

DESAIN KONTROLER GENETIC-FUZZY PADA MODEL AUTOMATIC-ANTILOCK BRAKING SYSTEM

Andreas Surya^{*)}, Aris Triwiyatno, dan Budi Setiyono

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jalan Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail : sitorus.andreas@gmail.com

Abstrak

Automatic Antilock Braking System menawarkan sebuah solusi pilihan dibidang system keamanan pengereman kendaraan, khususnya mobil, untuk melakukan pengereman secara otomatis. Automatic antilock braking system mengukur slip roda sebagai variabel dikontrol dan torsi rem sebagai variable dimanipulasi. Dalam penelitian ini, didesain kontroler Genetic-Fuzzy untuk menjaga slip sesuai ratio slip referensi. Algoritma genetika diaplikasikan untuk mengoptimasi parameter himpunan keanggotaan fuzzy. Pengujian kondisi aspal kering, kontroler Genetic-Fuzzy berhasil mencapai pemberhentian sempurna pada jarak 15,52 m dan IAE sebesar 0,095, sedangkan kontroler Fuzzy mencapai pemberhentian pada jarak 15,45 m dan IAE sebesar 0,099. Pengujian kondisi aspal basah, kontroler Genetic-Fuzzy berhasil mencapai pemberhentian pada jarak 17,46 m dan IAE sebesar 0,0806, sedangkan kontroler Fuzzy mencapai pemberhentian pada jarak 17,39 m dan IAE sebesar 0,0802.

Abstract

The Automatic Antilock Braking System offers an optional solution in vehicle safety braking system, particularly cars to brake automatically. Automatic antilock braking system works to measure wheel slip as controlled variable and applies braking torque as manipulated variable. In this final assignment, Genetic-Fuzzy controller has been designed to maintain measured wheel slip fit to the reference slip. Genetic algorithm was applied to optimize a membership function parameter of fuzzy. In dry asphalt simulation, Genetic-Fuzzy controller has succeed to achieve perfect stoppage distance by 15,52 m and IAE value of 0,095, whereas the fuzzy controller achieved stoppage distance by 15,45 m and IAE value of 0,099. In wet asphalt simulation, Genetic-Fuzzy controller achieved stoppage distance by 17,46 m and IAE value of 0,0806, whereas the fuzzy achieved stoppage distance by 17,39m and IAE value of 0,0802.

Keywords: Genetic Fuzzy, Genetic Algoritma, Fuzzy, Automatic Antilock Braking System.

1. Pendahuluan

Produsen otomotif telah membidik Indonesia sebagai target pasar yang prospektif dalam jangka 5 tahun belakangan ini. Faktor peningkatan jumlah warga kelas menengah di Indonesia dari tahun 2003-2010 menjadi 131 juta jiwa dan ketahanan perekonomian Indonesia saat krisis keuangan 2008 adalah salah satu faktor pendukung para produsen otomotif dunia membidik pasar otomotif Indonesia dan menyatakan potensi pasar Indonesia sangat besar [1]. Hal ini terbukti dari pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor dari tahun 2008 sampai 2012 yang terus meningkat, telah dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik [2]. Disaat perkembangan jumlah konsumen dari berbagai produk Otomotif meningkat signifikan setiap tahunnya, diperoleh angka kecelakaan lalu lintas yang terus meningkat pula setiap tahunnya [3].

Sistem seperti : *Anti-lock Braking (ABS), Traction Control (TCS), Electronic Stability Control (ECS)*, dan

Roll Stability Control (RCS) adalah beberapa contoh sistem keamanan pengereman yang telah dikembangkan [13]. Sayangnya, sistem keamanan aktif pun tidak dapat menjamin berkurangnya angka kecelakaan lalu-lintas, beberapa faktor penting ditemukan sebagai penyebab tingginya angka kecelakaan lalu lintas oleh Sabey dan Taughton [4]. Faktor manusia (*human error*) menyumbang 65% sebagai faktor yang mempengaruhi kecelakaan lalu lintas [4].

Sistem pengereman harus dapat memaksimalkan torsi pengereman untuk menghasilkan gaya traksi roda maksimum dan tetap menjaga kestabilan slip kendaraan ketika perubahan kondisi jalan terjadi. *Antiskid Braking System* didesain oleh Jeffery R. Layne, *et all* untuk mengoptimasi efektivitas pengereman ketika menjaga kestabilan *steering* [5]. Georg Mauer menggunakan *Anti Blocking System*, memungkinkan *brake force* menjaga manufer kendaraan dan menjaga stabilitas slip [6]. Teknik kontrol *fuzzy* diimplementasikan baik pada *Antiskid*

maupun *Antiblocking* untuk menjaga performansi torsi pengereman ketika parameter kondisi jalan berubah ubah [5][6]. Kontrol *fuzzy* menggunakan informasi linguistik yang dapat memodelkan aspek kualitatif dari pengetahuan manusia dengan beberapa keuntungan seperti ketahanan (*robustness*), perkiraan universal, dan algoritma berbasis *rule* [7]. Hasil simulasi *fuzzy* antiskid memperlihatkan respon ABS yang dapat mengikuti nilai slip referensi yaitu 0,2 pada kondisi aspal kering, basah, dan es [5]. Kontrol *fuzzy antiblocking* pun berhasil mempertahankan nilai ratio slip dibawah 50% dan mencapai jarak pengereman terpendek sejauh 54 m [6]. Kueon dan Bedi menggunakan *Fuzzy Neural Sliding Mode Controller* yang diaplikasikan pada *antilock braking system* (ABS) dan menyimpulkan bahwa metode ini dapat digunakan pada sistem kompleks dengan parameter ketidakpastian seperti koefisien gesek, elevasi permukaan jalan, koefisien aerodinamis dan lainnya [8]. Chin-Min Lin dan Chun-Fei Hsu membandingkan *Self-Learning Fuzzy Sliding Mode Control* dengan *Sliding Mode Control dan Fuzzy Sliding Mode Control* yang diterapkan pada *Antilock Braking*, kemudian menyimpulkan bahwa *Self-Learning Fuzzy Sliding Mode Control* sukses mencapai tracking yang diinginkan dan berhasil mempertahankan performansi dengan bermacam kondisi dan transisi permukaan jalan dibandingkan dengan *Sliding Mode dan Fuzzy Sliding mode Control* [9].

