

Penggunaan Algoritma Genetik Untuk Perancangan Sistem Suspensi Optimal Pada Model Kendaraan Seperempat

Eri Nurcahyanto (L2F 099 601)
E-mail : ery_nch@yahoo.com

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

Abstrak—Sistem suspensi memegang peranan yang sangat penting untuk memperoleh kriteria keamanan dan kenyamanan dalam berkendara. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk merancang sistem suspensi yang dapat memberikan keamanan dan kenyamanan yang lebih baik dengan mendapatkan redaman yang tinggi dan defleksi yang kecil akibat adanya gangguan ketidakrataan jalan.

Pada tugas akhir ini Algoritma Genetik sebagai sebuah mekanisme optimasi digunakan untuk perancangan sistem suspensi pasif pada model kendaraan seperempat. Algoritma Genetik adalah suatu algoritma pencarian yang meniru mekanisme dari genetika alam. Dalam perancangan dilakukan pencarian parameter k_s (koefisien kekakuan pegas suspensi) dan c_s (koefisien peredam suspensi) dengan meminimalkan percepatan maksimum lenting vertikal suspensi dan meminimalkan rata-rata defleksi suspensi.

Dari hasil pengujian yang dilakukan, hasil optimasi sangat dipengaruhi oleh konstanta α (faktor pembobot) dari fungsi objektif. Hasil optimal diperoleh dengan $\alpha=100$, yang memberikan nilai parameter $k_s=41821$ N/m dan $c_s=68574$ N.s/m serta keluaran rata-rata defleksi sebesar 0.009264 m dan maksimum percepatan vertikal sebesar 15.5707 m/s². Bila dibandingkan dengan referensi yang menggunakan metode optimasi proyeksi gradien dan sistem suspensi lain, hasil dengan algoritma genetik memberikan faktor kenyamanan yang lebih baik

Kata Kunci—Algoritma Genetik, Sistem Suspensi

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kendaraan yang memiliki faktor kenyamanan dan keamanan yang baik akan menjadi salah satu syarat utama dalam pemilihan kendaraan disamping faktor harga. Permasalahan utama dalam kenyamanan berkendara didasarkan pada sensasi yang diterima pengendara yang disebabkan oleh getaran badan kendaraan yang diinduksi dari berbagai sumber seperti permukaan jalan yang tidak rata, getaran dari mesin kendaraan dan keadaan ban dari kendaraan.

Sistem suspensi yang merupakan faktor utama penunjang kenyamanan berkendara adalah komponen yang mengisolasi atau melindungi badan kendaraan dari gangguan yang diakibatkan oleh eksitasi jalan. Dengan penggunaan suspensi yang baik diharapkan dapat diperoleh kenyamanan, keandalan mekanik, dan masa pakai yang panjang. Kondisi ideal yang ingin diperoleh

dalam kenyamanan adalah kabin kendaraan diam di tempat, meskipun ada gangguan yang berupa ketidakrataan permukaan jalan, meskipun kondisi ini sangat sulit dicapai. Untuk itu perlu dirancang suatu suspensi yang mampu memberikan peredaman yang cepat dan defleksi yang kecil sehingga diperoleh kriteria kenyamanan dan keamanan yang diinginkan.

Pada tugas akhir ini dilakukan perancangan sistem suspensi pasif yang didasarkan pada model kendaraan seperempat dengan menggunakan algoritma genetik. Algoritma genetik adalah suatu algoritma pencarian yang meniru mekanisme dari genetika alam. Algoritma ini dapat dipakai untuk mendapatkan solusi yang tepat untuk masalah optimal dari satu variabel atau multi variabel. Pada tugas akhir ini algoritma genetik digunakan sebagai teknik optimasi untuk mencari nilai koefisien kekakuan pegas (k_s) dan koefisien peredam suspensi (c_s) yang optimal dengan kriteria meminimalkan percepatan maksimum lenting vertikal suspensi dan meminimalkan rata-rata defleksi suspensi.

1.2 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dalam tugas akhir ini adalah mendapatkan sistem suspensi yang optimal dengan cara mencari nilai k_s (koefisien kekakuan pegas suspensi) dan c_s (koefisien peredam suspensi) dengan meminimalkan percepatan maksimum lenting vertikal suspensi dan meminimalkan rata-rata defleksi suspensi

1.3 Pembatasan Masalah

Karena kompleksnya permasalahan, maka pada tugas akhir ini dilakukan pembatasan-pembatasan sebagai berikut:

1. Model kendaraan yang digunakan adalah model kendaraan seperempat dengan dua derajat kebebasan dan komponennya bersifat linier.
2. Tidak membahas struktur atau bagian sistem suspensi pada sistem nyata, tetapi hanya menggunakan model sistem suspensi dan tidak membahas juga kestabilan sistem.
3. Nilai parameter yang dioptimalkan adalah k_s (koefisien kekakuan pegas suspensi) dan c_s (koefisien peredam suspensi) dengan fungsi objektif meminimalkan percepatan maksimum lenting vertikal suspensi dan meminimalkan rata-rata defleksi suspensi.

4. Dalam proses optimasi, tidak mempertimbangkan faktor-faktor kesehatan dan faktor ekonomi dalam perancangan.
5. Sebagai pembandingan hasil perancangan adalah sistem *hard configuration*, *soft configuration*, dan hasil dengan metode proyeksi gradien tanpa membahas metode proyeksi gradien.
6. Metode algoritma genetik yang digunakan adalah model SGA (*Simple Genetic Algorithm*).
7. Perancangan dan analisis sistem yang dibuat menggunakan program bantu MATLAB.

II. SISTEM SUSPENSİ

2.1 Fungsi dan Struktur

Berdasarkan fungsinya, suspensi adalah komponen yang mengisolasi badan kendaraan dari gangguan yang diakibatkan oleh gaya eksitasi jalan yang diinduksikan secara langsung ke pengendara dan menjaga ban agar tetap melekat pada jalan^[9].

Pada dasarnya parameter dinamik benda tegar suatu kendaraan terdiri dari dua sistem masa, yaitu massa *sprung* dan massa *unsprung*^[9]. Adapun yang dimaksud dengan massa *sprung* didefinisikan sebagai bagian massa dari kendaraan yang disangga oleh sistem suspensi, yang termasuk massa *sprung* adalah badan kendaraan, penumpang, kargo/muatan yang semuanya merupakan besaran yang berubah. Sedangkan yang dimaksud dengan massa *unsprung* didefinisikan sebagai bagian yang berada di antara roda dan sistem suspensi, yang termasuk massa *unsprung* adalah poros roda (*velg*), perangkat rem, dan massa ban.

