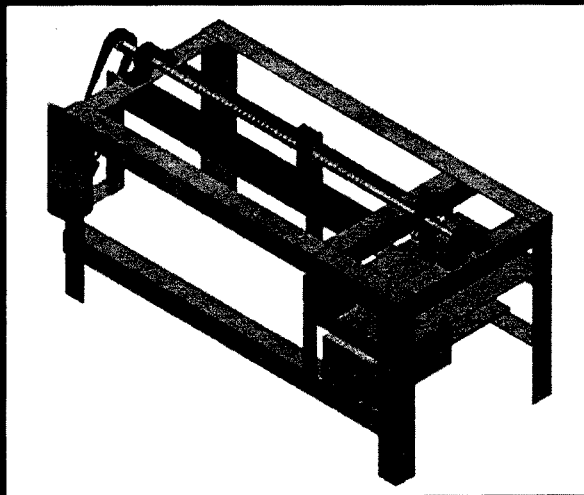


No. 34 VOL. 1 THN XVII NOVEMBER 2010

ISSN : 0854 - 8471

TEKNIKA

Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Andalas



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ANDALAS PADANG**

Penerbit:

Fakultas Teknik – Universitas
 Andalas

Penasehat

Rektor Universitas Andalas
 Dekan Fakultas Teknik
 Universitas Andalas

Penyunting Ahli

Prof.Dr.-Ing. Mulyadi Bur
 Prof. Dr. Eng. Zaidir
 Dr.Eng. Febrin Anas Ismail
 Prof.Dr.Eng. Gunawarman
 Dr.Ir.Refdinal Nasir
 Dr. Adjar Pratoto
 Dr.-Ing. Uyung Gatot SD
 Dr.Eng. Hairul Abral
 Dr.-Ing. Agus Sutanto
 Dr.-Eng. Rahmadi Kurnia
 Mas Mera, PhD
 Yossyafra, PhD
 Henmaidi, PhD

Pimpinan Redaksi

Prof. Dr.Eng.Gunawarman

Redaksi Pelaksana

Heru Dibyo Laksono, M.T

Sekretaris Redaksi

Heru Ikhsani Yusbar

Alamat Redaksi

Fakultas Teknik
 Universitas Andalas
 Kampus Limau Manis
 Padang,25163
 Telepon: (0751)-72564
 Fax: (0751)-72566
 Email: teknika@ft.unand.ac.id

Daftar Isi	i
Kata Pengantar Dekan Fakultas Teknik.....	ii
Pengantar Redaksi	iii
Perancangan dan Pengujian Sensor Rotary Encoder untuk Aplikasi Kontrol Sumbu Gerak Mesin Perkakas CNC (Agus Sutanto, Zuqni Ali, Arga Febriantoni)	1
Uji Performance Meja Getar Satu Derajat Kebebasan dengan Metode STFT (Jhon Malta, Meifal Rusli).....	11
Pengunaan Elemen Batang sebagai Pendekatan dalam Pemodelan Struktur Shell Kontinum (Eka Satria, Shiro Kato).....	17
Kajian Teoritik Frekuensi Pribadi dan Modus Getar Silinder berdinding Tipis dengan Metode Geometri (Nusyirwan).....	25
Korosi pada Magnesium Paduan AZ31 (Ilhamdi).....	29
Perencanaan Proses dan Perkiraan Biaya Pembuatan Komponen Penyambung Pipa (Pipe Adapter, Reducing Nipples & Pipe to Hose Adapted) (Adam Malik).....	34
Pengaruh Jarak Pipa terhadap Karakteristik Penukar Kalor Silang (Iskandar R).....	42
Analisa Kegagalan Struktur dan Perkuatan (<i>Retrofitting</i>) Kolom Gedung B SMA 10 Padang yang Rusak Akibat Gempa 30 September 2010 (Fauzan, Zaidir, Basyaruddin).....	46
Analisis Sifat-sifat fisis Batu Bata di Sumatera Barat untuk bangunan Rumah Sederhana (Febrin Anas Ismail).....	53
Konsep Energi Material (Andi Pawawoi).....	58
Studi Perencanaan Konfigurasi Jaringan Distribusi Kota Padang Berbasis Peta Rawan Tsunami (Muhammad Nasir, Ilmuniarti).....	63
Optimasi Penempatan Kapasitor pada Sistem Tenaga Listrik dengan Menggunakan Algoritma Genetik (Heru Dibyo Laksono).....	68
Penerapan Metode Heuristik untuk Pelepasan Beban (<i>Load Shedding</i>) pada Sistem Interkoneksi Sumatera Bagian Tengah (SUMBANGTENG) (Adrianti, Etika Revina).....	75
Simulasi Sistem Kendali Derau Aktif Umpan Maju Menggunakan Algoritma Normalized-LSM dan Algoritma Genetik (Darwison, Heru Dibyo Laksono, Nyalasari).....	81
Panduan Penulisan Jurnal TeknikA	91

KATA PENGANTAR**DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ANDALAS**

Akhirnya Jurnal yang sama-sama kita banggakan ini dapat terbit sesuai dengan rencana. Nomor ini merupakan edisi pertama untuk tahun ke-17 sejak berdirinya jurnal *TeknikA* dari tahun 1993. Tidak terasa dengan segala keterbatasan yang ada, kita semua khususnya pimpinan redaksi bersama stafnya mampu menghadirkan Jurnal ini secara berkesinambungan selama 17 (enam belas) tahun. Mudah-mudahan untuk tahun-tahun berikutnya, Jurnal ini akan tampil lebih baik terutama dari segi kualitas isi ataupun kuantitasnya serta memenuhi format standar atau sesuai kaidah-kaidah yang ada pada pedoman penerbitan jurnal ilmiah yang dikeluarkan Dikti Departemen Pendidikan Nasional RI.

Pada penerbitan kali ini nampaknya belum semua Jurusan yang ada di Fakultas Teknik mengirimkan naskahnya, sehingga tidak terwakili dari kelima Jurusan yang ada. Mudah-mudahan dimasa yang akan datang seluruh jurusan kembali dapat berpartisipasi. Dukungan dari seluruh staf pengajar akan sangat membantu perkembangan Jurnal kita ini. Sangat diharapkan para staf pengajar yang telah berhasil membimbing mahasiswa hingga selesai sarjana sedapatnya membuat hasil penelitiannya tersebut dalam format siap publikasi seperti pada Jurnal *TeknikA* ini. Dengan jalan demikian para masyarakat ilmiah lainnya dapat mengetahui perkembangan ilmu pengetahuan secara terus menerus melalui publikasi ilmiah tersebut.

Terakhir kami ingin menyampaikan terima kasih banyak kepada para staf redaksi, sebab dalam kondisi serba terbatas, disamping melakukan tugas pokok sehari-hari, masih bisa meluangkan waktu untuk menerbitkan Jurnal *TeknikA* No. 34 Vol. 1 di tahun XVII ini. Segala usaha dan jerih payah para staf semua akan membantu dalam menunjang perkembangan dan kemajuan Fakultas Teknik Universitas Andalas, semoga hal ini diberkati Allah SWT.

