukkan pada gambar 2.8. adalah sebagai berikut :



Gambar 2.8 Struktur Dasar Kontrol Logika Fuzzy

A. Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel nonfuzzy (variabel numerik, crisp) menjadi variabel fuzzy. Pada setiap sistem kontrol, besaran input yang terjadi baik itu besaran setpoint maupun besaran input yang keluar dari sensor akan selalu berupa variabel numerik, crisp yang bersifat pasti dan kuantitatif.

Atau dengan kata lain fuzzyfikasi merupakan pemetaan titik numerik (crisp point) $\underline{x} = (x^1, \dots, x^n)^T \in X$ ke himpunan fuzzy A di x , X adalah semesta pembicaraan.

Metode fuzzifikasi yang populer dipakai adalah : *Fuzzifikasi Singleton*, A adalah fuzzy singleton dengan support \underline{x} . Artinya,

$$\mu_A(\underline{x}) = 1 \text{ untuk } \underline{x} = x \text{ dan } \mu_A(\underline{x}) = 0 \quad (2.15)$$

untuk $\underline{x} \in X$ yang lain dengan $\underline{x} \neq x$.

B. Kuantisasi Dan Normalisasi

Pada proses kuantisasi terjadi penggolongan-penggolongan masukan menjadi daerah diskrit tertentu, yang berarti mendiskritkan masukan semesta pembicaraan yang biasanya kontinu kedalam sejumlah segmen-segmen tertentu yang disebut level kuantisasi dengan metode pelabelan atau penomoran level-level, sehingga membentuk semesta pembicaraan baru yang bersifat diskrit.

Normalisasi memiliki fungsi untuk membatasi semesta pembicaraan pada jangkauan tertentu misalnya dari 1 sampai -1, dengan kata lain normalisasi merupakan pemetaan semesta pembicaraan masukan ke semesta pembicaraan

baru yang terbatas. Skala pemetaan bisa seragam (uniform) atau tidak seragam (ununiform).

C. Penyusunan Aturan/Rule Kontrol Fuzzy

Aturan/rule dasar fuzzy dapat ditulis dalam bentuk :

$$R^{(i)} : \text{Jika } x_1 \text{ adalah } F_1^1 \text{ DAN...DAN...} x_n \text{ adalah } F_n^1, \text{ Maka } y \text{ adalah } G^1 \quad (2.16)$$

Dimana F_1^1 dan G^1 adalah himpunan fuzzy masing-masing di $X \subset R$ dan $Y \subset R$,

$(x = x^1, \dots, x^n)^T \in X_1, \dots, X_n$, dan $y \in Y$ adalah variabel linguistik.

F_1^1, \dots, F_n^1 adalah premise atau antecedent (pernyataan yang mendasari penalaran) sedangkan G^1 adalah Consequence (hasil penalaran). Karena permasalahan yang dihadapi oleh sistem kontrol cerdas kebanyakan kompleks, sehingga aturan yang terlibat relatif banyak, maka pada relasi implikasi fuzzy dapat dibentuk dengan mengkombinasikan relasi-relasi fuzzy dengan menghubungkan dengan kata hubung. Kata hubung yang sering dipakai adalah AND, OR, dan ELSE.

Operasi yang dipakai untuk implikasi "*Jika* x adalah A *Maka* y adalah B" adalah: Operasi Implikasi Min [Mamdani], yang dapat ditulis :

$$Rc[\mu_A(x), \mu_B(y)] = \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) \quad (2.17)$$

D. Unit Penalaran Fuzzy

Salah satu unit penalaran fuzzy adalah: Generalized Modus Ponens (GMP). Jika 2 himpunan fuzzy dinotasikan dengan A, A', B, B', variabel linguistik dinotasikan dengan x dan implikasi fuzzy dinotasikan dengan R(x,y), maka GMP dapat didefinisikan :

Pernyataan 1 (aturan) : *Jika x adalah A Maka y adalah B*

Pernyataan 2 (fakta) : *x adalah A'*

Kesimpulan : *y adalah B'*

Secara analitis, GMP diatas dibentuk dengan komposisi A' dengan implikasi R(x,y) yang menghasilkan keputusan atau dapat ditulis :

$$B' = A'.R(x,y) \quad (2.18)$$

Keterangan A' dan B' adalah himpunan fuzzy dengan linguistik hedge : sangat,lebih/kurang dari, tidak dan lain-lain.

Bentuk GMP diatas lalu disesuaikan dengan struktur kontrol, menjadi aturan kontrol Fuzzy berbentuk multi input single output (MISO), bentuk ini diperoleh dari skema umum pendekatan penalaran multikondisi, yaitu :

Jika x adalah A dan y adalah B Maka z adalah C

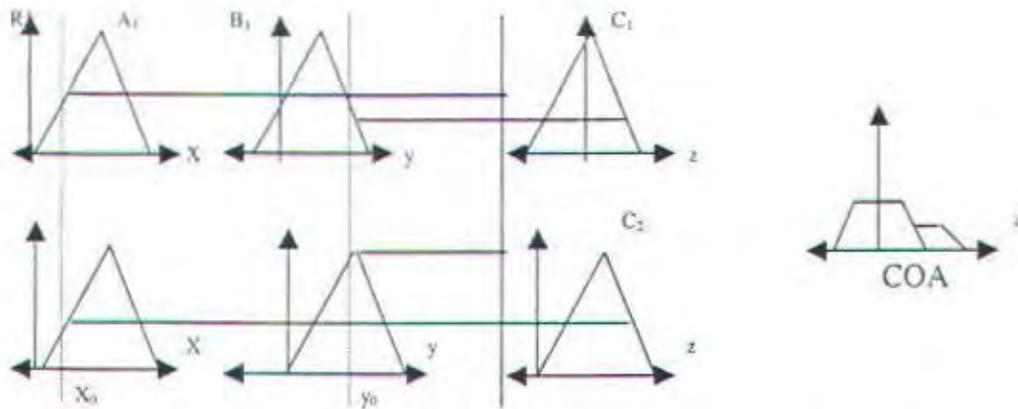
Dimana pada controller logika Fuzzy x dan y adalah masukan data crisp, z adalah aksi kontrol dan A, B, C adalah diskripsi linguistik dari x, y, z.

Berdasarkan metode implikasi min-max Mamdani , digunakan metode inferensi max-min Mamdani yang dinyatakan sebagai berikut :

$$\mu_z^k(z) = \max_k \left\{ \min \left[\mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y) \right] \right\}$$

$$\mu_z^k(z) = \max_k (\alpha_k) \quad k = 1, 2, 3 \dots r$$

dimana r, i adalah jumlah aturan dan variable linguistik yang dipakai , dan α_k adalah factor pembobot (fire strength) yang menunjukkan nilai kontribusi aturan ke r pada aksi kontrol Fuzzy yang secara grafis digambarkan seperti pada gambar 2.8 sebagai berikut :



Gambar 2.9. Mekanisme Inferensi Max-Min Mamdani

E. Defuzzifikasi

Metode defuzzifikasi merupakan metode untuk mengubah kembali variabel fuzzy yang dihasilkan dari proses penalaran (fuzzy reason) menjadi suatu variabel numerik non fuzzy kembali.

Metode defuzzifikasi yang populer dipakai adalah: Centroid Of Area (COA). Dalam metode COA, besarnya variabel numerik crisp u^* didapat dari pusat geometrik dari besarnya output fuzzy $\mu_{output}(x)$, secara rumus dapat ditulis :

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \mu_{out}(u_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_{out}(u_i)} \quad (2.19)$$

Dimana :

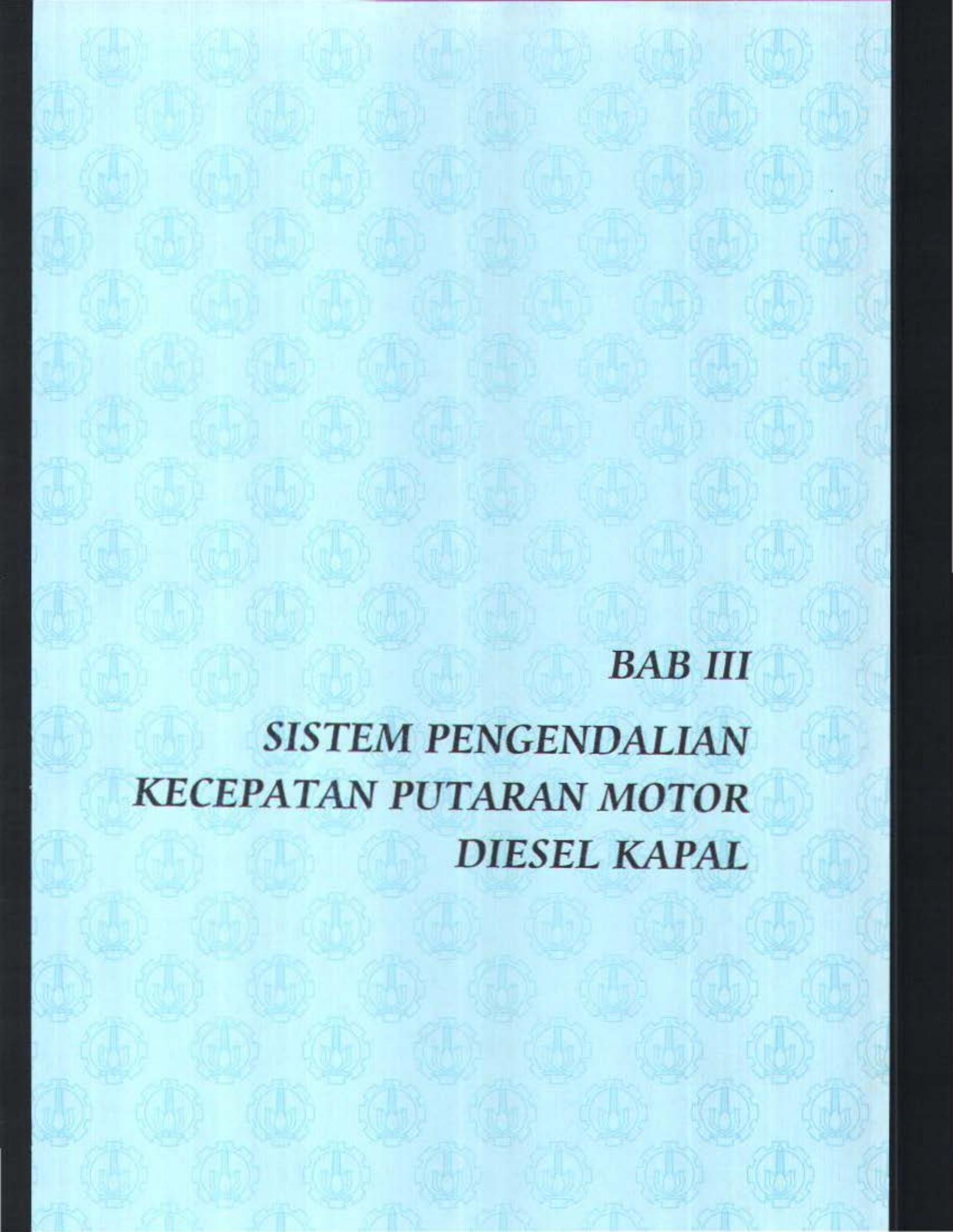
u^* = nilai keluaran

n = tingkat kuantisasi

u_i = elemen ke- i

$\mu_{\text{int}}(u_i)$ = derajat keanggotaan elemen-elemen pada fuzzy set u

U = semesta pembicaraan



BAB III
SISTEM PENGENDALIAN
KECEPATAN PUTARAN MOTOR
DIESEL KAPAL

BAB III

SISTEM PENGENDALIAN KECEPATAN PUTARAN

MOTOR DIESEL KAPAL

3.1. Beban Motor

Kegunaan pengatur adalah menjaga putaran motor pada kecepatan yang diinginkan tanpa tergantung pada perubahan beban yang dibawa oleh motor. Kenyataannya, beban tidak dapat melampaui beban maksimum yang dapat dibawa oleh motor. Aksi pengaturan sering disebut sebagai pengendalian motor dan tergantung pada dua faktor : (1) karakteristik prestasi motor dan (2) karakteristik beban yang digerakkan motor.

Untuk mendapatkan karakteristik prestasi dari suatu motor diesel, harus dianggap bahwa pengatur mengendalikan daya total yang dibangkitkan oleh motor, yang disebut daya kuda indikator. Sebagian dari daya kuda indikator digunakan untuk mengatasi berbagai kerugian gesekan. gesekan ini terdiri atas (1) gesekan antara berbagai bagian yang bergerak; (2) kerugian angin, atau tahanan udara terhadap batang engkol dan torak yang bergerak cepat dan terhadap roda gila yang berputar; (3) kerugian pemompaan karena tahanan katup terhadap aliran udara masuk dan gas buang, dan (4) kerja untuk menggerakkan poros nok, untuk mengoperasikan katup, dan untuk menggerakkan pompa dan mekanisme bantu yang lain.

3.2. Fungsi Pengendali

Ketika motor tanpa kerja (*idling*), yang berarti berputar tanpa beban pada kecepatan rendah, maka gaya gesekannya relatif kecil dan akibatnya jumlah bahan bakar yang diinjeksikan pada tiap langkah penyalaan sangat sedikit, terutama dalam silinder motor kecil. Karena jumlah bahan bakar yang sangat sedikit itu tidak dapat ditakar secara tepat, maka biasanya kecepatan motor berubah-ubah. Fakta ini dinyatakan dengan menyebutkan bahwa stabilitas kecepatan tanpa kerja dari motor diesel tidak begitu baik. Pada saat yang sama, perubahan yang sangat kecil dari penyetelan kendali bahan bakar pada kedudukan tanpa kerja, ketika langkah efektif pompa bahan bakar sangat kecil, akan menyebabkan perubahan yang relatif besar dalam jumlah bahan bakar yang diinjeksikan. Selanjutnya, ini mengakibatkan perubahan yang cukup besar dalam kecepatan motor, sehingga sulit untuk mendapatkan pengaturan yang ketat dari kecepatan motor diesel dalam kondisi tanpa kerja.

Juga, kalau dua motor atau lebih yang bekerja dalam paralel, yaitu disambungkan secara listrik atau mekanis kepada beban yang sama, maka kecepatannya tidak dapat berubah-ubah secara bebas. Contoh dari beban jenis ini adalah pembangkit tenaga diesel listrik AC dengan beberapa unit dan sistem penggerak kapal unit jamak dengan dua atau lebih motor penggerak yang menggerakkan poros baling-baling tunggal. Dalam kondisi ini bahan bakar yang diinjeksikan dalam tiap motor diesel harus diatur sangat tepat sehingga beban total didistribusikan secara proporsional antara masing-masing motor sedangkan kecepatan relatifnya terpelihara.

Oleh sebab itu pengaturan dengan tangan dari motor diesel tidak memuaskan, dan diperlukan sebuah pengatur otomatis.

Klasifikasi pengatur. Menurut fungsi utamanya, pengatur motor diesel dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Pengatur Kecepatan Konstan – untuk mempertahankan kecepatan agar sama atau hampir sama tanpa beban sampai beban penuh.
2. Pengatur Kecepatan Variabel – untuk mempertahankan kecepatan motor yang diinginkan dari kecepatan tanpa beban samapai kecepatan maksimum, tanpa tergantung perubahan beban, kecepatannya sendiri disetel dengan tangan.
3. Pengatur Pembatasan Kecepatan – untuk mengendalikan kecepatan motor minimum dan untuk membatasi kecepatan maksimumnya atau untuk membatasi kecepatan maksimumnya saja, penyetelan bahan bakar untuk kecepatan antara dilakukan dengan tangan.
4. Pengatur Pembatasan Beban – untuk membatasi beban yang dapat diambil oleh motor pada setiap kecepatan.

Beberapa pengatur didesain untuk melakukan dua atau lebih dari fungsi diatas dengan menggabungkan mekanisme pengoperasian yang diperlukan dalam unit yang sama.

3.3. Karakteristik Pengendali

Pengatur motor diesel harus mempunyai karakteristik tertentu untuk menyesuaikan dengan jenis beban yang digerakkan motor. Karakteristik utama

$$L' = \frac{\mu_o \pi a d N^2}{l}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R}$$

Dari data-data diketahui :

$$a = 2 \text{ cm} = 0.02 \text{ m}$$

$$V_o = 10 \text{ volt}$$

$$R = 24,6 \text{ ohm}$$

$$d = 1 \text{ cm} = 0.01 \text{ m}$$

$$N = 1440 \text{ lilitan}$$

$$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$$

$$K = 625 \text{ N/m}^2$$

maka, $I_o = 0.41 \text{ A}$

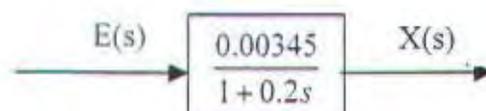
$$L' = 3.27$$

$$K_o = 52.97$$

Sehingga perumusan dinamika solenoid magnet dengan menganggap tegangan sebagai besaran input dan displacement plunyer sebagai keluarannya adalah

$$\frac{X(s)}{E(s)} = \frac{K_o}{RK + K_o^2 s} = \frac{52.97}{24.6 \times 625 + 52.97^2 s} = \frac{0.00345}{1 + 0.2s}$$

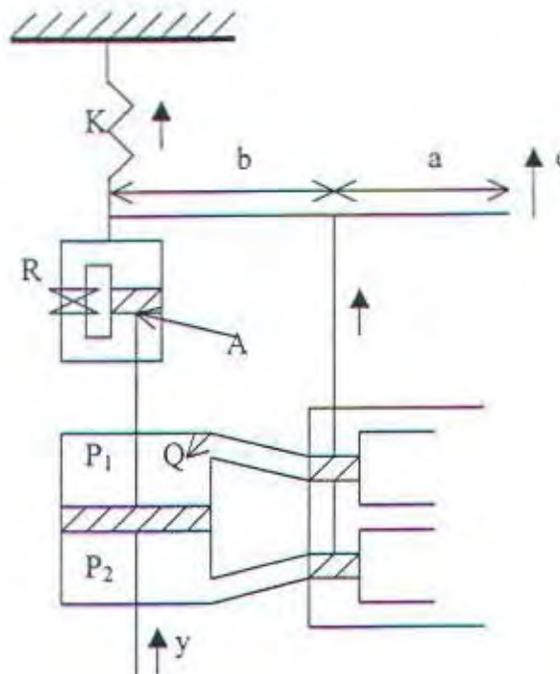
Diagram blok untuk solenoid magnet penggerak pilot valve pada servomotor hidrolik ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Diagram Blok dinamika magnet solenoid

3.5.3.2 Servomotor Hidrolik

Pada gambar berikut ini ditunjukkan jenis rangkaian hidrolik dengan aksi proporsional integral.



Gambar 3.7. Servo valve hidrolik proporsional integral

Dari perumusan secara detail dinamika servomotor hidrolik dengan aksi proporsional integral (Heru, 2000), kita dapatkan persamaan dinamikanya adalah

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

dari data-data diketahui :

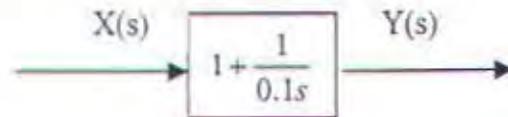
$$K_p = b/a = 1$$

$$T_i = \frac{R A^2 \rho}{K} = \frac{2 \times 0.0746^2 \times 899}{100} = 0.1$$

Maka :

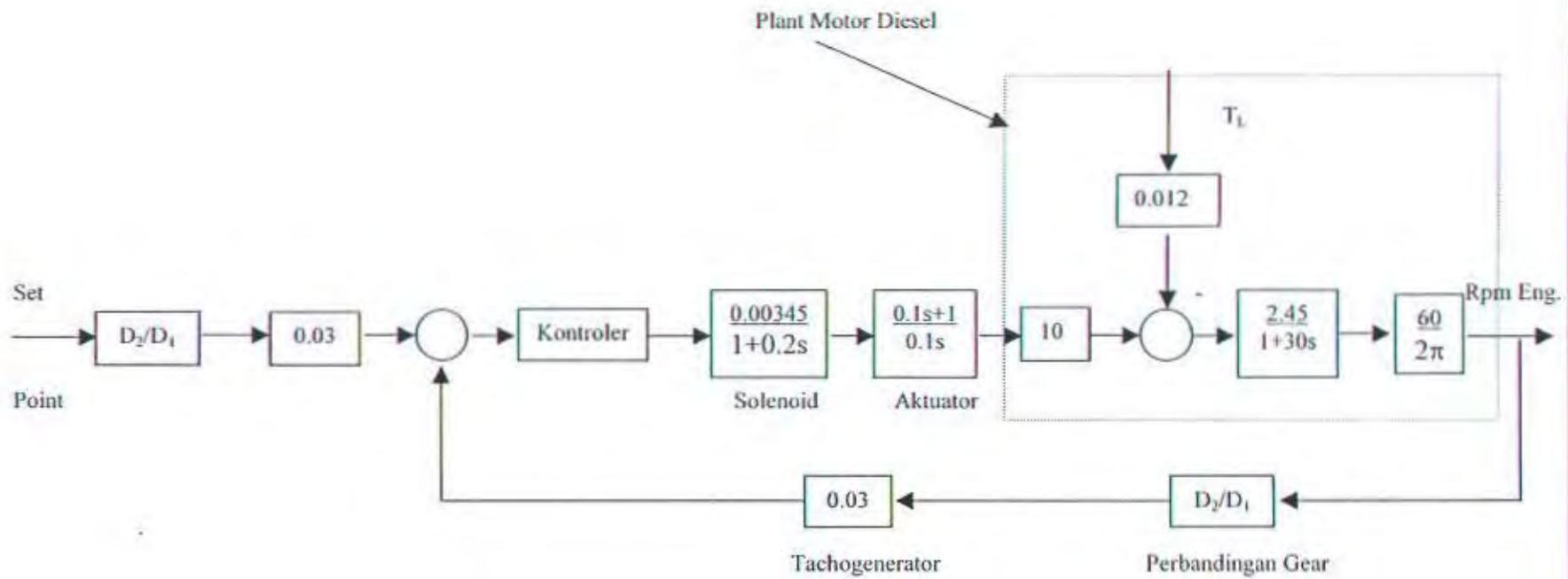
$$\frac{Y(s)}{X(s)} = 1 \left(1 + \frac{1}{0.1s} \right)$$

Diagram blok untuk servomotor hidrolik dengan aksi proporsional-integral ditunjukkan oleh gambar berikut.