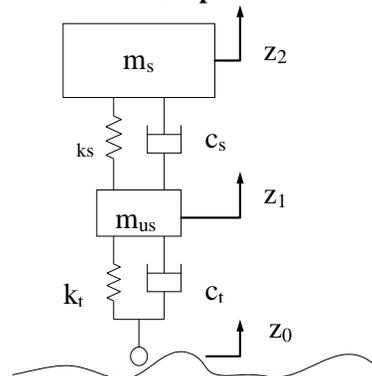
2.2 Jenis Suspensi

Umumnya suspensi kendaraan terdiri dari komponen pasif, yaitu komponen pegas dan komponen peredam^[18], yang disebut sebagai sistem suspensi pasif. Sistem suspensi pasif adalah sistem suspensi konvensional yang terdiri dari pegas, peredam dan sistem roda. Sistem ini mempunyai karakteristik tidak adanya sumber daya dari luar. Reaksi yang diberikan karena faktor tidak rata jalan akan diberikan secara otomatis dan tidak ada kontrol aktif yang diberikan oleh reaksi tersebut.

Di samping komponen pasif, dewasa ini banyak digunakan juga komponen aktif yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas redaman^[18]. Ada dua jenis sistem yang menggunakan komponen aktif, yaitu sistem suspensi aktif dan sistem suspensi semi aktif. Pada sistem suspensi aktif hanya menggunakan komponen aktif saja tanpa komponen pasif. Keuntungan menggunakan sistem suspensi aktif adalah getaran yang timbul pada kendaraan akibat keadaan permukaan jalan yang tidak rata dapat dikurangi dan peredam getaran dapat menyesuaikan dengan kondisi jalan yang ada. Kekurangan sistem ini adalah sistem suspensi tidak

dapat berfungsi apabila sistem pengontrol mengalami kerusakan. Jenis yang lain adalah sistem suspensi semi aktif. Sistem ini masih menggunakan sistem suspensi konvensional dengan menambah peredam yang dapat diatur. Keuntungan sistem ini adalah sistem masih dapat berfungsi ketika sistem pengontrol mengalami kegagalan

2.3 Pemodelan Sistem Suspensi



Gambar 1 Model kendaraan seperempat^{[9] [22]}

Model kendaraan seperempat seperti pada gambar 1 terdiri dari massa *sprung* yang ditopang oleh sistem suspensi yang mempunyai koefisien kekakuan dan karakteristik peredam, yang dihubungkan dengan massa *unsprung* pada poros. Roda dimodelkan sebagai sebuah pegas dan kadang-kadang ditambahkan dengan sebuah peredam. Model kendaraan seperempat hanya digunakan untuk menganalisis perilaku dinamis pada arah vertikal.

Persamaan matematis dari model kendaraan seperempat dengan dua derajat kebebasan dapat diturunkan dengan menggunakan prinsip Hukum Fisika Newton, sehingga didapatkan persamaan ruang keadaan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & -1 \\ -\frac{k_s}{m_s} & -\frac{c_s}{m_s} & 0 & \frac{c_s}{m_s} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_s}{m_{us}} & \frac{c_s}{m_{us}} & -\frac{k_t}{m_{us}} & -\frac{c_t + c_s}{m_{us}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{k_t}{m_{us}} & \frac{c_t}{m_{us}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_0 \\ \dot{z}_0 \end{bmatrix}$$

III. ALGORITMA GENETIK

Algoritma genetik pertama kali diperkenalkan oleh John Holland dari Universitas Michigan pada tahun 1975 dengan dipublikasikan tulisannya berjudul "*Adapted in Natural and Artificial System*". Dalam tulisan tersebut dijelaskan bahwa algoritma genetik sangat cocok digunakan untuk memecahkan masalah optimasi kompleks dan juga untuk aplikasi yang membutuhkan pemecahan masalah adaptif. Sehingga dengan beberapa keunggulan tersebut, algoritma

genetik diterima pada berbagai kalangan dan telah diaplikasikan pada berbagai bidang^[5].

3.1 Pendekatan Algoritma Genetik

Algoritma genetik merupakan metode pencarian stokastik yang diilhami oleh proses biologi yang dapat diterapkan pada sebagian besar permasalahan. Algoritma genetik memodelkan mekanisme seleksi alam dan proses genetik untuk menunjang suatu pencarian seperti cara-cara alam dalam menyelesaikan permasalahan adaptasi organisme untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya^[14].

Algoritma genetik merupakan teknik pencarian stokastik yang diilhami oleh mekanisme evolusi dan genetik alam. Populasi dari kandidat-kandidat solusi, atau individual, dipertahankan dan berkompetisi untuk dapat bertahan hidup. Individu yang lebih kuat mempunyai kesempatan yang lebih besar untuk menghasilkan individu baru (keturunannya) daripada individu yang lebih lemah. Individu baru tersebut dihasilkan melalui rekombinasi, kemudian melalui proses mutasi akan sifat-sifat dari tiap induk akan terwarisi sehingga pilihan kandidat solusi lebih banyak. Pada tahap selanjutnya, keturunan tersebut berkompetisi juga dengan induknya. Pertambahan populasi dari induk-induk yang terbaik tersebut selanjutnya akan menghasilkan keturunan yang baik dan menghilangkan individu yang lemah.

Algoritma genetik memiliki perbedaan yang mendasar dengan metode pencarian solusi optimal berbasis model matematika kalkulus, perbedaan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Mekanisme optimasi algoritma genetik bekerja berdasarkan kromosom, dimana setiap kromosom menyimpan informasi parameter-parameter tersebut.
2. Proses pencarian solusi optimal pada mekanisme algoritma genetik tidak dilakukan pada satu titik pencarian, tetapi pada sekumpulan titik pencarian.
3. Algoritma genetik tidak membutuhkan prosedur-prosedur matematis dalam mencari solusi optimal tetapi algoritma genetik menggunakan informasi langsung dari hasil transfer tiap-tiap parameternya ke suatu fungsi yang dapat mewakili tujuan dari proses optimasi yang sedang dilakukan.
4. Mekanisme genetik digunakan dalam pemrosesan kode parameter suatu permasalahan, melalui proses seleksi, rekombinasi dan mutasi untuk memperoleh solusi optimal.
5. Proses pencarian solusi optimal menggunakan metode algoritma genetik menggunakan titik acuan sembarang, untuk menghindari solusi optimal lokal.
6. Mekanisme pencarian terbimbing diberikan melalui penilaian terhadap kualitas kode atau kromosom yang dimiliki oleh setiap individu dalam suatu generasi.

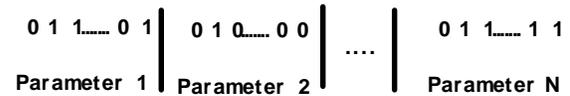
3.2 Mekanisme Algoritma Genetik

Proses algoritma genetik memiliki suatu tahapan siklus sederhana sebagai berikut :

1. Membentuk suatu populasi string awal secara acak.
2. Mengevaluasi masing-masing awal.
3. Memilih string terbaik.
4. Memanipulasi string-string tersebut secara genetik untuk menghasilkan populasi string baru.