Padang, November 2010
Fakultas Teknik Unand
Dekan

Dr.-Ing. Uyung Gatot SD
Nip.: 132 008 658

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Illahi karena berkat-Nya Jurnal Teknika yang kita cintai ini kembali menjumpai sidang pembaca melalui edisi No.34 Vol.1 Tahun XVII November 2010. Pada edisi ini, naskah yang dapat dipublikasikan sebanyak 14 naskah.

Redaksi ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada para penulis yang telah mengirimkan naskahnya. Semoga usaha para penulis ditengah-tengah kesibukan sebagai staf pengajar memberikan manfaat yang besar bagi penulis dan bagi pembacanya.

Akhirnya redaksi berharap, semoga informasi masalah lptek yang disampaikan oleh Jurnal Teknika Fakultas Teknik Universitas Andalas ini dapat bermanfaat bagi penambah khasanah bidang ilmu Teknik umumnya. Pada kesempatan ini pula izinkan kami dari redaksi untuk meminta maaf jika ada hal-hal yang tidak berkenan pada penerbitan Jurnal kali ini. Kritik dan saran demi kesempurnaan penerbitan selanjutnya dengan senang hati selalu kami terima.

Padang
Pimpinan redaksi

Prof.Dr.Eng. Gunawarman
Nip: 131994387

SIMULASI SISTEM KENDALI DERAU AKTIF UMPAN MAJU MENGUNAKAN ALGORITMA NORMALIZED-LMS DAN ALGORITMA GENETIK

Darwison, Heru Dibyo Laksono, dan Nyalasari
Laboratorium Elektronika Industri, Jurusan Teknik Elektro Unand

ABSTRAK

Sinyal derau dapat dihilangkan dengan cara diberikan sinyal anti derau yang mempunyai amplitudo dan frekuensi yang sama pada beda fasa sebesar 180°. Filter digital adaptif berfungsi menghasilkan sinyal anti derau dengan menggunakan algoritma adaptif untuk mengatur dan memperbarui koefisien filternya. Pada sistem kendali derau aktif dengan Algoritma Normalized Least Mean Square (NLMS) akan menghasilkan galat residu yang mendekati nol. Dengan bantuan algoritma genetik dalam hal mencari komposisi parameter yang optimal sebagai masukan filter adaptif maka dihasilkan nilai SER sebesar 16.01023237 dB untuk Blower 1. Nilai SER merupakan perbandingan antara sinyal derau dengan sinyal galat dalam satuan dB.

Kata kunci: adaptive filtering, kendali derau aktif, ANC, Normalized-LMS, algoritma genetik

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Derau akustik (*acoustic noise*) secara sederhana dapat didefinisikan sebagai suara yang tidak dikehendaki [5] seperti penggunaan mesin dan motor, alat-alat berat, bahan peledak, dan berbagai sumber derau lainnya. Derau yang terlalu keras atau yang didengar secara terus-menerus bisa menyebabkan hilangnya pendengaran secara sementara maupun permanen [5].

Hal tersebut dapat diatasi dengan cara mengendalikan derau secara aktif yaitu proses eliminasi atau penghapusan derau primer (derau yang tidak dikehendaki) dengan anti derau yang menjadikan derau residu akan mendekati nol. Caranya adalah dengan menggunakan prinsip superposisi destruktif dimana sinyal derau dihilangkan dengan sebuah sinyal anti derau yang mempunyai amplitudo dan frekuensi yang sama tetapi memiliki fasa yang berlawanan sebesar 180° [3][5].

Pada penelitian ini dilakukan simulasi sistem kendali derau aktif dengan menggunakan kaidah algoritma *Normalized Least Mean Square* atau NLMS dan pencarian nilai optimasinya menggunakan algoritma genetik (*Genetic Algorithm* atau GA).

1.2 Tujuan Penelitian

Mencari anti derau yang optimal dengan bantuan algoritma genetik.

1.3 Manfaat Penelitian

Memberikan proses optimalisasi komposisi parameter dengan algoritma genetik dalam sistem kendali derau aktif.

1.4 Batasan Masalah

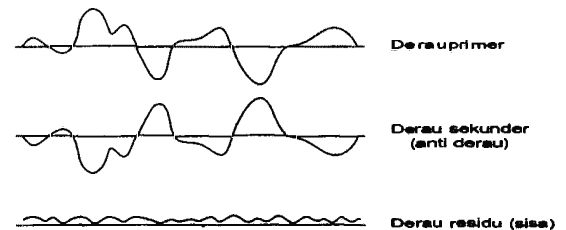
Penelitian ini dibatasi pada proses simulasi kendali derau aktif menggunakan algoritma NLMS pada derau pita sempit (*narrow band*) dengan

pendekatan umpan maju (*feed forward*). Simulasi pencarian nilai optimasi sebagai masukan filter adaptif dengan bantuan algoritma genetik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Kendali Derau Aktif

Kendali derau aktif (ANC) pada dasarnya dua buah gelombang dengan amplitudo dan frekuensi yang sama namun memiliki fasa yang berkebalikan menempuh arah yang sama sehingga saling menetralkan atau menghilangkan [1][3][5][10].

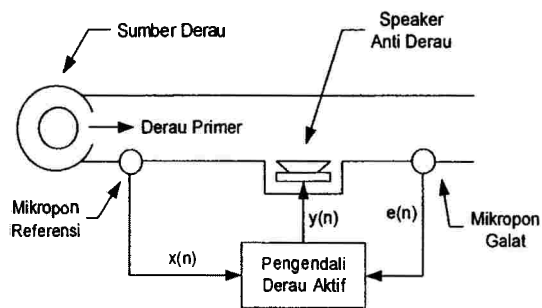


Gambar 1. Konsep Dasar Interferensi Destruktif Gelombang

Suara yang dihasilkan adalah nol atau nyaris nol, dimana energi suara akan ditransformasi menjadi energi panas (interferensi Destruktif)[3] seperti gambar 1.

Sistem umpan maju (*Feed forward*)

Sistem kendali derau aktif umpan maju seperti pada gambar 2 dimana pengukuran derau berada pada posisi yang sangat dekat dengan sumber derau dan sangat berkorelasi dengan derau yang kemudian harus dihilangkan. Struktur umpan maju yang dipakai adalah sistem kendali umpan maju adaptif pita sempit.



Gambar 2. Kendali Derau Aktif Umpan Maju [3]

Seperti gambar 2 diatas, sistem kendali derau aktif memakai sistem kanal tunggal (*single-channel ANC*)/*Single Input Single Output* (SISO)[2]. Satu sensor referensi, satu sumber sekunder, dan satu sensor galat.

2.2 Algoritma Genetik

Algoritma genetik (*Genetic Algorithms* atau yang biasa disebut GA) merupakan evolusi/perkembangan dunia komputer dalam bidang kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) [7].

Teori Darwinisme menyebutkan bahwa sejarah kehidupan makhluk hidup melalui suatu mekanisme proses statistika yang terjadi pada populasi dan spesies, yang dikenal dengan manipulasi genetika. Proses ini meliputi reproduksi, mutasi dan seleksi alam[9].

Setiap individu dari suatu spesies membawa sebuah *genome* yang berisi kromosom dalam bentuk molekul-molekul DNA. Setiap kromosom terdiri dari sejumlah gen yang mengkodekan sifat dari suatu individu. Masing-masing gen bisa memiliki beberapa setting yang dikenal dengan istilah *allele*. *Genom* yang lengkap dari suatu individu dengan semua settingnya disebut *genotype* dan suatu individu dengan semua sifat-sifatnya disebut *phenotype*.