Dalam penelitian ini, didesain kontroler *Genetic Fuzzy* pada model *Automatic-Antilock Braking* untuk mengikuti ratio slip ideal dan dapat melakukan perlambatan hingga kendaraan berhenti pada jarak aman terhadap kendaraan lain yang melakukan pemberhentian darurat. *Genetic Fuzzy* merupakan modifikasi hasil pengembangan penelitian Safitri yang telah berhasil mengoptimasi parameter himpunan keanggotaan *fuzzy* untuk memperoleh fungsi keanggotaan optimal pada sistem *Shell Heavy Oil Fractionator* (SHOF), sehingga diperoleh *Integral Area Error* yang terkecil [11]. Metode ini dipilih untuk pengembangan penelitian dari Ahmaliansyah [12], yang telah menggunakan *fuzzy* pada model *automatic braking system* dengan *antilock*. Model *Automatic-Antilock Braking* yang akan digunakan pada penelitian ini adalah model yang telah digunakan pada penelitian Jeffery R. Layne [5]. *Genetic Fuzzy* pada model *Automatic-Antilock Braking* diharapkan dapat mencapai perlambatan kendaraan secara maksimum dan menjaga ratio slip ideal agar terjaganya *steerability* kendaraan, serta keamanan berkendara yang optimal.

2. Metode

Metode kendali yang digunakan dalam penelitian ini adalah kendali logika fuzzy, kemudian parameter himpunan keanggotaan fuzzy dioptimasi oleh algoritma genetika. Proses optimasi ini bertujuan untuk mendapat parameter fungsi keanggotaan optimal berdasarkan nilai fungsi fitness terbesar dan integral area error terkecil.

Tahap awal dalam penelitian ini adalah merancang model *automatic antilock braking system*, yang diadopsi dari penelitian J.R Layne [5].

2.1 Model Automatic Antilock Braking System

Model *automatic antilock braking* diperoleh dengan memodifikasi beberapa parameter *input* pada *antilock braking*. Proses kerja *automatic antilock* berdasarkan proses kerja *antilock braking*, dimana umumnya dimulai ketika sensor kecepatan mendeteksi kecepatan angular roda mendekati nol, kemudian kontroler akan memerintahkan piston rem untuk mengurangi tekanan, lalu ketika sensor kecepatan mendeteksi kecepatan angular roda lebih besar nol, kontroler akan menambahkan tekanan kembali, agar roda tetap berputar. Proses ini berlangsung sangat cepat, bisa mencapai 15 kali/detik [15]. Kontroler ABS mempertahankan slip agar tidak menjadi 1 ($\lambda < 1$). Mempertahankan slip bertujuan untuk menjaga kondisi kecepatan roda tidak jauh berbeda dengan kecepatan laju bodi kendaraan [16].

a. Vehicle Dynamic Mathematic

Model dinamika *antilock braking system* adalah hasil dari hukum *Newton* yang diaplikasikan pada roda dan bodi mobil [5]. Gaya total yang dialami bodi kendaraan selama proses pengereman berlangsung, ekuivalen dengan percepatan bodi dikalikan massa total kendaraan, didefinisikan oleh Persamaan 1.

$$\dot{V}_v = \frac{-1}{M_v} [4F_t(t) + F_v(t) + F_\theta(\theta)] \quad (1)$$

dimana, \dot{V}_v adalah percepatan atau perlambatan dari kendaraan (m/s^2), M_v adalah massa dari kendaraan (kg), $F_v(t)$ adalah gaya aerodinamis yang dilawan oleh mobil (N), $F_t(t)$ adalah gaya traksi (N) dan $F_\theta(\theta)$ adalah gaya dari kemiringan kendaraan dengan permukaan jalan (N). Gaya aerodinamis $F_v(t)$ yang dilawan bodi kendaraan diperoleh dari persamaan:

$$F_v(t) = B_v V_v \quad (2)$$

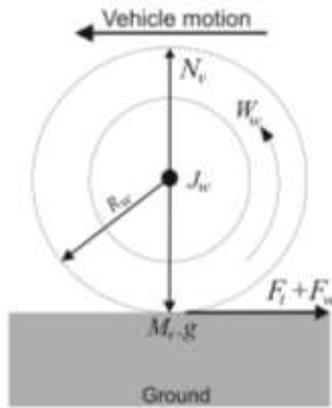
dimana, B_v adalah konstanta aerodinamis bodi kendaraan (Ns), V_v adalah kecepatan linear bodi kendaraan (m/s). $F_\theta(\theta)$ diperoleh dari pergerakan vertikal gradien bodi mobil M_v dikalikan dengan gaya gravitasi vertikal terhadap kemiringan permukaan jalan ($g \sin(\theta)$):

$$F_\theta(\theta) = M_v g \sin(\theta) \quad (3)$$

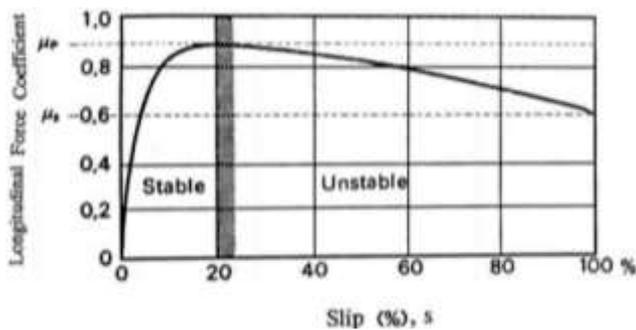
dimana, θ adalah sudut kemiringan terhadap permukaan jalan, g adalah percepatan gravitasi ($kg \ m/s^2$). Besar nilai pada gaya traksi $F_t(t)$ diperoleh dari persamaan:

$$F_t(t) = \mu(\lambda) N_v(\theta) \quad (4)$$

dimana, $\mu(\lambda) = \frac{T_b}{T_t}$, dengan $\mu(\lambda)$ adalah koefisien gesek roda dengan jalan, $N_v(\theta)$ adalah gaya normal vertikal kendaraan dengan pusat gravitasi (N).



