

Makalah Seminar Tugas Akhir

APLIKASI FUZZY LOGIC CONTROL PADA SISTEM SUSPENSI SEMI-AKTIF MODEL KENDARAAN SEPEREMPAT

Anggoro Aristianto¹, Sumardi, S.T, M.T², Darjat, S.T, M.T²
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Abstrak - Sistem suspensi yang baik harus dapat meningkatkan kenyamanan penumpang. Dalam usaha meningkatkan kenyamanan penumpang, sistem suspensi harus dapat meminimalkan percepatan vertikal badan kendaraan sehubungan dengan permukaan jalan yang tak menentu. Gaya peredaman pada sistem suspensi tergantung pada konstanta peredaman peredam kejut yang digunakan. Semakin keras sistem suspensi (konstanta peredaman besar), memiliki tingkat keamanan tinggi karena menjaga roda tetap kontak dengan permukaan jalan, tetapi memiliki tingkat kenyamanan buruk, karena pengemudi akan merasakan banyak getaran mengganggu akibat permukaan jalan. Sebaliknya, suspensi lembut (konstanta peredaman kecil), tingkat keamanan berkendara buruk, karena berkurangnya kontak antara roda dengan permukaan jalan, yang mengakibatkan berkurangnya pengendalian kendaraan oleh pengemudi, tetapi memiliki tingkat kenyamanan baik.

Pada tugas akhir ini dilakukan perancangan sistem suspensi semi-aktif dengan menggunakan sistem kontrol fuzzy yang didasarkan pada model kendaraan seperempat, digunakan pengendali logika fuzzy untuk mengatur gaya peredaman pada peredam kejut, untuk menghasilkan gaya peredaman yang mampu mengkompromikan tingkat keamanan dan kenyamanan terbaik untuk setiap kondisi jalan yang dilalui kendaraan. Hasil perancangan diuji dengan beberapa model gangguan yang menggambarkan kondisi permukaan jalan gundukan (road bump), jalan bergelombang dan jalan tidak rata.

Hasil perancangan, pengujian dan analisis menunjukkan bahwa sistem suspensi semi-aktif dengan pengontrol fuzzy yang telah dirancang dapat memberikan sinyal kontrol untuk nilai defleksi suspensi badan kendaraan yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem suspensi semi-aktif tanpa pengontrol, yang berarti bahwa sistem suspensi semi-aktif dengan pengontrol fuzzy yang telah dirancang memberikan tingkat kenyamanan dan keamanan yang lebih baik. Dengan lintasan tanpa gangguan sinyal error yang digunakan sebagai sinyal kontrol output pada suspensi semi-aktif, sedikit berpengaruh karena lintasan jalan tanpa gangguan. Pada unjuk kerja sistem road bump nilai defleksi suspensi badan kendaraan pada suspensi semi-aktif tanpa pengontrol berfluktuasi, sedangkan pada suspensi semi-aktif dengan pengontrol fuzzy nilai sinyal kontrol defleksi suspensi turun menjadi 4 cm.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kenyamanan dalam berkendara sudah menjadi tuntutan bagi para pengendaranya. Sistem suspensi pada kendaraan memegang peranan yang sangat penting dalam memperoleh kenyamanan. Mengacu pada pengaturan sistem suspensi, konstanta peredaman sistem suspensi menentukan

kenyamanan pengemudi dan keamanan berkendara. Pada sistem ini, dengan mengaplikasikan pengendali logika fuzzy diharapkan sistem dapat menghasilkan peredaman yang mampu mengkompromikan tingkat keamanan dan kenyamanan terbaik untuk setiap kondisi jalan yang dilalui. Pengendali logika fuzzy **dipilih** dengan pertimbangan kemampuan pengendali logika fuzzy untuk mensimulasikan cara berpikir manusia dalam mengendalikan suatu proses yang kompleks tanpa harus mengetahui model matematis secara rinci, serta kemampuan untuk mengolah data yang tidak memiliki batasan jelas (samar/kabur atau fuzzy) untuk menghasilkan keputusan yang akurat (Son Kuswadi, 2000), mengingat kenyamanan dan keamanan adalah dua hal yang tidak memiliki batasan jelas (fuzzy).

Pada tugas akhir ini dilakukan perancangan sistem suspensi semi-aktif yang didasarkan pada model kendaraan seperempat. Model sistem suspensi seperempat kendaraan atau pada satu roda **dipilih** dengan pertimbangan tujuan yang dikemukakan pada tugas akhir ini, yaitu merancang pengendali logika fuzzy untuk meningkatkan tingkat kenyamanan dan keamanan. Untuk meraih tujuan tersebut, karakteristik setiap sistem suspensi semiaktif kendaraan harus dirancang secara terpisah pada tiap roda, apabila diterapkan pada sistem suspensi satu kendaraan penuh, maka masing-masing sistem suspensi identik dengan sistem suspensi seperempat kendaraan atau pada satu roda (Christopher A. Paré, 1998).

Hasil perancangan diuji dengan beberapa variasi gangguan yang menggambarkan kondisi permukaan jalan gundukan (road bump), jalan bergelombang dan jalan tidak rata.

1.2 Tujuan

Tugas akhir ini bertujuan untuk mengambil/akuisisi data suspensi kendaraan (mobil) menggunakan pengontrol fuzzy melalui *Fuzzy Logic Control Program* agar dihasilkan sinyal kontrol nilai defleksi badan kendaraan untuk meningkatkan faktor kenyamanan, dan meningkatkan faktor keamanan.

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam tugas akhir ini diberikan pembatasan-pembatasan sebagai berikut :

1. Sistem suspensi yang digunakan adalah model seperempat kendaraan atau pada satu roda.
2. Kendaraan diasumsikan bergerak dengan kecepatan tetap.
3. Massa *sprung* & massa *unsprung* memiliki nilai tetap.

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP
2) Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

4. Sistem fuzzy yang digunakan adalah sistem fuzzy dengan *product inference engine*, dan *center average defuzzifier*.
5. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah segitiga dan trapesium.
6. Gangguan yang diberikan adalah 3 variasi gangguan yang mewakili kondisi jalan yang berupa gundukan (*road bump*), jalan bergelombang dan jalan tidak rata.
7. Sistem fuzzy menggunakan 7 himpunan fuzzy dan menggunakan fungsi keanggotaan yang simetri.