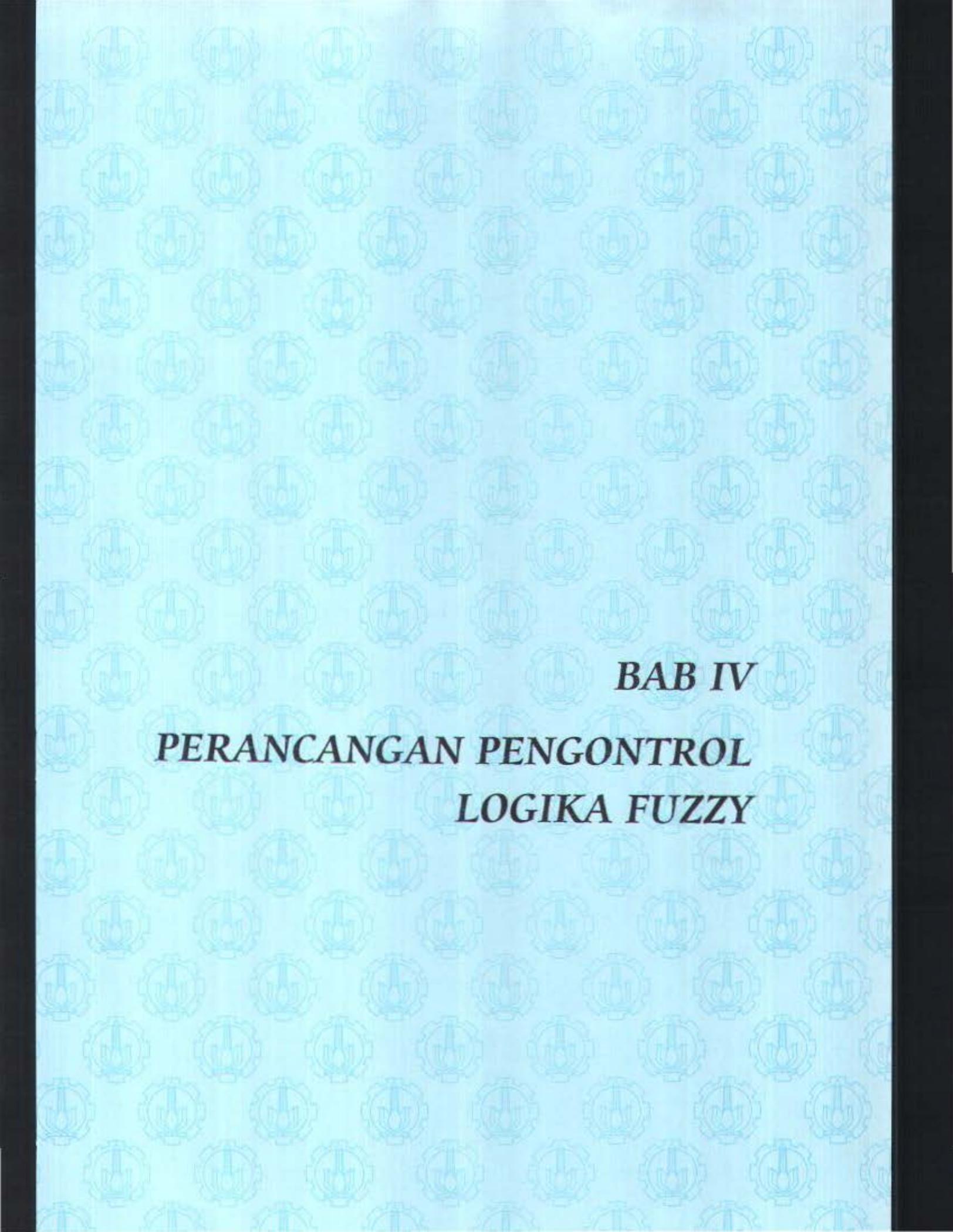


Gambar 3.8. Diagram blok servomotor hidrolik dengan aksi PI

Dari hasil perumusan seluruh dinamika elemen sistem pengendalian kecepatan motor induk diatas, maka dapat kita lakukan pemodelan matematis dari seluruh rangkaian mekanisme sistem pengendalian tersebut seperti ditampilkan dalam gambar 3.9 berikut ini.



Gambar 3.9 Diagram Blok Sistem Pengendalian Elektronik Kecepatan Motor Induk Kapal



BAB IV
PERANCANGAN PENGONTROL
LOGIKA FUZZY

BAB IV

PERANCANGAN PENGONTROL LOGIKA FUZZY

Dalam mendesain suatu pengontrol logika fuzzy, yang harus dilakukan pada awal perancangan adalah menentukan sistem yang diatur. Penentuan sistem ini akan berhubungan dengan perilaku sistem yang meliputi tinjauan kualitatif masukan dan keluaran strategi pengaturannya.

Pengaturan sistem akan menentukan bentuk basis pengetahuan yang akan dipakai. Proses untuk menentukan basis pengetahuan dalam pengatur logika fuzzy adalah sebagai berikut :

1. Menggambarkan strategi yang dilakukan operator manusia dalam mengoperasikan suatu sistem pengaturan.
2. Menentukan bentuk-bentuk pengertian linguistik dalam sistem tersebut.
3. Menentukan model untuk memprediksi hasil operasi.
4. Mengkonversikan strategi linguistik operator manusia menjadi aturan dasar.

Hasil rancangan diwujudkan dalam suatu algoritma pengaturan yang direalisasikan dalam bentuk perangkat lunak pada komputer. Untuk proses selanjutnya akan dilakukan simulasi pada sistem yang telah ditentukan. Perancangan sistem pengaturan dengan pengatur logika fuzzy sebenarnya tidak memerlukan model matematis dari plant. Model matematis dari rancangan ini diperlukan untuk mencari hubungan input dan output dari simulasi.

Pengatur Logika Fuzzy

Pada perancangan sistem pengaturan, sistem ini selalu membutuhkan umpan balik dari keluaran. Sinyal umpan balik digunakan untuk dibandingkan dengan sinyal referensi dan bertujuan untuk menghilangkan perbedaan relatif antara masukan dan keluaran. Dalam kondisi ideal selama peralihan (transient) dan error masih ada, pengatur akan memberikan sinyal untuk mengubah posisi fuel rack sehingga diperoleh keadaan yang diinginkan. Lewatan (overshoot) timbul sehubungan dengan sifat lembam dari sistem.

4.1 Penentuan Variabel Masukan dan Keluaran Fuzzy

Dengan pengatur logika fuzzy, sistem ini diharapkan dapat mencapai keadaan tunak dalam waktu cepat, lewatan sekecil mungkin, dan error keadaan tunak nol. Dari pengenalan terhadap perilaku sistem dapat diketahui perilaku pengaturan sebagai berikut:

- ❖ Pengaturan selalu mengacu pada error yang dihasilkan sistem
- ❖ Sinyal atur yang diumpankan sebanding dengan errornya atau kalau diperlukan dapat diberi penguatan tertentu
- ❖ Peredaman sinyal atur untuk mengurangi lewatan mengacu pada kecepatan perubahan error
- ❖ Sinyal atur tidak perlu bersifat akumulatif (dijumlahkan) jika diasumsikan error keadaan tunak selalu nol

Berdasarkan pengenalan terhadap perilaku pengaturan tersebut dapat ditentukan variabel masukan pengatur logika fuzzy yang digunakan yaitu variabel

error dan variabel perubahan errornya, sedangkan variabel outputnya adalah variabel sinyal atur. Variabel-variabel ini selanjutnya didefinisikan sebagai berikut:

- ❖ Error ($e[k]$) adalah sinyal referensi dikurangi sinyal umpan balik :

$$E[k] = r[k] - e[k]$$

- ❖ Perubahan Error $\Delta e[k]$ adalah error sekarang – error sebelumnya

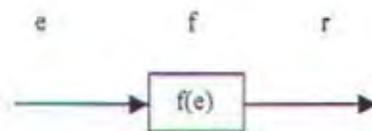
$$E[k] = e[k] - e[k-1]$$

- ❖ Sinyal atur adalah sinyal yang dihasilkan dari mekanisme inferensi pengatur logika fuzzy dan tidak ada hubungannya dengan sinyal atur sebelumnya.

Jadi sinyal atur merupakan fungsi dari error :

$$U[k] = f(e)$$

Blok diagram dari pengatur logika fuzzy adalah :



Gambar. 4.1 Blok diagram pengatur logika fuzzy

4.2 Strategi Pengaturan Pengatur Logika Fuzzy

Untuk pemakaian pengatur logika fuzzy terdapat beberapa parameter yang menentukan kemampuan dari pengatur. Dalam bab sebelumnya telah dijelaskan secara lengkap parameter-parameter untuk perancangan pengatur logika fuzzy. Parameter-parameter tersebut adalah :

- ❖ Pemilihan variabel masukan dan keluaran

- ❖ Himpunan fuzzy dan fungsi keanggotaan
- ❖ Mekanisme inferensi dan implikasi
- ❖ Operator defuzzyfikasi

4.3 Basis Data

Penyusunan basis data berarti mendefinisikan himpunan-himpunan fuzzy kedalam daerah masukan dan keluaran. Prosedur ini ditekankan pada pembagian ruang masukan dan keluaran dengan sejumlah nilai variabel-variabel linguistik (himpunan fuzzy) yang menggunakan fungsi keanggotaan tertentu. Dalam penyusunan basis data fungsi keanggotaan yang akan dipakai adalah bentuk fungsi segitiga seragam (uniform).

Perancangan basis data meliputi 3 aspek pokok yaitu :

1. Skala pemetaan

Untuk fungsi seragam, kuantisasi dan normalisasi tidak diperlukan karena masukannya kontinyu dan fungsi keanggotaannya didefinisikan secara fungsional dan bersifat simetris.

2. Pembagian ruang masukan dan keluaran

Pembagian dilakukan dengan 7 variabel linguistik, yaitu NB (Negatif Besar), NS (Negatif Sedang), NK (Negatif Kecil), NL (Nol), PK (Positif Kecil), PS (Positif Sedang), PB (Positif Besar).

3. Pemilihan fungsi keanggotaan

Fungsi keanggotaan yang akan digunakan adalah fungsi segitiga dengan parameter yang telah ditentukan. Pemilihan fungsi segitiga didasari oleh

pertimbangan bahwa fungsi ini membatasi jangkauan semesta pembicaraan tiap himpunan fuzzy sehingga jumlah perhitungan untuk menurunkan sinyal atur dapat dikurangi dan waktu perhitungan (eksekusi) dapat ditekan. Penggunaan parameter fungsi yang seragam mengakibatkan pembagian ruang secara merata. Pembagian ini mengandung arti bahwa penggolongan suatu besaran harus secara proporsional karena mempengaruhi linearitas perilaku pengaturnya.

Berdasarkan ketentuan-ketentuan tersebut dilakukan penyusunan basis data dan hasilnya diungkapkan dalam bentuk tabel serta grafis.

Tabel dibawah ini adalah tabel untuk bentuk segitiga uniform.

Tabel 4.1 Pendefinisian bentuk fungsi segitiga uniform

Range Segmen	Jangkauan	a	b	Himpunan Fuzzy
(-R,R)	(-R,-2/3R)	-R	1/3R	NB
	(-R,1/3R)	-2/3R	1/3R	NS
	(-2/3R,0)	-1/3R	1/3R	NK
	(-1/3R,1/3R)	0	1/3R	NL
	(0,2/3R)	1/3R	1/3R	PK
	(1/3R,1/3R)	2/3R	1/3R	PS
	(2/3R,R)	R	1/3R	PB

Secara rinci pembagian ruang input dan output untuk menghasilkan basis data dengan fungsi keanggotaan segitiga adalah sebagai berikut:

Input 1 : Error

Range = [-10 10]

NumMFs = 7

MF1 = 'NB':trimf,[-13.33 -10 -6.667]

MF2 = 'NS': 'trimf',[-10 -6.667 -3.333]
MF3 = 'NK': 'trimf',[-6.667 -3.333 0]
MF4 = 'NL': 'trimf',[-3.333 0 3.333]
MF5 = 'PK': 'trimf',[0 3.33 6.67]
MF6 = 'PS': 'trimf',[3.333 6.667 10]
MF7 = 'PB': 'trimf',[6.667 10 13.33]

Input 2 : delta error

Range = [-100 100]

NumMFs = 7

MF1 = 'NB': 'trimf',[-133 -100 -66.7]
MF2 = 'NS': 'trimf',[-100 -66.67 -33.33]
MF3 = 'NK': 'trimf',[-66.67 -33.33 0]
MF4 = 'NL': 'trimf',[-33.33 0 33.33]
MF5 = 'PK': 'trimf',[0 33.33 66.67]
MF6 = 'PS': 'trimf',[33.33 66.67 100]
MF7 = 'PB': 'trimf',[66.67 100 133.3]

Output : Sinyal atur 'u|k|'

Range = [-1 1]

NumMFs = 7

MF1 = 'NB': 'trimf',[-1.333 -1 -0.6666]
MF2 = 'NS': 'trimf',[-1 -0.6666 -0.3334]
MF3 = 'NK': 'trimf',[-0.6666 -0.3334 0]
MF4 = 'NL': 'trimf',[-0.3334 0 0.3334]

- MF5 = 'PK': 'trimf',[0 0.3334 0.6666]
 MF6 = 'PS': 'trimf',[0.3334 0.6666 1]
 MF7 = 'PB': 'trimf',[0.6666 1 1.334]

4.4 Penyusunan Aturan Dasar

Setelah dipahami perilaku pengaturannya, maka berdasarkan pemahaman tersebut penurunan kaidah atur secara heuristik dapat dilakukan seperti yang diuraikan pada bab II. Penurunan prototipe kaidah atur dan penyempurnaannya secara tuntas maksimum menghasilkan suatu look up tabel yang disebut tabel Mac Vicar-Whelan. Kaidah atur untuk sistem pengatur frekuensi menggunakan basis data yang telah disusun kemudian diturunkan sesuai dengan pola pada tabel Mac Vicar-Whelan tersebut sehingga diperoleh kaidah atur sebanyak 7 variabel x 7 variabel $e2 = 49$ kaidah atur.

Tabel 4.2 menunjukkan penurunan kaidah atur dengan tabel Mac Vicar-Whelan tersebut.

Perubahan Error (dError)

	NB	NS	NK	NL	PK	PS	PB
E	NB	NB	NB	NB	NS	NK	NL
r	NS	NB	NB	NS	NK	NL	PK
r	NK	NB	NS	NK	NL	PK	PS
o	NL	NB	NK	NL	PK	PS	PB
r	PK	NS	NL	PK	PS	PB	PB
	PS	NK	PK	PS	PB	PB	PB
	PB	NL	PS	PB	PB	PB	PB

Bila tabel aturan dasar diatas dijabarkan dengan pernyataan linguistik maka diperoleh seperangkat pernyataan linguistik fuzzy dengan nomor urutan sesuai dengan nomor baris kolom pada tabel keputusan diatas sebagai berikut:

- R1 : jika e adalah NB dan Δe adalah NB maka u adalah NB
- Juga R2 : jika e adalah NB dan Δe adalah NS maka u adalah NB
- Juga R3 : jika e adalah NB dan Δe adalah NK maka u adalah NB
- Juga R4 : jika e adalah NB dan Δe adalah NL maka u adalah NB
- Juga R5 : jika e adalah NB dan Δe adalah PK maka u adalah NS
- Juga R6 : jika e adalah NB dan Δe adalah PS maka u adalah NK
- Juga R7 : jika e adalah NB dan Δe adalah PB maka u adalah NL
- Juga R8 : jika e adalah NS dan Δe adalah NB maka u adalah NB
- Juga R9 : jika e adalah NS dan Δe adalah NS maka u adalah NB
- Juga R10 : jika e adalah NS dan Δe adalah NK maka u adalah NB
- Juga R11 : jika e adalah NS dan Δe adalah NL maka u adalah NS
- Juga R12 : jika e adalah NS dan Δe adalah PK maka u adalah NK
- Juga R13 : jika e adalah NS dan Δe adalah PS maka u adalah NL
- Juga R14 : jika e adalah NS dan Δe adalah PB maka u adalah PK
- Juga R15 : jika e adalah NK dan Δe adalah NB maka u adalah NB
- Juga R16 : jika e adalah NK dan Δe adalah NS maka u adalah NB
- Juga R17 : jika e adalah NK dan Δe adalah NK maka u adalah NS
- Juga R18 : jika e adalah NK dan Δe adalah NL maka u adalah NK
- Juga R19 : jika e adalah NK dan Δe adalah PK maka u adalah NL

- Juga R20 : jika e adalah NK dan Δe adalah PS maka u adalah PK
- Juga R21 : jika e adalah NK dan Δe adalah PB maka u adalah PS
- Juga R22 : jika e adalah NL dan Δe adalah NB maka u adalah NB
- Juga R23 : jika e adalah NL dan Δe adalah NS maka u adalah NS
- Juga R24 : jika e adalah NL dan Δe adalah NK maka u adalah NK
- Juga R25 : jika e adalah NL dan Δe adalah NL maka u adalah NL
- Juga R26 : jika e adalah NL dan Δe adalah PK maka u adalah PK
- Juga R27 : jika e adalah NL dan Δe adalah PS maka u adalah PS
- Juga R28 : jika e adalah NL dan Δe adalah PB maka u adalah PB
- Juga R29 : jika e adalah PK dan Δe adalah NB maka u adalah NS
- Juga R30 : jika e adalah PK dan Δe adalah NS maka u adalah NK
- Juga R31 : jika e adalah PK dan Δe adalah NK maka u adalah NL
- Juga R32 : jika e adalah PK dan Δe adalah NL maka u adalah PK
- Juga R33 : jika e adalah PK dan Δe adalah PK maka u adalah PS
- Juga R34 : jika e adalah PK dan Δe adalah PS maka u adalah PB
- Juga R35 : jika e adalah PK dan Δe adalah PB maka u adalah PB
- Juga R36 : jika e adalah PS dan Δe adalah NB maka u adalah NK
- Juga R37 : jika e adalah PS dan Δe adalah NS maka u adalah NL
- Juga R38 : jika e adalah PS dan Δe adalah NK maka u adalah PK
- Juga R39 : jika e adalah PS dan Δe adalah NL maka u adalah PS
- Juga R40 : jika e adalah PS dan Δe adalah PK maka u adalah PB
- Juga R41 : jika e adalah PS dan Δe adalah PS maka u adalah PB

- Juga R42 : jika e adalah PS dan Δe adalah PB maka u adalah PB
- Juga R43 : jika e adalah PB dan Δe adalah NB maka u adalah NL
- Juga R44 : jika e adalah PB dan Δe adalah NS maka u adalah PK
- Juga R45 : jika e adalah PB dan Δe adalah NK maka u adalah PS
- Juga R46 : jika e adalah PB dan Δe adalah NL maka u adalah PB
- Juga R47 : jika e adalah PB dan Δe adalah PK maka u adalah PB
- Juga R48 : jika e adalah PB dan Δe adalah PS maka u adalah PB
- Juga R49 : jika e adalah PB dan Δe adalah PB maka u adalah PB

4.5 Logika Pengambilan Keputusan

Secara praktis logika pengambilan keputusan adalah suatu operator untuk menghitung sinyal atur berdasarkan (basis data dan aturan dasar) yang telah disusun. Prosedur ini berupa operasi matematika yaitu operasi mini Mamdani terhadap pasangan masukan error dan perubahan error yang akan menghasilkan kesimpulan sinyal atur u .

Berdasarkan basis pengetahuan yang telah disusun, setiap pasangan input error dan perubahan error akan menghasilkan kesimpulan sinyal atur yang merupakan keluaran yang akan diumpankan ke pengatur.

4.6 Defuzzifikasi

Untuk mengubah sinyal atur fuzzy menjadi sinyal crisp, sinyal atur dari logika pengambilan keputusan dilakukan operasi defuzzyfikasi. Metode defuzzyfikasi yang akan digunakan adalah metoden COA.

Sebagai contoh misalnya pengatur logika fuzzy mendapat masukan berupa error e yang berada dalam himpunan PK dan PS, dan perubahan error Δe yang berada pada himpunan NL dan PK, maka pada kedua masukan ini akan dilakukan proses sebagai berikut :

- Fuzzyfikasi dan perhitungan nilai keanggotaan :

$$\mu_{PK}(e1[k]) = 1 - (\sqrt{(e1[k]-1/3R1)^2}) / b1$$

$$\mu_{PS}(e1[k]) = 1 - (\sqrt{(e1[k]-2/3R1)^2}) / b1$$

$$\mu_{NL}(e1[k]) = 1 - (\sqrt{(e1[k])^2}) / b2$$

$$\mu_{PK}(e1[k]) = 1 - (\sqrt{(e1[k]-1/3R2)^2}) / b2$$

Nilai himpunan keanggotaan lain adalah nol.