Gambar 1. Ilustrasi Pergerakan Roda [9]



Gambar 2. Grafik Kestabilan Ratio Slip Terhadap Koefisien Gesek [18]

Gambar 2 menjelaskan ratio aman (stabil) ketika ratio slip $\leq 20\%$, dan ratio tidak aman (tidak stabil) ketika ratio slip $\geq 20\%$. Untuk memperoleh hubungan antara kecepatan linear bodi kendaraan dan kecepatan angularnya, dapat digunakan persamaan:

$$w_v = \frac{V_v(t)}{R_w} \quad (5)$$

dimana, w_v adalah kecepatan angular bodi kendaraan (rad/s). $V_v(t)$ adalah kecepatan linear kendaraan (m/s), dan R_w adalah radius dari roda kendaraan (m).

b. Wheel Dynamic Mathematic

Persamaan dinamik roda kendaraan diperoleh dari keseluruhan gaya torsi rotasi yang terjadi diroda, sehingga diperoleh Persamaan 6 [5]:

$$\dot{w}_w(t) = \frac{1}{J_w} [-T_b(t) + F_w(t) + T_t(t)] \quad (6)$$

dimana, $\dot{w}_w(t)$ adalah percepatan sudut dari roda (rad/s²), J_w adalah inersia rotasi dari roda (kg m²), $F_w(t)$ adalah gaya dorong angin pada roda (N), $T_b(t)$ adalah torsi pengereman (Nm), $T_t(t)$ adalah torsi yang dihasilkan karena slip antara roda dan jalan (Nm). *Tire torque* yang dialami keempat roda diperoleh dari persamaan:

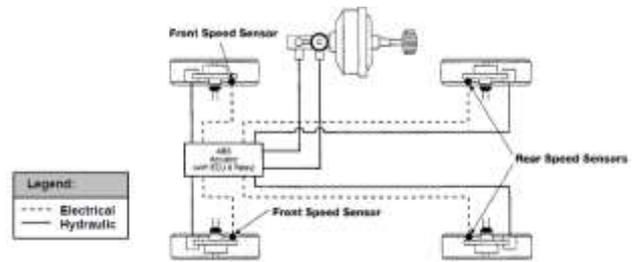
$$T_t(t) = R_w F_t(t) \quad (7)$$

dimana, $F_t(t)$ adalah gaya traksi (N), R_w adalah Jari-jari roda (m). Pengontrolan *antilock braking system*, menjaga

nilai maksimal perubahan koefisien gesek. Umumnya, koefisien gesek μ selama pengereman berlangsung didefinisikan sebagai slip (ketidaklinieran) λ , diperoleh dari persamaan:

$$\lambda(t) = \frac{\omega_v(t) - \omega_w(t)}{\omega_v(t)} \quad (8)$$

dimana, $\lambda(t)$ adalah Ratio Slip pada roda, $\omega_v(t)$ adalah Kecepatan angular bodi kendaraan (rad/s), $\omega_w(t)$ adalah Kecepatan angular roda kendaraan (rad/s). Sketsa *wireline* pada *antilock braking system* ditunjukkan gambar 3.



Gambar 3. Antilock Braking System [13]

Tabel 2 Parameter Automatic Antilock Braking System

Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan
M_v	1368	Kg	Massa bodi kendaraan
R_w	0.330	m	Jari-jari roda kendaraan
J_w	1.13	Nms ²	Inersia rotasi roda kendaraan
B_w	6	Ns	Viscous friction roda kendaraan
B_v	4	Ns	Viscous friction bodi kendaraan
g	9.8	m/s ²	Gaya gravitasi bumi
D_s	0.2	-	Nilai slip diinginkan

2.2 Algoritma Genetika

Proses optimasi yang dijalankan algoritma genetika terhadap parameter himpunan keanggotaan fuzzy ditunjukkan Gambar 4.

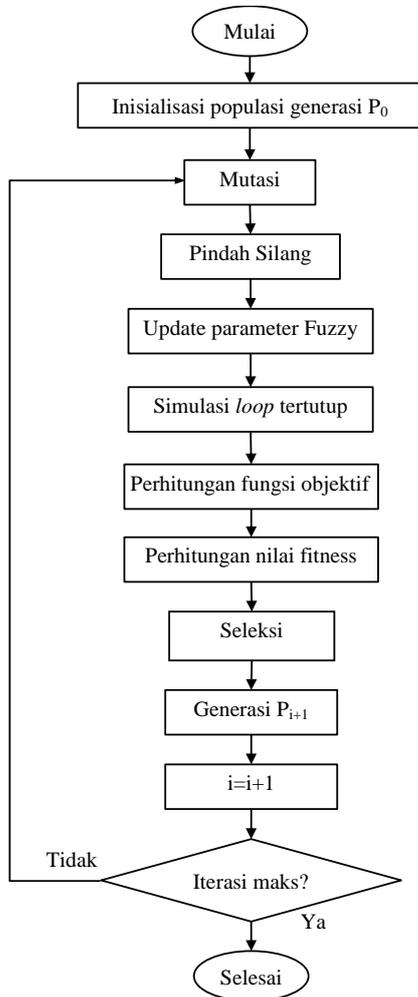
a. Individu

Langkah pertama dalam desain algoritma genetika adalah pembangkitan bilangan random sebagai individu-individu yang mewakili parameter-parameter yang akan dicari. Individu dibangkitkan dengan tipe data *Real-number* desimal dari 0 sampai 1 sejumlah 50 populasi. Pembangkitan individu awal tersebut ditunjukkan sebagai berikut:

0,10	0,18	0,47	0,58	0,84	→ Kromosom 1 (error slip)
0,22	0,31	0,43	0,60	0,98	→ Kromosom 2 (error jarak)
0,03	0,14	0,28	0,50	0,62	→ Kromosom 3 (kecepatan)
0,04	0,19	0,36	0,54	0,63	→ Kromosom 4 (U Brake)
↓	↓	↓	↓	↓	
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	

Gambar 5. Individu Awal pada Algoritma Genetika

Individu yang dibangkitkan adalah matriks 4x5. Dimana sebuah individu dalam populasi awal berisi gen-gen kromosom $X_1, X_2, X_3, X_4,$ dan X_5 yang mewakili *range membership function* yang dinormalisasikan kedalam bilangan desimal range 0-1. Baris ke-1 mewakili domain *membership error Slip*, baris ke-2 mewakili domain *membership error jarak*, baris ke-3 mewakili domain *membership kecepatan*, dan baris ke-4 mewakili domain *membership output* "Ubrake".