3.3 Teknik Penyandian

Implementasi permasalahan dalam algoritma genetik dimulai dari pengkodean parameter. Parameter ini merupakan parameter dari fungsi objektif yang dikodekan dengan angka biner yang panjangnya dapat ditentukan sesuai dengan kepresisian nilai parameter^[13].



Gambar 2 Susunan bit-bit kromosom

Pendekodean nilai parameter dilakukan sebagai berikut.

$$(Decode)_k = \sum_{i=0}^{L_k} (b_i \times 2^{L_k-i})$$

dengan:

$(Decode)_k$ = nilai dekode biner parameter ke k .

b_i = bit ke i .

L_k = panjang biner parameter ke k .

$$\pi_k = \frac{(U_{max})_k - (U_{min})_k}{2^{L_k} - 1}$$

$$X_k = [(Decode)_k \times \pi] + (U_{min})_k$$

dengan:

$(U_{max})_k$ = batas atas bilangan riil parameter ke k .

$(U_{min})_k$ = batas bawah bilangan riil parameter ke k .

L_k = panjang biner parameter ke k .

X_k = nilai riil parameter ke k .

3.4 Fungsi Objektif dan Fungsi Fitness

Fungsi objektif merupakan fungsi yang akan dicari nilai maksimal atau minimalnya. Contoh aplikasi algoritma genetik pada tugas akhir ini adalah pencarian nilai optimal dari parameter sistem suspensi pasif yaitu dengan meminimalkan rata-rata defleksi dan meminimalkan maksimal percepatan lenting vertikal suspensi.

Fungsi *fitness* merupakan pemetaan fungsi objektif dari masalah yang akan diselesaikan dan merupakan fungsi yang digunakan untuk menilai kualitas dari individu terhadap permasalahan yang telah didefinisikan dan selalu bernilai positif.

1. **Fitness Proporsional (*Proportional Fitness*)**
 Pada fitness proporsional nilai fitness dihitung relatif terhadap seluruh individu dalam satu populasi.

$$F(x_i) = \frac{f(x_i)}{\sum_{i=1}^{N_{ind}} f(x_i)}$$

x_i = nilai fenotip individu
 N_{ind} = jumlah individu
 $f(x_i)$ = fungsi objektif
 $F(x_i)$ = fungsi fitness

2. **Fitness Transformasi Linear (*Linear Transformation Fitness*)**

Fitness Transformasi Linear dinyatakan dengan:

$$F(x_i) = a \times f(x_i) + b$$

a adalah faktor penskala bernilai positif jika positif jika maksimasi dan negatif jika minimasi. b adalah ofset yang digunakan untuk memastikan nilai fitness bernilai positif.

3. ***Linear Ranking***

Pembatasan laju reproduksi pada algoritma genetik sangat perlu, sehingga tidak ada individu yang bereproduksi dan menghasilkan anak yang berlebihan dan mencegah konvergensi yang terlalu dini. *Linear ranking* diharapkan dapat mengatasi permasalahan ini yang dinyatakan dengan :

$$F(x_i) = 2 - SP + 2 \times (SP - 1) \times \left(\frac{x_i - 1}{N_{ind} - 1} \right)$$

SP = *selective pressure* [1.0, 2.0]
 x_i = posisi terurut dalam suatu generasi
 N_{ind} = jumlah individu
 $F(x_i)$ = nilai fitness

3.5 Seleksi

Proses seleksi akan menentukan individu-individu mana saja yang akan dipilih untuk dilakukan rekombinasi dan bagaimana *offspring* terbentuk dari individu-individu terpilih tersebut.

1. ***Roulette Wheel Selection (RWS)***
Roulette Wheel Selection merupakan metode penseleksian individu secara probabilistik berdasarkan performansi tiap individu. Seleksi RWS dilakukan seperti pembuatan piringan *roulette* yang memiliki *slot-slot*.
2. ***Stochastic Universal Sampling (SUS)***
 Mirip seperti *Roulette Wheel Selection*, *Stochastic Universal Sampling* menggunakan N buah *pointer* dengan spasi sama pada segmen garis tempat probabilitas individu diseleksi dipetakan, dimana N adalah jumlah individu terseleksi yang diharapkan. Jarak antar *Pointer (space)* dinyatakan dengan:

$$space = \frac{1}{N_{pointer}}$$

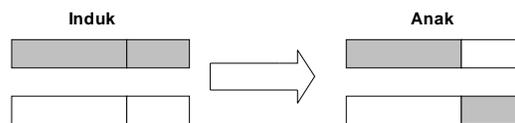
posisi *pointer* pertama dipilih dengan merandom bilangan riil dalam interval $[0, space]$.

3.6 Operator-operator Algoritma Genetik

Algoritma Genetik bekerja dengan mengevaluasi dan memanipulasi kandidat-kandidat solusi, berupa string-string individu, dengan menggunakan operasi-operasi genetik. Operator genetik berperan terhadap setiap string individu dalam populasi sehingga dihasilkan individu baru yang lebih baik untuk generasi selanjutnya.

3.6.1 Pindah Silang (*Crossover*)

Pindah silang bertujuan menambah keanekaragaman individu dalam populasi dengan mengawinkan individu-individu dalam populasi (P_t) sehingga menghasilkan keturunan berupa individu-individu baru (*offspring*) untuk ditempatkan dalam populasi (P_{t+1}). Individu baru akan memiliki bagian dari struktur kedua induknya.



Gambar 3 Proses *crossover*

3.6.2 Mutasi

Mutasi adalah operator genetik yang merubah satu atau lebih gen – gen dalam sebuah kromosom dari bentuk aslinya dan menghasilkan sebuah gen baru.

kromosom semula	1	0	1	1	0	0	1	1	1
kromosom termutasi	1	0	1	1	1	0	0	1	1

Gambar 4 Mutasi kromosom

3.7 Reinsersi

Reinsersi dapat didefinisikan sebagai proses untuk menjaga ukuran dari populasi asli, baik pada saat populasi kekurangan maupun kelebihan individu. Proses ini juga dapat didefinisikan sebagai skema yang digunakan untuk untuk menentukan individu yang pantas dipertahankan dalam populasi yang baru.

3.8 Kriteria Terminasi

Karena algoritma genetik merupakan metode pencarian stokastik, maka sangat sulit menentukan kriteria kovergensi atau optimasi. Cara yang banyak digunakan adalah dengan menentukan jumlah generasi. Setelah generasi terakhir dicapai kemudian individu terbaik dari generasi tersebut dicoba untuk menyelesaikan permasalahan yang telah didefinisikan.