Pada proses evolusi di dunia nyata terdapat dua cara reproduksi yaitu *sexual reproduction* dan *asexual reproduction*. Pada *sexual reproduction*, kromosom dari dua individu (*parent*) dikombinasikan untuk membentuk individu baru (*offspring*) yang disebut dengan istilah *crossover* (pindah silang), kesalahan dalam pengopian kromosom yang mengakibatkan perubahan sifat si anak disebut dengan istilah mutasi (*mutation*). Pada *asexual reproduction* tidak terjadi *crossover* namun proses mutasi mungkin saja terjadi.

2.2.3 Istilah-Istilah Dalam GA

Istilah biologi digunakan dalam GA yaitu:

- Individu adalah Solusi dari masalah yang dihadapi.
- Kromosom adalah Individu berupa elemen string yang telah ditentukan.
- Gen adalah bagian dari string.
- Loci adalah posisi dari gen.

e. Phenotype adalah String yang merupakan solusi akhir.

f. Genotype adalah Sejumlah string hasil perkawinan yang berpotensi sebagai solusi

2.2.4 Parameter GA

Parameter standar digunakan untuk menentukan kesuksesan suatu proses optimasi dalam GA [7] yaitu:

1. Ukuran Populasi (UkPop)

Populasi yang besar dibutuhkan untuk mempresentasikan keseluruhan ruang persoalan. Populasi yang cukup besar dapat mencegah terjadinya konvergensi pada wilayah lokal. Tapi ukuran populasi yang terlalu besar akan menyebabkan lamanya proses pencarian solusi [8].

2. Probabilitas *crossover*/pindah silang (Pc/Ps)

Probabilitas terjadinya *crossover* dikendalikan oleh nilai Pc atau Ps ini. Dalam setiap populasi sebanyak $P_s \cdot UkPop$ struktur melakukan pindah silang. Probabilitas pindah silang yang sering digunakan berkisar 0.6 - 0.8 [7][8]. Semakin tinggi nilai probabilitas pindah silang semakin cepat struktur baru diperkenalkan dalam populasi dan sebaliknya. Namun jika probabilitas pindah silang terlalu tinggi, struktur dengan unjuk kerja yang baik dapat hilang dengan lebih cepat dari seleksi sehingga populasi tidak bisa meningkatkan unjuk kerjanya lagi.

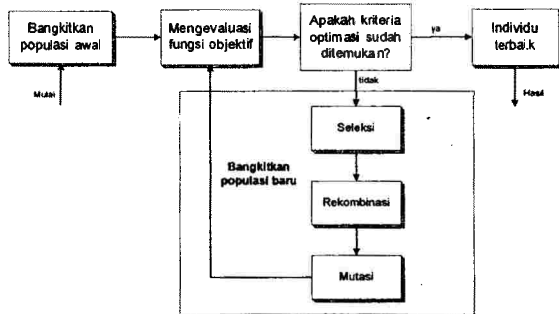
3. Probabilitas mutasi (Pm)

Mutasi digunakan untuk meningkatkan variasi populasi, yang mana mutasi ini dilakukan secara acak, tiap unit dasar (bit, posisi) dalam struktur mempunyai kemungkinan tertentu untuk dipertukarkan. Nilai Pm yang rendah dapat mengakibatkan gen gen yang berpotensi tidak dicoba. Sebaliknya tingkat mutasi yang tinggi dapat menyebabkan keturunan kehilangan kemiripan dengan induknya alias menghancurkan pencarian daerah solusi. Diperkirakan terjadinya mutasi sebanyak $P_m \cdot UkPop \cdot L$ pada tiap generasi, dimana L adalah panjang struktur dalam setiap individu (jumlah gen dalam kromosom). Nilai Pm yang sering digunakan berkisar 0.01 - 0.02 atau satu per jumlah gen dalam kromosom [7][8].

2.2.5 Mekanisme Kerja Algoritma Genetika

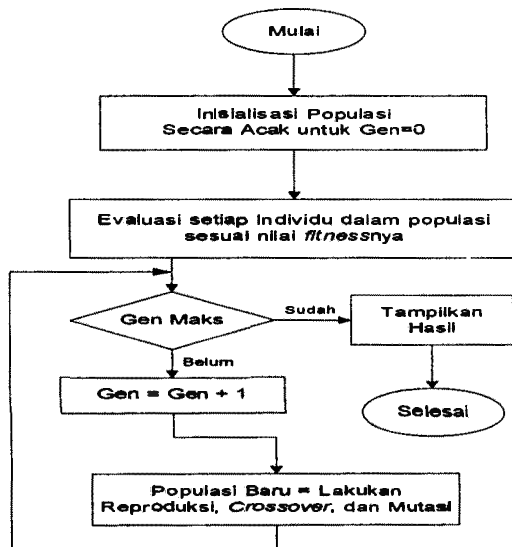
Berbeda dengan teknik pencarian konvensional, tahap awal pencarian dalam algoritma genetika dimulai dari himpunan penyelesaian acak (*random*) yang disebut populasi. Setiap individu dalam populasi diwakili oleh sebuah kromosom yang merupakan satu solusi dari masalah yang akan dihadapi. Kromosom merupakan suatu *string* yang terdiri dari simbol, biasanya berupa bit-bit *biner* namun dapat juga berupa *floating point*. Kromosom-kromosom tersebut kemudian akan "berkembang" melalui serangkaian iterasi yang disebut generasi. Pada tiap generasi, kromosom-kromosom dievaluasi dengan menggunakan ukuran

nilai *fitness* (kecocokan) tertentu. Program akan berhenti bila nilai *fitness* telah didapatkan (sudah konvergen) atau generasi maksimum sudah tercapai seperti gambar 3.



Gambar 3. Proses Perhitungan Pada Algoritma Genetik [14]

Adapun diagram alir (*Flowchart*) dari algoritma genetic seperti gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Pemrograman Genetik[13]

2.2.5.3 Operator Genetik

Operator genetik menyediakan mekanisme dasar pencarian bagi algoritma genetika. Operator digunakan untuk mencari solusi baru berdasarkan solusi yang ada sebelumnya. Ada dua macam operator genetik yang digunakan yaitu *crossover* dan *mutasi*. *Crossover* menggabungkan dua individu dan menghasilkan dua individu baru sedangkan pada *mutasi* menggunakan satu individu untuk menghasilkan satu individu atau solusi baru [7][8][9].

a. Crossover

Pada proses *crossover* ini terjadi kombinasi pewarisan gen-gen dari induknya, gen-gen dari kedua induk dapat bercampur sehingga dihasilkan susunan kromosom yang baru. Dari proses tersebut akan dihasilkan variasi genetik [8].