Gambar 4. Diagram Alir Proses Optimasi oleh Algoritma Genetika

b. Populasi

Populasi merepresentasikan jumlah individu dalam sebuah generasi. Ketika jumlah individu dalam populasi kecil, proses komputasi dalam algoritma genetika akan lebih cepat, akan tetapi jumlah individu dalam populasi yang sedikit dapat menyebabkan algoritma genetika mengalami *premature convergence*, sedangkan jumlah individu dalam populasi yang besar akan mengurangi efisiensi dalam proses komputasi algoritma genetika. Dalam perancangan ini populasi yang digunakan adalah 50.

c. Fungsi Objektif

Fungsi objektif adalah tujuan yang ingin dicapai dalam sebuah optimasi. Dalam perancangan algoritma genetika ini, fungsi objektif adalah nilai IAE (*Integral Absolute Error*) dari penjumlahan *error slip* ketika optimasi parameter fungsi keanggotaan. Perhitungan nilai IAE berdasarkan persamaan:

$$IAE = \int_{t_i=0}^{t_i} |e(t)| dt \tag{9}$$

d. Fungsi fitness

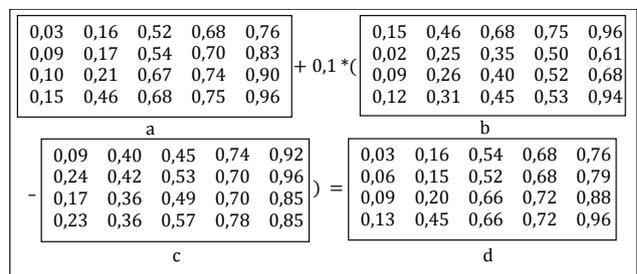
Fungsi *fitness* dipakai sebagai indikator baik atau buruk suatu individu. Semakin besar nilai fungsi *fitness* suatu individu maka semakin baik individu tersebut. Dalam perancangan ini, nilai fungsi *fitness* diberikan oleh persamaan berikut:

$$Fitness = 1000 - IAE \tag{10}$$

e. Mutasi

Mutasi merupakan salah satu cara dalam memanipulasi suatu individu. Proses mutasi dipengaruhi oleh nilai pembobotan F. Nilai F ini berada di antara 0-2 [14]. Nilai F yang terlalu besar akan menyebabkan keanekaragaman yang sangat besar pada populasi sehingga menyulitkan proses pencarian solusi karena daerah solusi yang terlalu luas. Sebaliknya nilai F yang terlalu kecil akan menyebabkan konvergensi yang terlalu cepat dan menyebabkan daerah solusi terlalu sempit sehingga menyulitkan untuk mendapatkan solusi yang tepat. Pada perancangan ini nilai pembobotan F yang dipakai adalah 0,1, agar individu hasil mutasi yang dihasilkan masih mempunyai kemiripan dengan induknya. Proses mutasi pada perancangan algoritma genetika ini dideskripsikan oleh gambar 6 berdasarkan persamaan 11.

$$v_{G+1} = x_{r1,G} + F(x_{r2,G} - x_{r3,G}) \tag{11}$$



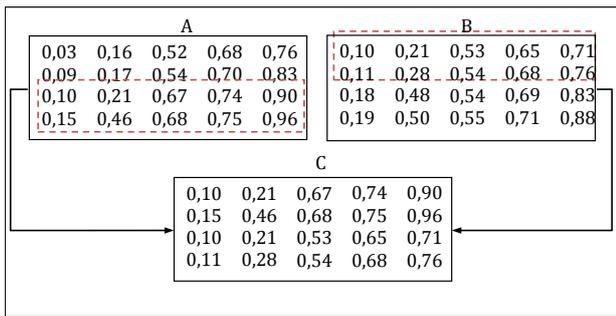
Gambar 6. Proses Mutasi

Keterangan Gambar 6:

- a. Individu yang diambil *random* dari populasi awal.
- b. Individu yang diambil *random* dari populasi awal.
- c. Individu yang diambil *random* dari populasi awal.
- d. Individu hasil proses mutasi

f. Pindah Silang

Proses pindah silang dilakukan terhadap populasi baru hasil mutasi yang didapatkan. Pindah silang dilakukan dengan mengganti setiap gen pada individu yang dipilih secara acak dengan gen dari individu lain yang juga dipilih secara acak. Prosesnya ditunjukkan gambar 7.



Gambar 7. Proses Pindah Silang

Keterangan Gambar 3.14:

- Individu yang diambil *random*, setelah pengecekan individu dari populasi mutasi.
- Individu yang diambil *random*, setelah pengecekan individu dari populasi mutasi.
- Individu hasil proses pindah silang.

g. Seleksi

Proses seleksi adalah bagian sangat penting untuk menentukan solusi yang optimum. Pada perancangan penelitian ini, proses seleksi yang digunakan adalah *elitism*. Pada proses seleksi *elitism*, individu yang terbaik diwariskan ke generasi berikutnya. Dengan cara membandingkan nilai IAE antara individu populasi dengan individu fungsi objektif yang telah dimanipulasi. Dengan demikian, individu terbaik yang memiliki nilai fungsi objektif terkecil dapat diwariskan ke generasi berikutnya.

h. Generasi

Banyaknya generasi pada algoritma genetika merepresentasikan batas akhir dari proses evolusi yang berlangsung. Batas akhir evolusi menghasilkan solusi optimal yang diperoleh algoritma genetika. Dalam perancangan penelitian ini, divariasikan jumlah generasi yang akan diproses, yaitu 20, dan 30. Jumlah generasi ini dipilih untuk melihat seberapa baik dan optimal hasil optimasi parameter fuzzy.