IV. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

4.1 Sistem Suspensi

Model suspensi yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah model kendaraan seperempat dengan komponennya bersifat linier. Model ini adalah model yang paling sederhana dan secara mendasar digunakan untuk menganalisis respon dinamis sistem terhadap gangguan yang berupa ketidakrataan jalan. Dalam perancangan ini akan dicari nilai k_s (koefisien kekakuan pegas suspensi) dan c_s (koefisien peredam suspensi) dengan meminimalkan rata-rata defleksi suspensi dan percepatan maksimum lenting vertikal suspensi.

Keluaran yang dicari adalah defleksi suspensi dan percepatan lenting vertikal suspensi yang akan digunakan sebagai fungsi tujuan.

$$y_1 = z_2 - z_1$$

$$= x_1$$

dengan y_1 adalah defleksi suspensi.

$$y_2 = z_2$$

$$= x_2$$

$$= -\frac{k_s}{m_s} x_1 - \frac{c_s}{m_s} x_2 + \frac{c_s}{m_s} x_4$$

dengan y_2 adalah percepatan lenting vertikal suspensi.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-k_s}{m_s} & \frac{-c_s}{m_s} & 0 & \frac{c_s}{m_s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$$

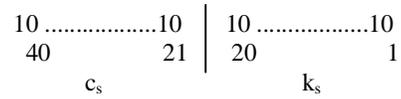
Parameter sistem suspensi lain yang digunakan pada model suspensi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Nilai parameter sistem [20]

Parameter	Harga
massa kendaraan/ <i>sprung</i> (m_s)	1500 kg
massa ban/ <i>unsprung</i> (m_{us})	50 kg
koefisien kekakuan ban (k_t)	200000 N/m
koefisien peredam ban (c_t)	850 N.s/m

4.1 Teknik Pengkodean Parameter Optimasi

Algoritma genetik yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah *Simple Genetic Algorithms* (SGA). Implementasi permasalahan untuk solusi sistem dengan menggunakan algoritma genetik dimulai dengan teknik pengkodean parameter (*encoding*). Dalam perancangan sistem suspensi ini pengkodean dilakukan terhadap parameter k_s dan c_s . Parameter ini menunjukkan koefisien kekakuan pegas suspensi (k_s) dan koefisien peredam suspensi (c_s) yang dikodekan dengan angka biner sepanjang 20 bit untuk setiap parameter sehingga panjang sebuah kromosom adalah 40 bit. Susunan bit pembentuk kromosom ditunjukkan gambar 5.



Gambar 5 Susunan bit pembentuk parameter k_s dan c_s

4.2 Fungsi Objektif dan Fungsi Fitness

Pada algoritma genetik untuk dapat mengetahui kualitas individu yang dihasilkan, diperlukan suatu fungsi matematis yang dapat mengevaluasi setiap individu yang terbentuk dalam satu generasi. Fungsi matematis ini, kemudian disebut dengan fungsi obyektif, sangatlah menentukan performansi algoritma genetik karena menghubungkan algoritma genetik dengan sistem yang akan dioptimasi.

Dalam perancangan sistem suspensi ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan diantaranya adalah faktor keamanan dan kenyamanan [18]. Faktor keamanan dipengaruhi oleh daya lekat ban pada permukaan jalan dan defleksi pegas pada sistem suspensi. Untuk memberikan faktor keamanan yang baik maka diusahakan agar ban dapat melekat pada permukaan jalan dengan baik dan defleksi pegas harus diusahakan sekecil mungkin. Faktor yang kedua adalah faktor kenyamanan. Faktor ini dipengaruhi oleh percepatan gerak vertikal atau lenting suspensi. Semakin kecil percepatan yang ada maka akan semakin baik pula faktor kenyamanan yang ada.

Ada dua variabel perancangan yang akan dioptimasi dalam perancangan suspensi untuk memenuhi dua kriteria di atas, yaitu k_s dan c_s . Kedua kriteria yaitu faktor keamanan dan faktor kenyamanan adalah dua hal yang saling bertentangan. Secara umum faktor kenyamanan dapat ditingkatkan dengan mengurangi kedua nilai parameter tersebut (k_s dan c_s) tetapi hal ini akan menurunkan faktor keamanan, begitu juga sebaliknya. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut digunakan teknik optimasi dengan menggunakan algoritma genetik untuk mendapatkan sistem yang optimal. Fungsi objektif yang digunakan adalah nilai mutlak dari percepatan maksimum lenting vertikal suspensi dan nilai mutlak dari rata-rata defleksi.

$$f = \min(|z| + |z|)$$

dengan : z = rata-rata defleksi suspensi

$$z = \text{percepatan maksimum lenting vertikal}$$

Keluaran defleksi umumnya jauh lebih kecil dari pada keluaran percepatan, sehingga perlu adanya modifikasi agar masing-masing parameter fungsi objektif memberikan pengaruh yang merata terhadap sistem. Untuk itu perlu diberikan suatu konstanta pengali pada parameter defleksi, sehingga persamaan fungsi objektif dapat ditulis kembali seperti berikut:

$$f = \min(|z| \alpha + |z|)$$

4.3 Parameter Genetik

Parameter genetik yang ditentukan di sini merupakan nilai parameter yang menjadi acuan untuk simulasi dan pengujian. Parameter tersebut meliputi :

1. Jumlah generasi (MaxGen)
Parameter MaxGen digunakan untuk menentukan jumlah generasi maksimum yang akan dicapai oleh proses komputasi algoritma genetik. Generasi maksimum yang digunakan adalah sebesar 500.
2. Individu tiap populasi (Nind)
Dalam tugas akhir ini jumlah individu yang digunakan adalah 100.
3. Probabilitas pindah silang (P_c)
Besarnya probabilitas pindah silang yang digunakan untuk aplikasi ini adalah sebesar 0.8.
4. Probabilitas mutasi (P_m)
Besarnya probabilitas mutasi yang digunakan untuk aplikasi ini adalah sebesar 0.01
5. Celah generasi (GGAP)
Celah generasi yang digunakan adalah sebesar 0.9, yang menandakan bahwa offspring yang dihasilkan melalui operator genetik sebesar $0.9 \times$ populasi. .
6. Kepresisian bit (PRECI)
Nilai PRECI yang digunakan dalam aplikasi ini adalah sebesar 20 bit untuk tiap parameter.