II. DASAR TEORI

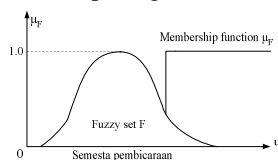
2.1 Sistem Kontrol Fuzzy

Teorema *fuzzy set* (himpunan *fuzzy*) merupakan perkembangan dari teorema himpunan klasik. Teorema ini pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Zadeh dari University of California at Berkeley, pada tahun 1965. Dalam perkembangannya, aplikasi teorema *fuzzy set* banyak digunakan dalam bidang sistem pengaturan, awalnya dipelopori oleh Prof. Ebrahim Mamdani dari Queen Mary College.

Berbeda dengan teori himpunan klasik yang berbasis *two valued logic*, teorema *fuzzy set* ini berdasarkan *multi valued logic*. Dalam teori himpunan berbasis *two valued logic*, derajat keanggotaan elemen-elemen dalam semesta pembicaraan memiliki dua kemungkinan nilai yaitu 0 atau 1. Tetapi, dalam teorema *fuzzy set*, derajat keanggotaan elemen-elemen dimungkinkan memiliki nilai bilangan real 0 sampai dengan 1, dengan penentuan derajat keanggotaan sepenuhnya tergantung perancang.

2.2 Teorema Himpunan Fuzzy

Jika U adalah kumpulan objek-objek yang dilambangkan {u}, maka U dinyatakan sebagai semesta pembicaraan, dan u adalah elemen dari U. Himpunan *fuzzy* F dalam semesta pembicaraan U dikarakterisasi dengan fungsi keanggotaan μ_F selanjutnya disebut *membership function*. μ_F memiliki kemungkinan nilai dalam interval [0,1], seperti diperlihatkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Himpunan *fuzzy* dan fungsi keanggotaannya

Himpunan *fuzzy* F dalam semesta pembicaraan U, adalah kumpulan elemen u dengan fungsi keanggotaan μ_F (Jun Yan dkk, 1994) :

$$F = \{(u, \mu_F(u)) \mid u \in U\} \quad (2.1)$$

Jika U adalah kontinyu, maka himpunan *fuzzy* F dapat dinyatakan sebagai :

$$F = \int u \mu_F(u) / u \quad (2.2)$$

Jika U adalah diskret, maka himpunan *fuzzy* F dapat dinyatakan sebagai :

$$F = \sum \mu_F(u_i) / u_i \quad (2.3)$$

Himpunan α -cut dari himpunan *fuzzy* F, dilambangkan F_α , adalah kumpulan elemen u dalam semesta pembicaraan U, dimana $\mu_F(u) \geq \alpha$. Maka dapat dikatakan bahwa himpunan α -cut mengabaikan semua elemen dengan besar derajat keanggotaan lebih kecil dari α .

2.2.1 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan yang sering digunakan ada 3 macam, yaitu *S-Function*, π -*Function*, dan *Triangular Function* (Son Kuswadi, 2000).

1. *S-Function*
2. π -*Function*
3. *Triangular-Function*

2.2.2 Operasi Himpunan Fuzzy

Jika A dan B adalah himpunan *fuzzy* dalam semesta pembicaraan U, dengan derajat keanggotaan elemen A adalah μ_A dan elemen B adalah μ_B , maka dapat dijabarkan beberapa operasi himpunan *fuzzy* (Jun Yan dkk, 1994) sebagai berikut : *Equality*, *Union*, *Intersection*, *Complement*, *Normalization*, *Concentration*, *Dilation*, *Intensification*, *Algebraic Product*, *Bounded Sum*, *Bounded Product*, *Drastic Product*.

2.3 Pengendali Logika Fuzzy

Sebagai pengendali yang mengolah data-data *fuzzy*, terdapat beberapa proses yang harus dilalui untuk mendapatkan sinyal kendali akurat.

2.3.1 Fuzifikasi

Fuzifikasi merupakan proses merubah variabel *non fuzzy* (variabel numerik) menjadi variabel *fuzzy* (variabel linguistik). Melalui fungsi keanggotaan yang telah disusun, maka nilai-nilai masukan tersebut menjadi informasi *fuzzy* yang berguna untuk proses pengolahan selanjutnya.

Fuzifikasi dapat diartikan sebagai pemetaan titik-titik numerik (*crisp points*) x ke himpunan *fuzzy* A dalam semesta pembicaraan U. Kemungkinan pemetaan yang terjadi ada dua (Son Kuswadi, 2000).

2.3.2 Penyusunan Rule Pengendalian

Fuzzy rule umumnya dibuat dalam bentuk 'IF-THEN', merupakan *fuzzy relation* atau *fuzzy implication*, dilambangkan R. Beberapa *fuzzy relation* dalam *knowledge base* dapat didefinisikan sebagai himpunan *fuzzy implication* atau *fuzzy relation* (Jun Yan dkk, 1994).

Dalam *fuzzy logic reasoning*, terdapat dua macam *fuzzy inference rules*, atau *laws of inference*, yaitu *Generalized Modus Ponens* (GMP) dan *Generalized Modus Tollens* (GMT). *Generalized Modus Ponens* disebut *direct reasoning*, sedangkan

Generalized Modus Tollens disebut *indirect reasoning*.

Jika himpunan *fuzzy* dilambangkan A, A', B, dan B', sedangkan *linguistic variable* dilambangkan x dan y, maka GMP dan GMT dapat dituliskan sebagai berikut (Jun Yan dkk, 1994)

2.3.3 Fuzzy Knowledge Base

Fuzzy knowledge base, terdiri atas beberapa *fuzzy rule*. Tidak ada aturan baku yang mengatur struktur *fuzzy rule*. Umumnya *fuzzy rule* digunakan dalam bentuk 'IF-THEN', sebagai contoh 'IF x is A THEN y is B' (Jun Yan dkk, 1994) :

Ada beberapa macam kata penghubung yang digunakan, yaitu 'AND', 'OR', dan 'ALSO'. Kata penghubung 'AND' dan 'OR' digunakan pada bagian *antecedent*, sedangkan kata penghubung 'ALSO' digunakan pada bagian *consequent* pada *fuzzy rule*.