- Operasi minimum produk kartesian pada aturan dasar yang dibangkitkan :

$$R32 : a32 = \mu_{PK}(e1) \wedge \mu_{NL}(e1)$$

$$R33 : a32 = \mu_{PK}(e1) \wedge \mu_{PK}(e1)$$

$$R39 : a32 = \mu_{PS}(e1) \wedge \mu_{NL}(e1)$$

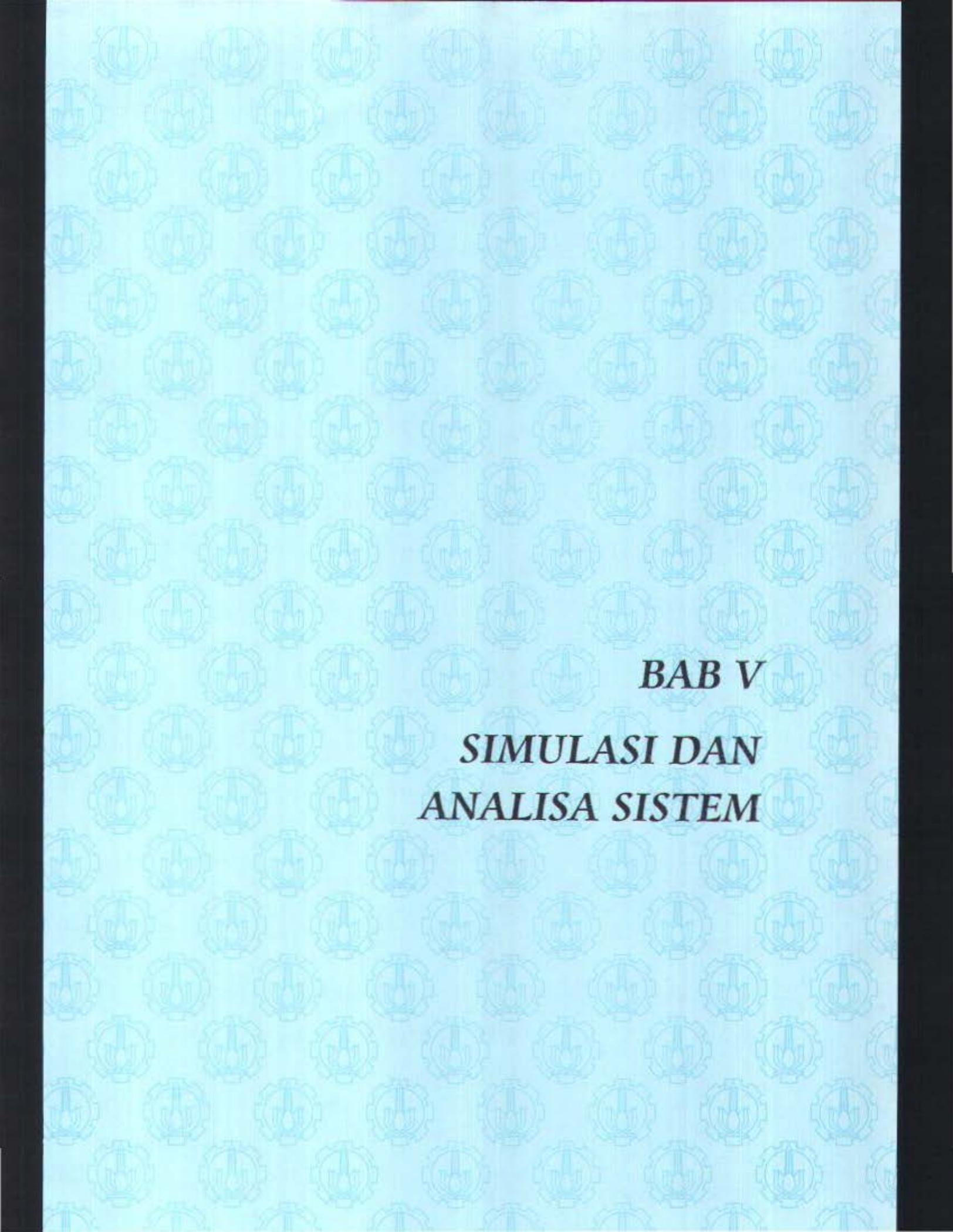
$$R40 : a32 = \mu_{PS}(e1) \wedge \mu_{PK}(e1)$$

- Defuzzyfikasi dengan metode Center of Area (COA)

$$Uo = \frac{\sum_{j=1}^{40} \alpha_j a_j}{\sum_{j=1}^{40} \alpha_j}$$

dengan a_j adalah rata-rata (u) sesuai nomor aturan dasarnya.

$$Uo = \frac{\alpha_{32}a_{32} + \alpha_{33}a_{33} + \alpha_{39}a_{39} + \alpha_{40}a_{40}}{\alpha_{32} + \alpha_{33} + \alpha_{39} + \alpha_{40}}$$



BAB V

SIMULASI DAN

ANALISA SISTEM

BAB V

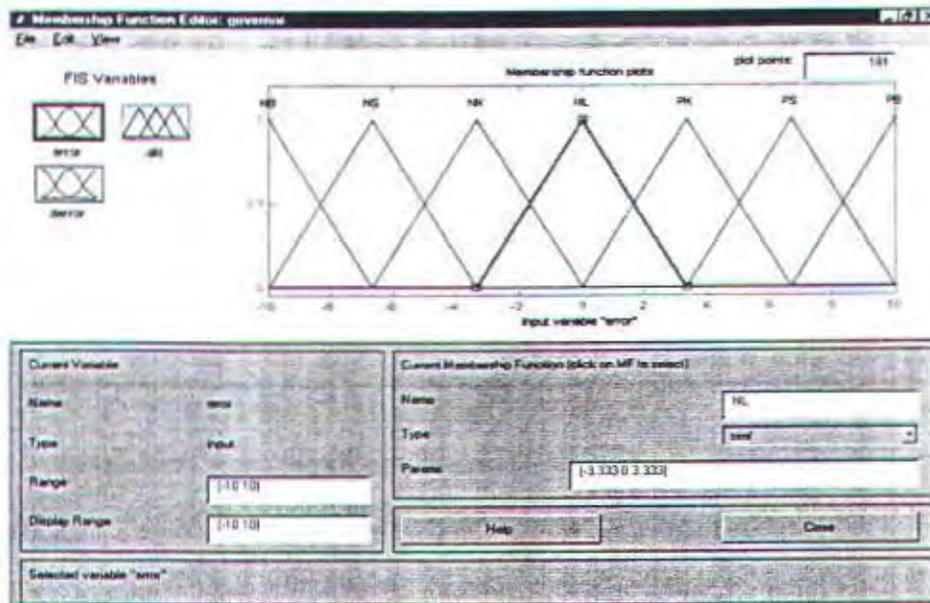
SIMULASI DAN ANALISA SISTEM

Setelah perancangan controller selesai, maka selanjutnya adalah melakukan simulasi sistem. Simulasi dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Matlab 5.3.1 dari the Mathwork Inc. yang menyediakan fasilitas Toolbox yang memuat fungsi-fungsi standar untuk mendapatkan solusi dari sistem, antara lain :

1. Fuzzy Logic toolbox menyediakan fasilitas untuk perancangan pengontrol logika Fuzzy.
2. Simulink menyediakan blok-blok diagram untuk menyusun prototype dari model sistem yang akan disimulasikan dan menjalankan simulasi.

Untuk mengimplementasikan hasil perancangan ke dalam model simulasi, simulink menyediakan fungsi-fungsi standar untuk memperoleh solusi dari sistem. Pada model sistem pengaturan kecepatan putaran motor diesel ini sinyal masukan dalam model simulasi adalah set point yaitu rpm motor yang diinginkan dan adanya perubahan beban sebagai gangguan. Pada awal simulasi sistem ini, set point merupakan konstanta dengan harga yang diinginkan dimana kondisi sistem tanpa ada gangguan, sedangkan pada simulasi selanjutnya kecepatan ditetapkan konstan dan sistem mendapat gangguan dalam bentuk beban yang berubah-ubah.

Setelah penentuan variabel masukan pengatur logika fuzzy yaitu variabel error dan perubahan error serta variabel keluaran yaitu sinyal atur dengan fungsi



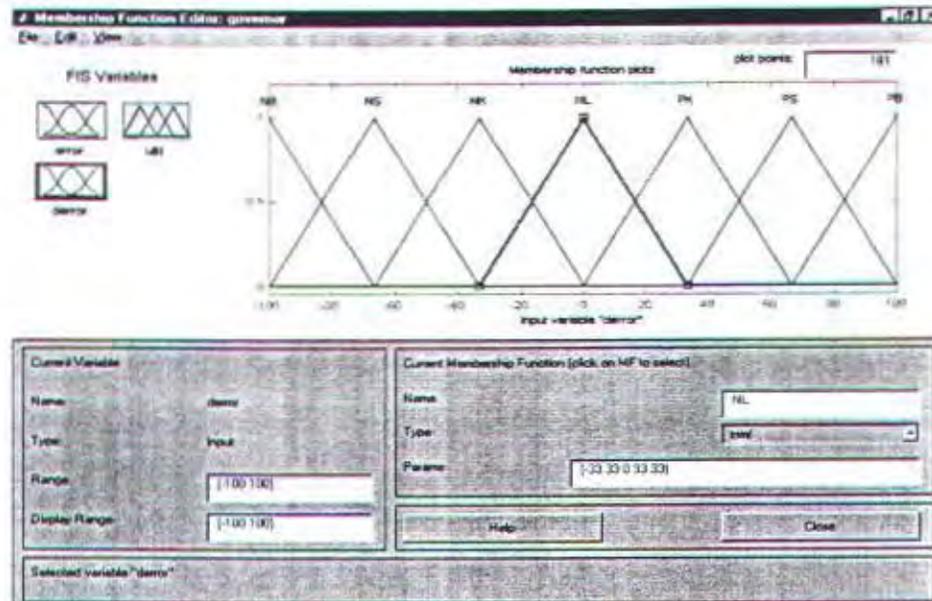
Gambar 5.1 Fungsi Keanggotaan Error

keanggotaan segitiga seperti telah disebutkan pada bab IV, selanjutnya hal tersebut diimplementasikan kedalam program Matlab seperti ditampilkan pada gambar 5.1 sampai dengan 5.3. Dalam gambar 5.1 diatas telah ditentukan :

- 7 (tujuh) variabel linguistik yaitu NB, NS, NK, NL, PK, PS, dan PB.
- Range segmen untuk variabel error ditentukan sebesar (-10 10). Penentuan segmen ini didasarkan pada ketentuan bahwa perbedaan kecepatan putaran tidak lebih 10 rpm dari harga set point.

Dalam gambar 5.2 berikut ini merupakan gambar implementasi fungsi keanggotaan delta error pada program Matlab, dimana telah ditentukan :

- 7 (tujuh) variabel linguistik yaitu NB, NS, NK, NL, PK, PS, PB
- Range segmen untuk variabel perubahan error ini ditentukan antara (-100 100), nilai ini merupakan nilai yang ditentukan oleh perancang menurut pengenalan perancang tentang perilaku plant beserta perilaku pengaturannya.

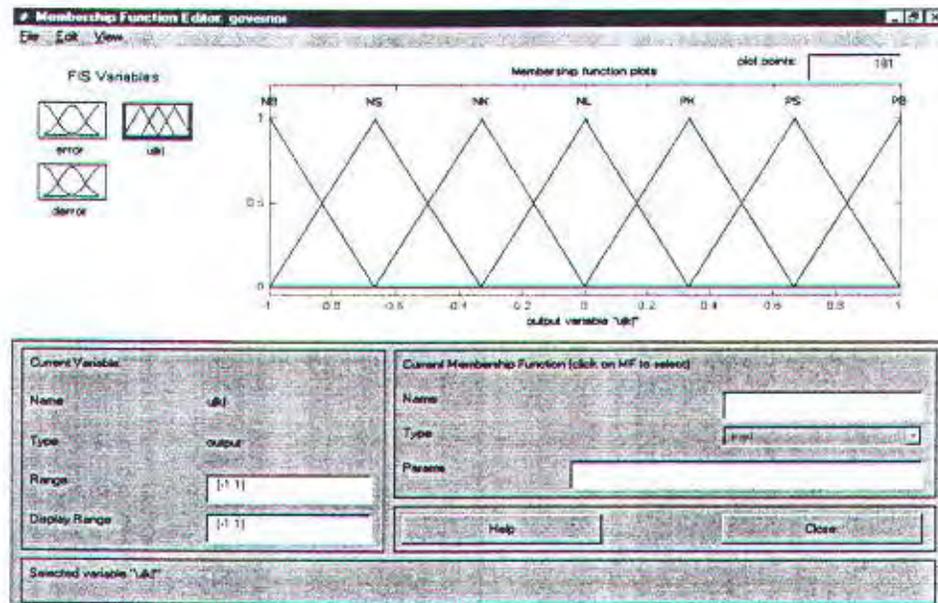


Gambar 5.2 Fungsi Keanggotaan Delta Error

Dalam gambar 5.3 berikut ini merupakan implementasi dari fungsi keanggotaan sinyal atur pada program Matlab, dimana telah ditentukan :

- 7 (tujuh) variabel linguistik yaitu NB, NS, NK, NL, PK, PS, dan PB.
- Range segmen variabel sinyal atur yang mengatur gerak fuel rack ditentukan antara (-1 1) yaitu harga yang diperlukan untuk menggerakkan fuel rack mulai tertutup penuh sampai terbuka penuh.

Setelah melalui proses seperti contoh yang telah diuraikan pada bab IV maka pengatur Logika fuzzy mengirim sinyal atur ke plant yang telah ditentukan. Hasilnya yang berupa sinyal kontrol untuk menggerakkan fuel rack yang mengatur jumlah aliran bahan bakar yang masuk kedalam silinder.



Gambar 5.3 Fungsi Keanggotaan Output Kontrol

5.1 Metode Pengujian

Dalam pengujian ini dilakukan beberapa metode, dimana pada sistem dilakukan berbagai perlakuan dengan adanya perubahan pembebanan yang mana menyesuaikan bagaimana kondisi motor diesel tersebut.

5.1.1 Uji Respon Step

Pada pengujian ini, motor diesel berhenti/tidak beroperasi pada keadaan awalnya kemudian dilakukan starting dimana rpm motor diesel di tentukan sesuai dengan kebutuhan. Pada saat ini poros propeler masih terpisah dari poros motor, hal ini menunjukkan rpm motor di set tanpa beban, untuk itu gangguan dianggap nol.

5.1.2 Uji Pembebanan

Pada pengujian ini, motor diesel dilakukan berbagai macam perlakuan dimana setiap perlakuan mewakili kondisi tertentu disesuaikan keadaan dimana kapal berada.

Pertama, uji pembebanan dengan constan load dimana hal ini mewakili keadaan poros motor diesel telah di kopel langsung dengan poros propeler.

Kedua, uji pembebanan dengan step load dimana hal ini mewakili suatu keadaan kapal pada saat poros propeler disambungkan dengan poros motor diesel.

Ketiga, uji pembebanan dengan menggunakan fungsi sinusoidal dimana hal ini mewakili suatu keadaan kapal pada saat beroperasi konstan namun ada gangguan berupa adanya gelombang laut.

5.2 Analisa Hasil Pengujian

1. Uji Respon Step

Pada gambar 5.4 berikut ini ditampilkan suatu grafik dari hasil simulasi sistem pengendalian kecepatan motor diesel pada saat motor tanpa beban (poros propeler terpisah) di start dan set point ditentukan 50 rpm.

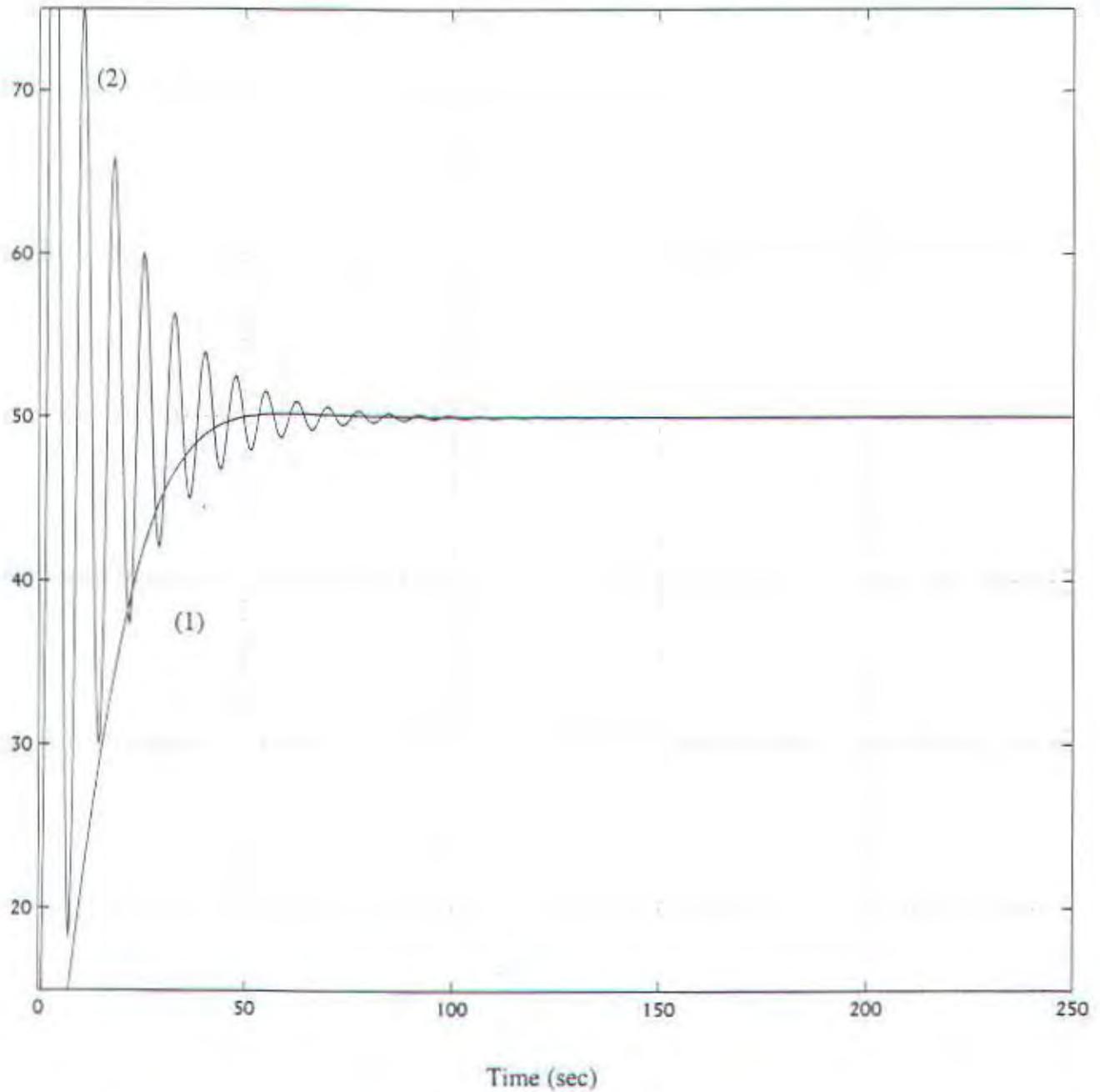
Grafik pertama yang merupakan hasil simulasi sistem pengendalian yang menggunakan kontroler logika fuzzy dapat kita lihat bahwa :

- waktu penetapan atau settling time dari sistem tersebut dicapai dalam waktu ± 100 detik
- maksimum overshoot sebesar 0.2 rpm (pada grafik menunjukkan harga 50.2 rpm)
- tidak ada kesalahan keadaan tunak atau steady state error pada sistem ini

Grafik kedua yang merupakan hasil simulasi sistem pengendalian yang menggunakan sistem konvensional (governor mekanis) dapat kita lihat bahwa:

- waktu penetapan atau settling time dari sistem tersebut dicapai dalam waktu ± 130 detik.
- Maksimum overshoot sebesar 40 rpm (pada grafik menunjukkan harga 90 rpm)
- tidak ada kesalahan keadaan tunak atau steady state error pada sistem ini

RPM



Gambar 5.4 Grafik Step Respon hasil simulasi untuk system pengendalian kecepatan motor diesel dengan menggunakan kontroler logika fuzzy (1) dan governor mekanis (2) dengan set point kecepatan putar 50 rpm

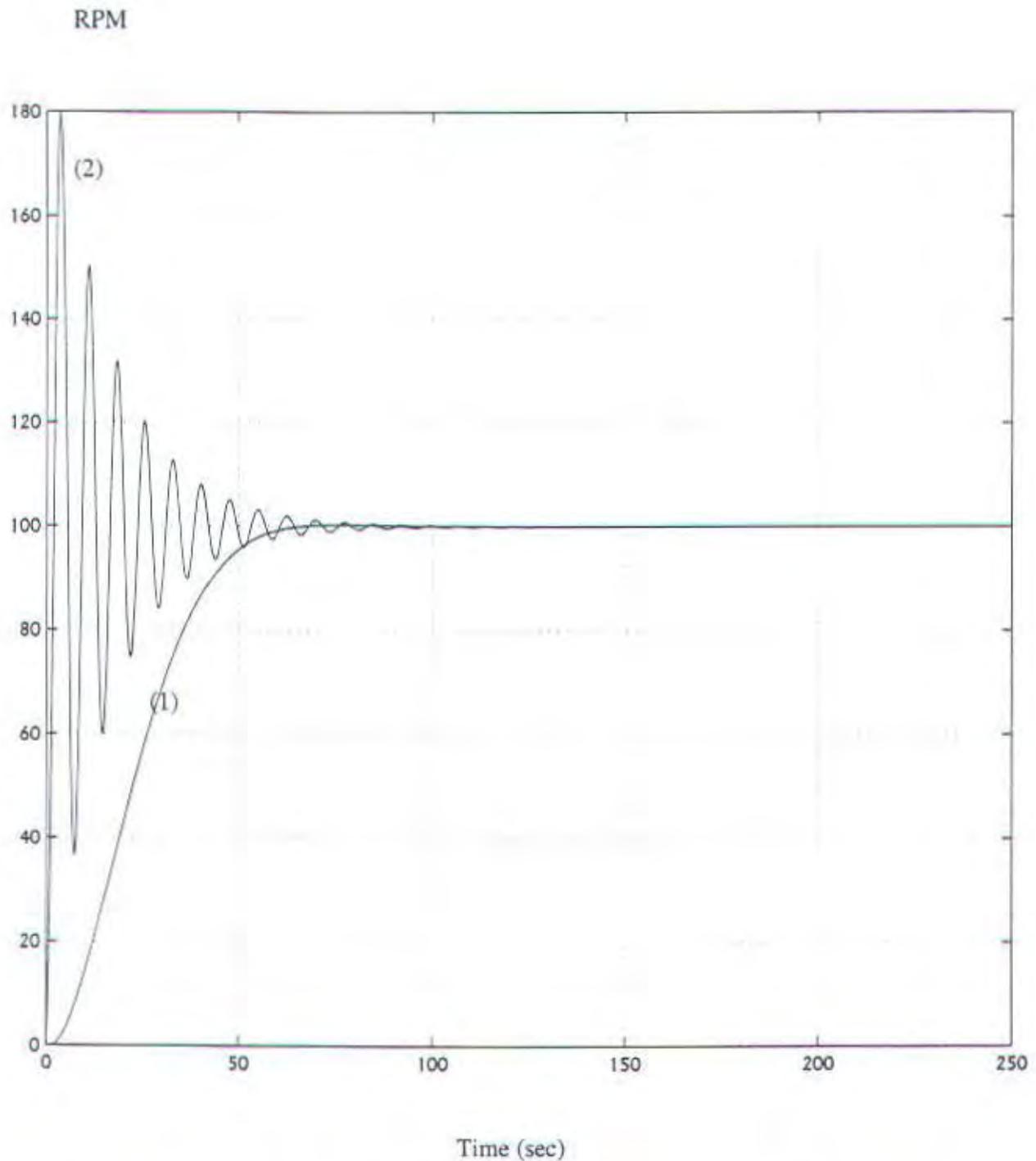
Pada gambar 5.5 ditampilkan suatu grafik dari hasil simulasi seperti diatas namun kita ubah set point dari kecepatan putaran motor menjadi 100 rpm.