2.3 Kendali Logika Fuzzy

Dalam penelitian ini, perancangan *fuzzy* menggunakan metode Mamdani, yang diaplikasikan menggunakan *fuzzy toolbox* pada MATLAB. Masukan dari *fuzzy* kontrol dibagi atas 3 variabel, yaitu : *error slip*, *error distance*, kecepatan, dan variabel keluaran adalah sinyal kontrol (*Ubrake*) untuk mengatur besar atau kecilnya bukaan pada valve di master silinder.

Tabel 1. Input dan Output Fuzzy untuk Automatic Antilock Braking System

Masukan	Range Masukan	Keluaran	Range Keluaran
<i>Error Distance</i> ("D")	0 sampai 20 meter	Sinyal kontrol ("Ubrake")	-1,5 sampai 1,5
Kecepatan ("Vv")	0 sampai 30 m/s		
<i>Error Slip</i> ("E")	-0,2 sampai 0,2		

a. Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi memetakan masukan dan keluaran dari variabel *crisp* kedalam variabel linguistik. Tidak ada aturan yang baku dalam pemilihan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy*, tetapi penggunaan fungsi keanggotaan harus mewakili karakteristik himpunan *fuzzy* yang dibutuhkan. Lima himpunan keanggotaan awal variabel *error slip* dalam perancangan ini terdiri atas: *VN* (*Very Negative*) pada range dari -0,2 sampai -0,05, *N* (*Negative*) pada range dari -0,1 sampai 0, *Z* (*zero*) pada range dari -0,05 sampai 0,05, *P* (*Positive*) pada range dari 0 sampai 0,1, dan *VP* (*Very Positive*) pada range dari 0,05 sampai 0,2. Lima himpunan keanggotaan awal variabel *error distance* dalam perancangan ini terdiri atas: *VC* (*Very Close*) pada range dari 0-6 meter, *C* (*Close*) pada range dari 2-10 meter, *M* (*Medium*) pada range dari 6-14 meter, *F* (*Far*) pada range dari 10-18 meter, dan *VF* (*Very Far*) pada range dari 14-20 meter. Variabel "Vv" memiliki lima himpunan keanggotaan, dalam perancangan ini terdiri atas: *VS* pada range dari 0-10 m/s, *S* pada range dari 5-15 m/s, *M* pada range dari 10-20 m/s, *F* pada range dari 15-25 m/s, dan *VF* pada range dari 23-30 m/s.

b. Logika Pengambilan Keputusan

Desain *fuzzy rules* berdasarkan pemahaman sistem yang akan dihasilkan dengan logika *fuzzy*. Perancangan logika aturan dikembangkan dengan eksperimen data. Perancangan *rule fuzzy* penelitian ini, menggunakan metode *trial & error*. Dengan 3 *input* (*error distance*, *velocity*, dan *error slip*), operator *AND*, dan masing masing mempunyai masing masing 5 *membership function*, seharusnya diperoleh 125 *rules*. Namun hanya digunakan 105 *rules* dalam perancangan ini.

c. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses perubahan kembali besaran *fuzzy* yang ditampilkan dalam bentuk himpunan-himpunan dengan fungsi keanggotaannya untuk menjadi bentuk data *crisp* (nilai sebenarnya/ nilai tegas). Proses perubahan data *fuzzy* menjadi data *crisp* diperlukan karena *plant* hanya mengenal nilai tegas yang sesungguhnya sebagai besaran untuk regulasi prosesnya. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode *centroid*, dikenal sebagai metode *COA* (*center of area*) atau metode *Center of Gravity*. Pada metode ini nilai *crisp* keluarannya diperoleh berdasarkan titik berat dari kurva hasil proses pengambilan keputusan.

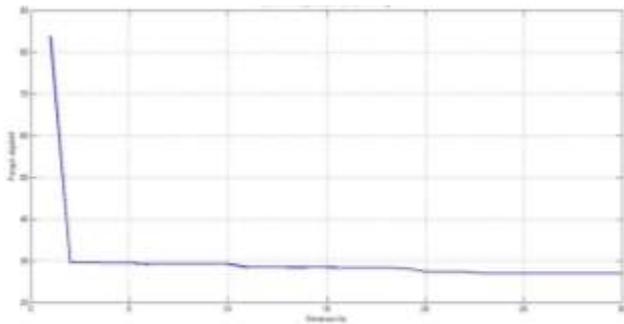
3. Hasil Dan Analisa

Pengujian pada sistem Automatic Antilock Braking System dibagi atas beberapa tahap, yaitu : pengujian fungsi keanggotaan *Fuzzy* yang dioptimasi Algoritma Genetika dalam dua kondisi aspal, pengujian kontroler *Genetic Fuzzy* dibandingkan kontroler *Fuzzy* pada kondisi aspal kering, dan pengujian kontroler *Genetic Fuzzy* dibandingkan kontroler *Fuzzy* pada kondisi aspal basah. Pengujian masing-masing kontroler dikondisi jalan yang

berbeda-beda, akan menunjukkan performa kontroler yang terbaik.

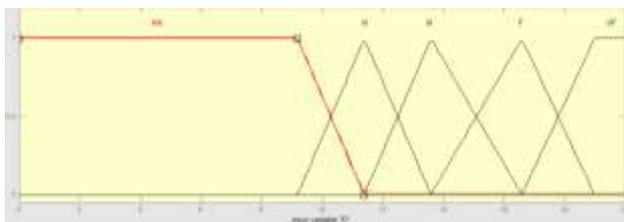
3.1 Hasil Optimasi Membership Function Fuzzy (Aspal Kering)

Parameter himpunan keanggotaan pada perancangan awal logika fuzzy, dioptimasi dengan memvariasikan beberapa generasi. Hal ini bertujuan untuk memperoleh konvergensi nilai fungsi objektif yang terbaik. Setelah dilakukan pengujian, diperoleh parameter himpunan keanggotaan terbaik untuk kondisi aspal kering, adalah sebanyak 30 generasi. Gambar 8 menunjukkan konvergensi nilai fungsi objektif yang dicapai algoritma genetika.