Crossover merupakan operator genetik yang utama. Operator ini mengkombinasikan dua kromosom untuk menghasilkan keturunan (*offspring*), pemilihan kromosom yang berlaku sebagai orang tua (*parent*) dipilih secara acak dari kromosom-kromosom yang berada pada populasi. Semakin

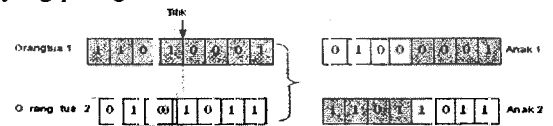
banyak *crossover* yang dilakukan akan semakin besar nilai *crossover rate* (perbandingan keturunan yang dihasilkan secara *crossover* pada tiap generasi dengan jumlah populasi) maka eksplorasi pada ruang solusi akan semakin luas dan mengurangi kemungkinan dapatnya hasil solusi yang bukan merupakan solusi optimum, tetapi bila terlalu banyak atau besar maka akan membuang-buang waktu komputasi untuk mengeksplorasi daerah ruang solusi yang tidak menjanjikan [7].

Bagaimanapun, operasi pindah silang tidak selamanya berhasil. Peluang keberhasilan pindah silang dinyatakan dengan *probabilitas pindah silang* (P_s).

Terdapat tiga skema pindah silang, yaitu [7][8]:

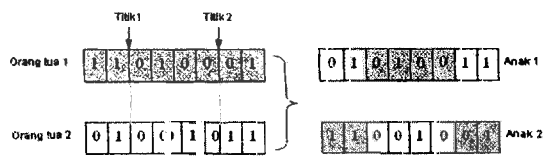
a. Pindah silang satu titik

Pindah silang ini merupakan skema pindah silang yang paling sederhana.



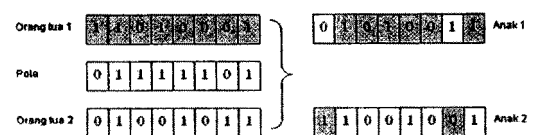
b. Pindah silang banyak titik (*multi point crossover*)

Pada satu masalah tertentu dimana suatu individu terdiri dari sangat banyak gen (misalkan 1000 gen), mungkin akan dibutuhkan lebih dari satu titik pindah silang.



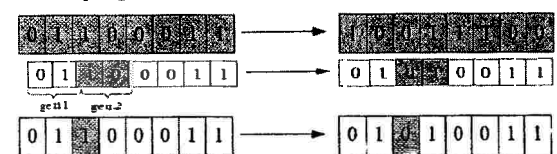
c. Pindah silang pola seragam (*uniform crossover*)

Dengan operasi pindah silang pola seragam maka komposisi gen-gen tertentu pada suatu individu dapat dipertahankan. Hal ini akan memudahkan proses pencarian solusi.



b. Mutasi

Operator genetik yang kedua dalam algoritma genetika adalah mutasi atau *mutation*, dimana mekanismenya menghasilkan perubahan acak secara spontan pada kromosom. Proses mutasi dapat dilakukan dengan mengubah satu atau beberapa gen dalam kromosom [7][8].



Peranan mutasi dalam algoritma genetika adalah sebagai berikut:

- a. Menggantikan gen-gen yang hilang dari populasi dalam proses seleksi agar dapat dcoba pada konteks yang baru.
- b. Menghasilkan gen-gen yang tidak terdapat pada populasi awal.

Banyaknya gen-gen baru yang akan dimutasi tergantung dari *mutation rate* atau *probabilitas mutasi* (P_m). Jika nilai *mutation rate* ini terlalu rendah maka banyak gen-gen yang mungkin seharusnya berguna akan tidak diuji coba, tetapi jika *mutation rate* ini terlalu besar maka akan terjadi banyak gangguan acak seperti muncul gen-gen baru yang menyebabkan keturunan mulai kehilangan kemiripan dengan orang tuanya dan algoritma akan kehilangan kemampuan untuk belajar dari jejak pencariannya yang terdahulu [7].

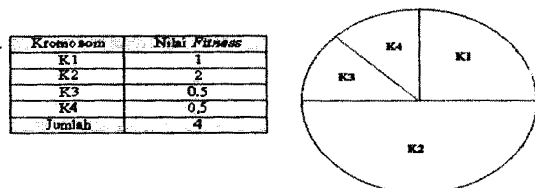
2.2.5.4 Fungsi Evaluasi

Seleksi alamiah di dunia nyata menyatakan bahwa hanya individu yang unggul (berkualitas tinggi) saja yang dapat bertahan hidup. Sedangkan individu yang berkualitas rendah akan mati atau punah. Pada GA, suatu individu dievaluasi berdasarkan suatu fungsi tertentu sebagai ukuran nilai kualitasnya. Fungsi ini dikenal sebagai fungsi *fitness* [7][8][9]. Fungsi evaluasi ini dijalankan ketika algoritma genetika sedang melakukan pencarian solusi terhadap suatu masalah yang dihadapi. Nilai *fitness* digunakan secara khusus pada tahap seleksi untuk menentukan besarnya probabilitas kromosom yang akan dipilih sebagai orang tua untuk menghasilkan keturunan selanjutnya. Persamaan fungsi evaluasi dihitung dengan memasukkan variabel ke dalam persamaan tersebut, dapat dituliskan sebagai berikut [7]:

$$Fitness = f_i(X_i list)$$

2.2.5.5 Fungsi Seleksi

Proses seleksi akan menentukan individu-individu yang mana saja akan dipilih untuk melakukan rekombinasi sehingga terbentuk offspring baru. Seleksi secara *probabilistik* dilakukan berdasarkan nilai *fitnessnya*. Semakin baik individu tersebut maka semakin besar kemungkinannya untuk terpilih. Setiap individu dalam populasi dapat dipilih lebih dari sekali. Salah satu metoda seleksi [Gen dan Cheng,2000] adalah *Roulette wheel selection* [7][8][9] seperti gambar 5.



Gambar 5. Roulette wheel selection

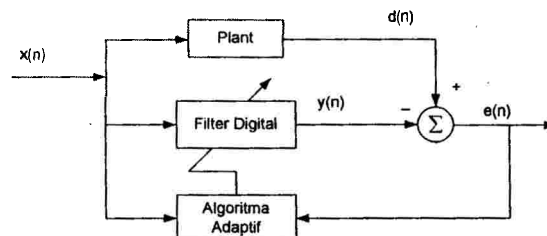
2.2.5.6 Kriteria Terminasi

Algoritma genetika bergerak dari generasi ke generasi dengan memilih dan memproduksi generasi sampai kriteria yang diinginkan terpenuhi.

Kriteria berhenti yang paling umum dipakai adalah jumlah maksimum generasi yang dispesifikasikan. Kriteria lainnya adalah terjadinya konvergensi pada populasi [9].

2.3 Filter Adaptif

Filter digital adaptif terdiri dari dua bagian, yaitu filter digital untuk menghasilkan pemrosesan sinyal yang diinginkan dan algoritma adaptif untuk mengatur koefisien filter tersebut [1].



Gambar 6. Diagram blok filter adaptif[3]

Berdasarkan blok diagram filter adaptif pada Gambar 6, dimana *Plant* adalah sistem tak diketahui yang diidentifikasi, $d(n)$ adalah respon yang diinginkan (sinyal primer), $y(n)$ adalah keluaran dari filter digital dengan memasukkan sinyal referensi $x(n)$, dan galat $e(n)$ adalah selisih antara $d(n)$ dan $y(n)$ [1][5]. Fungsi algoritma adaptif berguna untuk mengatur koefisien filter digital dan memperkecil nilai kuadrat rata-rata $e(n)$.