2.3.4 Defuzifikasi

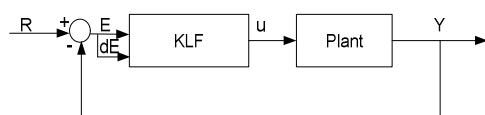
Proses untuk mendapatkan aksi keluaran dari kondisi masukan dengan mengikuti *rule-rule* yang telah ditetapkan disebut *reasoning* (pengambilan keputusan). Keputusan yang dihasilkan dari proses penalaran ini masih dalam bentuk *fuzzy*, yaitu berupa derajat keanggotaan keluaran. Hasil ini harus diubah kembali menjadi variabel numerik *non fuzzy* melalui proses defuzifikasi. Dua metode yang umum digunakan adalah *Maximum of Mean* dan *Center of Area* (Son Kuswadi, 2000).

a. *Maximum of Mean* (Z_{MOM})

b. *Center of Area* (Z_{COA})

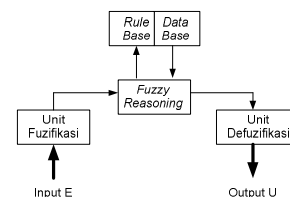
2.3.5 Struktur Dasar Pengendali Logika Fuzzy

Aplikasi Pengendali Logika *Fuzzy* (KLF) pada sistem kontrol loop tertutup diperlihatkan gambar 2.2. Pengendali logika *fuzzy* tersusun atas beberapa elemen yaitu unit fuzifikasi, unit *fuzzy reasoning*, dan unit defuzifikasi.



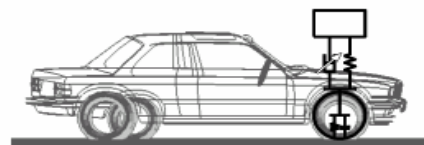
Gambar 2.2 FLC dalam sistem kontrol loop tertutup

Struktur pengendali logika *fuzzy* secara lengkap diperlihatkan gambar 2.3. *Fuzzy knowledge base* terdiri atas *data base* dan *rule base*. *Data base* bertugas untuk mendefinisikan *membership function* himpunan *fuzzy*, yang digunakan sebagai nilai tiap variabel sistem. *Rule base* bertugas memetakan nilai *fuzzy* masukan menjadi nilai *fuzzy* keluaran. Terdapat dua variabel utama pada sistem ini yaitu variabel masukan (E), didapatkan dari hasil pengukuran proses yang terjadi dan masukan sistem, dan variabel keluaran (U), digunakan oleh pengendali logika *fuzzy* untuk mengontrol proses yang terjadi (Jun Yan dkk, 1994).



Gambar 2.3 Struktur pengendali logika *fuzzy* secara lengkap

2.4 Sistem Suspensi



Gambar 2.4 Model sistem suspensi pada kendaraan

Secara umum sistem suspensi kendaraan terdiri atas sebuah pegas dan sebuah peredam kejut yang disusun secara paralel. Fungsi utama sistem suspensi adalah (William H. Crouse, 1993):

- Menyangga berat kendaraan
- Memberikan kenyamanan pengendara terhadap kondisi jalan yang dilalui
- Menjaga traksi roda terhadap permukaan jalan
- Menjaga kesejajaran roda

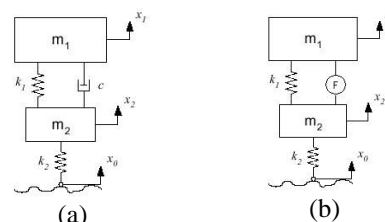
Sistem suspensi terbagi menjadi dua bagian, yaitu sistem suspensi pasif dan sistem suspensi aktif. Sistem suspensi aktif terbagi dua jenis yaitu suspensi *fully active* dan suspensi *semiaktif* (Keum-Shik Hong, 2002).

2.4.1 Suspensi Pasif

Suspensi pasif masih banyak digunakan kendaraan-kendaraan hingga saat ini. Sistem suspensi ini memiliki konstanta peredaman pada nilai tertentu (tetap), sehingga memiliki tingkat kenyamanan dan keamanan yang tidak dapat dinamis berubah mengikuti kondisi permukaan jalan yang dilalui oleh kendaraan.

Susunan sistem suspensi tersebut diperlihatkan gambar 2.5 (a), dengan:

1. Massa *sprung* (m_1).
2. Massa *unsprung* (m_2).
3. Pegas suspensi (k_1).
4. Pegas model (k_2).
5. Dan terakhir adalah peredam kejut (c).



Gambar 2.5 (a) Model suspensi pasif (b) Model suspensi aktif

2.4.2 Suspensi Aktif

Suspensi aktif merupakan tipe suspensi yang memiliki proses pengendalian. Suspensi ini terbagi dua, yaitu suspensi *fully active* dan suspensi *semiaktif* berdasarkan bagaimana mekanisme pengendalian dilakukan (Keum-Shik Hong, 2002).

Ada dua jenis sistem yang menggunakan komponen aktif, yaitu **sistem suspensi aktif dan sistem suspensi semi-aktif**. Pada sistem suspensi aktif tidak digunakan komponen pasif sedangkan pada sistem suspensi semi-aktif digunakan komponen pasif selain komponen aktif. Sistem dengan komponen pasif akan mempunyai karakteristik yang tetap untuk berbagai permukaan jalan. Penggunaan komponen aktif dapat merubah karakteristik sistem sesuai dengan permukaan jalan, adanya perubahan massa kendaraan akibat perubahan penumpang maupun bahan bakar.

Keuntungan menggunakan sistem suspensi aktif adalah getaran yang timbul pada badan kendaraan akibat permukaan jalan yang bergelombang atau tidak rata dapat dikurangi dan peredam getaran dapat menyesuaikan dengan kondisi jalan. Kekurangannya adalah sistem suspensi tidak dapat berfungsi apabila sistem pengontrol mengalami kerusakan.

Jenis yang kedua adalah sistem suspensi semi-aktif. Sistem ini masih menggunakan sistem suspensi konvensional dengan menambah peredam yang dapat diatur. Keuntungan sistem ini adalah masih dapat berfungsi pada waktu sistem pengontrol mengalami kegagalan. Namun sistem ini sangat dipengaruhi oleh komponen-komponen pasif yang mempunyai harga karakteristik tertentu.