Grafik pertama yang merupakan hasil simulasi sistem pengendalian yang menggunakan kontroler logika fuzzy dapat kita lihat bahwa :

- waktu penetapan atau settling time dari sistem tersebut dicapai dalam waktu ± 120 detik
- maksimum overshoot sebesar 0.29 rpm (pada grafik menunjukkan harga 100,29 rpm)
- tidak terjadi kesalahan keadaan tunak atau steady state error

Grafik kedua yang merupakan hasil simulasi sistem pengendalian konvensional (governor mekanis) dapat kita lihat bahwa :

- waktu penetapan atau settling time dari sistem ini dicapai dalam waktu ± 140 detik
- maksimum overshoot sebesar 80 rpm
- tidak terjadi kesalahan keadaan tunak atau steady state error pada sistem ini



Gambar 5.5 Grafik Step Respon hasil simulasi untuk system pengendalian kecepatan motor diesel dengan menggunakan kontroler logika fuzzy (1) dan governor mekanis (2) dengan set point kecepatan putar 100 rpm

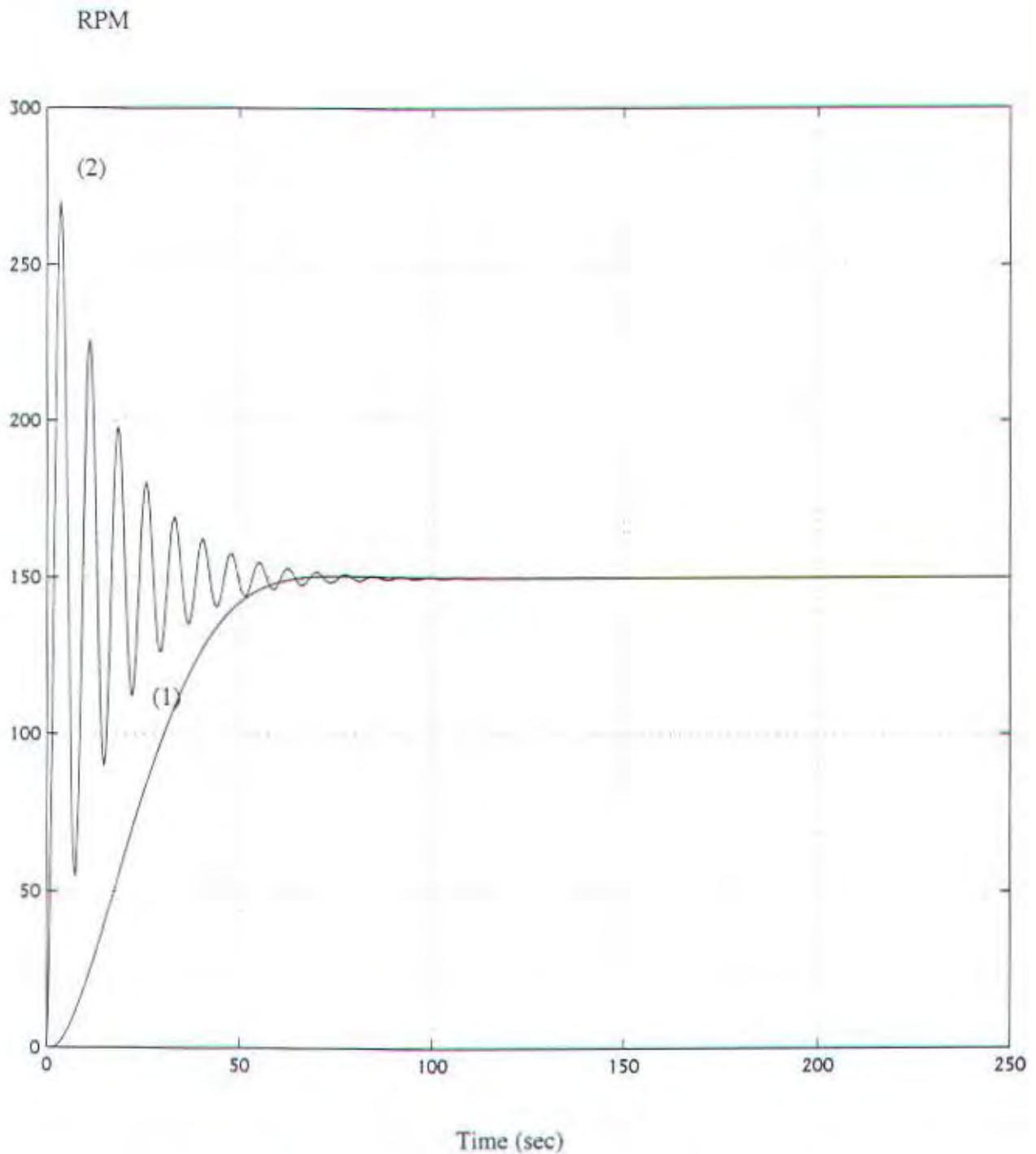
Pada gambar 5.6 berikut ditampilkan suatu grafik dari hasil simulasi seperti diatas dengan menentukan set point sebesar 150 rpm.

Grafik pertama merupakan hasil simulasi dari sistem pengendalian yang menggunakan kontroler logika fuzzy dapat kita lihat bahwa :

- waktu penetapan atau settling time dicapai dalam waktu ± 135 detik
- maksimum overshoot sebesar 0.55 rpm
- tidak terjadi kesalahan keadaan tunak atau steady state error

Grafik kedua merupakan hasil simulasi sistem pengendalian sistem konvensional (governor mekanis) dapat kita lihat bahwa :

- waktu penetapan atau settling time dicapai dalam waktu ± 155 detik
- maksimum overshoot sebesar 120 rpm
- tidak terjadi kesalahan keadaan tunak atau steady state error



Gambar 5.6 Grafik Step Respon hasil simulasi untuk system pengendalian kecepatan motor diesel dengan menggunakan kontroler logika fuzzy (1) dan governor mekanis (2) dengan set point kecepatan putar 150 rpm

2. Uji Pembebanan

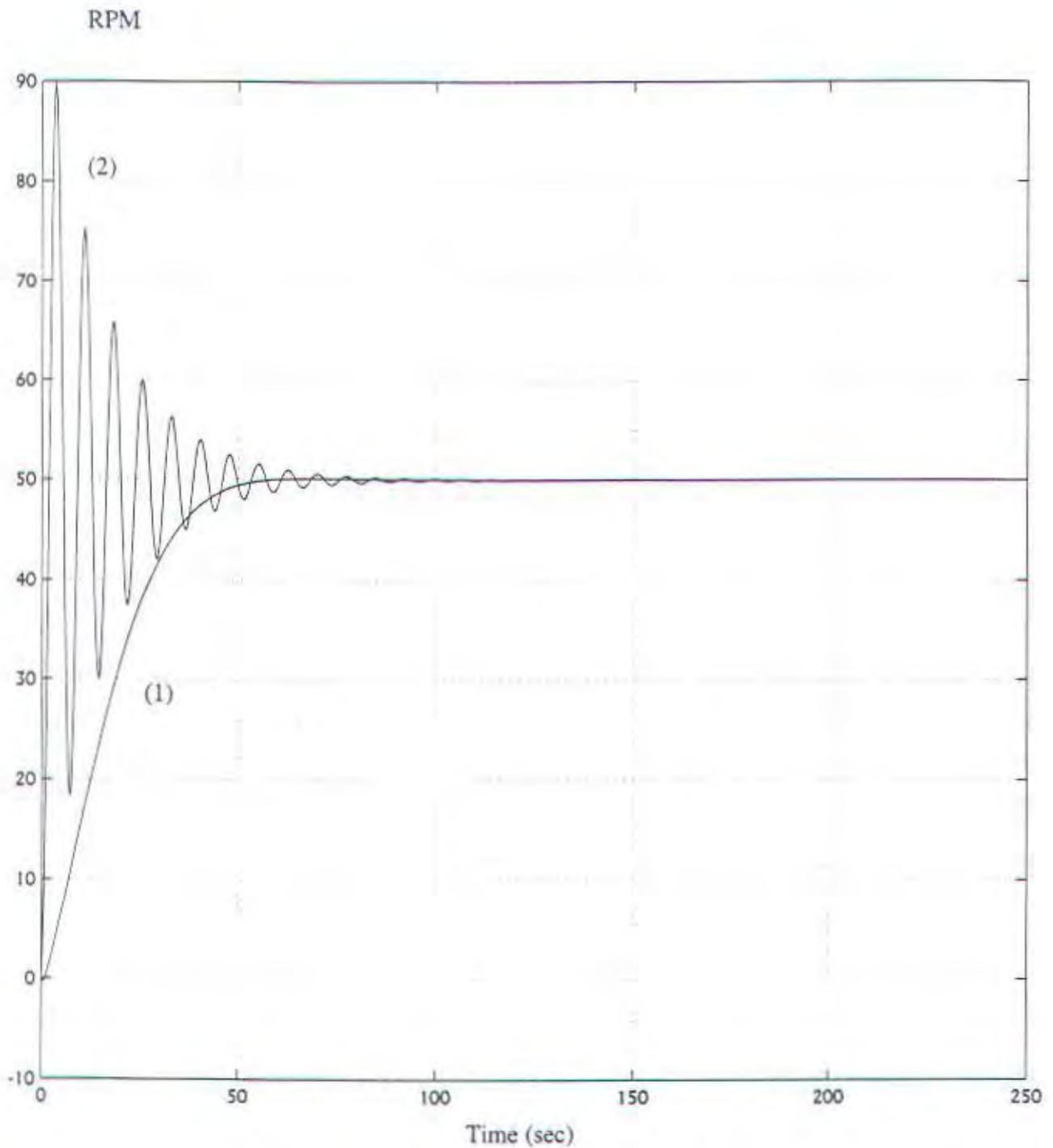
Pada gambar 5.7 berikut ini ditampilkan suatu grafik hasil simulasi dari sistem pengendalian kecepatan motor diesel pada saat dilakukan pembebanan secara langsung. Pada saat ini motor dalam keadaan starting dan poros propeller telah dikopel langsung dengan poros motor diesel. Sehingga motor langsung mendapatkan beban torsional dari propeller.

Grafik pertama merupakan hasil simulasi sistem pengendalian dengan menggunakan kontroler logika fuzzy, dapat kita lihat bahwa :

- respon sistem ketika mendapat beban torsional secara langsung (constant load), settling time dicapai dalam waktu ± 110 detik
- minimum undershoot sebesar ± 0.12 rpm
- tidak terjadi kesalahan tunak atau steady state error pada sistem.

Grafik kedua merupakan hasil simulasi sistem pengendalian dengan menggunakan governor mekanis, dapat kita lihat bahwa :

- waktu penetapan atau settling time dicapai dalam waktu ± 130 detik
- minimum undershoot sebesar 40 rpm
- tidak terjadi kesalahan tunak atau steady state error pada sistem.



Gambar 5.7 Grafik Step Respon hasil simulasi untuk system pengendalian kecepatan motor dengan menggunakan kontroler logika fuzzy (1) dan gov. mekanis (2), set point 50 rpm , propeller dikopel langsung (torsi 100 Nm)

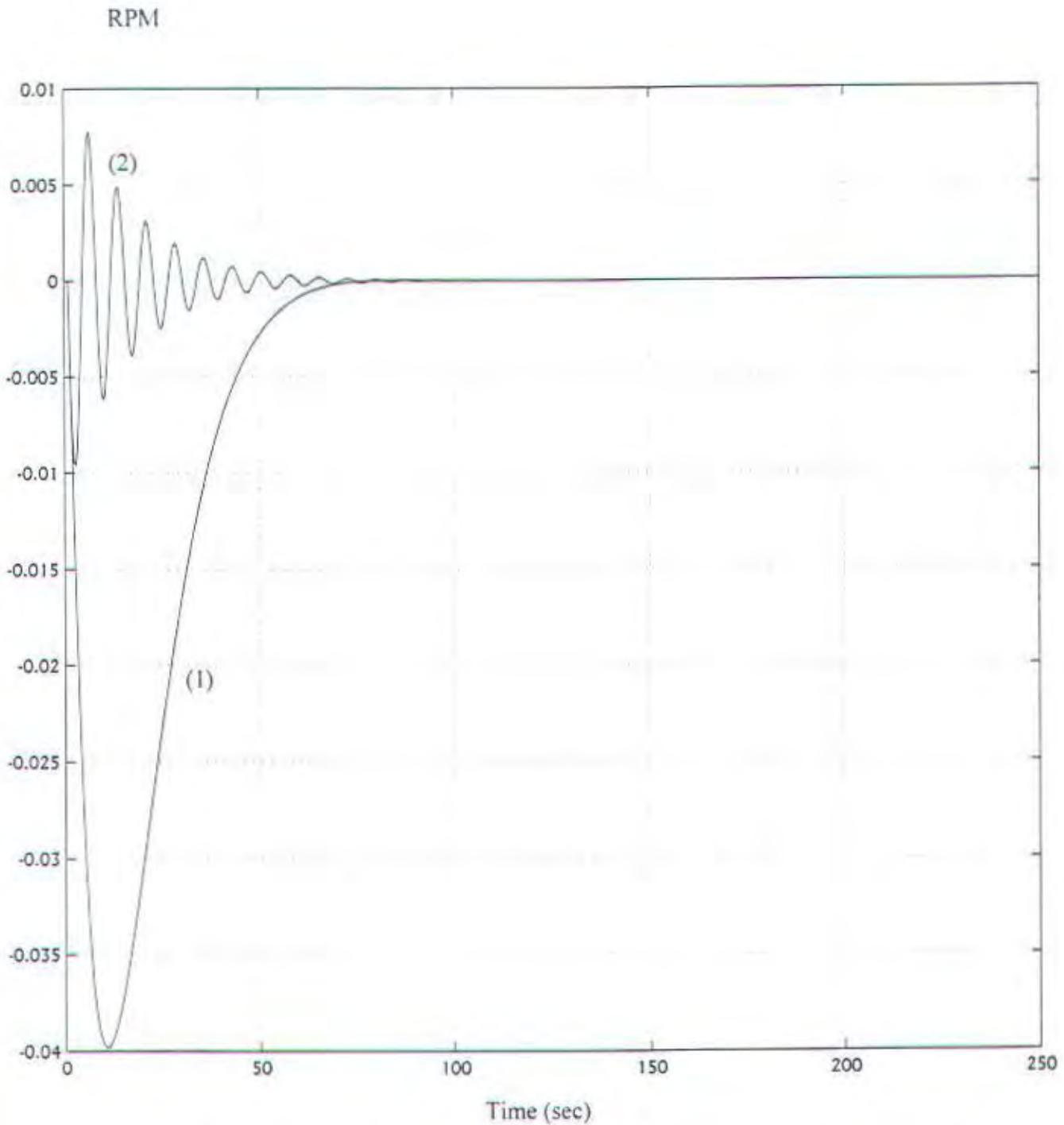
Pada gambar 5.8 berikut ini ditampilkan suatu grafik hasil simulasi dari sistem pengendalian kecepatan motor diesel pada saat dilakukan pembebanan dengan step load. Pada saat ini motor dalam keadaan berputar dengan kecepatan konstan kemudian diberikan beban ketika poros propeler disambungkan dengan poros engine.

Grafik pertama merupakan hasil simulasi sistem pengendalian dengan menggunakan kontroler logika fuzzy, dapat kita lihat bahwa :

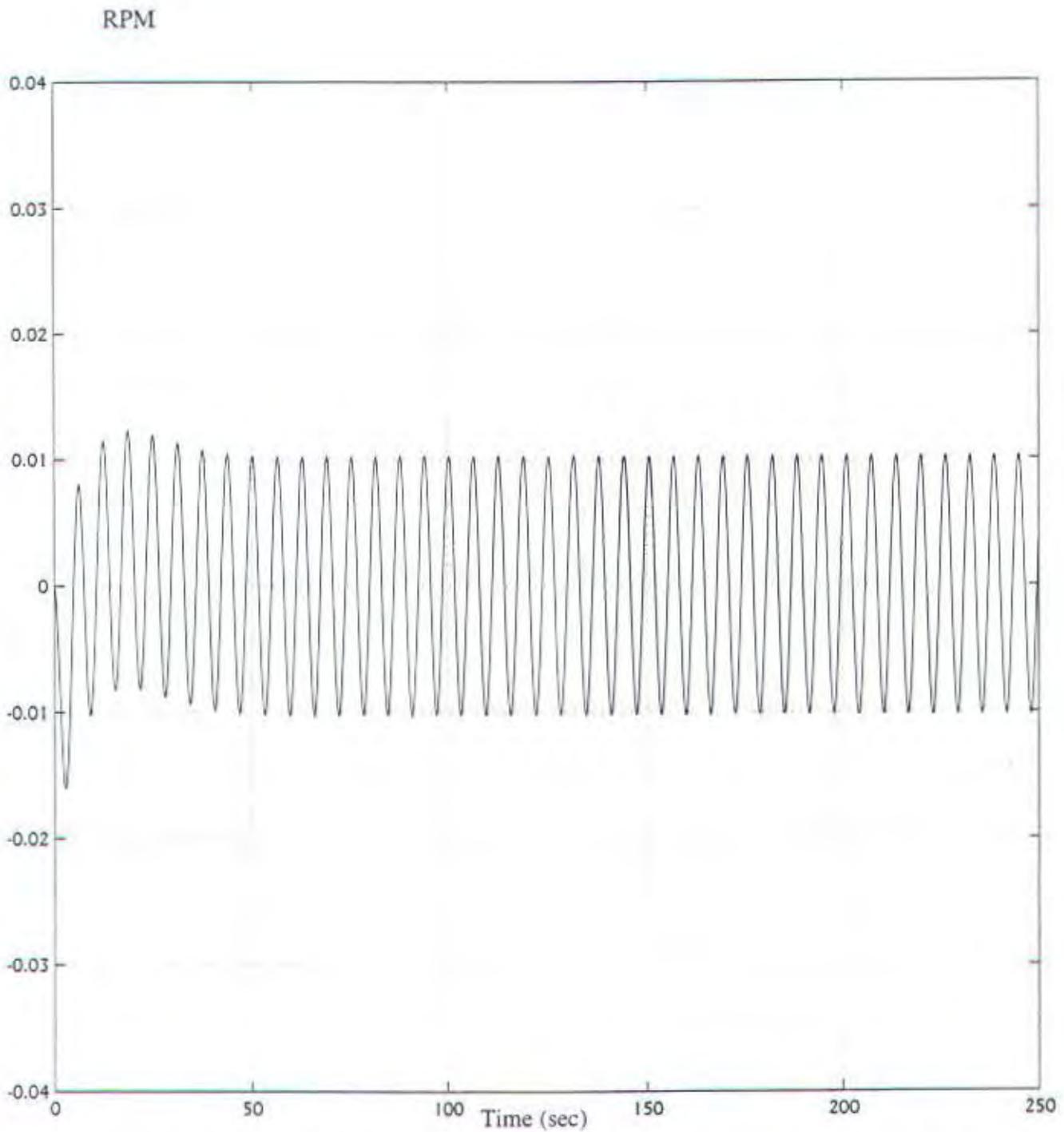
- respon sistem ketika terdapat perubahan torsi secara tiba-tiba dan tetap (step load) akan kembali ke setting rpm semula setelah ± 125 detik
- minimum undershoot sebesar $- 0.04$ rpm
- tidak terjadi kesalahan tunak atau steady state error pada sistem.

Grafik kedua merupakan hasil simulasi sistem pengendalian dengan menggunakan governor mekanis, dapat kita lihat bahwa :

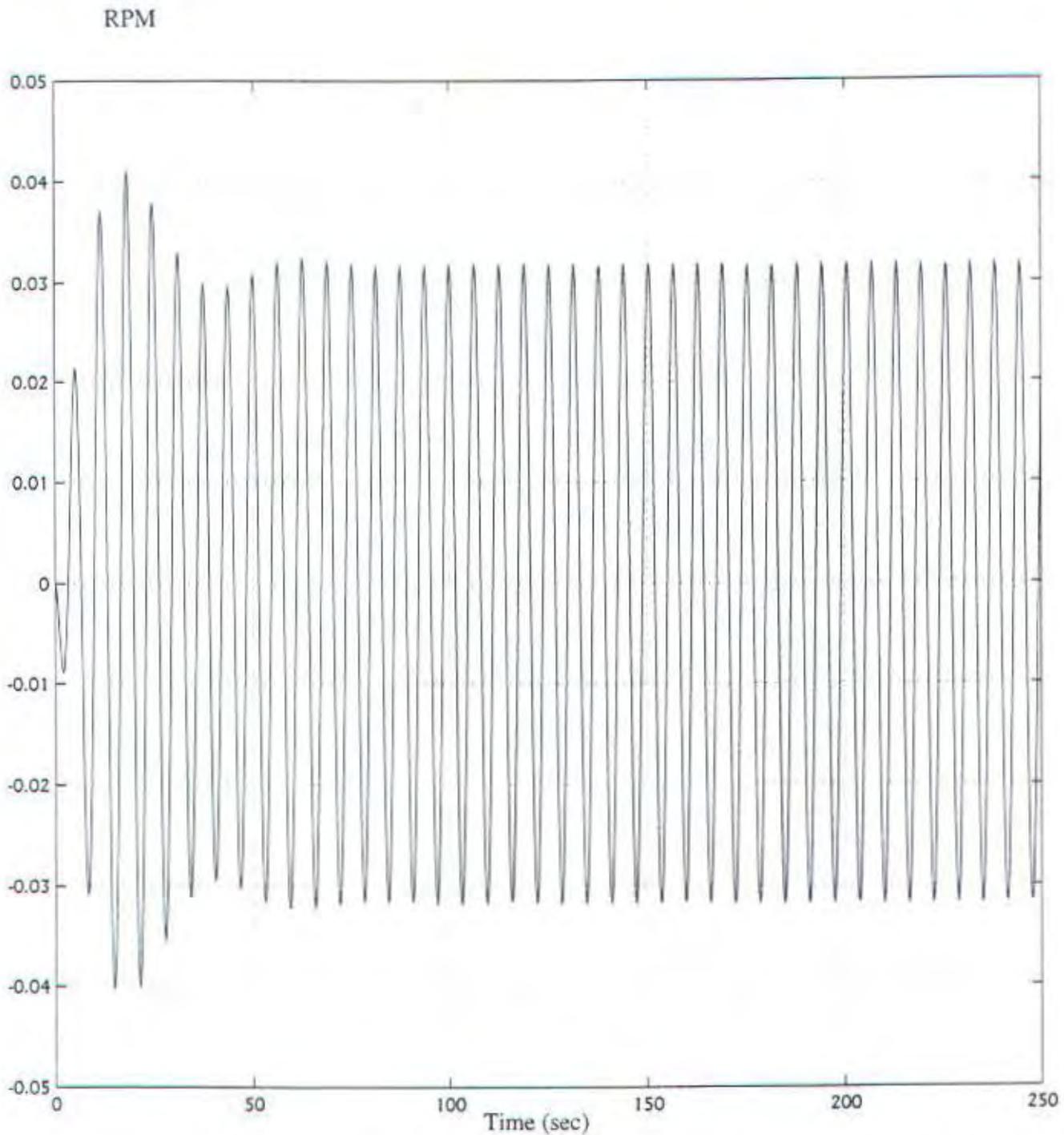
- respons sistem ketika terdapat perubahan torsi secara tiba-tiba dan tetap tidak kembali pada setting semula tetapi mengalami penurunan dan tercapai dalam waktu ± 125 detik
- minimum undershoot sebesar $- 0.0095$ rpm
- tidak terjadi kesalahan tunak atau steady state error pada sistem.