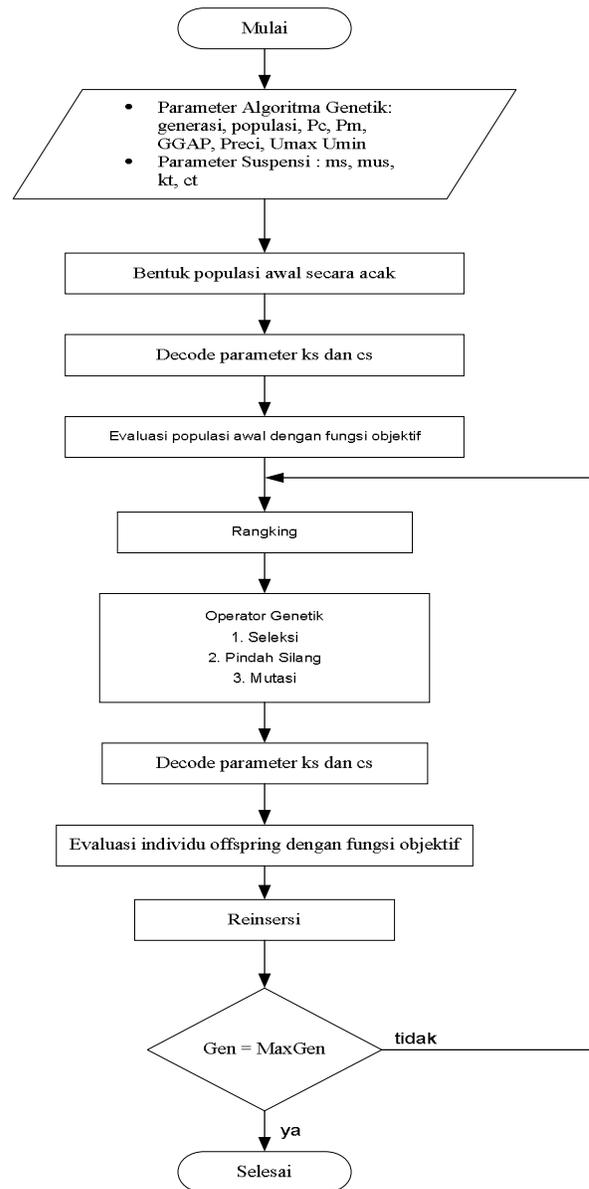
4.4 Data Keluaran

Data keluaran yang dihasilkan dari proses optimasi dengan algoritma genetik untuk aplikasi ini terdiri dari dua jenis yaitu data dalam bentuk grafik dan data dalam bentuk angka atau nilai. Data dalam bentuk grafik berisi informasi yang menyatakan nilai objektif untuk setiap generasi. Sedangkan data keluaran yang dihasilkan dari proses komputasi berisi informasi mengenai nilai konstanta k_s dan c_s yang merupakan nilai koefisien kekakuan pegas dan koefisien peredam pegas.

4.5 Program Utama

Diagram alir program utama algoritma genetik untuk merancang sistem suspensi optimal ditunjukkan pada gambar 6. Algoritma genetik membangkitkan populasi awal secara acak untuk kemudian dievaluasi nilai objektif dan nilai *fitness* yang dimiliki. Populasi dari kandidat-kandidat solusi, atau individual, dipertahankan dan berkompetisi untuk dapat bertahan hidup. Individu yang lebih kuat mempunyai kesempatan yang lebih besar untuk menghasilkan individu baru (keturunannya) daripada individu yang lebih lemah. Individu baru tersebut dihasilkan melalui rekombinasi, kemudian melalui proses mutasi, sifat-sifat dari tiap induk akan terwarisi sehingga pilihan kandidat solusi lebih banyak. Pada tahap selanjutnya, keturunan tersebut berkompetisi juga dengan induknya dan dievaluasi lagi *fitness*nya untuk kemudian dilakukan proses reinsertasi. Pertambahan populasi dari induk-induk yang terbaik tersebut selanjutnya akan menghasilkan keturunan yang baik dan menghilangkan individu yang

lemah sampai dengan ditemuinya titik terminasi. Terminasi yang digunakan untuk aplikasi ini adalah generasi sehingga proses akan berhenti bila telah mencapai generasi maksimum yang kita inginkan.



Gambar 6 Diagram alir program utama

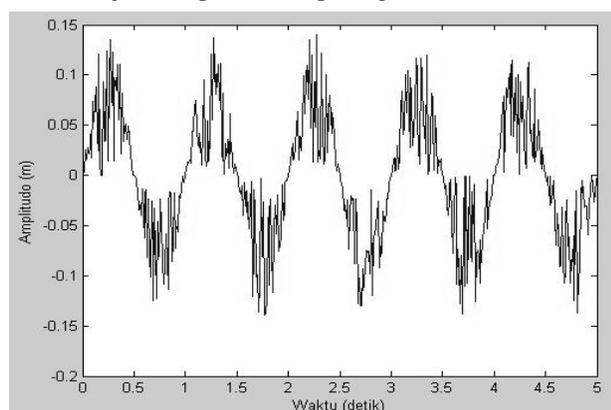
V. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Metode pembahasan dibagi menjadi empat kelompok pembahasan. Bagian pertama membahas dan menampilkan hasil parameter dan proses optimasi algoritma genetik dengan variasi konstanta α pada fungsi objektif. Bagian kedua akan membahas hasil optimasi dengan memilih hasil yang terbaik pada bagian pertama, yang kemudian dibandingkan dengan konfigurasi kasar (*hard configuration*) dan konfigurasi lunak (*soft configuration*) dengan berbagai sinyal gangguan. Bagian ketiga juga akan membahas hasil

optimasi dengan algoritma genetik yang dibandingkan dengan hasil menggunakan metode lain yaitu metode proyeksi gradien. Bagian keempat membahas perbandingan sistem suspensi hasil optimasi algoritma genetik dengan sistem suspensi yang digunakan pada penelitian lain.

5.1 Data Masukan Sistem

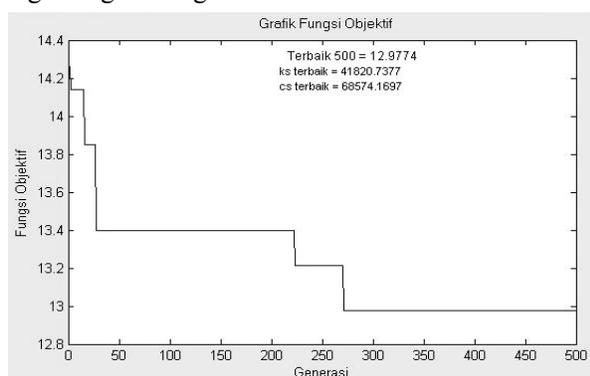
Data yang akan menjadi masukan dalam proses optimasi adalah berbentuk sinyal yang mengindikasikan suatu permukaan jalan yang tidak rata. Sinyal ini nantinya akan diumpungkan ke *plant* suspensi yang menghasilkan keluaran berupa defleksi dan percepatan. Kemudian oleh algoritma genetik dilakukan optimasi sehingga mendapatkan parameter yang menghasilkan keluaran dengan fungsi objektif yang minimal sesuai dengan kriteria yaitu meminimalkan fungsi objektif. Sinyal masukan yang digunakan berupa sinyal sinus yang mempunyai komponen random (acak), sinyal masukan jalan dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7 Sinyal masukan sistem

5.2 Hasil Optimasi Algoritma Genetik dengan Variasi Konstanta α

Pada bagian ini dilakukan pengujian proses optimasi algoritma genetik dengan melakukan variasi konstanta α pada fungsi objektif untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil optimasi. Nilai variasi α yang digunakan adalah 1, 10, 25, 50, 75, 100, 125, dan 150. Gambar 8 merupakan contoh proses optimasi dengan algoritma genetik untuk $\alpha=100$.