Sistem suspensi *fully active* bekerja dengan menghasilkan gaya untuk melawan getaran atau guncangan yang terjadi. Susunan sistem suspensi tersebut diperlihatkan gambar 2.5 (b). Jika hal ini terjadi maka kendaraan akan berjalan tanpa adanya peredaman terhadap getaran, yang mengakibatkan berkurangnya pengendalian kendaraan oleh pengemudi (Neil McLellan, 1998).

III. PERANCANGAN

3.1 Perangkat Keras Akuisisi Data

Peralatan akuisisi data dibuat menggunakan *proto board* atau sering disebut dengan *PCB* berlubang karena *PCB* ini sangat cocok digunakan untuk membuat berbagai macam *prototype* dengan keunggulannya pada fleksibilitas dan kemudahan modifikasi jalur-jalurnya dibandingkan dengan *layout PCB*.

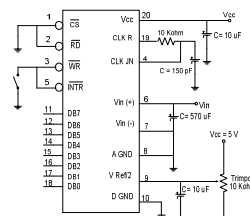
Sistem akuisisi suspensi semi-aktif menggunakan *interfacing PPI (Programmable Peripheral Interface) 8255*. *PPI 8255* ini akan mengolah data-data input sebelumnya melalui *ADC (Analog Digital Converter)*. Pada sistem ini, dengan mengaplikasikan pengendali logika fuzzy diharapkan sistem dapat menghasilkan peredaman yang mampu mengkompromisasikan tingkat keamanan dan kenyamanan terbaik untuk setiap kondisi jalan yang dilalui.

Posisi suspensi saat berosilasi (*up-down osilation*) dapat diketahui dengan menggunakan sensor jarak. Hasil keluaran sensor berupa tegangan

analog yang langsung dapat dihubungkan dengan rangkaian *ADC (Analog to Digital Converter)*.

3.1.1 Pengubah Sinyal Analog ke Data Digital

ADC pada rancangan ini digunakan untuk mengubah masukan analog keluaran sensor jarak yang sudah dikuatkan menjadi data digital 8 bit. Tipe *ADC* yang digunakan adalah *ADC 0804* pada mode kerja *free running*. Rangkaian *free running ADC 0804* ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Rangkaian *free running ADC*

Untuk membuat mode kerja *ADC 0804* menjadi *free running*, maka harus diketahui bagaimana urutan pemberian nilai pada *RD* dan *WR* serta perubahan nilai pada *INTR*. Urutan pemberian nilai pada *RD*, *WR* perubahan nilai pada *INTR* ditunjukkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1. Pemberian nilai pada *RD* dan *WR* serta perubahan nilai pada *INTR*

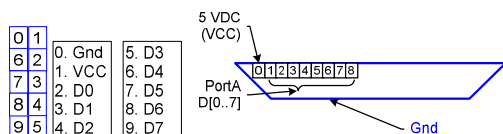
Langkah	\overline{INTR}	\overline{WR}	\overline{RD}
1	0	0	0
2	1	1	0

Mode kerja *free running ADC* diperoleh jika *RD* dan *CS* dihubungkan ke *ground* agar selalu mendapat logika 0 sehingga *ADC* akan selalu aktif dan siap memberikan data. Pin *WR* dan *INTR* dijadikan satu karena perubahan logika *INTR* sama dengan perubahan logika pada *WR*, sehingga pemberian logika pada *WR* dilakukan secara otomatis oleh keluaran *INTR*.

Rangkaian pengubah sinyal analog ke data digital pada sistem ini menggunakan IC *ADC 0804* dengan mode *free running* yang artinya *ADC* akan secara terus menerus mengkonversi nilai tegangan analog ke dalam data 8-bit digital. Proses ini terjadi sebanyak 1000 kali konversi setiap detiknya. Karena *ADC* dikondisikan pada mode *free running* maka diperlukan tombol *start* untuk memulainya berupa *pushbutton normally open*. Kelemahan mode ini adalah terkadang terjadi *hang* pada *ADC* yang berakibat keluaran data pada *ADC* bernilai tetap. Untuk menjalankan kembali *ADC* apabila terjadi *hang* adalah dengan menekan kembali tombol *reset*.

Berdasarkan perhitungan pada rangkaian diatas tegangan keluaran maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 5 volt maka *fullscale* pada rangkaian *ADC* ini adalah sebesar 5 volt juga, artinya nilai 255 atau *0FFh* dicapai bila tegangan masukan *ADC* sebesar 5 volt.

Dengan melakukan pengaturan pada pin 9 yaitu pin $V_{ref}/2$ yang merupakan pin untuk mengatur maksimum *fullscale offset*. Pada pin ini tegangan diatur sedemikian rupa sehingga tegangan yang masuk sebesar $5/2$ volt yaitu 2,5 volt. Pengaturannya menggunakan voltmeter digital. Keluaran ADC yang berupa data digital 8-bit akan dihubungkan dengan port A pada PPI, dengan demikian diperlukan suatu penghubung yang akan mengubungkan data ADC tersebut dengan port A PPI. Berikut adalah konfigurasi dari port yang digunakan sebagai penghubung keluaran data ADC dengan PPI card.



a. Port data pada alat b. Port A PPI card
 Gambar 3.2 Konfigurasi port penghubung alat ke PPI

3.1.2 Pengaturan Mode PPI 8255

Pertama, alamat PPI di-set menjadi alamat 303h, pengaturan ini dilakukan dengan mengatur jumper yang tersedia pada PPI card. Kemudian setelah PPI card terpasang pada slot ISA, pada *system properties* dari *device manager window* dipilih ISA properties untuk mengatur nilai alamat dari PPI card yang bersangkutan. Pada alamat ISA device tersebut diatur nilai yang sesuai dengan nilai PPI card yang telah diatur tadi yaitu 303h, dengan demikian PPI card akan dikenali dan dapat diakses oleh sistem operasi windows.

PPI diatur pada mode 0 *basic input/output*. Dengan port A sebagai jalur masukan. Dengan memberikan nilai 90 heksa atau 10010000b pada port control, secara otomatis port A tersebut sudah dapat difungsikan sebagai jalur masukan data 8-bit yang siap diolah datanya.