Algoritma LMS

Dalam aplikasi nilai statistik dari $d(n)$ dan $x(n)$ tidak diketahui, sehingga metoda Steepest Descent tidak bisa digunakan karena metoda tersebut membutuhkan nilai eksak dari vektor gradien pada setiap iterasi [1][3]. Kuadrat rata-rata galat estimasi :

$$\xi(n) = e^2(n) \tag{2.23}$$

Estimasi gradien dari sampel kuadrat galat tunggal:

$$\nabla \xi(n) = 2[\nabla e(n)]e(n) \tag{2.24}$$

Karena; $e(n) = d(n) - w^T(n).x(n)$

$$\nabla e(n) = -x(n) \tag{2.25}$$

dan estimasi gradien menjadi:

$$\nabla \xi(n) = -2x(n)e(n) \tag{2.26}$$

Substitusi persamaan (2.26) ke persamaan (2.21) (algoritma *steepest descent*), didapatkan algoritma LMS:

$$w(n + 1) = w(n) + \mu x(n)e(n) \tag{2.27}$$

2.6 Pencarian Nilai Optimasi Filter Adaptif

Merujuk pada gambar 6, sistem kendali derau aktif yang dibangkitkan oleh filter digital adaptif diatur oleh algoritma adaptif yang mengacu pada nilai error $e(n)$. Nilai error itu sendiri didapatkan melalui selisih antara keluaran filter digital adaptif $y(n)$ dengan sinyal respon yang diinginkan $d(n)$, yang kemudian diiterasi berdasarkan kaidah algoritma NLMS. Parameter yang sangat berperan dalam mengatur nilai keluaran filter digital $y(n)$ adalah $w(n)$. Hal ini dapat dilihat dari persamaan (2.5) yang dituliskan kembali:

$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} w_l(n)x(n-l) \quad (2.42)$$

dimana

$$l = 0, 1, \dots, L-1$$

dan vektor koefisien filter pada waktu n adalah:

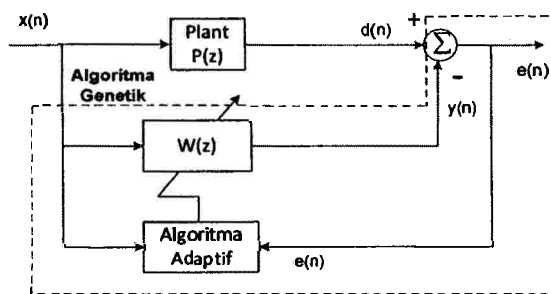
$$w(n) = [w_0(n) w_1(n) \dots w_{L-1}(n)]^T \quad (2.43)$$

$$w(n+1) = w(n) + \mu x(n-l)e(n) \quad (2.44)$$

Sedangkan, pada algoritma NLMS terdapat penyesuaian sehingga persamaan $w(n+1)$ pada algoritma LMS standar dimodifikasi menjadi:

$$w(n+1) = w(n) + \frac{\mu}{a + \|x(n)\|^2} x(n) e(n) \quad (2.45)$$

Berdasarkan persamaan algoritma NLMS di atas, dapat dilihat bahwa terdapat beberapa parameter yang harus disesuaikan secara terus-menerus hingga mencapai suatu kondisi yang konvergen. Parameter-parameter tersebut yaitu orde filter L , nilai *step size* μ , dan konstanta denominator NLMS a . Modifikasi proses pencarian nilai optimasinya dengan metode algoritma genetik. Algoritma genetik memiliki keunggulan dalam proses pencarian dan pemilihan, karena sistem akan beregenerasi secara otomatis untuk mencari hasil yang paling mendekati hasil terbaik yang diinginkan [7][8][9][12].



Gambar 7. Blok Diagram Filter Adaptif

Dengan memasukkan parameter-parameter pada algoritma NLMS sebagai variabel pada algoritma genetik, dan menentukan batasan nilainya, akan dicari nilai parameter terbaik beserta tolak ukur hasil keluaran yang didapatkannya pada sistem kendali derau aktif. Dengan demikian, oleh karena nilai optimasinya akan dicari dengan metode algoritma genetik, blok diagram *Active Noise Control* dapat digambarkan kembali seperti pada Gambar 7.

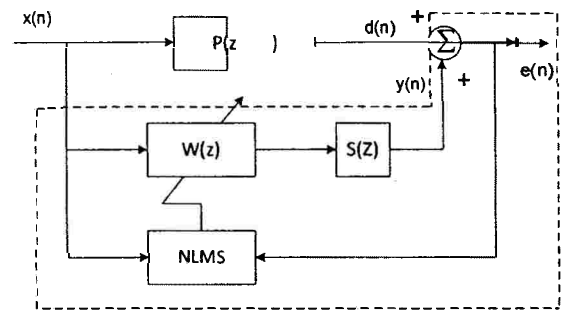
3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Sistem

Sistem kendali derau aktif umpan maju menggunakan algoritma NLMS dengan pencarian nilai optimasi menggunakan algoritma genetik, terdapat tahapan ketiga yaitu pencarian nilai optimasi dengan menggunakan algoritma genetik. Secara garis besarnya, tahapan-tahapan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

Proses identifikasi jalur sekunder (bagian yang dikurung dengan garis putus-putus pada Gambar 8) dengan tujuan mendapatkan koefisien filter untuk sebuah filter model yang mengkompensasi bagian

$S(z)$. Pada proses ini, filter model tersebut dinamakan $\hat{S}(z)$.



Gambar 8. Blok Kendali Derau Aktif

Proses kendali derau aktif umpan maju menggunakan algoritma Normalized-LMS.

Melakukan proses pencarian dan pemilihan parameter orde filter (L), *step size* (μ dan μg), dan konstanta denominator NLMS (a) dengan menggunakan metode algoritma genetik untuk mendapatkan nilai optimasi terbaik dan menggunakannya pada proses kendali derau aktif umpan maju dengan algoritma NLMS.

3.2 Identifikasi Sistem

Proses identifikasi sistem kendali derau aktif dapat disebut juga sebagai identifikasi jalur sekunder, karena jalur sinyal input menuju *plant* $P(z)$ disebut juga sebagai jalur primer. Identifikasi jalur sekunder merupakan penentuan model dari jalur sekunder yang akan dilalui sinyal dari pengendali dengan menggunakan persamaan dasar pada sistem filter digital FIR. Pertama diasumsikan bahwa karakteristik $S(z)$ berubah terhadap waktu tetapi tidak diketahui. Jadi untuk mengetahui karakteristik $S(z)$ digunakan teknik sistem identifikasi dengan memodelkan sistem secara *off-line* [3][5].

Identifikasi dilakukan secara terpisah (*off-line*) untuk mengkompensasi fungsi alih dari peralatan-peralatan elektronik dan jalur akustik yang dilewati sinyal derau. Dengan pengidentifikasian ini, akan diperoleh koefisien filter model $\hat{S}(z)$ setelah kondisi $S(z)$ dan $\hat{S}(z)$ konvergen. Dalam proses identifikasi jalur sekunder ini dilakukan beberapa tahapan-tahapan untuk mendapatkan koefisien filter model $\hat{S}(z)$ tersebut [3][5].