Gambar 8 Performansi algoritma genetik dengan $\alpha = 100$

Pada pengujian ini seperti yang terlihat pada gambar 8, pada generasi ke-1 sampai nilai objektif menunjukkan sebesar 14.2580 kemudian pada generasi ke-3 nilai objektif menunjukkan sebesar 14.1397. Pencarian kemudian terus berlanjut sehingga didapatkan nilai objektif yang semakin kecil karena tujuan optimasi yang dilakukan adalah meminimalkan fungsi objektif. Pada generasi ke-271, algoritma genetik menemukan solusi optimal hal itu terlihat dari nilai objektif yang diperoleh sama mulai generasi ke-271 sampai dengan generasi ke-500, dengan nilai objektif sebesar 12.9774.

Pada generasi ke-1, didapatkan parameter k_s dan c_s sebesar 64791 N/m dan 36463 N.s/m. Perubahan nilai objektif maka terjadi juga perubahan nilai parameter pada generasi ke-3 menjadi 56526 N/m dan 41590 N.s/m. Perubahan terus terjadi sampai dengan didapat solusi optimal sebesar 41821 N/m dan 68574 N.s/m pada generasi ke-271.

Tabel 2 Hasil optimasi dengan variasi konstanta α

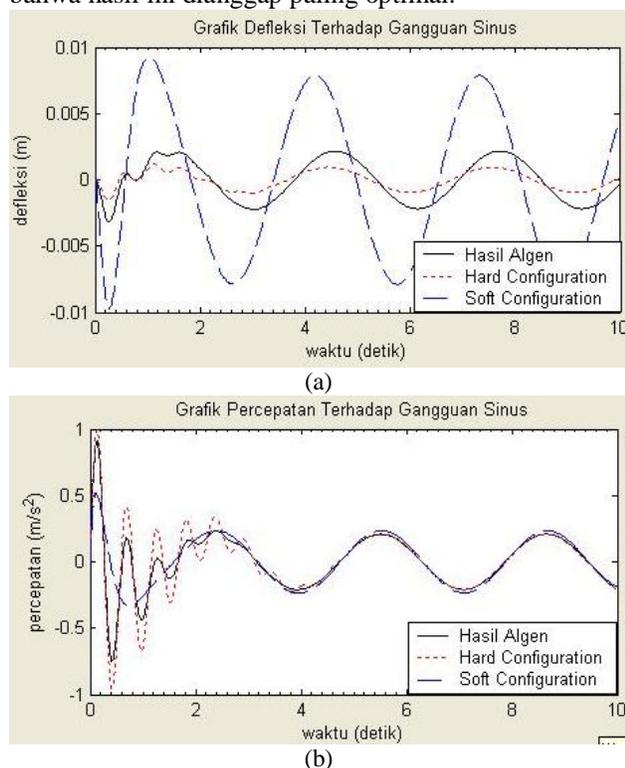
Nilai α	Parameter k_s (N/m)	Parameter c_s (N.s/m)	Rata-rata defleksi (m)	Maksimum Percepatan (m/s^2)
1	40766	10130	0.04845	10.2832
10	41740	10108	0.04809	10.4573
25	42114	10144	0.04798	11.2989
50	41982	10085	0.04986	10.435
75	41.845	50510	0.01352	15.5859
100	41827	68574	0.009264	15.5707
125	46282	119427	0.00572	18.1155
150	124119	123989	0.005712	18.1454

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa ketika $\alpha=1$ maka parameter k_s dan c_s mempunyai nilai yang mendekati nilai minimal yang diperbolehkan. Dengan peningkatan nilai α dihasilkan nilai k_s dan c_s yang semakin besar dengan keluaran rata-rata defleksi akan semakin kecil namun keluaran percepatan vertikal akan semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa dengan nilai konstanta α yang kecil maka fungsi objektif lebih didominasi oleh maksimum percepatan vertikal sedangkan nilai α dinaikkan pada nilai yang besar maka fungsi objektif akan didominasi oleh rata-rata defleksi. Hal ini dapat dilihat ketika $\alpha=150$, nilai keluaran rata-rata defleksi akan kecil, tetapi keluaran maksimum percepatan akan besar. Hasil akan optimal sesuai dengan kriteria perancangan jika nilai konstanta α akan menyebabkan rata-rata defleksi dan maksimum percepatan vertikal memberikan efek atau dominasi yang sama atau merata pada fungsi objektif.

5.3 Perbandingan dengan *Hard Configuration* dan *Soft Configuration*

Pada bagian ini dilakukan pengujian terhadap sistem suspensi hasil perancangan dengan mengambil hasil yang terbaik dari hasil optimasi sebelumnya. Untuk melihat performansinya akan dibandingkan dengan dua konfigurasi dasar. Konfigurasi yang

pertama disebut dengan konfigurasi kasar (*hard configuration*) yaitu konfigurasi sistem suspensi dengan parameter k_s dan c_s adalah harga maksimal yang diperbolehkan dalam sistem yang dipakai dalam tugas akhir ini, yaitu untuk $k_s=170000$ N/m dan $c_s=140000$ N.s/m^[20]. Sedangkan konfigurasi yang kedua merupakan kebalikan dari konfigurasi yang pertama, disebut dengan konfigurasi lunak (*soft configuration*) yaitu konfigurasi sistem suspensi dengan parameter k_s dan c_s adalah harga minimal yang diperbolehkan, yaitu untuk $k_s=40000$ N/m dan $c_s=10000$ N.s/m^[20]. Hasil yang optimal dipilih untuk konstanta $\alpha=100$ dengan $k_s=41827$ N/m dan $c_s=68574$ N.s/m, dengan anggapan bahwa hasil ini dianggap paling optimal.