3.2 Perangkat Keras Mekanik-Plant Suspensi



Gambar 3.3 Plant suspensi model kendaraan seperempat

Keterangan Gambar :

A	Sensor Jarak (Potensiometer)	C	Motor Penggerak Roda Konveyor
B	Suspensi Unit (Shock Absorber & Spring)	G	Slinder Shock Absorber
H	Massa Unsprung	L	Akuisisi Data Box
D	Massa Sprung	J	Disturbance Jalan
E	Poros Penyangga Sensor	K	Tiang Penyangga
F	Coil Spring	I	Belt Konveyor

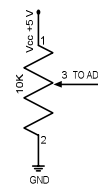
Massa Sprung adalah massa kendaraan yang disangga sistem suspensi. Seperti massa body kendaraan, massa penumpang, massa mesin, dan lain sebagainya.

Massa Unsprung adalah massa yang tidak disangga sistem suspensi. Seperti massa roda, lengan ayun, dan lain sebagainya.

3.2.1 Sensor Jarak-Posisi



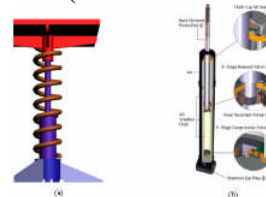
Gambar 3.4. Rangkaian sensor jarak



Gambar 3.5 Konfigurasi potensiometer

Dalam perancangan sensor jarak ini digunakan *potensiometer linear (B)* 10KΩ. Potensiometer digunakan untuk mengetahui jarak perubahan posisi (*up-down osilation of suspensions*). Satu pin potensiometer dihubungkan dengan tegangan +5 volt, satu pin dihubungkan dengan *ground*. Pin tengah potensiometer sebagai masukan sinyal ke ADC (sebagai level tegangan posisi suspensi). Dengan konfigurasi seperti gambar 3.5, keluaran potensiometer ke ADC berada dalam *range 0 - 5 volt*.

3.2.2 Suspensi Unit (Shock Absorber & Coil Spring)



Gambar 3.6. Suspensi unit

(a) Coil spring (b) Shock absorber

Peredam kejut dengan konstanta peredaman besar (keras), mampu menjaga traksi roda (keamanan) dengan baik, tetapi memberikan tingkat kenyamanan buruk, karena pengendara akan merasakan banyak getaran mengganggu akibat permukaan jalan. Sebaliknya peredam kejut lembut, dengan konstanta peredaman kecil, memberikan tingkat kenyamanan baik kepada pengendara, tetapi kemampuan menjaga traksi roda kendaraan buruk (Neil McLellan, 1998).

3.2.3 Motor Penggerak Roda Konveyor



Gambar 3.7 Motor konveyor dengan gearbox (gear reduksi)

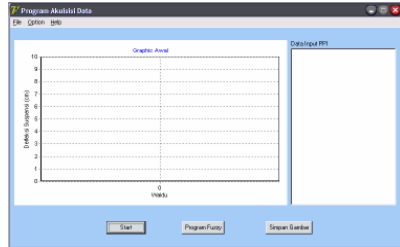
Motor penggerak *belt konveyor* yang akan digunakan adalah motor AC yang telah memiliki gear reduksi (*Gearbox*). Motor ini dipilih karena dengan adanya gear reduksi maka kecepatan angular motor akan berkurang sehingga torsi motor akan cukup besar untuk menanggung beban total suspensi. Spesifikasi :

1. Motor AC satu fasa
2. Motor 1.6 KW
3. 1430 rpm at 50 HZ.
4. 110/220 Volt
5. 14.6/7.6 Ampere

3.3 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

3.3.1 Program Akuisisi Data

Pada aplikasi akuisisi data ini, digunakan *software builder* yaitu borland delphi 7.



Gambar 3.8 Tampilan program akuisisi data

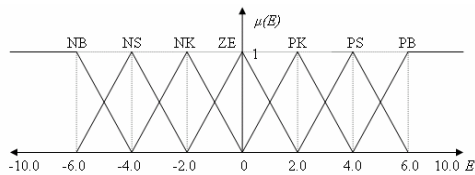
Pada prosedur InittPPI akan memanggil *prosedure* PPISet yang berisi parameter alamat dan data. Parameter alamat dan diisi nilai *ControlPort* yang berisi 303h, kemudian data diisi 90h yang merupakan nilai kontrol agar PortA berfungsi sebagai jalur masukan.

3.3.2 Program Analisa Fuzzy Logic Control

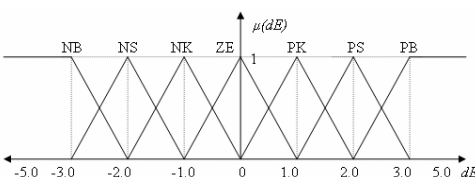
Untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini digunakan bahasa pemrograman untuk pengamatan perancangan pengaturan suspensi menggunakan kontrol fuzzy ini adalah Delphi 7.

Pengendali Fuzzy yang dirancang memiliki dua buah masukan yaitu *error* dan perubahan *error*, sedangkan keluaran pengendali Fuzzy menghasilkan sinyal *output* defleksi suspensi depan.

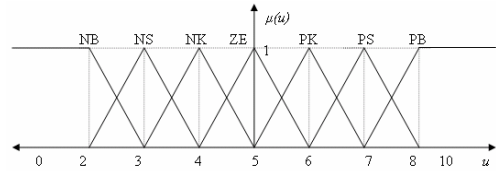
Himpunan Fuzzy untuk masukan *error* dan perubahan *error*, masing-masing dibagi menjadi 7 kelas variabel linguistik. Kelas variabel linguistik yang dimaksud adalah kelas ke-1 yaitu NB (Negatif Besar), kelas ke-2 yaitu NS (Negatif Sedang), kelas ke-3 yaitu NK (Negatif Kecil) kelas ke-4 yaitu Z (Zero), kelas ke-5 yaitu PK (Positif Kecil), kelas ke-6 yaitu PS (Positif Sedang) dan kelas ke-7 yaitu PB (Positif Besar), tiap-tiap kelas ini lazim juga disebut sebagai sub-himpunan Fuzzy.