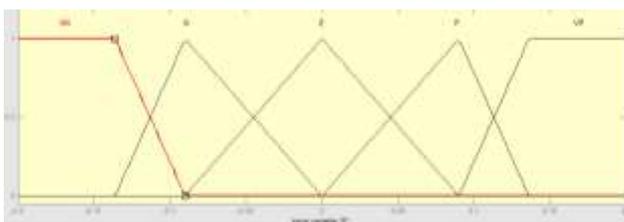


Gambar 8. Grafik Konvergensi Fungsi Objektif (Aspal Kering)

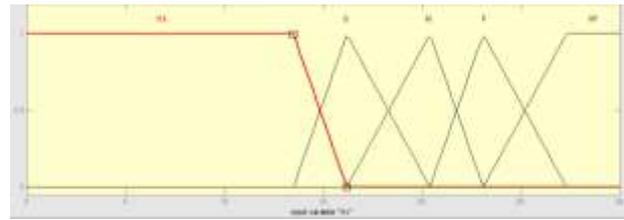
Fungsi keanggotaan fuzzy setelah dioptimasi oleh algoritma genetika ditunjukkan oleh gambar 9.



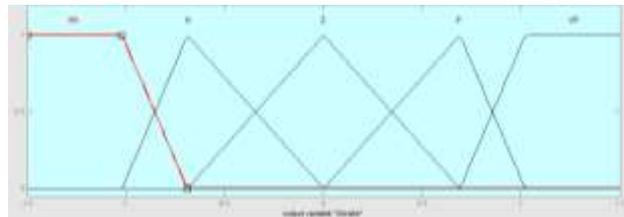
a) Error Distance



b) Error Slip



c) Kecepatan



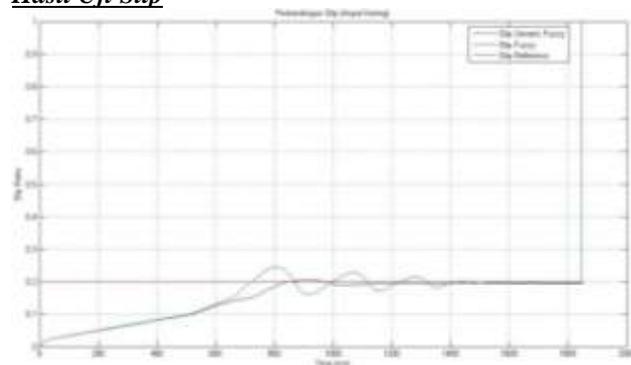
d) Output Ubrake

Gambar 9. Fungsi Keanggotaan Fuzzy Hasil Optimasi Algoritma Genetika (Aspal Kering)

3.2 Pengujian Genetic Fuzzy pada Kondisi Aspal Kering

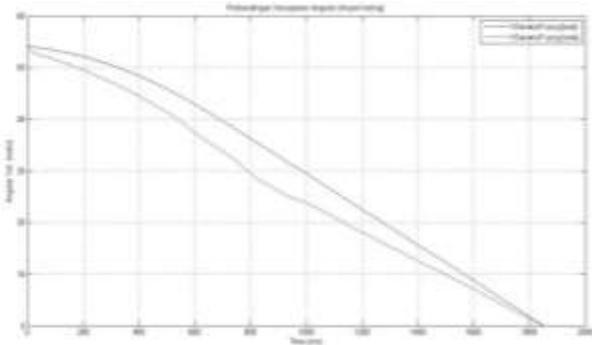
Parameter himpunan keanggotaan teroptimal telah didapat setelah proses optimasi algoritma dipengujian pertama. Pengujian *genetic fuzzy* ini bertujuan untuk mengetahui respon keluaran sistem setelah dioptimasi oleh algoritma genetika. Pada bagian ini keluaran sistem yang berupa *slip* roda akan diamati, dan dibandingkan antara *genetic fuzzy* dan *fuzzy*. Serta dibandingkan kecepatan dan jarak berhenti antara *genetic fuzzy* dan *fuzzy*. Perbandingan keluaran sistem dari masing-masing kontroler akan menunjukkan performa terbaik yang dapat menyesuaikan kondisi aspal kering.