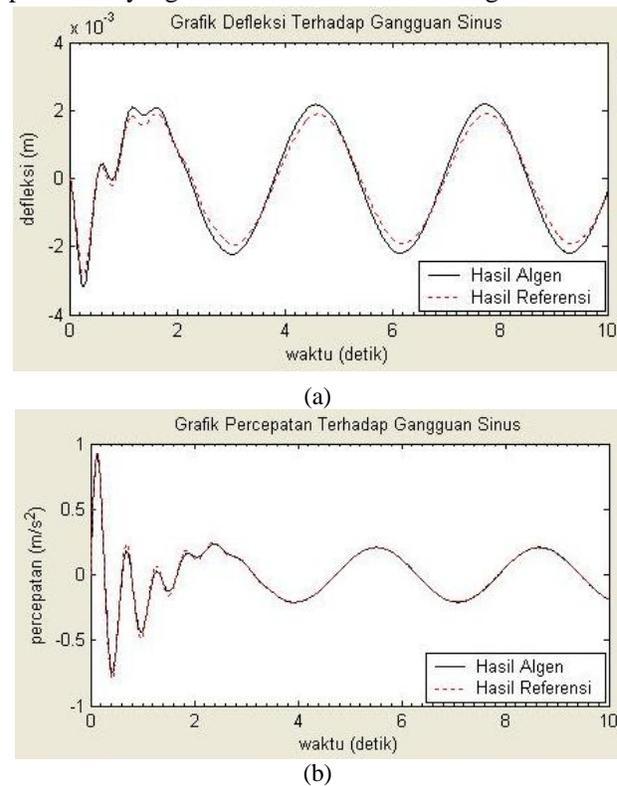
Gambar 9 Respon terhadap gangguan sinyal sinus dengan kecepatan sudut 2 rad/s (a) defleksi (b) percepatan

Gambar 9 menunjukkan contoh respon sistem suspensi yang diberi gangguan sinyal sinus dengan kecepatan sudut 2 rad/s, untuk respon defleksi ditunjukkan gambar 9(a) dan respon percepatan vertikal ditunjukkan gambar 9(b). Untuk hasil perancangan dengan algoritma genetik menghasilkan harga keluaran yang besarnya diantara dua konfigurasi dasar sehingga hal ini menunjukkan bahwa algoritma genetik dapat menghasilkan konfigurasi yang lebih optimal.

5.4 Perbandingan dengan Metode Optimasi Lain

Untuk melihat performansi hasil optimasi dengan algoritma genetik maka akan dibandingkan dengan hasil yang menggunakan metode lain yaitu metode proyeksi gradien yang merupakan teknik optimasi

penemuan lokal (lokal optimal) yang dilakukan oleh Haug dan Arora^[20]. Parameter k_s dan c_s yang dihasilkan adalah $k_s=35025$ N/m dan $c_s=80000$ N.s/m, dengan parameter yang lain dibuat sama sesuai dengan tabel 1.



Gambar 10 Respon terhadap gangguan sinyal sinus dengan kecepatan sudut 2 rad/s (a) defleksi (b) percepatan

Gambar 10 menunjukkan contoh respon sistem suspensi yang diberi gangguan sinyal sinus dengan kecepatan sudut 2 rad/s, untuk respon defleksi ditunjukkan gambar 9(a) dan respon percepatan vertikal ditunjukkan gambar 9(b). Dari hasil pengujian didapatkan bahwa untuk sistem suspensi hasil optimasi dengan algoritma genetik mempunyai rata-rata defleksi sebesar 0.001386 m dan maksimum percepatan vertikal adalah 0.9092 m/s². Untuk sistem referensi yaitu sistem hasil optimasi dengan metode proyeksi gradien mempunyai rata-rata defleksi sebesar 0.001215 m dan maksimum percepatan vertikal adalah 0.9289 m/s². Dari hasil ini menunjukkan bahwa untuk sistem hasil algoritma genetik mempunyai rata-rata defleksi yang lebih besar tetapi mempunyai maksimum percepatan vertikal yang lebih kecil bila dibandingkan dengan referensi. Hal ini menunjukkan bahwa hasil dengan algoritma genetik mempunyai faktor kenyamanan yang lebih baik dibandingkan dengan referensi.

5.5 Perbandingan dengan Sistem Suspensi Lain

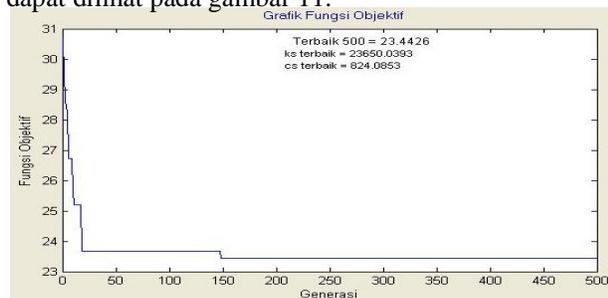
Pada bagian ini dilakukan pengujian terhadap sistem suspensi hasil perancangan algoritma genetik dengan sistem suspensi tanpa algoritma genetik yang diambil dari sistem suspensi pada penelitian lain.

Sistem suspensi untuk pengujian diambil dari sistem suspensi yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan oleh Sumardi^[18], parameter yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.

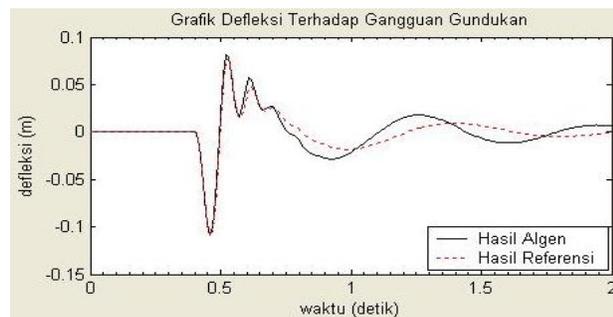
Tabel 3 Parameter sistem suspensi referensi^[18]

Parameter	Harga
massa kendaraan/ <i>sprung</i> (m_s)	240 kg
massa ban/ <i>unsprung</i> (m_{us})	36 kg
koefisien kekakuan pegas (k_s)	16000 N/m
koefisien peredam suspensi (c_s)	980 N.s/m
koefisien kekakuan ban (k_t)	160000 N/m
koefisien peredam ban (c_t)	0

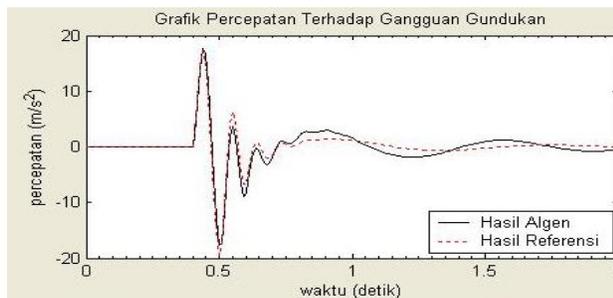
Perancangan dengan algoritma genetik dilakukan untuk mendapatkan nilai k_s dan c_s , dengan menggunakan parameter-parameter suspensi lain yang nilainya sama seperti yang ditunjukkan pada tabel 3. Nilai parameter algoritma genetik yang digunakan sama seperti pengujian sebelumnya dan fungsi objektif menggunakan konstanta $\alpha=100$. Dari hasil proses optimasi didapatkan nilai parameter k_s dan c_s sebesar 23650 N/m dan 824 N.s/m. grafik proses optimasi ini dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11 Performansi optimasi dengan algoritma genetik



(a)



(b)

Gambar 12 Respon terhadap gangguan gundukan
(a) defleksi (b) percepatan

Sebagai pengujian dan perbandingan, diberikan masukan gangguan berupa sinyal gundukan. Respon sistem suspensi yang diberi gangguan sinyal gundukan ditunjukkan pada gambar 12.