Gambar 3.11 Fungsi keanggotaan dan jangkauan dari *error* defleksi suspensi depan

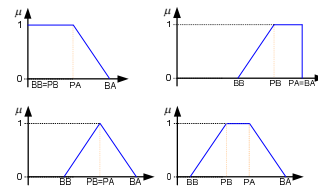


Gambar 3.12 Fungsi keanggotaan dan jangkauan dari *perubahan error* defleksi suspensi depan



Gambar 3.13 Fungsi keanggotaan dan jangkauan untuk keluaran kontrol

Himpunan Fuzzy (parameter) keluaran fuzzy berisi harga titik tengah (*center*) masing-masing himpunan fuzzy (PB, PS, PK, ZE, NK, NS dan NB) dari keluaran fuzzy. Realisasi bentuk dan batasan masukan *error* dan perubahan *error* pada setiap kelasnya yang berbentuk bahu, trapesium, atau segitiga ditentukan dengan 4 buah titik yang membentuk trapesium, karena pada dasarnya bangun segitiga ataupun bentuk bahu merupakan bentuk khusus dari trapesium, misalnya segitiga adalah trapesium yang memiliki titik puncak yang berhimpit. Empat buah titik ini adalah BB (Batas Bawah), PB (Puncak Bawah), PA (Puncak Atas), dan BA (Batas Atas) seperti diperlihatkan pada Gambar 3.14, dan diagram alir programnya diperlihatkan pada Gambar 3.16.



Gambar 3.14 Bentuk dan batasan masukan *error* dan $\Delta error$.

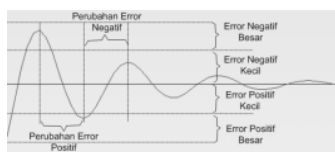


Gambar 3.15 Bentuk dan batasan masukan *error* dan perubahan *error* pada program parameter fuzzy.

Setelah mendapatkan derajat keanggotaan dari masukan sinyal kesalahan (*error*) dan perubahan sinyal kesalahan (*change of error*), maka langkah selanjutnya dalam pengendalian Fuzzy adalah evaluasi aturan-aturan (*rules*). Perancangan aturan dibuat berdasarkan analisis terhadap respon sinyal yang memiliki lonjakan maksimum dan berosilasi, kemudian menentukan besarnya keluaran yang diperlukan.

Dalam analisis ini sinyal masukan dan sinyal keluaran digolongkan kedalam batas-batas linguistik, misalnya kesalahan "negatif besar" dan perubahan sinyal kesalahan "positif" maka sinyal keluaran

“negatif”. Gambaran sinyal respon sistem yang dimaksud diperlihatkan pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Respon sistem dengan lonjakan dan osilasi

$$E(t) = r(t) - y(t) \quad (3.1)$$

$$dE(t) = E(t) - E(t-1) \quad (3.2)$$

Jumlah aturan yang digunakan adalah sebanyak 49 aturan. Adapun basis aturan untuk pengendali Fuzzy diperlihatkan pada Tabel berikut ;

Tabel 3.2 Rule base pengaturan suspensi semi-aktif

		Perubahan Error (dE)							
		PB	PS	PK	ZE	NK	NS	NB	
Error (E)	PB	PB	PB	PB	PB	PS	PK	ZE	
	PS	PB	PB	PB	PS	PK	ZE	NK	
	PK	PB	PB	PS	PK	ZE	NK	NS	
	ZE	PB	PS	PK	ZE	NK	NS	NB	
	NK	PS	PK	ZE	NK	NS	NB	NB	
	NS	PK	ZE	NK	NS	NB	NB	NB	
	NB	ZE	NK	NS	NB	NB	NB	NB	

Dengan menggunakan basis aturan yang telah dibuat, selanjutnya sistem Fuzzy melakukan evaluasi terhadap derajat keanggotaan dari masukan *error* dan perubahan *error* untuk menentukan derajat keanggotaan parameter keluaran dari setiap aturan. Operator yang digunakan pada aturan adalah operator AND. Mekanisme pengambilan keputusan menggunakan metode MAX-MIN. Evaluasi aturan akan menghasilkan derajat keanggotaan untuk parameter keluaran, tahap setelah evaluasi aturan adalah melakukan komposisi semua hasil evaluasi dari setiap aturan untuk mendapatkan nilai keluaran Fuzzy. Nilai keluaran Fuzzy yang didapatkan selanjutnya akan melalui defuzzifikasi, yaitu tahapan untuk mendapatkan suatu nilai *crisp* dari keluaran Fuzzy. Metode yang digunakan untuk defuzzifikasi adalah metode rata-rata terbobot sesuai dengan persamaan 3.3 :

$$u = \frac{\sum_{j=1}^M \bar{y}^j \left\{ \prod_{i=1}^n \mu_{A_i}(x_i) \right\}}{\sum_{i=1}^M \left\{ \prod_{i=1}^n \mu_{A_i}(x_i) \right\}} \quad (3.3)$$

\bar{y} :titik tengah (*center*) himpunan fuzzy dari keluaran fuzzy (u) untuk setiap aturan fuzzy.

i :banyaknya masukan fuzzy.

M :banyaknya aturan fuzzy.

$\mu_{A_i}(x_i)$:derajat keanggotaan himpunan fuzzy dari masukan fuzzy (E dan dE) dari setiap aturan fuzzy.

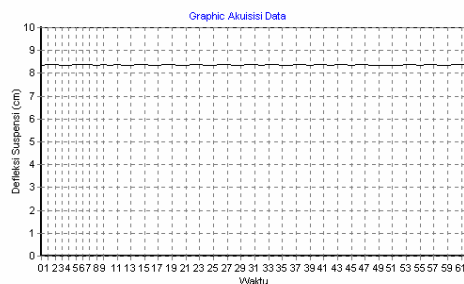
IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Pengujian Unjuk Kerja Sistem dengan Lintasan Tanpa Gangguan

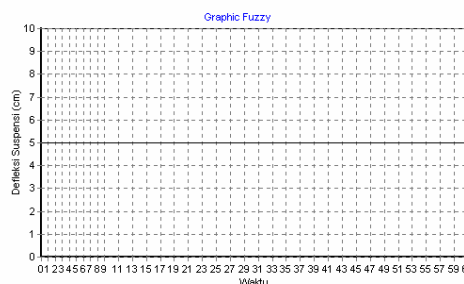
Sistem suspensi yang bagus adalah sistem suspensi yang dapat meningkatkan kenyamanan berkendara dan dalam waktu yang sama dapat mempertahankan *vehicle maneuverability (savety)*.