Langkah-langkah dalam menentukan estimasi $S(z)$ menggunakan *off-line modeling technique* antara lain yaitu:

1. Memasukkan input sinyal $x(s)$ dan $d(s)$ yang berasal dari rekaman *blower* dimana $x(s)$ merupakan input *plant* dan $d(s)$ *output plant*.
2. Pilih parameter L dan μ , dimana orde filter (L) dan faktor konvergensi (μ) yang akan digunakan pada sistem identifikasi.
3. Penggunaan persamaan filter linear adaptif untuk:
 - a. Menghitung keluaran filter digital FIR

$$y(s) = \sum_{l=0}^{L-1} s_l(n)x(n-l) \quad (3.1)$$

Dimana $s_l(n)$ adalah koefisien dari estimasi aliran sekunder filter $\hat{S}(z)$ pada waktu n .

- b. Menghitung sinyal galat

$$e(s) = d(s) - y(s) \tag{3.2}$$

- c. Memperbaharui koefisien filter adaptif menggunakan algoritma LMS.

$$\hat{s}_l(n + 1) = \hat{s}_l(n) + \mu x(n - l)e(n) \tag{3.3}$$

$$l = 0, 1, \dots, L - 1$$

- d. Kembali ke langkah a untuk iterasi selanjutnya hingga filter adaptif $\hat{S}(z)$ konvergen untuk menjadi solusi yang optimal dimana nilai dari $e(n)$ menjadi minimal dan menghasilkan model matematis untuk sistem kendali derau aktif.

Proses identifikasi akan berhenti jika telah mendapatkan nilai koefisien filter (\hat{s}_l) optimal dan koefisien filter \hat{s}_l ini akan digunakan untuk koefisien filter model ($\hat{S}(z)$) [3].

Kinerja hasil proses identifikasi dari jalur sekunder ditunjukkan dengan perbandingan atau rasio antara sinyal keluaran jalur sekunder dengan galat dalam desibel (dB) [3][11]. Rasio antara sinyal keluaran *plant* jalur sekunder dengan sinyal galat secara umum dinyatakan dengan SER (signal to error ratio), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah [3].

$$SER = 10(\log(\text{var}(d(n))) - \log(\text{var}(e(n)))) \tag{3.4}$$

dimana: $\text{var}(d(n))$ adalah varian dari sinyal keluaran *plant* sekunder

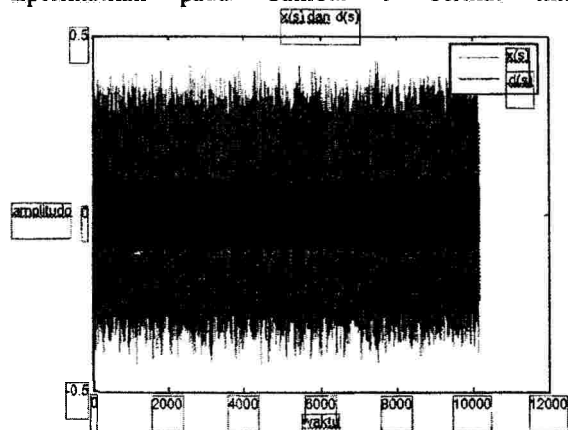
$\text{var}(e(n))$ adalah varian dari sinyal galat.

Selain untuk perbandingan juga ditentukan nilai *Mean Square Error* (MSE) dari sinyal galat dengan persamaan (3.5) [3].

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N e(n)^2 \tag{3.5}$$

dimana $e(n)$ adalah sinyal galat.

Sinyal $x(s)$ dan $d(s)$ yang akan di identifikasi diperlihatkan pada Gambar 9 berikut ini:

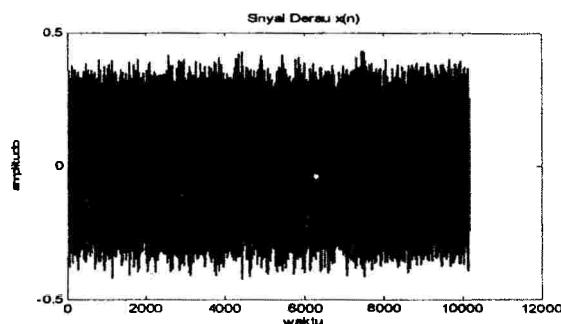


Gambar 9. Sinyal $x(s)$ dan $d(s)$ *Blower*

3.3 Kendali Derau Aktif Menggunakan Algoritma Normalized-LMS

Setelah didapatkan koefisien filter model $\hat{S}(z)$ atau model matematis untuk sistem kendali derau aktif maka dilanjutkan dengan proses simulasi kendali derau aktif umpan maju ber algoritma Normalized-LMS yang dilakukan melalui beberapa tahapan sehingga sinyal derau bisa dihilangkan atau diminimalkan.

Pada kendali derau aktif ini akan dihilangkan atau diminimalisir sebuah sinyal derau yang diperoleh dari suatu rekaman sumber derau berupa *blower* dengan frekuensi $f_s = 2030 \text{ Hz}$. Sumber derau ini diperoleh dari hasil rekaman *blower* yang dilakukan oleh Irma Husnaini tanggal 17 Mei 2005 seperti gambar 10.



Gambar 10. Rekaman *Blower*

3.3.1 Pemodelan Kendali Derau Aktif Menggunakan Algoritma Normalized-LMS

Blok pemodelan sistem kendali derau aktif umpan maju menggunakan algoritma Normalized-LMS pada dasarnya sama dengan blok pemodelan yang menggunakan algoritma LMS biasa [1][5].

Setelah memasukan sinyal derau yang akan dihilangkan selanjutnya digunakan sebuah filter adaptif yang bisa menghapus atau menghilangkan derau tersebut menggunakan algoritma Normalized-LMS. Proses menggunakan filter adaptif sebagai berikut:

Pilih parameter dan kondisi awal: L, μ, a , dan $w(0)$ dimana L adalah orde filter, μ adalah step size, a adalah konstanta denominator NLMS dan $w(0)$ adalah kondisi awal vektor bobot pada waktu $n = 0$.

Hitung keluaran filter adaptif:

$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} w_l(n)x(n-l) \tag{3.6}$$

$$l = 0, 1, \dots, L-1$$

Hitung sinyal galat

$$e(n) = d(n) - y(n) \tag{3.7}$$

Perbaharui vektor bobot adaptif dari $w(n)$ ke $w(n + 1)$ menggunakan algoritma:

$$w(n+1) = w(n) + \frac{\mu}{a + \|x(n)\|^2} x(n)e(n) \tag{3.8}$$

3.4 Pencarian Nilai Optimasi Menggunakan Algoritma Genetik

Parameter terbaik orde filter, step size, dan konstanta denominator NLMS (L, μ, μ_g , dan a) akan dicari oleh GA dimana nilai SER akan menjadi tolak ukur, yaitu semakin besar nilai SER maka parameter yang digunakan akan semakin baik [5]. Adapun langkah-langkah pencarian nilai optimasi dengan menggunakan GA tersebut [7][8][9]:

Langkah 1 : Bangkitkan Input

Input dari proses ini adalah rekaman *blower* dan matriks koefisien model *Plant* yang didapatkan dari proses identifikasi sistem.