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa untuk sistem suspensi hasil optimasi dengan algoritma genetik mempunyai rata-rata defleksi sebesar 0.013867 m dan maksimum percepatan vertikal adalah 17.6925 m/s^2 . Untuk sistem suspensi tanpa optimasi dengan algoritma genetik (referensi model penelitian lain) mempunyai rata-rata defleksi sebesar 0.01119 m dan maksimum percepatan vertikal adalah 19.4594 m/s^2 . Dari hasil ini menunjukkan bahwa untuk sistem suspensi hasil perancangan dengan algoritma genetik mempunyai rata-rata defleksi yang lebih besar tetapi mempunyai maksimum percepatan vertikal yang lebih kecil bila dibandingkan dengan referensi. Hal ini menunjukkan juga bahwa hasil perancangan dengan algoritma genetik mempunyai faktor kenyamanan yang lebih baik dibandingkan dengan referensi.

VI. PENUTUP

6.1 Kesimpulan

1. Algoritma genetik dapat digunakan untuk aplikasi optimasi dalam perancangan sistem suspensi model kendaraan seperempat yang didasarkan pada kriteria (fungsi objektif).
2. Hasil optimasi perancangan dipengaruhi oleh konstanta α yang merupakan faktor pembobotan fungsi objektif, pemilihan harga α yang tepat akan memberikan hasil yang optimal.
3. Hasil optimasi mencapai optimal dengan $\alpha=100$ yang memberikan nilai parameter $k_s=41821$ N/m dan $c_s=68574$ N.s/m serta keluaran rata-rata defleksi sebesar 0.009264 m dan maksimum percepatan vertikal sebesar 15.5707 m/s^2 .
4. Hasil optimasi perancangan dengan algoritma genetik memberikan respon keluaran (defleksi dan percepatan vertikal) yang lebih optimal, bila dibandingkan dengan dua konfigurasi dasar yaitu *hard configuration* dan *soft configuration*.
5. Hasil optimasi perancangan dengan algoritma genetik memberikan faktor kenyamanan yang lebih baik bila dibandingkan dengan hasil yang menggunakan metode proyeksi gradien

6.2 Saran

1. Operator genetik yang digunakan bisa ditingkatkan lagi dengan operator genetik yang *advance*.
2. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan pada model kendaraan setengah yang mempunyai karakteristik lebih kompleks.
3. Untuk menghasilkan respon yang lebih baik dapat dilakukan perancangan sistem kontrol pada model suspensi yang dihasilkan..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asmoro, Dwi Joko Pramudito Widhi, *Penalaan Parameter Pengendali PID dengan Algoritma Genetik*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2003.
- [2] Bonadr, Renaldi., *Perbandingan Kinerja Algoritma LMS dan Algoritma Genetik Untuk Filter Adaptif Penghilang Noise*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2002.
- [3] Chipperfield, A., Fleming, P., Pohlheim, H., Fonseca, C., *Genetic Algorithm Toolbox for Use with MATLAB*, Version 1.2 User's Guide, Department of Automatic Control and Systems Engineering, University of Sheffield.
- [4] Davis, Lawrence, *HandBook of Genetic Algorithms*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- [5] Goldberg, David E., *Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.
- [6] Hanselman, Duane dan Bruce Littlefield, *MATLAB Bahasa Komputasi Teknis*, Penerbit Andi Yogyakarta, 2000.
- [7] Hartanto, Didik, *Perancangan Pengaturan Sistem Suspensi Semi-Aktif dengan Peredam Nonlinier pada Model Kendaraan Setengah Menggunakan Pengontrol Fuzzy*, Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, Semarang, 2003.
- [8] Hartanto, Thomas Wahyu Dwi dan Y. Wahyu Agung Prasetyo, *Analisis dan Desain Sistem Kontrol dengan MATLAB*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2003.
- [9] Jamei, Masoud, *Symbiotic Evolution Based Design of Fuzzy Inference Systems with Application to Active Suspension System (Ph.D Thesis)*, Department of Automatic Control and Systems Engineering, University of Sheffield, 2002.
- [10] Kusumadewi, Sri, *Artificial Intelligence (Teknik dan aplikasinya)*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2003.
- [11] Man, KF, KS Tang, S Kwong and WA Halang, *Genetic Algorithms for Control and Signal Processing*, Springer, 1997.
- [12] Martinus, Donny, *Aplikasi Teori Teknik Kontrol Optimal pada Sistem Peredam Getar Semi-Aktif Menggunakan Model Kendaraan Setengah*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Fisika ITB, Bandung 1996.
- [13] Michelewicz, Zbigniew., *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, Third, revised and Extended Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1995.
- [14] Roostandy, Jody, *Pengidentifikasi Parameter Fungsi Alih Sistem pada Plant Simulasi Orde Tiga dan Empat dengan Metode Algoritma Genetik*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2003.
- [15] Setiadi, Soni, *Studi Perancangan Kontrol dan Simulasi Sistem Suspensi Aktif Model Kendaraan Setengah Menggunakan Kontrol Optimal*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Fisika ITB, Bandung, 1996.
- [16] Simatupang, Togar M, *Pemodelan Sistem*, Penerbit Nindita, Klaten, 1994.
- [17] Styobudi, AD, *Simulasi dan Perancangan Sistem Kontrol Suspensi Semi Aktif Model Seperempat Kendaraan*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Fisika ITB, Bandung, 2001
- [18] Sumardi, "Perancangan Sistem Suspensi Semi-Aktif Dengan Peredam Nonlinier Menggunakan Pengontrol Fuzzy", Tesis Magister, ITB, 1998
- [19] Suratmen, Rochim, dkk, *Teori Getaran*, UPN Veteran Jakarta, Jakarta, 1999.
- [20] Yu, Hong Biao and Nan Yu, *Application Of Genetic Algorithms To Vehicle Suspension Design*, Mechanical Engineering Department The Pennsylvania State University.
- [21] Woods, Robert L and Kent L Lawrence, *Modeling and Simulation of Dynamic Systems*, Prentice-Hall, 1997.
- [22] Zhou, Jing and Peizhi Zhang, *Digital Control of an Aotomotive Active Suspension System*, UMICH, 2003.



Eri Nurcahyanto, lahir di Jepara 12 Mei 1982, setelah tamat dari SMU 1 Salatiga, melanjutkan studi di Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro tahun 1999. Konsentrasi yang diambil adalah Teknik Kontrol. Bidang yang diminati : sistem adaptif, robotika, *applied informatic*, kecerdasan buatan dan teknologi informasi.

Semarang, Agustus 2004
Menyetujui dan mengesahkan

Pembimbing I

Pembimbing II

Sumardi, ST. MT
NIP. 132 125 670

Iwan Setiawan, ST. MT
NIP. 132 283 183