Dalam hal kenyamanan, sistem suspensi harus dapat menurunkan percepatan vertikal badan kendaraan sehubungan dengan gangguan kondisi jalan yang tidak tentu. Dalam hal *vehicle maneuverability (savety)*, sistem suspensi diharapkan untuk dapat membatasi defleksi suspensi dalam *range* yang kecil.

Pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2, ditunjukkan bahwa sinyal *error* yang digunakan sebagai sinyal kontrol *output* pada suspensi semi-aktif, sedikit berpengaruh karena lintasan jalan tanpa gangguan.



Gambar 4.1 Grafik defleksi suspensi semi-aktif tanpa pengontrol fuzzy dengan lintasan tanpa gangguan

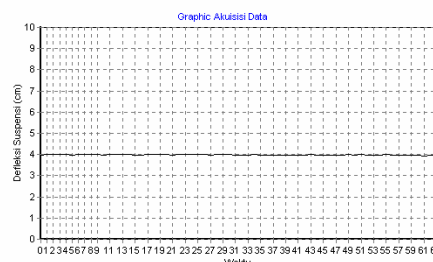


Gambar 4.2 Grafik sinyal kontrol defleksi suspensi semi-aktif pengontrol fuzzy dengan lintasan tanpa gangguan

4.2 Pengujian Unjuk Kerja Sistem dengan Gangguan Gundukan

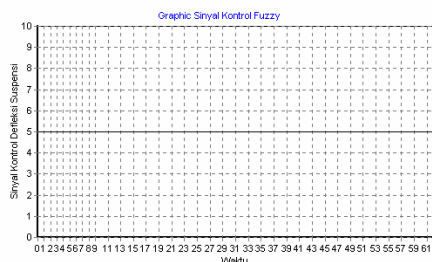
Unjuk kerja sistem dengan model gangguan gundukan yang dianggap dapat mewakili kondisi kenyataan seperti gundukan ”polisi tidur”.

Gambar 4.3 memperlihatkan defleksi suspensi kendaraan yang terjadi dengan gundukan untuk sistem suspensi semi-aktif tanpa pengontrol. Dan Gambar 4.4 menunjukkan sinyal kontrol defleksi suspensi kendaraan yang terjadi dengan gundukan untuk sistem suspensi semi-aktif dengan kontrol fuzzy. Pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, ditunjukkan bahwa sinyal *error* yang digunakan sebagai sinyal kontrol *output* pada suspensi semi-aktif, berpengaruh.



Gambar 4.3 Grafik defleksi suspensi semi-aktif tanpa pengontrol fuzzy pada lintasan gangguan gundukan

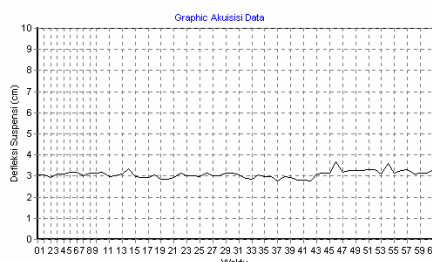
Pada gambar 4.4 sistem suspensi semi-aktif menghasilkan sinyal kontrol dengan pengontrol fuzzy yang memiliki referensi defleksi 4 cm, untuk mempertahankan keadaan awal yang dapat dilihat pada gambar 4.3.



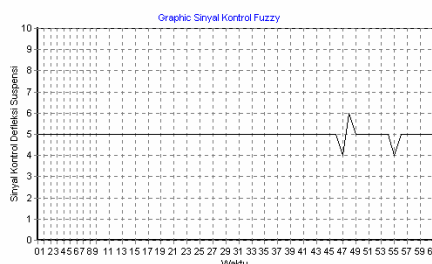
Gambar 4.4 Grafik sinyal kontrol defleksi suspensi semi-aktif dengan pengontrol pada lintasan gangguan gundukan

4.3 Pengujian Unjuk Kerja Sistem dengan Lintasan Bergelombang- Gundukan Teratur

Unjuk kerja sistem suspensi dengan gangguan yang berupa jalan bergelombang yang digunakan untuk mewakili kondisi jalan dalam kenyataan yaitu kondisi jalan dengan gundukan teratur, misalnya gundukan sebelum perlintasan kereta api, gundukan sebelum memasuki loket pembayaran tol.



Gambar 4.5 Grafik defleksi suspensi semi-aktif tanpa pengontrol fuzzy pada lintasan dengan bergelombang-gundukan teratur

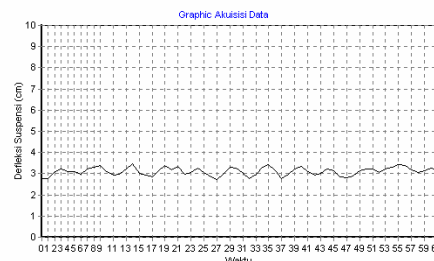


Gambar 4.6 Grafik sinyal kontrol defleksi suspensi semi-aktif dengan pengontrol fuzzy pada lintasan dengan bergelombang-gundukan teratur

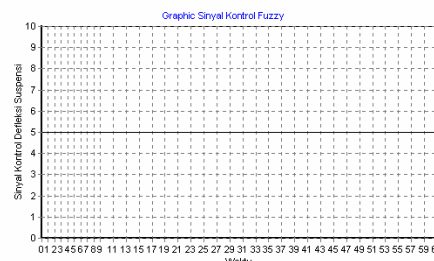
Dari hasil tersebut terlihat bahwa pada gangguan lintasan bergelombang atau gundukan teratur, sistem suspensi semi-aktif dengan pengontrol fuzzy yang dirancang dapat menghasilkan sinyal kontrol defleksi suspensi badan kendaraan yang relatif lebih cepat menuju referensi/*setting point* yang berarti memberikan kenyamanan yang lebih baik dibandingkan sistem suspensi semi-aktif tanpa pengontrol.