Langkah 2 : Menentukan parameter-parameter GA

Parameter-parameter pengendali jalannya algoritma genetik yaitu:

- a. Ukuran populasi (*Ukpop*), yaitu banyaknya individu yang terdapat dalam populasi, disini dibangkitkan sebanyak 50 kromosom.
- b. Jumlah maksimum generasi (*MaxGen*), yaitu jumlah maksimum iterasi yang akan dijalankan pada algoritma genetik sebanyak 20 kali.
- c. *Probabilitas crossover* (P_s), probabilitas mutasi (P_m), yang masing-masing menentukan besarnya kemungkinan individu untuk melakukan operasi crossover dan mutasi disini ditetapkan $P_m = 0.02$ dan $P_s = 0.8$.

Langkah 3 : Inisialisasi Populasi

Untuk merepresentasi solusi ini digunakan *binary encoding*. Representasi gennya berupa 'representasi bit' yaitu gen dalam kromosom hanya dapat bernilai 0 atau 1. Pemilihan binary encoding karena lebih mudah di implementasikan di bandingkan dengan metoda yang lainnya. Pada penelitian ini populasi awal dibangkitkan dengan membentuk string biner sebanyak 10 bit.

Langkah 4 : Dekode-kan Kromosom

Fungsi ini bertujuan untuk mendekodekan sebuah kromosom yang berisi bilangan biner yang telah di bangkit sebelumnya menjadi individu yang bernilai real dalam interval yang diinginkan $[r_a, r_b]$. Proses pendekodean dilakukan berdasarkan rumus

$$x = r_a + \frac{(r_b - r_a)}{\sum_{i=1}^N 2^{-i}} (g_1 x 2^{-1} + g_2 x 2^{-2} + \dots + g_N x 2^{-N}) \tag{3.9}$$

Pada GA pencarian nilai optimasi sistem kendali derau aktif string biner didekodekan menjadi empat variabel (L, μ, μ_g , dan a). Batas intervalnya adalah sebagai berikut:

- Untuk L (integer): batas atas = 100
 batas bawah = 1
- Untuk μ : batas atas = 1,999
 batas bawah = 0,001
- Untuk μ_g : batas atas = 3
 batas bawah = 0,001
- Untuk a (integer) : batas atas = 100

batas bawah = 1

Langkah 5 : Evaluasi Individu

Fungsi ini bertujuan untuk mencari nilai fitness dari suatu individu. Pendefinisian fungsi fitness adalah menurut hasil yang diperlukan dari suatu permasalahan. Karena dalam penelitian ini mencari SER terbesar, terdapat beberapa proses untuk menjadi referensi pencarian nilai SER tersebut.

$$w(n+1) = w(n) + \frac{\mu}{a + \|x(n)\|^2} x(n)e(n) \tag{3.10}$$

$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} w_l(n) x(n-l) \tag{3.11}$$

Dimana:
 $l = 0, 1, \dots, L-1$

$$e(n) = d(n) - y(n) \tag{3.12}$$

$$SER = 10(\log(\text{var}(d(n))) - \log(\text{var}(e(n)))) \tag{3.13}$$

Semakin besar nilai SER, maka akan menandakan semakin baik sistem kendali derau aktif. Untuk itu penghitungan nilai fitness menggunakan rumus:

$$f = h \tag{3.14}$$

Langkah 6 : Fungsi Seleksi

Adapun metode seleksi yang sering digunakan adalah *Roulette Wheel* dan membutuhkan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Hitung nilai *fitness eval* (v_k) untuk setiap kromosom

$$eval = f(k), k = 1, 2, \dots, UkPop$$

2. Hitung nilai *fitness* total untuk populasi tersebut:

$$f = \sum_{i=1}^{UkPop} eval(v_k) \tag{3.15}$$

3. Hitung probabilitas seleksi p_k untuk setiap kromosom v_k :

$$p_k = \frac{eval(v_k)}{f} \tag{3.16}$$

4. Hitung probabilitas kumulatif q_k untuk setiap kromosom v_k :

$$q_k = \sum_{j=1}^k p_k \tag{3.17}$$

Seleksi dimulai dengan memutar *roulette wheel* sebanyak *pop_size* kali. Setiap kali putaran, satu kromosom dipilih untuk populasi baru dengan cara sebagai berikut :

- a. Membangkitkan bilangan acak r bertipe real yang terletak dalam range $[0, 1]$.
- b. Apabila $r < q_1$ maka individu yang terpilih adalah individu ke-1 (v_1). Jika tidak, maka pilih kromosom ke- k dengan v_i ($2 \leq i \leq UkPop$), dimana: $q_{i-1} < r \leq q_i$.

Langkah 7 : Operasi Genetik.

Operasi genetik ini terdiri dari pindah silang dan mutasi.

1. Pindah silang

Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan proses crossover yaitu

- a. Bangkitkan bilangan acak (r) antara 0 dan 1 sebanyak $JumGen$
- b. Tentukan kromosom yang akan disilangkan.

Untuk

$$k = 1, 2 \dots Ukpop$$

maka

- a) Jika $r(k) < P_s$, maka kromosom k akan terpilih untuk proses crossover
- b) Jika $r(k) > P_s$, maka kromosom k tidak akan terpilih untuk proses crossover

2. Mutasi

Sebuah bilangan antara 1 sampai $jumGen$ dibangkitkan secara acak kurang dari probabilitas mutasi (P_m), maka nilai yang bersesuaian akan diganti dengan nilai kebalikannya (nilai 0 diubah menjadi 1 dan 1 diubah menjadi 0). Langkahnya adalah sebagai berikut:

- a. Membangkitkan bilangan acak r bertipe real dalam range $[0..1]$.
- b. Jika $r < P_m$ maka individu tersebut terpilih untuk melakukan mutasi.

Langkah 8 : Menentukan suatu kriteria untuk menghentikan jalannya algoritma yaitu:

- a. Apabila generasi saat ini telah mencapai jumlah maksimum generasi.
- b. Apabila solusi yang paling optimal telah ditemukan.

4. HASIL DAN ANALISA

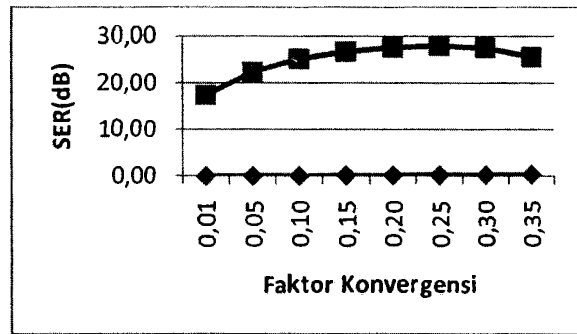
4.1 Simulasi Identifikasi Jalur Sekunder

Identifikasi dilakukan secara terpisah (*off-line*) untuk mengkompensasi fungsi alih dari peralatan-peralatan elektronik dan jalur akustik yang dilewati sinyal derau [3][5]. Pertama masukkan input sinyal $x(s)$ dan $d(s)$ yang berasal dari rekaman *blower* dimana $x(s)$ merupakan input *plant* dan $d(s)$ output *plant*. Kemudian ditentukan orde filter yang akan digunakan, pada simulasi ini digunakan orde filter (L) = 100, selanjutnya variasikan nilai faktor konvergensi atau *step size* (μ).