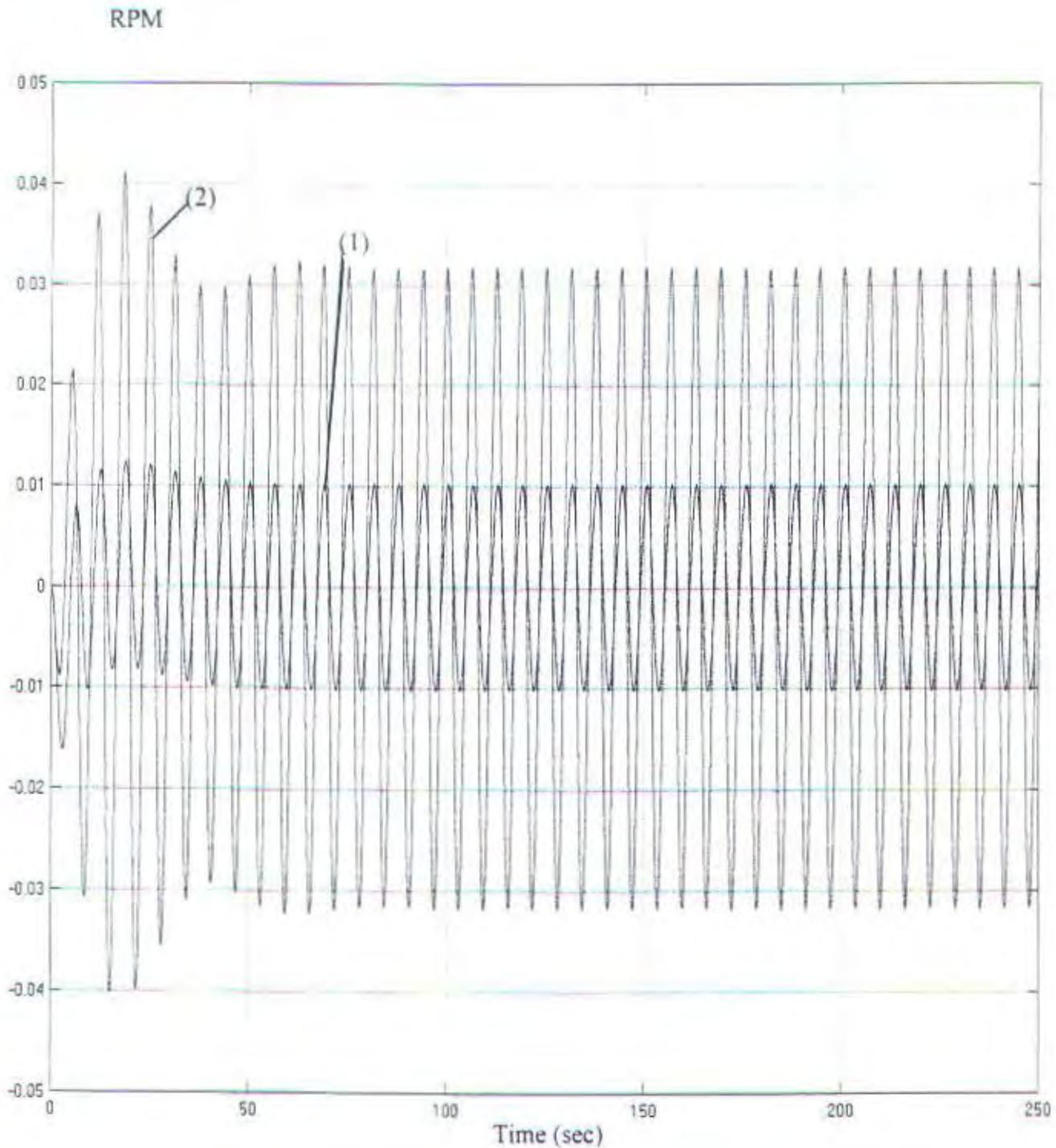
Gambar 5.8 Grafik Step Respon hasil simulasi untuk system pengendalian kecepatan motor diesel dengan menggunakan kontroler logika fuzzy (1) dan governor mekanis (2) dengan adanya gangguan step load.



Gambar 5.9a Grafik hasil simulasi untuk system pengendalian kecepatan motor diesel yang menggunakan kontroler logika dengan adanya gangguan gelombang



Gambar 5.9b Grafik hasil simulasi untuk system pengendalian kecepatan motor diesel yang menggunakan governor mekanis dengan adanya gangguan gelombang



Gambar 5.9c Grafik step respon gabungan hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan motor diesel yang menggunakan kontroler logika fuzzy(1) dan governor mekanis(2) dengan adanya gangguan sinusoidal

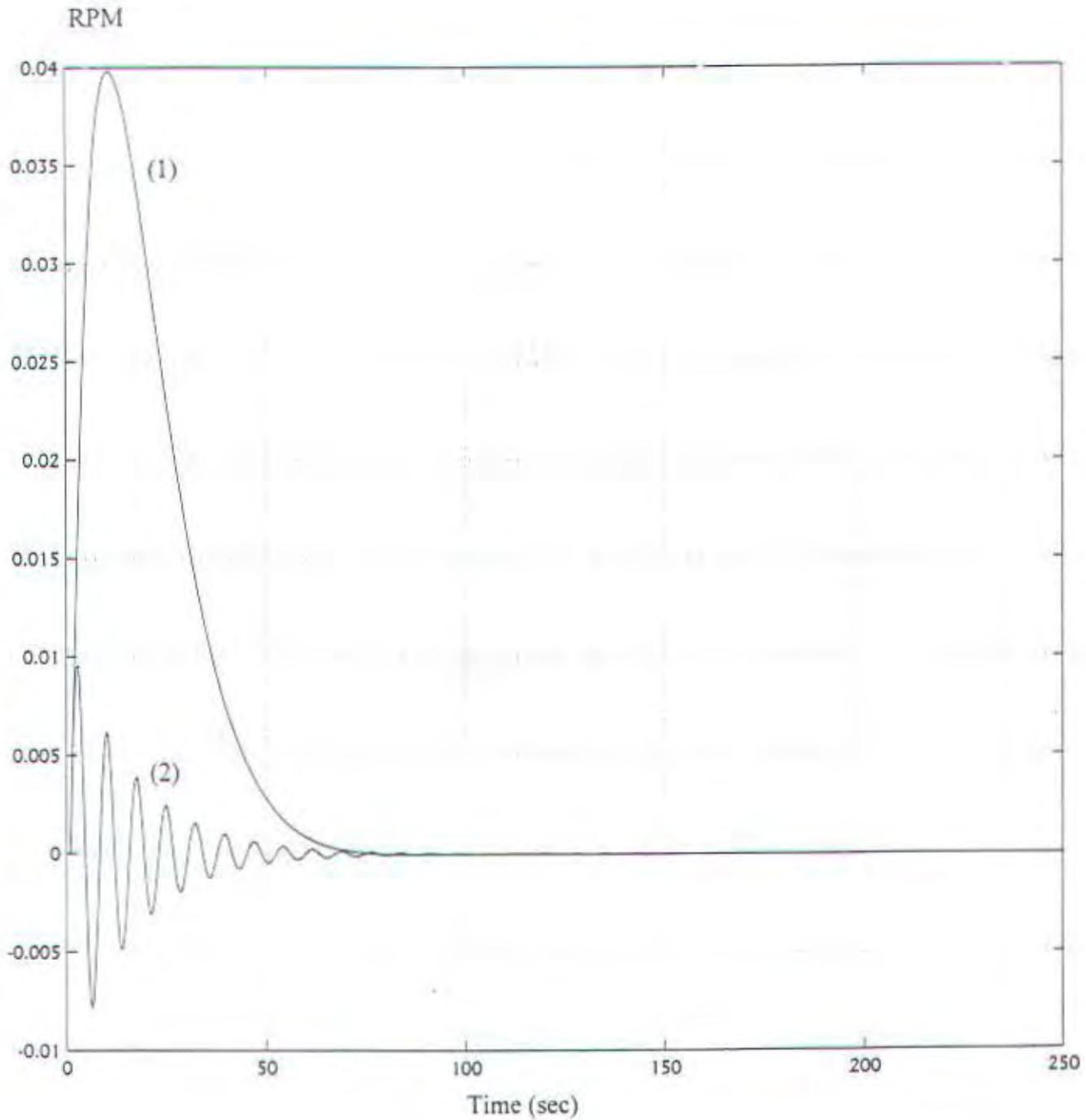
Pada gambar 5.10 berikut ini ditampilkan suatu grafik hasil simulasi dari sistem pengendalian kecepatan motor diesel pada saat dilakukan pembebanan dengan step down. Pada saat ini motor dalam keadaan berputar dengan kecepatan konstan kemudian beban diturunkan atau tiba-tiba ditiadakan. Misalkan ketika poros propeler dilepaskan dengan poros engine atau pada saat propeller keluar dari air.

Grafik pertama merupakan hasil simulasi sistem pengendalian dengan menggunakan kontroler logika fuzzy, dapat kita lihat bahwa :

- respon sistem ketika terdapat perubahan torsi secara tiba-tiba dan tetap (step load) akan kembali ke setting rpm semula setelah ± 125 detik
- maksimum overshoot sebesar ± 0.04 rpm
- tidak terjadi kesalahan tunak atau steady state error pada sistem.

Grafik kedua merupakan hasil simulasi sistem pengendalian dengan menggunakan governor mekanis, dapat kita lihat bahwa :

- respons sistem ketika terdapat perubahan torsi secara tiba-tiba dan tetap tidak kembali pada setting semula tetapi mengalami penurunan dan tercapai dalam waktu ± 125 detik
- maksimum overshoot sebesar ± 0.0095 rpm
- tidak terjadi kesalahan tunak atau steady state error pada sistem.



Gambar 5.10 Grafik Step Respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan motor diesel dengan menggunakan kontroler logika fuzzy (1) dan governor mekanis (2) dengan adanya gangguan step down.

Setelah kita lakukan beberapa pengujian pada jenis motor diatas(slow speed), berikutnya kita lakukan pengujian kontroler ini pada jenis motor diesel yang lain yaitu jenis motor medium speed dan high speed (data-data dari motor terlampir) Dalam pengujian berikut ini akan ditampilkan hasil simulasi dari sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel pada jenis motor medium speed dan high speed yang menggunakan kontroler logika fuzzy saja.

➤ Pengujian Pada Motor Medium Speed

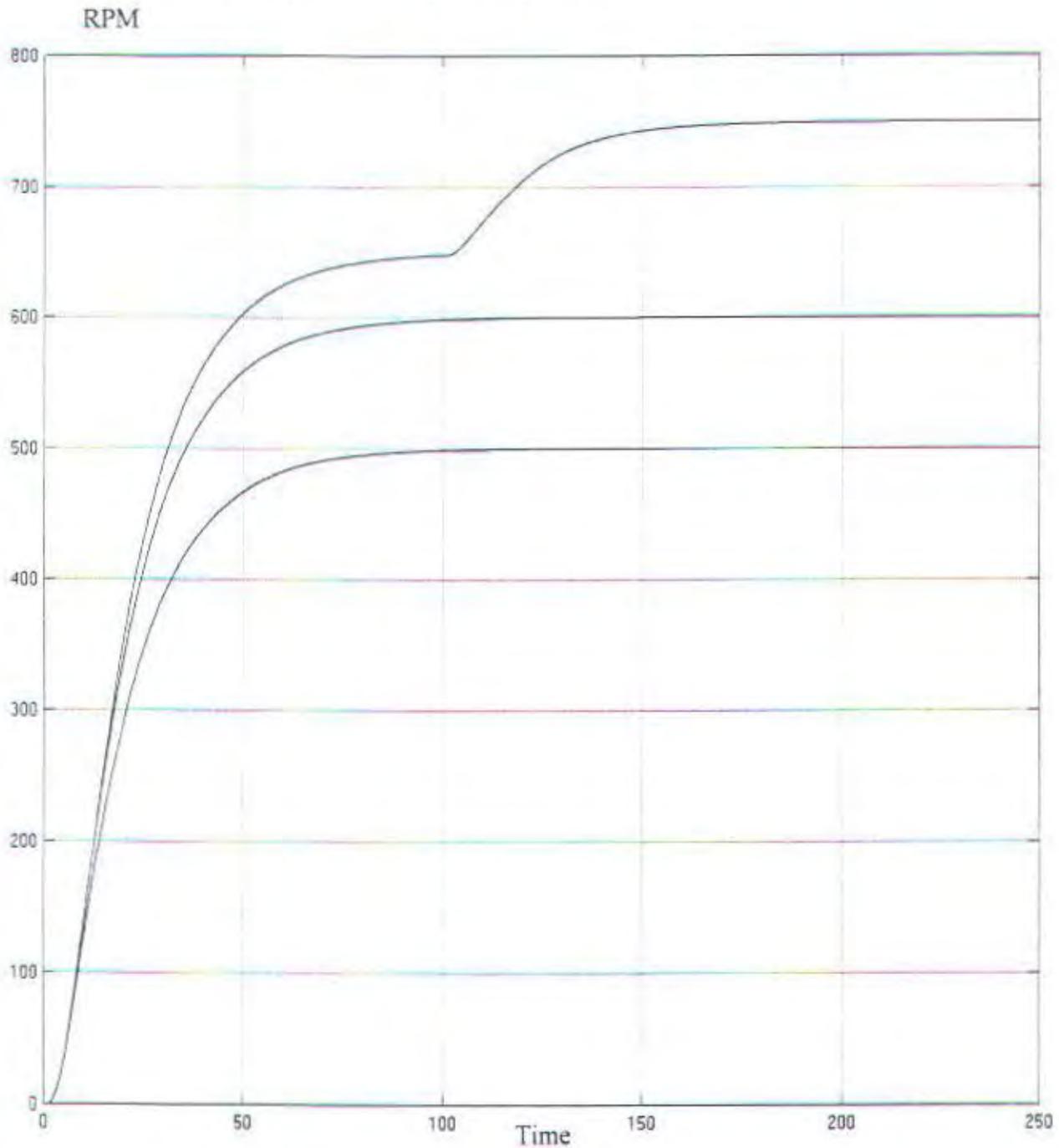
Gambar 5.11 berikut ini merupakan hasil simulasi sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel (medium speed) dengan menggunakan kontroller logika fuzzy yang sama, set point kecepatan ditentukan 500, 600 dan 750 rpm. Khusus pada set point 750 rpm, dilakukan pentahapan penetapan kecepatan yaitu set point awal ditentukan 650 rpm sebelum ditentukan set point 750 rpm. Pentahapan ini dilakukan karena batas maksimum dari penetapan kecepatan putaran dengan menggunakan kontroler logika fuzzy ini maksimum sampai dengan 676 rpm.

Dari gambar tersebut dapat kita berikan beberapa analisa bahwa :

- ⊖ dengan menggunakan kontroler logika fuzzy ini penetapan kecepatan putaran yang lebih tinggi memerlukan waktu penetapan yang lebih panjang.
- ⊖ Tidak terjadi overshoot
- ⊖ Tidak terjadi steady state error pada sistem.

Untuk hasil simulasi dari sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel (medium speed) dengan menggunakan kontroler logika fuzzy pada uji

pembebanan dengan cara dan urutan yang sama seperti pada motor sebelumnya, dapat kita lihat pada lampiran A.



Gambar 5.11 Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan motor diesel medium speed dengan menggunakan kontroler logika fuzzy pada set point 500, 600 dan 750 rpm. Khusus untuk set point 750 rpm dilakukan secara bertahap.

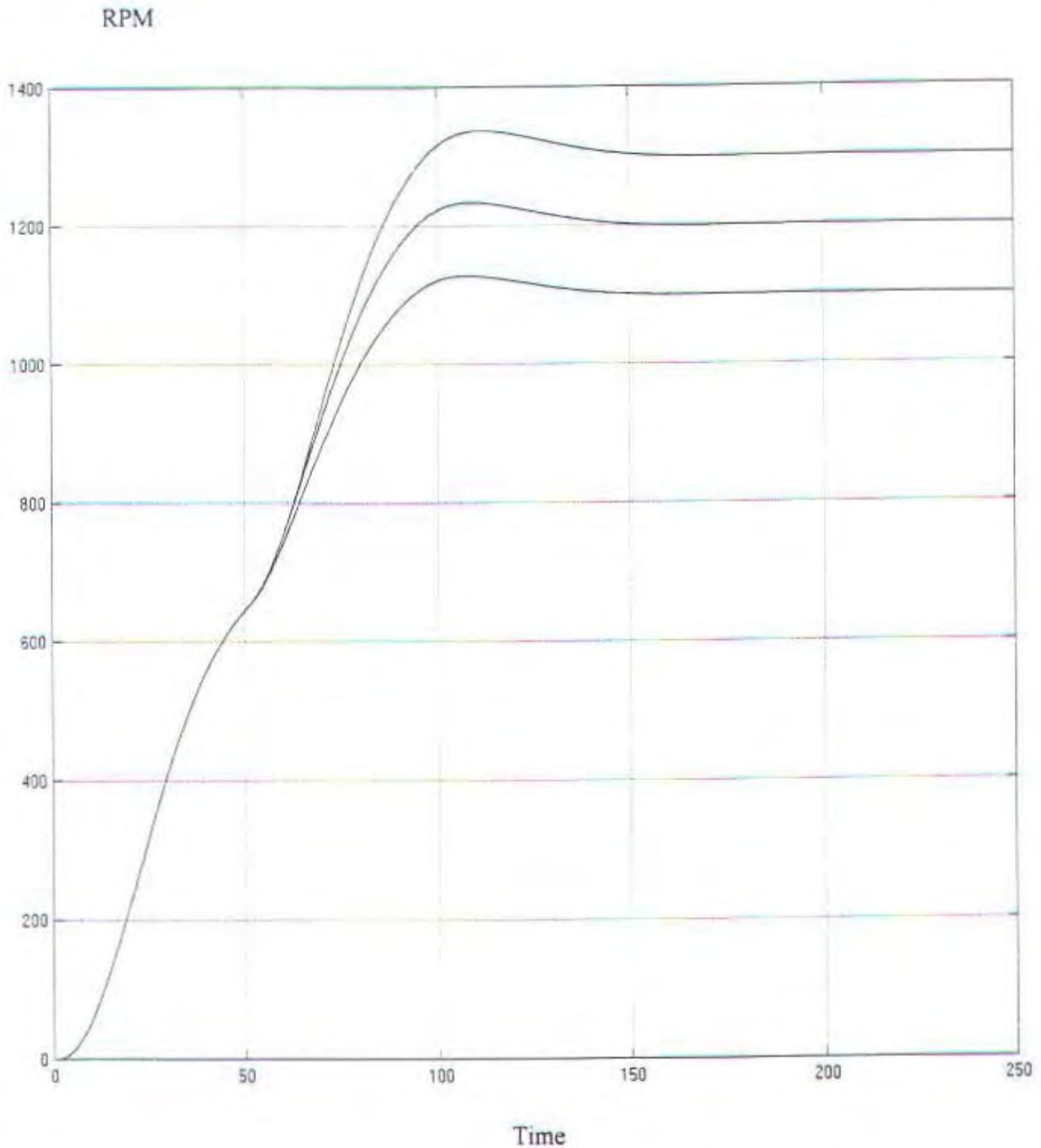
➤ Pengujian Pada Motor Diesel High Speed

Gambar 5.12 berikut ini merupakan hasil simulasi sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel (high speed) dengan menggunakan kontroler logika fuzzy yang sama, set point kecepatan ditentukan 1100,1200 dan 1300 rpm. Pada penetapan set point ini dilakukan pentahapan untuk mencapai set point diatas 676 rpm. Dan dalam pentahapan pada simulasi ini ditentukan set point awal adalah 650 rpm.

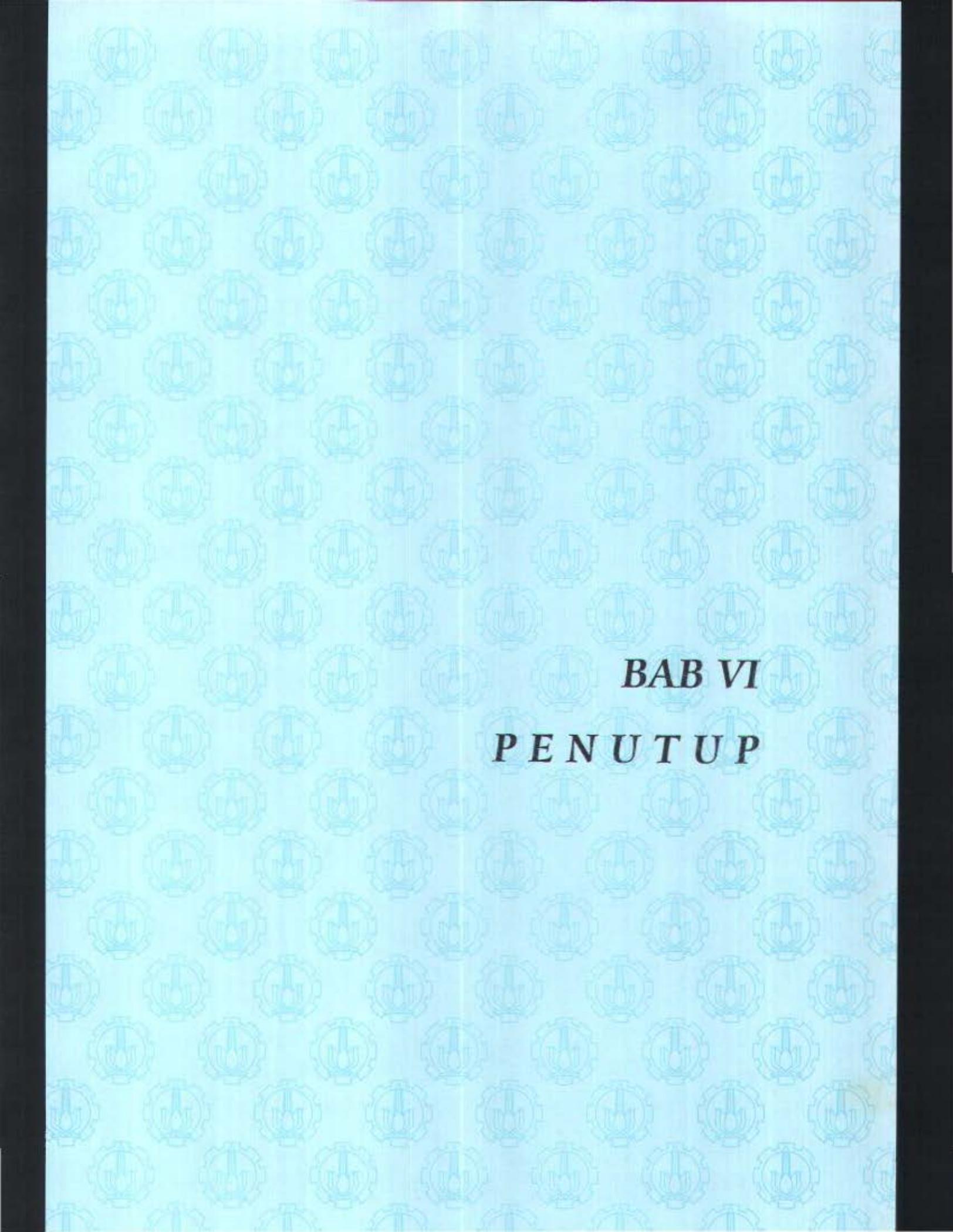
Dari gambar tersebut dapat kita berikan beberapa analisa bahwa :

- ⊙ dengan menggunakan kontroler logika fuzzy ini penetapan kecepatan putaran yang lebih tinggi memerlukan waktu penetapan yang lebih panjang
- ⊙ terjadi overshoot antara 27 sampai dengan 37 rpm atau 2–3% dari set point.
- ⊙ Tidak terjadi steady state error pada sistem.

Untuk hasil simulasi dari sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel (high speed) dengan menggunakan kontroler logika fuzzy pada uji pembebanan dengan cara dan urutan yang sama seperti pada motor sebelumnya dapat kita lihat pada lampiran B.



Gambar 5.12 Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan motor diesel high speed dengan menggunakan kontroler logika fuzzy pada set point 1100, 1200 dan 1300 rpm secara bertahap.