Hasil Uji Slip

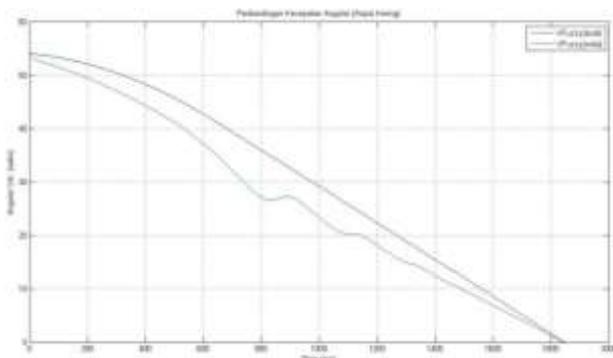


Gambar 10. Perbandingan Slip dari kontroler Genetic Fuzzy dengan Fuzzy

Hasil Uji Kecepatan Angular

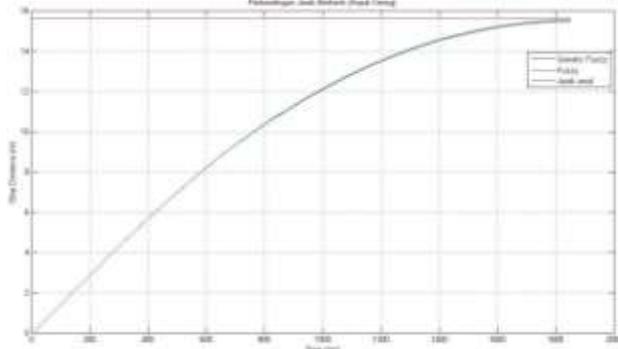


Gambar 11. Kecepatan Angular dari Kontroler Genetic Fuzzy



Gambar 12. Kecepatan Angular dari kontroler Fuzzy

Hasil Uji Jarak Berhenti Pengereman

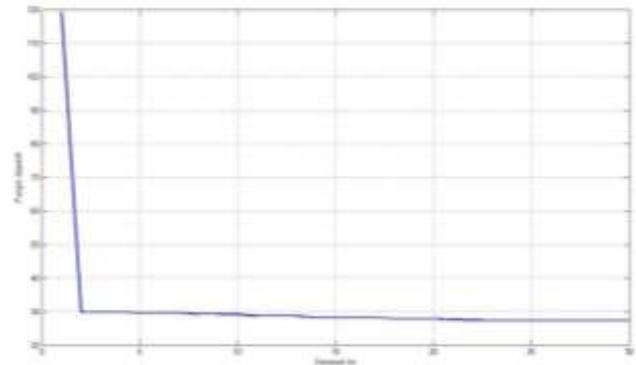


Gambar 13. Perbandingan Jarak Berhenti dari Kontroler Genetic Fuzzy dan Fuzzy

3.3 Hasil Optimasi Parameter Membership Function Fuzzy (Aspal Basah)

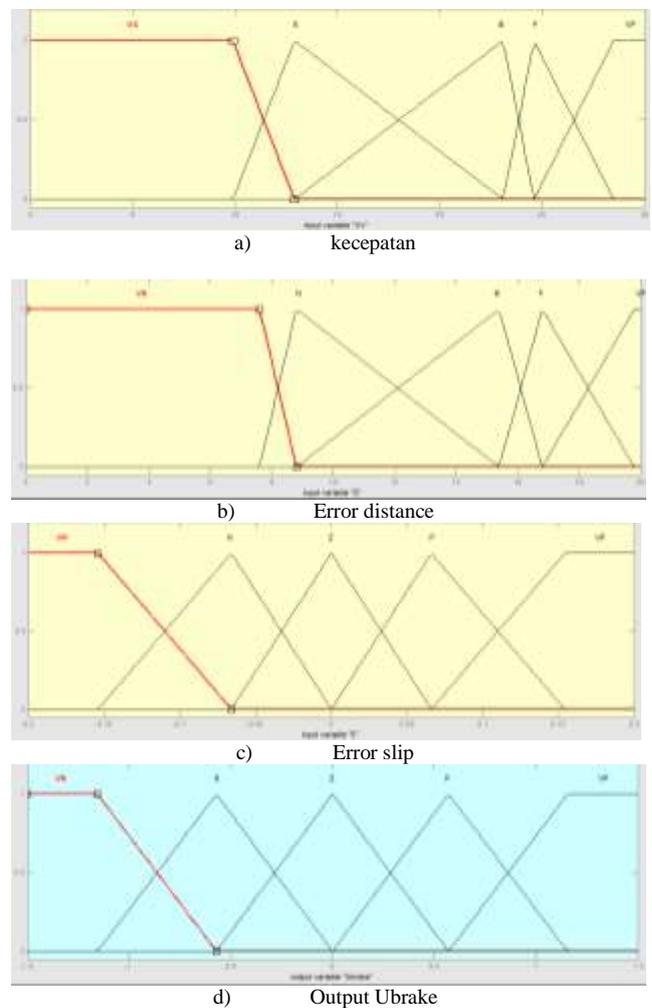
Pengujian fungsi keanggotaan fuzzy teroptimal pada kondisi aspal basah diperlukan, mengingat parameter koefisien friksi kondisi aspal basah tidak sama dengan aspal kering. Parameter koefisien aspal basah dimasukkan pada *automatic antilock braking*, kemudian dilakukan pengujian dengan memvariasikan generasi yang telah dilakukan sebelumnya. Parameter himpunan keanggotaan

teroptimal diperoleh pada 30 generasi. Gambar 14 menunjukkan konvergensi nilai fungsi objektif yang dicapai algoritma genetika.



Gambar 14. Grafik Konvergensi Fungsi Objektif (Aspal Basah)

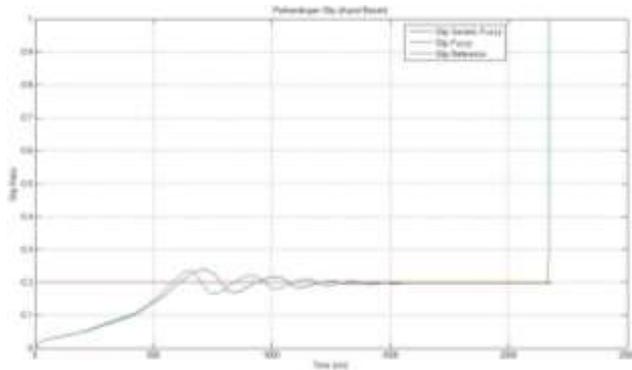
Fungsi keanggotaan fuzzy setelah dioptimasi algoritma genetika pada kondisi aspal basah ditunjukkan gambar 15.



Gambar 15. Fungsi Keanggotaan Fuzzy Hasil Optimasi Algoritma Genetika (Aspal Basah)

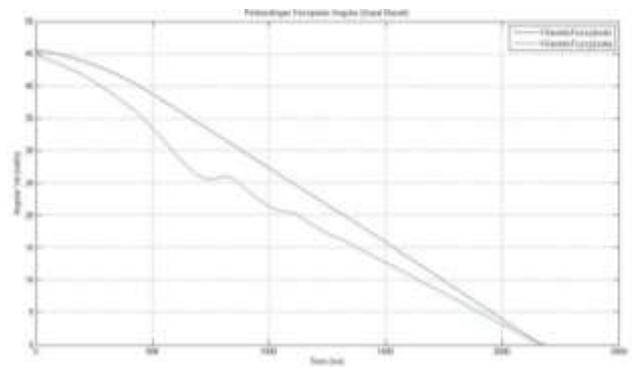
3.4 Pengujian Genetic Fuzzy pada Kondisi Aspal Basah

Hasil Uji Slip

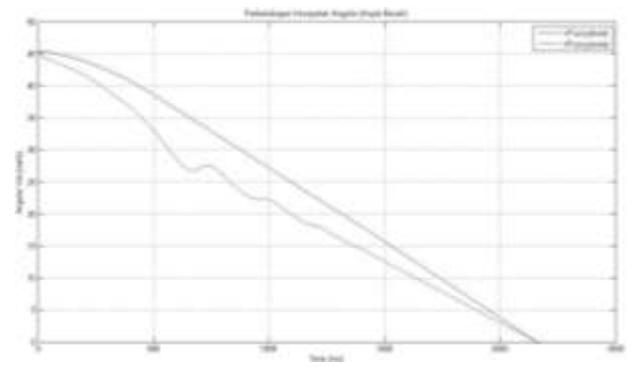


Gambar 16. Perbandingan Slip (Aspal Basah)