4.4 Pengujian Unjuk Kerja Sistem dengan Lintasan dengan Jalan Tidak Rata – Gundukan Tak Teratur

Unjuk kerja sistem suspensi dengan gangguan yang berupa jalan tidak rata yang digunakan untuk mewakili kondisi jalan dalam kenyataan yaitu kondisi jalan dengan gundukan tak teratur, misalnya lintasan *off road*.



Gambar 4.7 Grafik defleksi suspensi semi-aktif tanpa pengontrol fuzzy pada jalan tidak rata-gundukan tak teratur



Gambar 4.8 Grafik sinyal kontrol defleksi suspensi semi-aktif dengan pengontrol fuzzy pada jalan tidak rata-gundukan tak teratur

Sinyal *input random* (gundukan tak teratur) yang digunakan adalah dua gundukan yang berbeda ketinggian. Gambar 4.8 menunjukkan suspensi semi-aktif dengan pengontrol fuzzy yang dirancang dapat menghasilkan nilai puncak sinyal kontrol defleksi suspensi badan kendaraan yang lebih kecil dibandingkan dengan sistem suspensi tanpa pengontrol. Hal tersebut disebabkan sinyal kontrol yang dihasilkan oleh sistem fuzzy terlalu besar. Masukan berupa gangguan lintasan dengan jalan tidak rata akan menghasilkan *error* dan *turunan error* yang kecil yang hanya membutuhkan sinyal kontrol yang kecil untuk menghasilkan keluaran plant yang mendekati harga referensi. Sinyal *error* dan *turunan error* yang kecil tersebut setelah diproses berdasarkan fungsi keanggotaan dari sinyal masukan dan keluaran fuzzy serta *rule base* yang telah dirancang, menghasilkan sinyal kontrol yang masih cukup besar, terlihat pada gambar 4.8 referensi yang diharapkan defleksi sebesar 4 cm, tapi pada kenyataannya sinyal kontrol memberikan defleksi sebesar 5 cm.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perancangan, pengujian dan analisis penggunaan pengontrol fuzzy yang digunakan untuk mengatur sistem suspensi semi-aktif pada model kendaraan seperempat, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Unjuk kerja sistem dengan lintasan tanpa gangguan, sinyal *error* yang digunakan sebagai sinyal kontrol *output* pada suspensi semi-aktif, sedikit berpengaruh karena lintasan jalan tanpa gangguan. Pada grafik akuisisi data menunjukkan sedikit osilasi gelombang karena berfungsinya gaya peredaman pada suspensi.
2. Unjuk kerja sistem dengan gangguan gundukan (*road bump*), dengan gangguan tersebut, nilai defleksi suspensi badan kendaraan pada suspensi semi-aktif tanpa pengontrol berfluktuasi, sedangkan pada suspensi semi-aktif dengan pengontrol fuzzy nilai sinyal kontrol defleksi suspensi turun menjadi 4 cm.
3. Dengan gangguan jalan bergelombang sistem suspensi semi-aktif dengan pengontrol fuzzy yang dirancang dapat menghasilkan sinyal kontrol defleksi suspensi badan kendaraan yang relatif lebih rendah.
4. Dengan gangguan jalan tidak rata, suspensi semi-aktif dengan pengontrol fuzzy yang dirancang dapat menghasilkan nilai sinyal kontrol puncak defleksi suspensi badan kendaraan yang lebih kecil dibandingkan dengan sistem suspensi tanpa pengontrol.
5. Sistem kontrol fuzzy yang telah dirancang hanya dapat mentoleransi variasi berupa pengurangan massa kendaraan sampai dengan 30% dari nilai nominal, sedangkan adanya variasi berupa penambahan massa kendaraan menghasilkan tingkat kenyamanan yang selalu relatif lebih baik bila dibandingkan dengan sistem semi-aktif tanpa pengontrol.

5.2. Saran

Untuk penelitian lebih lanjut, perancangan sistem suspensi semi-aktif dengan pengontrol fuzzy dapat dikembangkan antara lain :

1. Memperhitungkan faktor ketidaklinieran dari pegas yang digunakan.
2. Perancangan dilakukan dengan menggunakan model kendaraan penuh sehingga pengaruh gerakan horisontal dan lateral dapat dianalisa.
3. Menggunakan metode optimasi seperti algoritma genetik untuk penentuan parameter fuzzy agar diperoleh sistem kontrol fuzzy yang lebih baik.
4. Merancang pemodelan *plant* suspensi konvensional untuk melanjutkan sistem kontrol yang dapat menjamin defleksi suspensi yang lebih kecil dibandingkan dengan suspensi pasif.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hyniova, K., Stribrsky, A. dan Honcu, J., *Fuzzy Control Of Mechanical Vibrating Systems*, Department of Control Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Czech University.
- [2] Moon, S. Y. dan Kwon, W. H., *Genetic-Based Fuzzy Control for Half-Car Active Suspension Systems*, International Journal of Systems Science, 1998.
- [3] Ogata, K., *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)* jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.
- [4] Ogata, K., *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)* jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.
- [5] Sumardi, "Perancangan Sistem Suspensi Semi-Aktif dengan Peredam Nonlinier Menggunakan Pengontrol Fuzzy", Tesis Magister, Bidang Khusus Instrumentasi dan Kontrol Program Studi Teknik Fisika, ITB, 1998.
- [6] Hartanto, D., *Perancangan Pengaturan Sistem Suspensi Semi-Aktif dengan Peredam NonLinear pada Model Kendaraan Setengah Menggunakan Pengontrol Fuzzy*, Tugas Akhir Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2003.



Anggoro Aristianto

(L2F 002 553)

dilahirkan di Surabaya, 2 April 1984. Menempuh pendidikan di SDN Pejagan 2 Bangkalan-Madura lulus pada tahun 1996, kemudian melanjutkan ke SMPN 1 Bangkalan-Madura lulus pada tahun 1999, kemudian melanjutkan ke SMU Negeri 1 Bangkalan-Madura lulus tahun 2002, dan sampai saat ini sedang menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang Konsentrasi Instrumentasi dan Kontrol.

E-mail : goro@student.undip.ac.id

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I

Sumardi, S.T., M.T.

NIP. 132 125 670

Tanggal

Dosen Pembimbing II

Darjat, S.T., M.T.

NIP. 132 231 135

Tanggal