BAB VI
PENUTUP

BAB VI

PENUTUP

Sebagai penutup pembahasan Tugas Akhir ini akan dipaparkan kesimpulan dari seluruh rangkaian pelaksanaan Tugas Akhir, yang berintikan usaha untuk mewujudkan pengendalian kecepatan putaran motor diesel kapal dengan menggunakan kontroler logika fuzzy. Disamping itu, akan dikemukakan beberapa saran untuk mengarahkan pengembangan lebih lanjut perancangan dengan menggunakan kontroler logika fuzzy ini.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

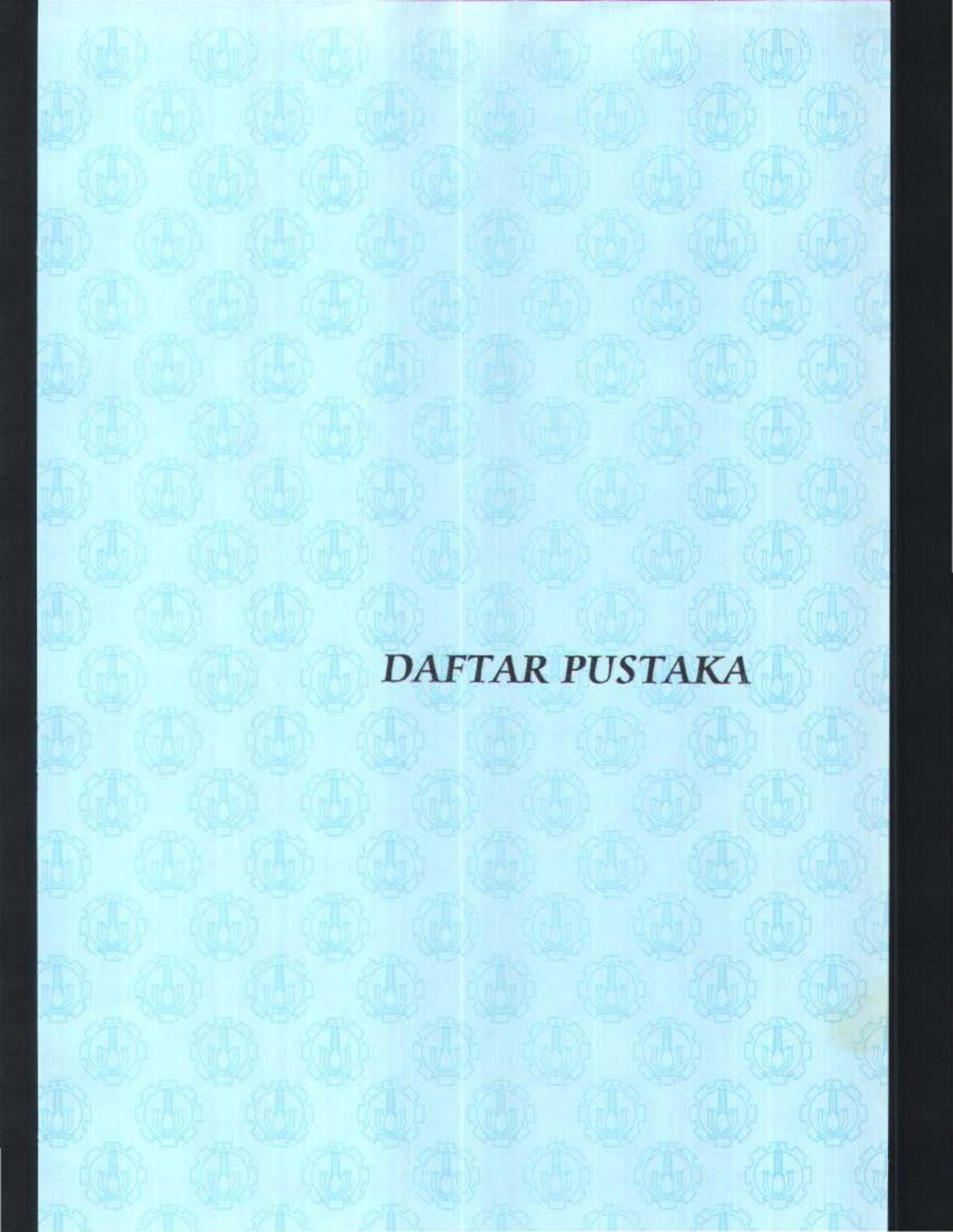
- Kontroler logika fuzzy ini layak diterapkan pada sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel kapal sebagai alternatif lain yang mempunyai kelebihan di satu sisi dibanding governor mekanis yang ada.
- Perbandingan kinerja sistem pengendalian berbasis kontroler logika fuzzy dengan sistem pengendalian konvensional dalam hal ini governor mekanis, menunjukkan sistem pengendalian yang menggunakan kontroler logika fuzzy mempunyai kelebihan dalam konsistensi pencapaian keadaan steady state. Hal ini sangat diharapkan dalam sistem pengendalian putaran motor diesel kapal untuk mengatasi perubahan beban yang diterima propeller akibat adanya gangguan yang ada.

- Ditinjau dari segi perancangan dan penerapannya secara umum, penggunaan kontroler logika fuzzy ini memberi beberapa keuntungan yaitu:
 - Perancangan kontroler logika fuzzy tidak memerlukan model matematis yang kompleks dari plant.
 - Waktu penetapan atau settling time lebih cepat dibanding governor mekanis
 - Fleksibel dalam menentukan parameter-parameter perancangan yang meliputi variabel masukan dan keluaran, pembagian ruang, fungsi keanggotaan, penentuan kaidah atur dan mekanisme inferensi, sehingga memungkinkan terpenuhinya pertimbangan kerekayasaan tentang kondisi obyek atur.
- Penggunaan kontroler logika fuzzy ini bukanlah metode yang mutlak sempurna sehingga ia juga memiliki beberapa kelemahan karena :
 - Pada saat sistem dilakukan pembebanan tiba-tiba dan tetap (step load) terjadi undershoot yang lebih rendah dibandingkan dengan governor mekanis.
 - Pada saat sistem dilakukan pengurangan beban terjadi overshoot yang lebih tinggi dibandingkan dengan governor mekanis.
 - Perancangan memerlukan pengenalan secara mendalam tentang perilaku obyek atur dan perilaku pengaturannya.
 - Tidak mempunyai prosedur yang sistematis dalam penentuan dan penalaan parameter-parameter penguatannya, sehingga memerlukan prosedur coba-coba.

Saran

Kinerja dari pengatur suatu sistem dapat dinilai dari aspek stabilitas, keterkontrolan serta keteramatan sistem. Sebagian besar teknik atau metode untuk menganalisa aspek-aspek tersebut didasarkan pada suatu model matematis dari sistem. Karakteristik dari kontroler logika fuzzy yang berupa basis pengetahuan dengan aturan-aturan linguistik yang berdasarkan penalaran manusia menimbulkan kesulitan untuk dinyatakan dalam model matematis, sehingga pendekatan umum untuk analisa kestabilan terhadap kontroler ini jarang sekali ditemui. Akhirnya penulis sarankan untuk diteliti lebih lanjut beberapa hal berikut ini :

- ♥ pertama, untuk membuat analisa terhadap kontroler logika fuzzy ini yang akan memberikan gambaran tentang pendekatan stabilitas dan aspek-aspek lainnya sebagai langkah pengembangan selanjutnya,
- ♥ kedua perlu dicoba dengan menambahkan aturan-aturan yang ada sehingga sistem pengendalian ini akan dapat memberikan performansi yang lebih baik.



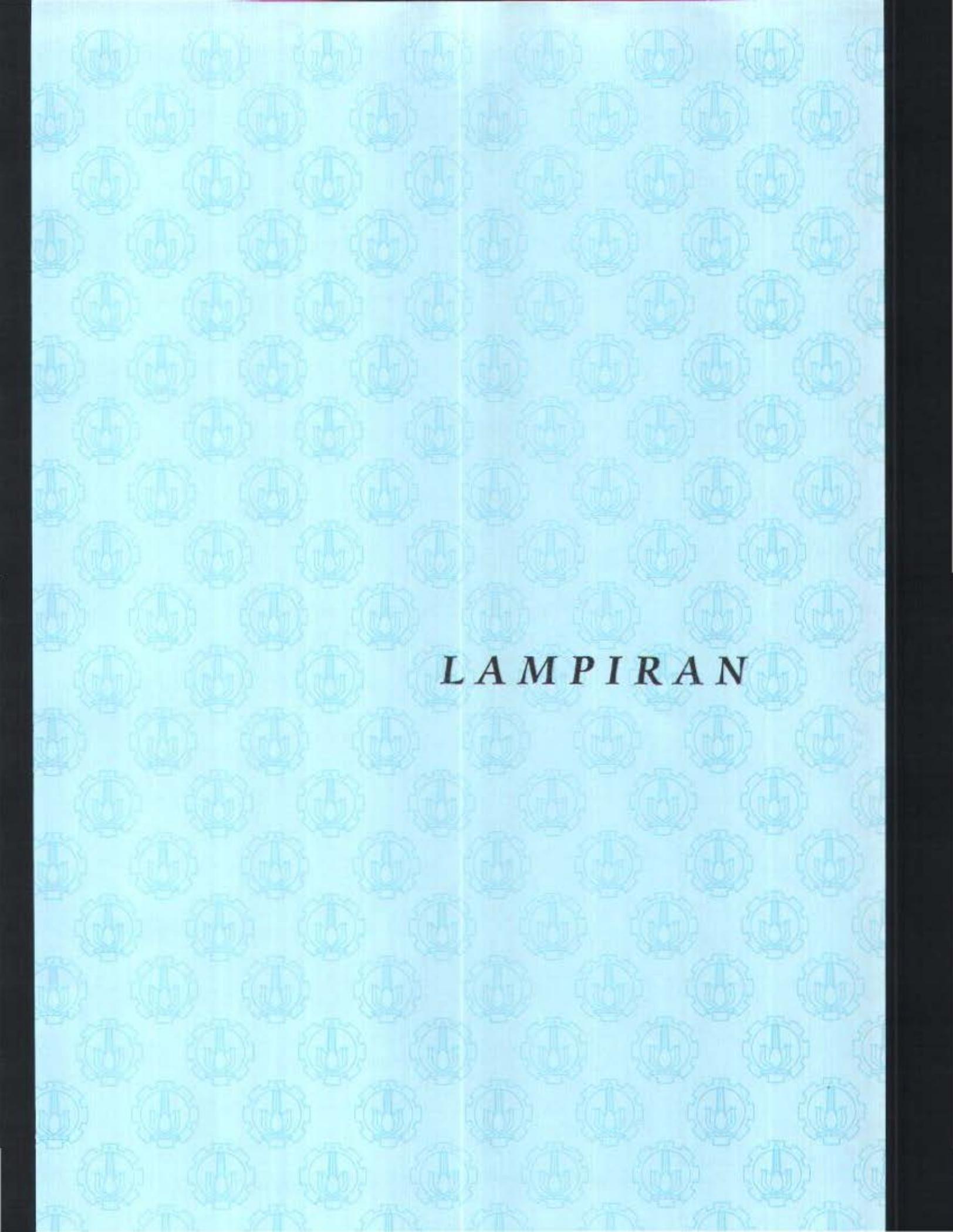
DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Boediarto, J. "Perencanaan Governor Elektronik", Tugas Akhir, ITS, Surabaya, 1992.
- Galley, N. & Jang, J. S. R. "Fuzzy Logic Toolbox for Use With Matlab", The Math Work, Inc., 24 Prime Park Way, Natick Mass, US, 1995.
- Soesanto, D. "Analisa Automatic Control Governor Motor Induk Pada Kapal Sebagai Pengatur Kecepatan Secara Hidrolis", Tugas Akhir, ITS, Surabaya, 1991.
- Hermawan, H. "Modifikasi Sistem Pengendalian Konvensional Kecepatan Motor Induk Kapal Untuk Meningkatkan Time Respon Performance Menggunakan Servo Mekanis Elektro Hidrolik", Tugas Akhir, ITS, Surabaya, 2000.
- Jamshidi, Moh. Nadeer, V. & Ross, T. J. "Fuzzy Logic Control, Software and Application", Vol. 2 Prentice Hall, New Jersey, 1988.
- Kuswadi, S. & NUH, Moh. Saito, O. "CAD Untuk Perancangan dan Implementasi Algoritma Kontrol Logika Fuzzy Berbasis Windows", IPTEK ITS, Surabaya, 1996.
- Laboratorium Teknik Pengaturan, "Materi Program Pelatihan Static Fuzzy Logic Controller", Teknik Elektro, ITS, Surabaya.
- Maleev, & Priambodo, B. "Operasi dan Pemeliharaan Mesin Diesel", Penerbit Erlangga, Jakarta, 1986.

NUH, Moh. "Pengembangan Computer Based Development Tool Untuk Perancangan Kontroler Logika Fuzzy", Laporan Penelitian, ITS, Surabaya, 1997.

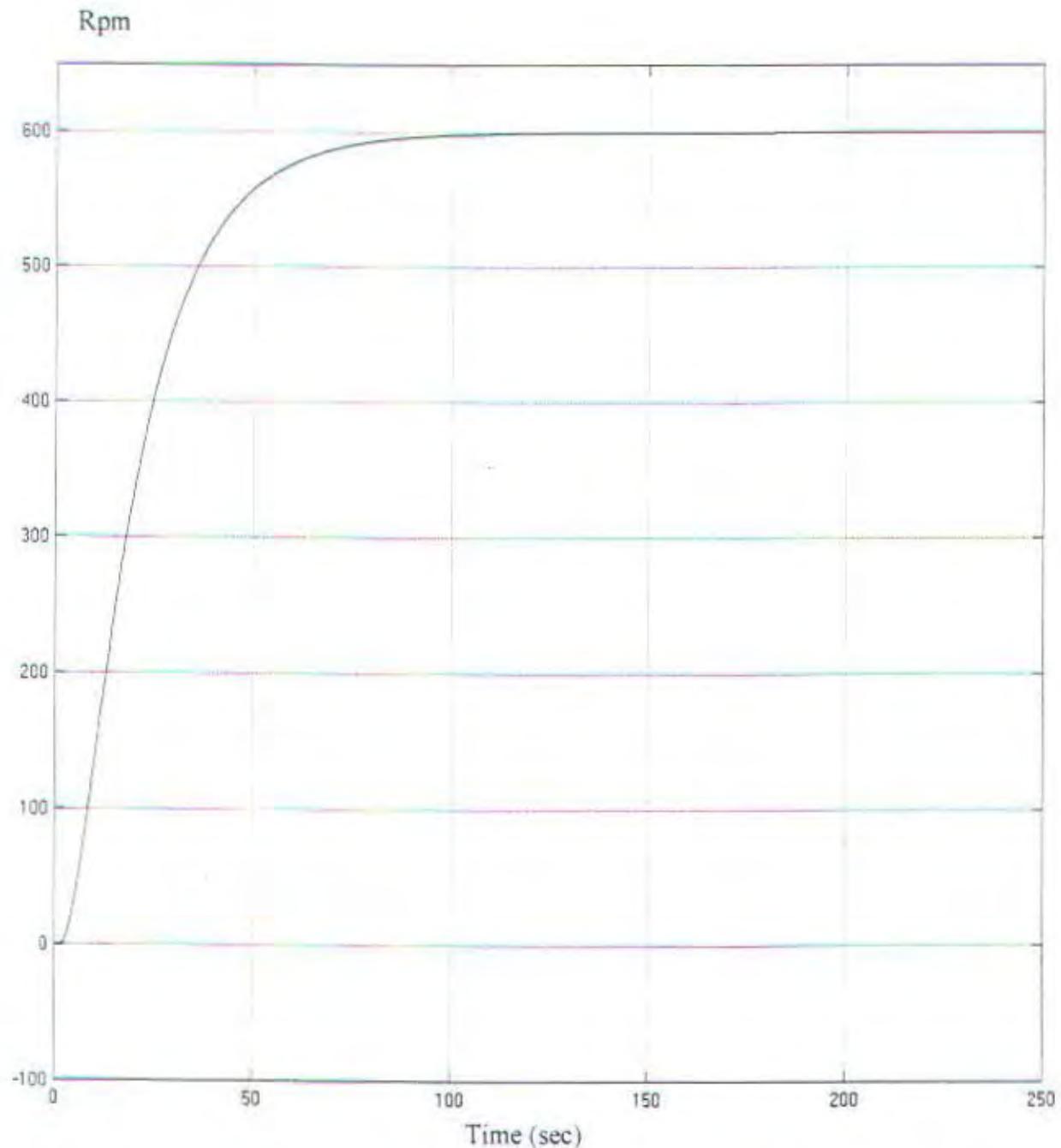
Nguyen, H. T. and Walker, E. A. "A First Course In Fuzzy Logic", Prentice Hall, New Jersey, 19981.



LAMPIRAN

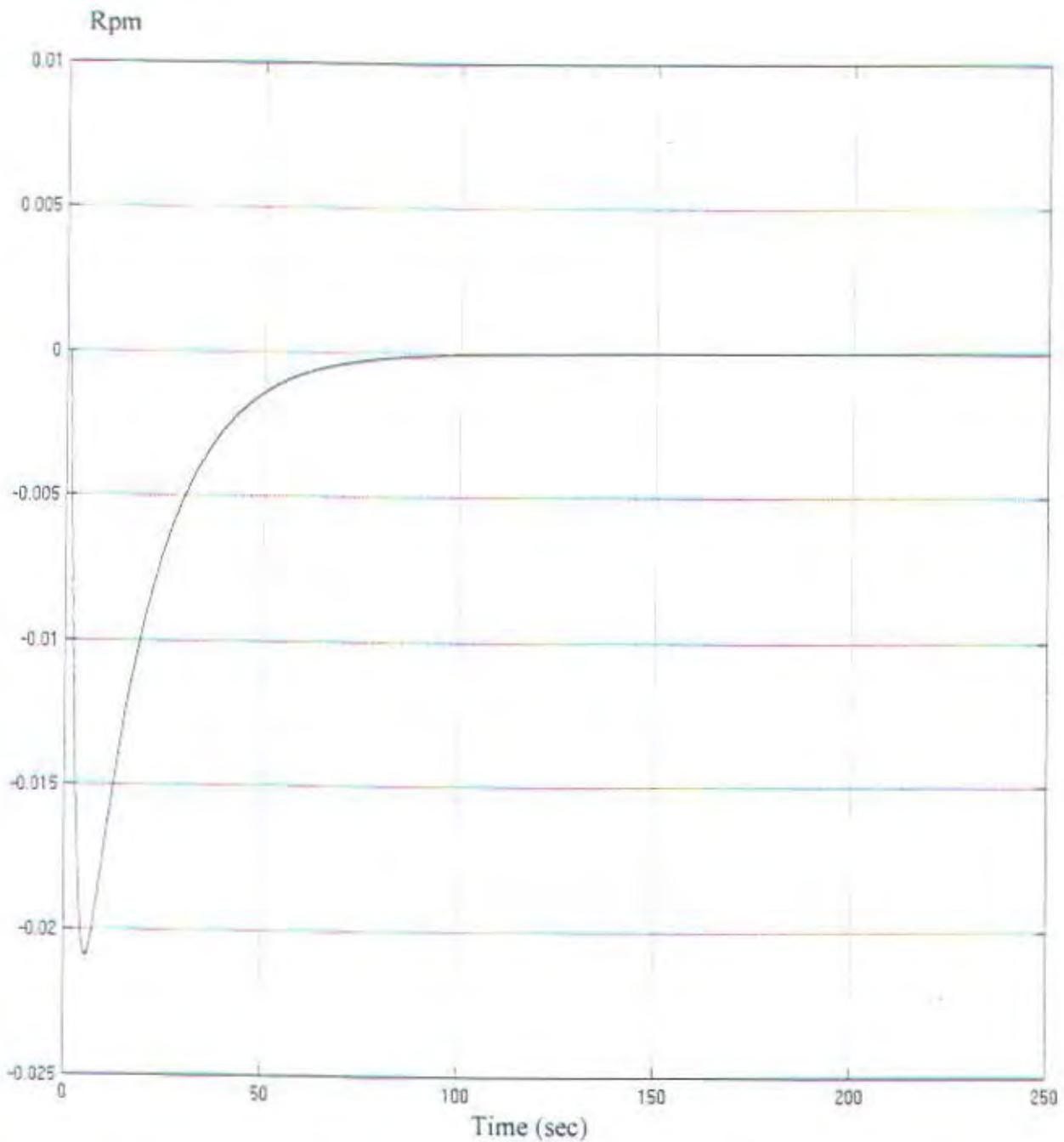
LAMPIRAN A

Lampiran A-1



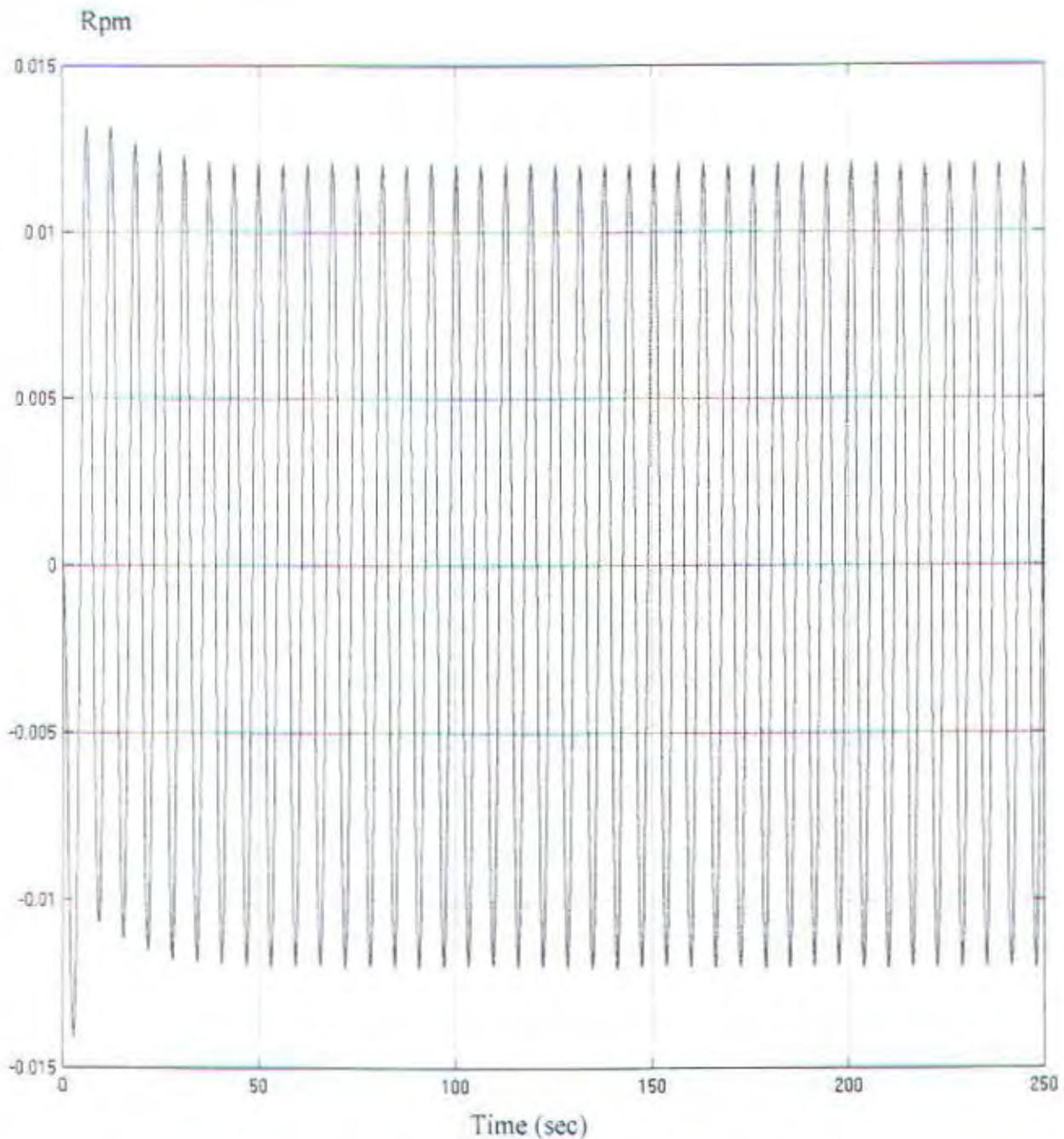
Gambar A1. Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel medium speed dengan menggunakan kontroler logika fuzzy ketika motor dilakukan pembebanan langsung (torsi 100 Nm) dan set point kecepatan ditentukan 600 Rpm.