Hasil Uji Kecepatan Angular

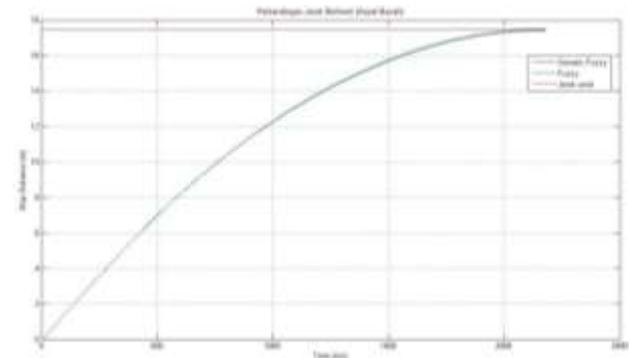


Gambar 17. Kecepatan Angular dari kontroler Genetic Fuzzy



Gambar 18. Kecepatan Angular dari Kontroler Fuzzy

Hasil Uji Jarak Berhenti Pengereman



Gambar 19. Perbandingan Jarak Berhenti (aspal Basah)

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi yang dilakukan pada penelitian ini, kontroler Genetic-Fuzzy yang didesain mampu beroperasi optimal pada permukaan aspal kondisi kering. Proses optimasi oleh algoritma genetika menunjukkan nilai *fitness* teroptimal sebesar 973,0213 pada kondisi aspal kering. Dan dikondisi yang sama, IAE kontroler Genetic Fuzzy sebesar 0,095 lebih kecil dibandingkan kontroler fuzzy sebesar 0,099. Kecepatan akhir 0 rad/s dicapai kedua kontroler masing masing pada detik ke 1,85 s dan 1,846 s. Jarak berhenti yang diraih kontroler Genetic Fuzzy sejauh 15,6 m dan kontroler fuzzy sejauh 15,52 m. Sayangnya, ketika permukaan aspal kondisi basah, hasil kurang optimal didapat kontroler Genetic Fuzzy. Dimana, IAE dari kontroler genetic fuzzy sebesar 0,0806 lebih besar dibandingkan IAE kontroler Fuzzy sebesar 0,0802, dan kecepatan angular akhir 0 rad/s mampu dicapai kontroler fuzzy didetik ke 2,174 s, sedangkan kontroler genetic fuzzy didetik yang bersamaan masih memiliki kelajuan. Jarak berhenti pada kondisi aspal basah, kontroler genetic fuzzy mencapai 17,46 m sedangkan kontroler fuzzy mencapai 17,39 m.

Referensi

- [1]. Kompas, "Kelas Menengah Indonesia jadi Pasar yang Seksi", <http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2014/08/28/055300626/Kelas.Menengah.Indonesia.jadi.Pasar.yang.Seksi>, diakses 4 februari 2015.
- [2]. Badan Pusat Statistik, "Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia tahun 2008-2012", http://www.bps.go.id/tab_sub/view.php?tabel=1&id_sub_yek=17¬ab=12, diakses 4 februari 2015.

- [3]. Badan Pusat Statistik, "Jumlah Kecelakaan Kendaraan Bermotor di Indonesia tahun 2008-2012", http://www.bps.go.id/tab_sub/view.php?kat=2&tabel=1&daftar=1&id_subyek=17¬ab=14, diakses 4 februari 2015.
- [4]. Sabey, Taughton S., and Geoffrey. Grime, *Handbook of Road Safety Research*, Great Britain: Butterworth and Co.,1975.
- [5]. Layne, J. R., K. M. Passino, and S. Yurkovich, "Fuzzy learning control for antiskid braking system", *IEEE Trans.Contr. Syst. Technol.*, vol.1, pp. 122-129, June 1993.
- [6]. Mauer, G. F., "A fuzzy logic controller for an ABS Braking System", *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol.3, pp.381-388, Aug.1995.
- [7]. Lee, C. C., "Fuzzy Logic in Control System: Fuzzy Logic Controller Part I", *IEEE Trans.On Syst., Man, And Cybernetics*, Vol.20 No.2, April 1990.
- [8]. Kueon, Y. S., and J. S. Bedi, "Fuzzy-Neural-Sliding Mode Controller and Its Application to the Vehicle Anti-Lock Braking System", *Proc. IEEE/IAS Conf. Industrial Automation and Control: Emerging Technology*, pp.391-398, 1995.
- [9]. Lin, C. M., and C. F. Hsu, "Self-Learning Fuzzy Sliding-Mode Control for Antilock Braking System", *IEEE Trans. On Control System Tech.*, Vol.11(2), pp.273-278, Maret 2003.
- [10]. Safitri, Meilia, "Perancangan Sistem Kendali Genetic-Fuzzy: Studi Kasus pada Pengendalian Top and Side End Point Composition dan Bottom Refluks Temperature pada Distillation Column", Penelitian S-1, Universitas Diponegoro, 2012.
- [11]. Ahmaliansyah, R., "Desain Kontroler Fuzzy pada Model Automatic Braking System dengan Antilock", Penelitian S-1, Universitas Diponegoro, 2013.
- [12]. Beal, C. E., "Application of Model Predictive Control to Vehicle Dynamics for Active Safety and Stability", Doctoral Dissertation, Stanford University, 2011.
- [13]. Yoo, D. K., "Model Based Wheel Slip Control via Constrained Optimal Algorithm", Master Thesis, School of Electrical and Computer Engineering, RMIT University, 2006.
- [14]. Gharaveisi, A. A., M. A. Sadrnia, and M. Rashidi-Njad, "Robust Controller Design for Anti-lock Braking System", Iran.
- [15]. Naderi, P., A. Farhadi, M. Mirsalim, and T. Mohammadi, "Anti-Lock and Anti-Slip Braking System, Using Fuzzy Logic and Sliding Mode Control", Teheran, Iran.
- [16]. Nice, Karim, "How Anti-Lock Brakes Work", <http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/anti-lock-brake.htm>, diakses pada 4 februari 2015.