Lampiran A-2



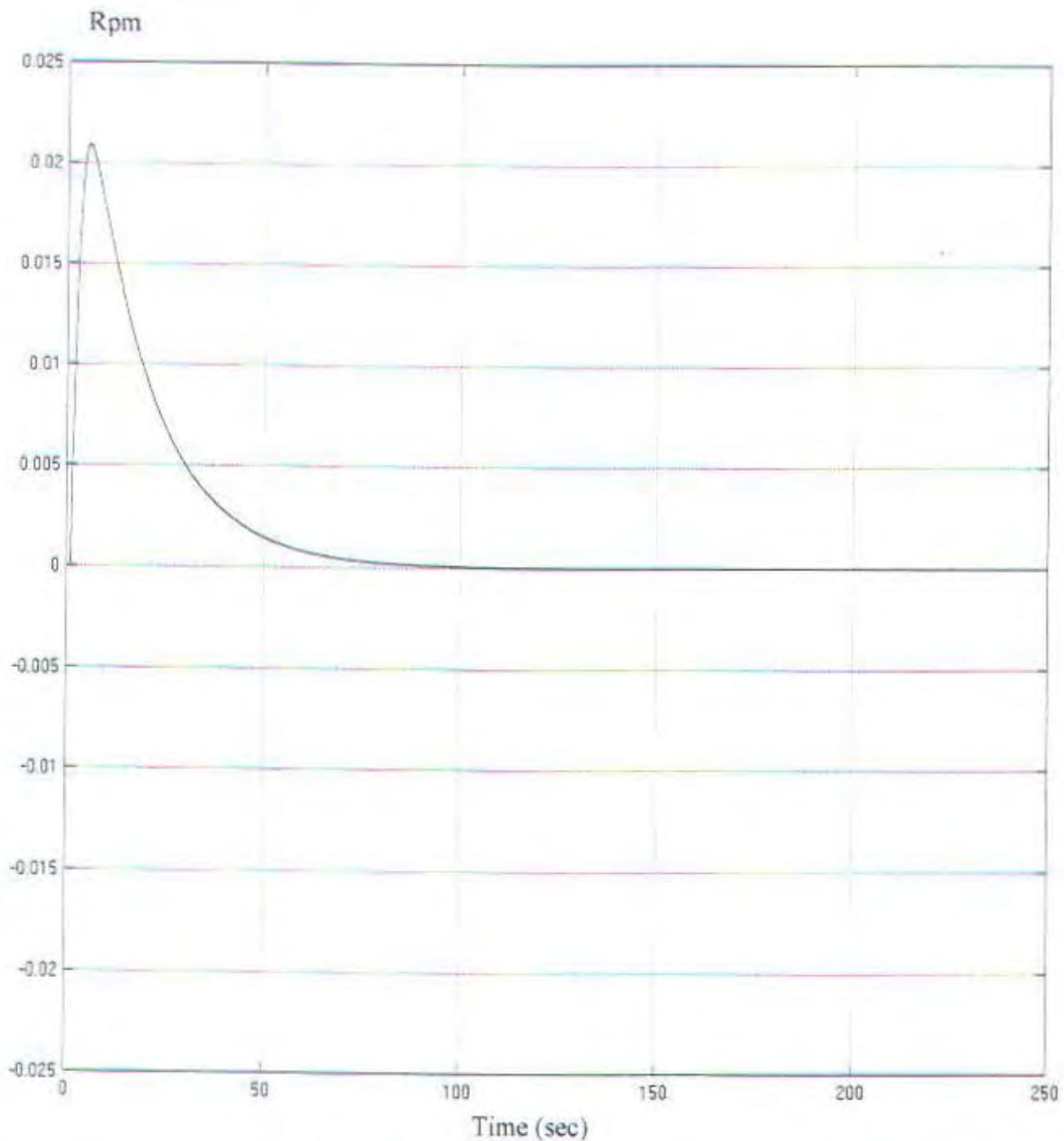
Gambar A2. Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel medium speed dengan menggunakan kontroler logika fuzzy ketika motor dilakukan pembebanan tiba-tiba dan tetap (step load)

Lampiran A-3



Gambar A3. Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel medium speed dengan menggunakan kontroler logika fuzzy ketika motor dilakukan pembebanan sinusoidal

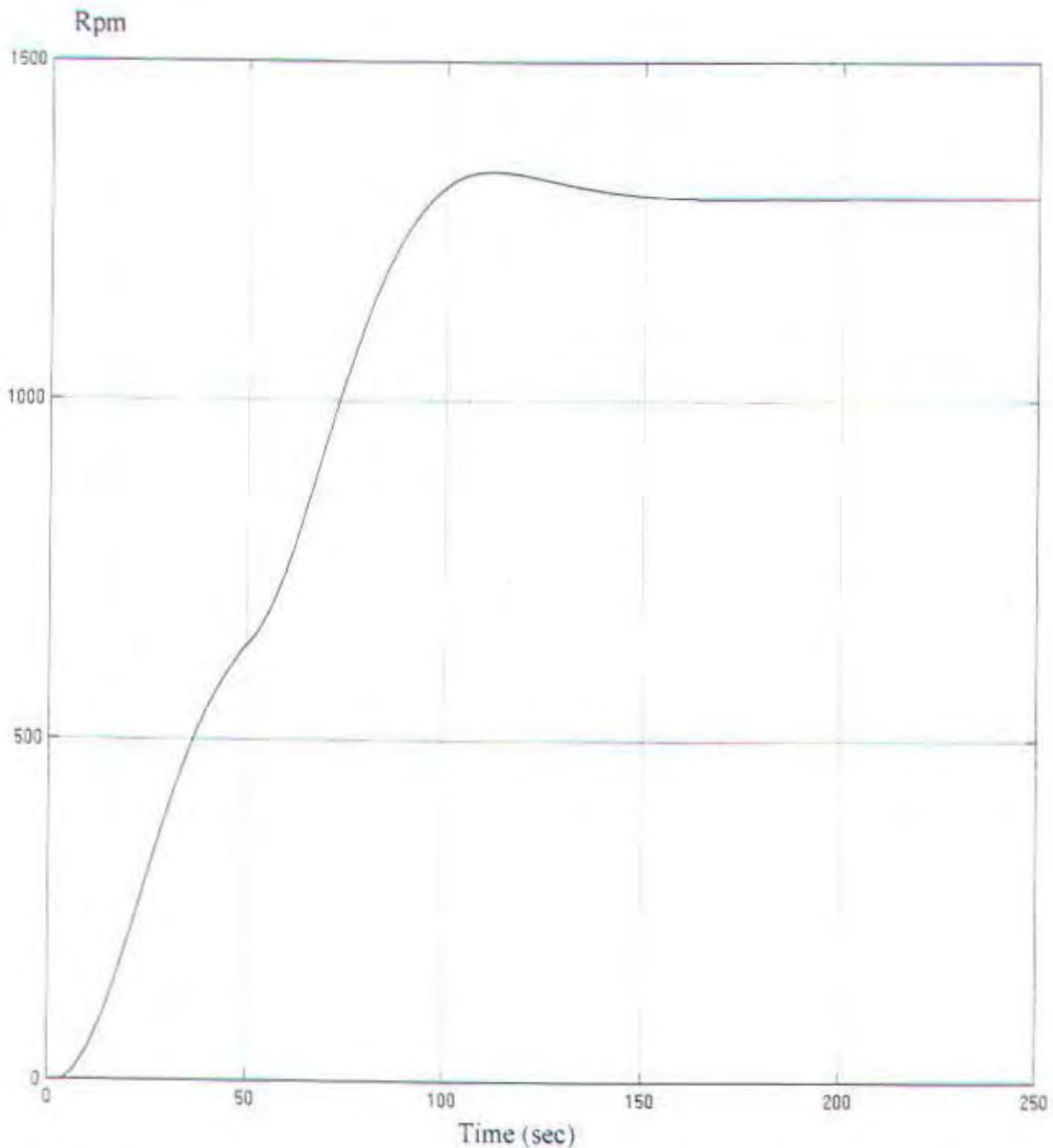
Lampiran A-4



Gambar A4. Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel medium speed dengan menggunakan kontroler logika fuzzy ketika motor dilakukan pengurangan beban tiba-tiba (step down)

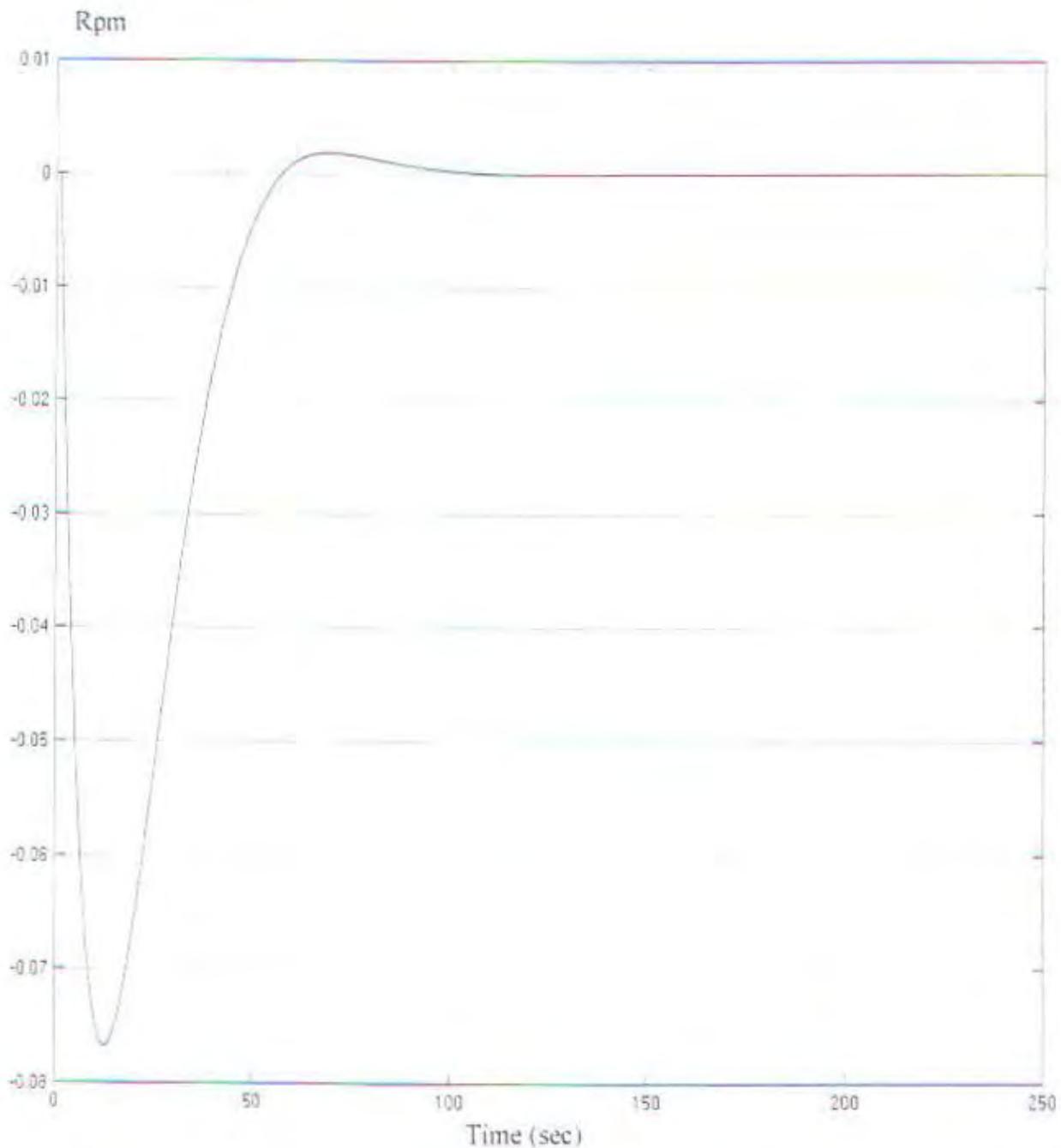
LAMPIRAN B

Lampiran B-1



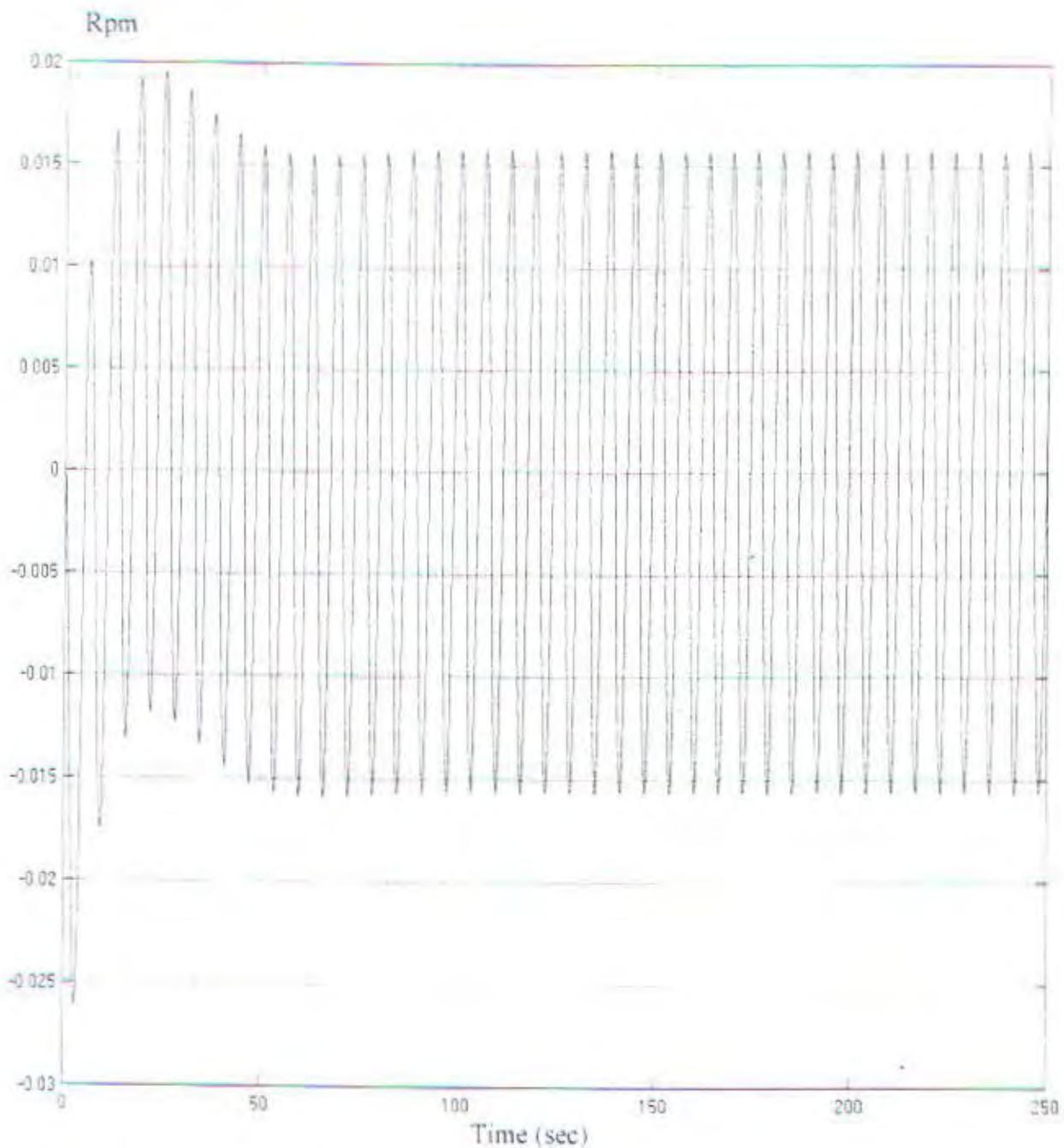
Gambar B1. Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel high speed dengan menggunakan kontroler logika fuzzy ketika motor dilakukan pembebanan langsung (torsi 100 Nm) dan set point kecepatan ditentukan 1300 Rpm secara bertahap.

Lampiran B-2



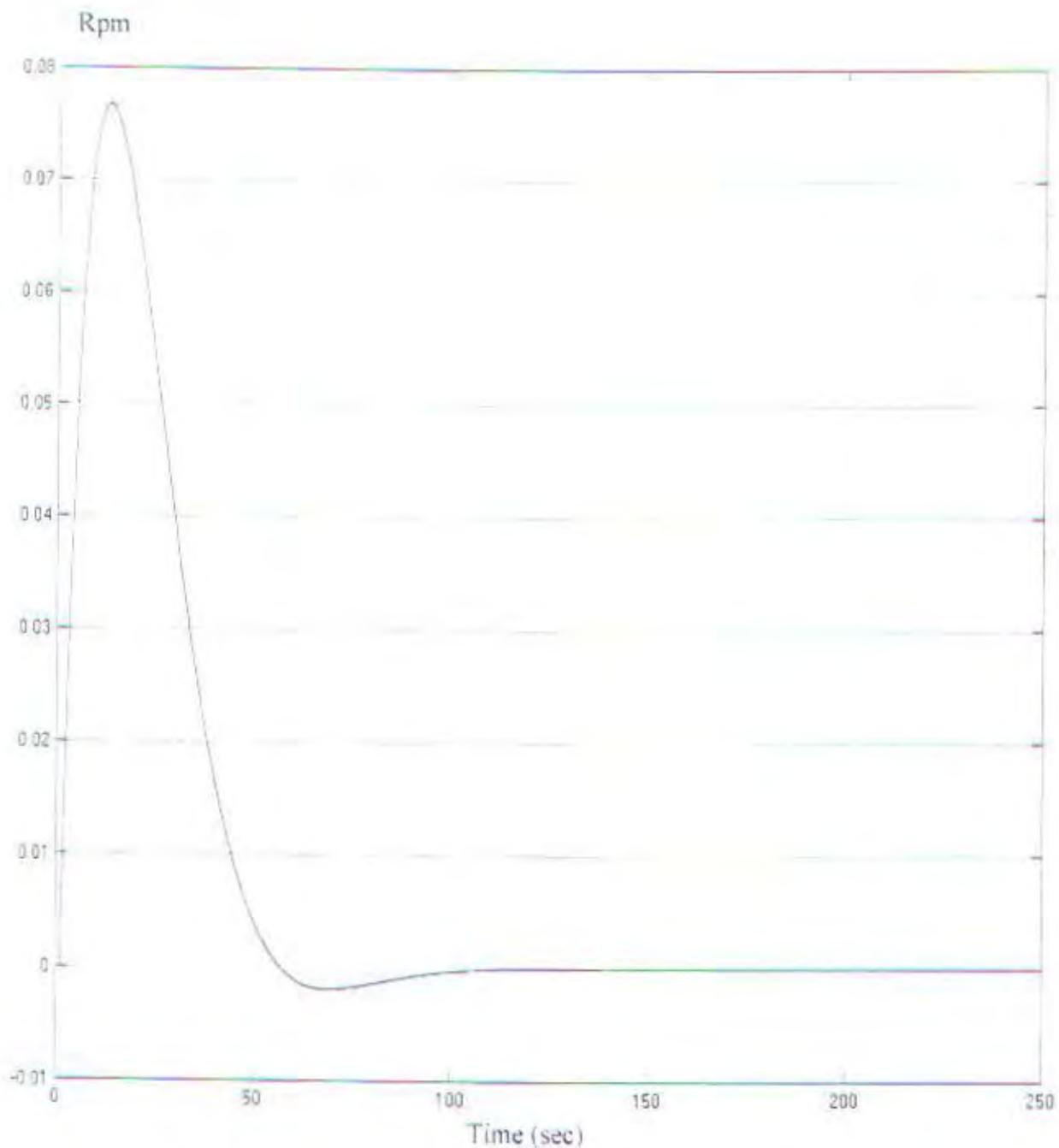
Gambar B2. Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel high speed dengan menggunakan kontroler logika fuzzy ketika motor dilakukan pembebanan tiba-tiba dan tetap (step load).

Lampiran B-3



Gambar B3. Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel high speed dengan menggunakan kontroler logika fuzzy ketika motor dilakukan pembebanan sinusoidal.

Lampiran B-4



Gambar B4. Grafik step respon hasil simulasi untuk sistem pengendalian kecepatan putaran motor diesel high speed dengan menggunakan kontroler logika fuzzy ketika motor dilakukan pengurangan beban secara tiba-tiba (step down)

LAMPIRAN C

DATA-DATA PENUNJANG

1. a. Data Engine

1. Slow Speed Diesel

- ⊗ type : MAN B&W 4L42 MCE
- ⊗ BHP MCR : 3720 BHP
- ⊗ Stroke : 1360 mm
- ⊗ Bore : 420 mm
- ⊗ Rpm MCR : 250 Rpm
- ⊗ SFOC MCR : 121 gram/BHP jam
- ⊗ Gradien kurva perubahan kecepatan pada setiap perubahan aliran bahan bakar dengan torsi dijaga konstan adalah 2,45
- ⊗ Gradien kurva perubahan kecepatan pada setiap perubahan torsi dengan aliran bahan bakar dijaga konstan adalah 0,305
- ⊗ Gradien kurva laju aliran bahan bakar terhadap pergerakan fuel rack adalah 10 kg/BHP jam m
- ⊗ Inersia torsi mesin adalah $983,6 \text{ kg/m}^2$

2. Medium Speed Diesel

- ⊗ type : CAT-3606 MC
- ⊗ Power : 2200 BHP
- ⊗ Stroke : 300 mm
- ⊗ Bore : 280 mm
- ⊗ Rpm MCR : 750 Rpm

- ⊗ Gradien kurva perubahan kecepatan pada setiap perubahan aliran bahan bakar dengan torsi dijaga konstan adalah 2
- ⊗ Gradien kurva perubahan kecepatan pada setiap perubahan torsi dengan aliran bahan bakar dijaga konstan adalah 0.015
- ⊗ Gradien kurva laju aliran bahan bakar terhadap pergerakan fuel rack adalah 15 kg/BHP jam m
- ⊗ Inersia torsi mesin adalah 983,6 kg/m²

3. High Speed Diesel

- ⊗ type : 3208 DITA SCAC
- ⊗ Power : 315 BHP
- ⊗ Stroke : 127 mm
- ⊗ Bore : 114 mm
- ⊗ Rpm MCR : 2600 Rpm
- ⊗ Gradien kurva perubahan kecepatan pada setiap perubahan aliran bahan bakar dengan torsi dijaga konstan adalah 1.5
- ⊗ Gradien kurva perubahan kecepatan pada setiap perubahan torsi dengan aliran bahan bakar dijaga konstan adalah 0.075
- ⊗ Gradien kurva laju aliran bahan bakar terhadap pergerakan fuel rack adalah 21 kg/BHP jam m
- ⊗ Inersia torsi mesin adalah 983,6 kg/m²

b. Data Teknis Governor

- ⊗ Luas torak pada dashpot adalah 0,0746 m²
- ⊗ Massa jenis minyak yang digunakan adalah 899 kg/m³

- ⊗ Tahanan penghalang pada dashpot adalah 2/m.det
- ⊗ Konstanta pegas pada dashpot adalah 100 N/m²
- ⊗ Konstanta pegas pada flyweight adalah 80 N/m²

(Data diambil dari WOODWARD GOVERNOR COMPANY type UG-8 Dial)

2. Data Solenoid (spesifikasi dari WOODWARD Governor Company)

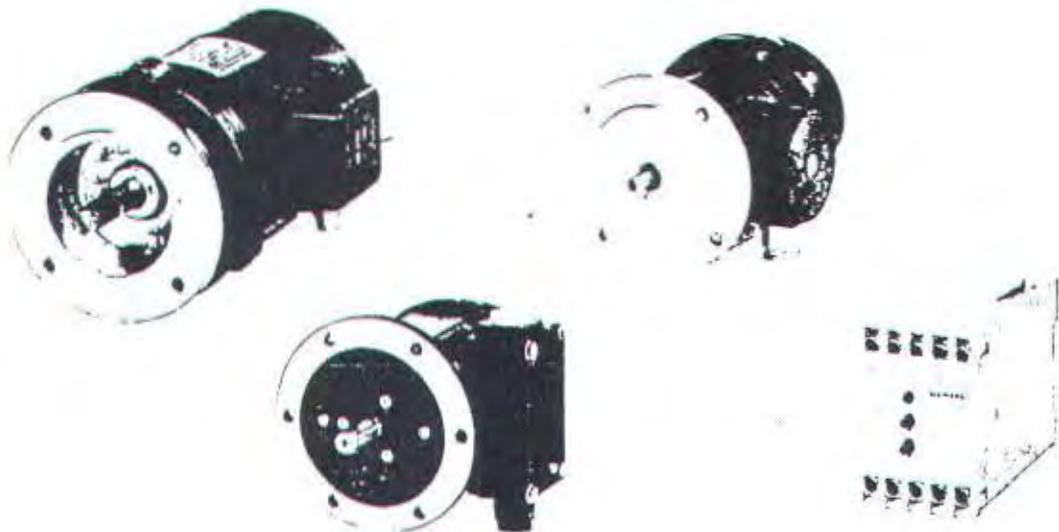
- ⊗ Banyaknya lilitan : 1440 lilitan
- ⊗ Tahanan total lilitan : 24.6 ohm
- ⊗ Diameter luar kumparan : 3.15 cm
- ⊗ Tinggi kumparan : 1.11 cm

3. Data Transducer

- ⊗ Type : 1 GU 051 Mini Tacho
- ⊗ Gain Voltage : 30 volt per 1000 rpm
- ⊗ Liniarity error : 1%
- ⊗ Rpm maksimum : 7500 rpm
- ⊗ Diameter poros : 7 cm

LAMPIRAN D

5 Tachometers Brush monitoring equipment*



General information regarding tachometers	5/2
Technical data of Siemens tachometers 1GU1 051 Minitacho	5/2
POG 9 D 500 pulse generators	5/3
1FU 4845 tachometers	5/3
Technical data of tachometers from other manufacturers	5/5
3SR7 500 brush monitoring equipment	5/6

Tachometers

General information - Technical data

General information regarding tachometers

AC tachometers

AC tachometers generate a three-phase AC voltage proportional to their speed which is rectified into a DC voltage for tachometers with an integrated or externally mounted three-phase bridge circuit rectifier. The polarity of this DC voltage is not dependent on the direction of rotation. AC tachometers are preferably only used for drives with one direction of rotation; they offer the advantage that they are almost completely maintenance-free. The rectifier has a linearity error of approx. 1.5 % due to the diode threshold, which however, remains insignificant at the speeds involved.

DC tachometers

DC tachometers generate a DC voltage which is proportional to their speed, the polarity of which changes with the drive direction of rotation; they are permanent-magnet DC generators and are preferably used for multi-quadrant drives.

Pulse generators

Pulse generators generate a pulse frequency proportional to their speed. They are preferably used for digital speed displays, and in conjunction with a frequency/voltage converter, for highly accurate analog speed closed-loop controls.

Tachometer terminology

The **rated voltage tolerance** defines the deviation of the voltage actual value from the voltage rated value at rated speed. This is due to the tolerances in the permanent magnet materials.

The **recommended load current** at the drive rated speed must not be exceeded in order to maintain the specified linearity error over the total speed range. At rated drive speed below approx. 1000 RPM, the recommended tachometer load current must remain approx. proportional to the speed, and above approx. 3000 RPM, must be reduced inversely proportional to the speed.

The deviation between the actual tachometer voltage from the linear speed-proportional no-load characteristic is known as the **linearity error**. This is defined for the maximum voltage at the upper speed limit. Linearity errors can especially occur with tachometers whose ohmic resistance is too low as well as AC tachometers with rectifiers due to the threshold voltage transition in the lower speed range.

The **thermal limit current** is only decisive for the thermal utilization of tachometers, if this is exceeded the winding could be damaged.

The **temperature response** of the permanent-magnet material used is dependent on the material and is approx. $\pm 3\%$ per 10 K. This value can be reversed in the normal temperature range. Today, DC tachometers are generally designed with temperature compensation. The temperature response is significantly improved using temperature compensation which uses soft magnetic materials with reciprocal temperature coefficients in parallel to the permanent magnets.

Voltage ripple is the AC voltage component referred to the DC voltage. It is approx. 5 % for AC tachometers with three-phase bridge circuit rectifiers.

With the relatively low pole number, AC tachometers are not so suitable for operation at low speed due to the low frequency of the superimposed voltage harmonics.

DC tachometers generate a DC voltage, whose ripple is, depending on the quality, between 3 % to 8 %.

Technical data of Siemens tachometers

1GU1 051 Minitacho

The 1GU1 051 Minitacho is an AC tachometer with inner pole excitation using permanent magnets in an enclosed design. It can be used either as DC or AC tachometer. Silicon diodes in a three-phase bridge circuit are used as rectifier. 5 terminals are available for connecting the DC or AC output voltage. The Minitacho is suitable for single-quadrant operation down to approx. 50 RPM.

The eight-pole rotor consists of permanent magnets with salient poles. It is air-stabilized; a magnetic closed circuit is therefore not necessary when the rotor is stored outside the housing.

The stator winding uses class B materials, and is cast in resin in the stator housing.

The DC voltage is 30 V per 1000 RPM with a 12 k Ω load, and the phase-to-phase AC voltage, 22.5 V per 1000 RPM.

Recommended load current 2.5 mA at 30 V and 1000 RPM, thermal limit current 30 mA.

Linearity error 1 %

Voltage ripple 4 %

Temperature response 0.6 % per 10 K

Maximum permissible speed 7500 RPM

Rated voltage tolerance +10 % (manufacturing tolerance)

The polarity of the rectified tachometer voltage is independent of the direction of rotation of the Minitacho.

The Minitacho housing is equipped with an intermediate flange, which replaces the external bearing cap of the DC motor. The rotor shaft is located in a centered hole in the DC motor shaft.



Fig. 5/1
1GU1 051 Minitacho, IP55 (mounted)

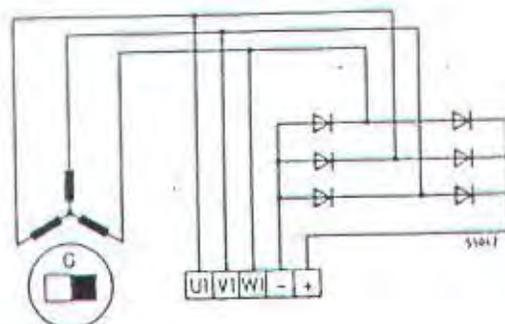


Fig. 5/2
Circuit diagram of the 1GU1 051 Minitacho

Tachometers

Technical data

The lower section of the voltage characteristic has a knee due to the rectifier characteristic. In order to shift this as far as possible into the lowest speed range, the rectifier should not be designed to handle more than the maximum occurring voltage in operation. As guide value, it can be specified that the non-linearity of the DC voltage occurs from zero to a speed, at which the loaded machine outputs an AC voltage approx. 6% of the rated supply voltage of the rectifier.

If a speed display is required, a calibrated moving-coil instrument with integrated rectifier and potentiometer should be used for the required speed range, which is connected to 2 phases of the three-phase tachometer AC voltage.

The low current drain of the instrument only results in an insignificant asymmetrical load, which can be easily handled by the tachometer. With this arrangement, speeds can be directly measured down to approx. 300 RPM at 30 V rated voltage or approx. 100 RPM at 155 V rated voltage. Voltage tolerances up to $\pm 10\%$ can be equalized with the potentiometer integrated in the display instrument.

Insulation

The winding insulation conforms to insulating material class B according to DIN VDE 0530 and fulfils the requirements for tropics-proof insulation.

The tachometer is tropics-proof. The plug-in terminal connections are insensitive to the effects of tropical climates. The iron components in the air gap are treated using a special rust-preventing agent.

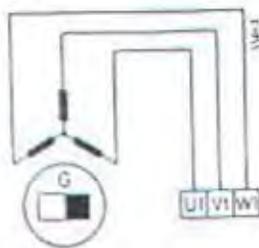


Fig. 5/5 Circuit diagram

Terminal box

The terminal box is located on the right side of the tachometer when viewing the drive side. The terminal box can be subsequently shifted from the right to the left by turning the stator housing through 180°.

Plug-in terminal connections are provided in the terminal box, to which the ends of the three phase winding, U1, V1 and W1, are connected, the neutral point is not accessible.

Connections can be made from each side by turning the terminal cover through 90° or 180°.

For use in hazardous locations

Tachometers, with degree of protection EEx e II "increased safety" can be used in hazardous locations where inflammable substances of all explosion groups are present, as long as these substances belong to temperature classes T1 to T4 according to VDE.

The specifications laid down in DIN VDE 0165 should be observed when installing the tachometer.

Tachometers, degree of protection EEx e II have a larger terminal box with Pg 13 x 7.5 glands according to DIN 46 255. A screw on the tachometer is used to connect the protective conductor.

Bearings

The tachometers have deep-groove roller bearings, with the designation 608 (old designation EL 8) with permanent lubrication on both the drive and non-drive ends.

Mounting and coupling

The tachometers are normally mounted directly onto the variable-speed drive.

If this is not possible, a flexible spring-loaded coupling with 8 mm drilling should be used.

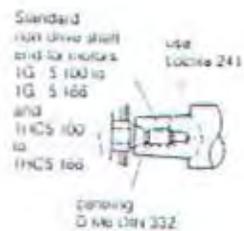
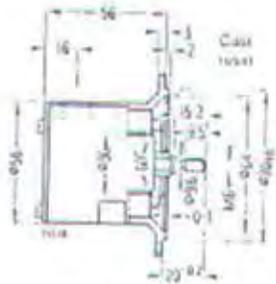
1FU 4845 tachometer, degree of protection IP 44

Rated output	Rated voltage	Rated current	Frequency	Load resistor	Type of construction (also refer to list below)	Tachometer			Net weight	Moment of inertia
Values at 1000 RPM						with one standard shaft end	with two standard shaft ends	with degree of protection EEx e II T4 with standard shaft end		
VA	V	A	Hz	Ω/phase		Order No.	Order No.	Order No.	approx. kg	kg m ²
6	30	0.115	66 2/3	150	IM B 3 IM B 14 with flange IM B 14 without flange IM B 34	1FU 4845 - 8AA00 - 8AA02 - 8AA09 ¹⁾ - 8AA07	1FU 4845 - 8AC00 - 8AC02 - 8AC09 ¹⁾ - 8AC07	1FU 4845 - 8AJ00 1FU 4845 - 8AJ02 - 1FU 4845 - 8AJ07	3	0.0004
6	85	0.040	66 2/3	1200	IM B 3 IM B 14 with flange IM B 14 without flange IM B 34	1FU 4845 - 8AA10 - 8AA12 - 8AA19 ¹⁾ - 8AA17	1FU 4845 - 8AC10 - 8AC12 - 8AC19 ¹⁾ - 8AC17	-	3	0.0004
6	105	0.033	66 2/3	1800	IM B 3 IM B 14 with flange IM B 14 without flange IM B 34	1FU 4845 - 8AA20 - 8AA22 - 8AA29 ¹⁾ - 8AA27	1FU 4845 - 8AC20 - 8AC22 - 8AC29 ¹⁾ - 8AC27	-	3	0.0004
6	155	0.023	66 2/3	3000	IM B 3 IM B 14 with flange IM B 14 without flange IM B 34	1FU 4845 - 8AA30 - 8AA32 - 8AA39 ¹⁾ - 8AA37	1FU 4845 - 8AC30 - 8AC32 - 8AC39 ¹⁾ - 8AC37	-	3	0.0004

Technical data

Dimensions of the 1GU1 051 Minitacho

for mounting on motors
IG 5 100 to IG 5 166
and 1H 5 100
and 1H 5 166



for mounting on motors
IG 5 182 to IG 5 406
and 1H 5 182
to 1H 5 406

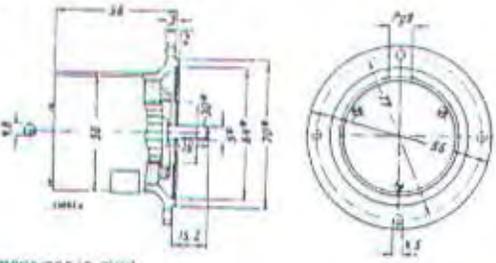


Fig. 5/3
Dimension drawings (dimensions in mm)

1FU 4845 tachometers



Fig. 5/4
1FU 4845 tachometer, type of construction
IM B 14 with flange and standard terminal box

The 1FU 4845 tachometer is an AC synchronous generator with the AC winding connected in a star configuration accommodated in the stator. The 8-pole rotor consists of artificially-aged permanent magnets.

The tachometer rated voltage referred to a 150 Ω/phase load at 1000 RPM has a tolerance of ± 3 % (manufacturing tolerance).

Linearity error 1 %

Temperature response 0.2 % per 10 K.

The maximum tachometer speed is a function of the rated voltage.

Voltage at 1000 RPM	Maximum continuous speed
V	RPM
30	10000
85	5000
105	4000
155	3000

The rotor is not air-stabilized, which means that the rotor must only be withdrawn when absolutely necessary due to the potential danger of demagnetization. A magnetic return path is necessary when the rotor is stored alone (refer to the Operating Instructions).

Overload, e.g. as a result of a short-circuit in the tachometer outer circuit should be prevented. Especially at high speed, high currents flow, which can cause a weakening of the permanent magnets due to armature reaction. This weakening results in a reduction of the voltage characteristic and falsification of the tachometer calibration curve.

If the measured value is required as DC voltage, the AC terminal voltage must be rectified using a three-phase bridge circuit rectifier.

1GU1 051 Minitachometers		
Tachometer	Order No.	Net weight approx. kg
Minitacho	1GU1 051-8AV98 ¹⁾	0.35

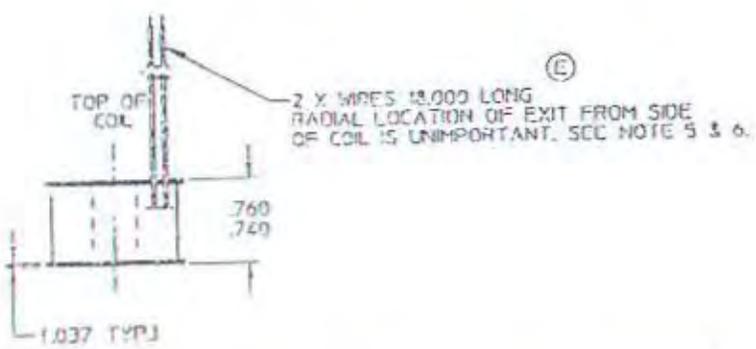
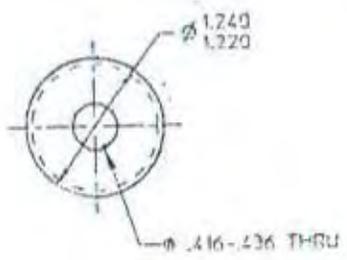
¹⁾In addition to the Order No., please specify the motor onto which the tachometer has to be fitted.

POG 9 D 500 pulse generators

POG 9 D 500 pulse generators are used as tachometers for digital or analog speed sensing in conjunction with a frequency/voltage converter.

Technical data	
Supply voltage	+ 11 V to 26 V
No-load current drain	approx. 65 mA
Pulses per revolution	2 x 500
Output	short-circuit proof, square-wave pulses
Pulse displacement between both outputs	90° ± 20 %
Output amplitude	V _{high} = supply voltage - 3 V V _{low} = max. 1.5 V
Permissible load current per output	max. 60 mA
Duty factor	1:1 ± 20 %
Switching frequency	max. 120 kHz
Max. speed	12000 RPM
Temperature range	-20 °C to +70 °C
Degree of protection	IP 55

WOODWARD GOWE COMPANY			
REV.	DESCRIPTION	DATE	BY
1	REVISED	1-6-58	...



NOTES.

1. COIL WINDING TO BE 1410 TURNS USING #20 A.W.G. NEMA MW35C HEAVY FILM INSULATED MAGNET WIRE.
 2. VACUUM IMPREGATE COIL WITH 100% SOLIDS 180°C DIALED POLYESTER VARNISH.
 3. COIL RESISTANCE AT 20°C (68°F) TO BE 24.6 OHMS +/- 1% OHMS.
 4. HYPOI TEST FROM LEADS TO GROUND 1000 VAC FOR 60 SECONDS. LEAKAGE NOT TO EXCEED 1.0 MA.
 5. LEADS TO BE #24 STRANDED TEFLON WIRE. LEAD INSULATION YELLOW AND GREEN WIRES U.S.A. TYPE 100V 200°F.
 6. POLARITY OF THE COIL MUST BE SUCH THAT 1.5 AVDC IS APPLIED (YELLOW +, GREEN -) THE FIELD TOP OF THE COIL, GENERATED BY A STANDARD MAGNETOMETER, OR IT SELECTED BY SOUTH A COMPASS.
- BOBBIN MATERIAL IS FRS30 RYAN
 MAY BE PURCHASED FROM INDUSTRIAL COILS, 52 BARABOO, WISCONSIN

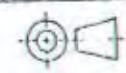
SIMILAR TO FX43215-6

THIS DRAWING OR ANY REPRODUCTION OF IT SHALL NOT BE USED FOR MANUFACTURE, PRODUCTION OR PROCUREMENT WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN PERMISSION OF THE WOODWARD GOWE COMPANY. ITS SUBSTANTIAL USE OR REPRODUCTION WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN PERMISSION OF THE WOODWARD GOWE COMPANY IS PROHIBITED.

MATERIALS:
SEE DETAILS

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS ARE IN INCHES. DRAWING DEFINITIONS AND TOLERANCES SHALL BE FOUND IN SS-112.

THIRD ANGLE PROJECTION



APPROVED	DATE
KJR	88-5
CHECKED	DATE
JJK	88-5
DRAWN	DATE
GMB	87-7

WOODWARD GOWE COMPANY		
ENGINE CONTROL		
FORT COLLINS, COLORADO		
TITLE		
TORQUE		
REV.	ENG. ORDER	DRWG. NO.
1	31361	1697-33
SCALE	NTS	



SURAT KEPUTUSAN Pengerjaan Tugas Akhir KS 1701

Sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS, maka perlu diterbitkan Surat Keputusan Pengerjaan Tugas Akhir yang memberikan tugas kepada mahasiswa tersebut di bawah ini untuk mengerjakan Tugas sesuai judul dan lingkup bahasan yang telah ditentukan.

Nama : WIDIGDO DWILAKSONO
NRP : 4295 100 029
Dosen Pembimbing : 1). Ir. AGUK ZUHDI MF, M.Eng.
2). Ir. SARDONO SARWITO, M.Sc.
Tanggal Tugas Diberikan : 6 September 2000
Tanggal Tugas Diselesaikan : 27 Juli 2001
Judul Tugas Akhir : **STUDI PERANCANGAN SISTEM
PENGENDALIAN KECEPATAN PUTARAN
MOTOR DIESEL KAPAL DENGAN
MENGUNAKAN KONTROLER LOGIKA FUZZY**

Surabaya, 6 September 2000

Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan ITS

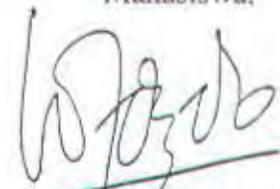


DR. Ir. A. A. Masroeri, M. Eng.
NIP. 131 407 591

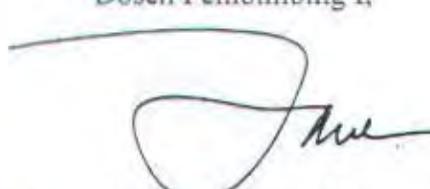
Mahasiswa,

Dosen Pembimbing I,

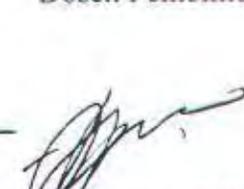
Dosen Pembimbing II,



WIDIGDO DWILAKSONO
NRP. 4296 100 029



Ir. AGUK ZUHDI MF, M.Eng.
NIP.131 646 637



Ir. SARDONO SARWITO, M.Sc.
NIP. 131 651 255

LEMBAR KEMAJUAN Pengerjaan Tugas Akhir (TN 1701)

Nama :Widigdo Dwilaksono.....
 NRP :4296100029.....
 Judul Tugas Akhir :Studi Perancangan Sistem Pengendalian Governor Motor.....
Diesel dengan Menggunakan Kontroler Logika Fuzzy.....

 Dosen Pembimbing : 1)Ir. Agung Zuhdi MF, MSE.....
 2)Ir. Sardono Sarwita, MSc.....

No.	Tanggal	Kegiatan	Paraf Dosen
1.	14/9 2000	Konsultasi awal	Ju
2.	13/10 2000	Perencanaan sistem	Ju
3.	31/10 2000	Strategi penempatan busbar	Ju
4.	22/11 2000	Konsultasi persiapan P-2.	Ju
5.	24/11 2000	Konsultasi/evaluasi hasil P-2	Ju
6.	29/5 2001	Progress report.	Ju
7.	21/5 2001	supaya di temukan pemodelan matematis dari fuzzy, terjemahkan ke hasil grafik.	Ju
8.	3/6 2001	Pemodelan detail, tambahan tampilan grafik kontroler serta dibuat dg kontrol elektronis lain.	Ju
9.	20/7 2001	Analisa grafik step respon	Ju
10.	25/7 2001	evaluasi akhir. Perbaiki rancangan, tlg di uji operasional governor ^{melalui}	Ju
11.	25/7 2001	Analisa & simulasi BAB V	Ju
12.	26/7 2001	Asistensi seluruh BAB, uji ulang uji tanpa beban.	Ju
13.	27/7 2001	Seminar kecil	Ju

Catatan:

1. Mahasiswa siap / tidak siap / dibatalkan *) untuk diujikan.
2. Catatan lain yang dianggap perlu :

27 Juli 2001
 Surabaya,
 Dosen Pembimbing,


 Ir. AGUNG ZUHDI MF, M.Eng
 NIP. 131 696 637

*) coret yang tidak perlu