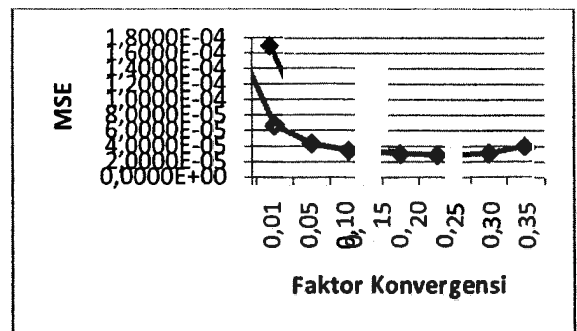
Hasil identifikasi akan menghasilkan yang dinamakan koefisien model *plant*. Nilai ini nantinya akan menjadi koefisien model yang akan digunakan pada simulasi sistem kendali derau aktif [3][5].

4.1.1 Simulasi Identifikasi Jalur Sekunder *Blower*

Setelah dilakukan simulasi menggunakan sinyal rekaman *blower* dengan orde filter 100 dan melakukan variasi pada nilai faktor konvergensi diperoleh hasil seperti gambar 11 dan gambar 12.



Gambar 11. Grafik Perbandingan SER(dB) dengan Faktor Konvergensi *Blower*



Gambar 12. Grafik Perbandingan MSE dengan Faktor Konvergensi *Blower*

Kinerja hasil proses indentifikasi pada jalur sekunder ditunjukkan oleh perbandingan antara sinyal output jalur sekunder dengan galat atau *Signal to Error Ratio* (SER). Hasil simulasi proses identifikasi terbaik atau yang optimum yaitu yang memiliki nilai SER yang paling besar. Kondisi yang memiliki SER terbesar yaitu dengan menggunakan filter FIR dengan besar faktor konvergensi (μ) = 0.25 diperoleh sebesar 27.891755 dB dan menghasilkan model jalur sekunder dengan kesalahan yang dinyatakan dengan MSE sebesar 2.8746E-05 atau -45.414168 dB.

4.2 Simulasi Kendali Derau Aktif Menggunakan Algoritma Normalized-LMS

Langkah selanjutnya yaitu simulasi sistem kendali derau aktif umpan maju menggunakan filter adaptif yang beralgoritma NLMS. Simulasi dilakukan dengan sinyal masukan berupa sinyal hasil rekaman *blower*.

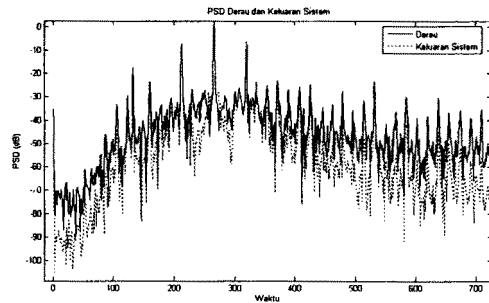
4.2.1 Rekaman *Blower*

Dari berbagai percobaan yang dilakukan dengan mengubah-ubah faktor konvergensi μ , μ_g , orde filter, dan a diperoleh data-data seperti pada gambar 13.

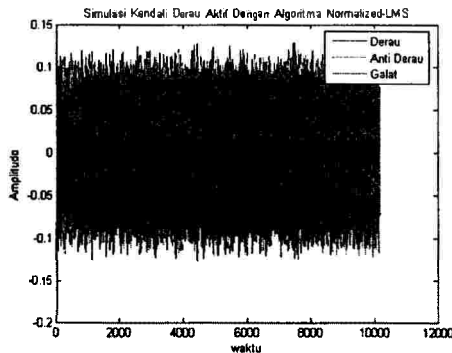
Kondisi yang memiliki SER terbesar yaitu dengan menggunakan filter FIR berorde 20 dan $a=1$ dengan faktor konvergensi $\mu=0.5$ dan $\mu_g=0.12$ diperoleh SER sebesar 16.111047 dB dan menghasilkan model jalur sekunder dengan kesalahan yang dinyatakan dengan MSE sebesar 8.9785E-05 atau sebesar -40.467944 dB.

Dengan menggunakan parameter untuk nilai SER terbesar maka hasil simulasi sitem kendali derau

aktif menggunakan algoritma Normalized-LMS dapat dilihat pada Gambar 14 berikut:



Gambar 13. Hasil Simulasi antara Derau dengan Keluaran pada Sistem Kendali Derau Aktif Blower



Gambar 14. Hasil Simulasi Kendali Derau Aktif Blower

4.3 Pencarian Nilai Optimasi Kendali Derau Aktif Dengan Algoritma Genetik

Pencarian dan pemilihan nilai optimasi pada sistem kendali derau aktif umpan maju menggunakan GA dilakukan dengan memberikan batas-batas sebagai berikut:

Untuk L (integer): batas atas = 100
batas bawah = 1

Untuk μ : batas atas = 1,999
batas bawah = 0,001

Untuk μg : batas atas = 3
batas bawah = 0,001

Untuk a (integer) : batas atas = 100
batas bawah = 1

Parameter-parameter pengendali jalannya algoritma genetik diberikan sebagai berikut:

a. Ukuran populasi (*Ukpop*), yaitu banyaknya individu yang terdapat dalam populasi, disini dibangkitkan sebanyak 50 kromosom.

b. Jumlah maksimum generasi (*MaxGen*), yaitu jumlah maksimum iterasi yang akan dijalankan pada algoritma genetik sebanyak 20 kali.

c. *Probabilitas crossover* (P_s), *probabilitas mutasi* (P_m), yang masing-masing menentukan besarnya kemungkinan individu untuk melakukan operasi crossover dan mutasi disini ditetapkan $P_m = 0.02$ dan $P_s = 0.8$.

Langkah selanjutnya yaitu simulasi sistem kendali derau aktif umpan maju menggunakan filter adaptif

yang beralgoritma NLMS dengan pencarian nilai optimasi menggunakan GA. Nilai yang akan dijadikan patokan atau nilai *fitness*-nya adalah nilai SER, dimana semakin besar nilai SER, maka sistem akan semakin optimal. Simulasi dilakukan dengan sinyal masukan berupa sinyal hasil rekaman blower dengan hasil data sebagai berikut:

a = 12

L = 92

$\mu g = 0.102$

$\mu = 0.402$

SER = 16.01023237 dB

4.4 Analisa Pembahasan

Hasil redaman atau SER untuk sinyal rekaman blower, dimana kondisi terbaiknya saat menggunakan filter FIR berorde 20 dan $a=1$ dengan faktor konvergensi $\mu=0.5$ dan $\mu g= 0.12$ diperoleh SER sebesar 16.111047 dB dan menghasilkan model jalur sekunder dengan kesalahan yang dinyatakan dengan MSE sebesar $8.9785E-05$ atau sebesar -40.467944 dB.

Sedangkan pada simulasi sistem kendali deran aktif umpan maju menggunakan filter adaptif yang beralgoritma NLMS dengan pencarian nilai optimasi menggunakan algoritma genetik, didapatkan nilai SER sebesar 16.01023237 dB pada blower.

5. KESIMPULAN

Dari simulasi yang dilakukan pada penelitian ini dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Nilai *step size* (μ dan μg), konstanta denominator NLMS (a), dan orde filter (L) sangat memengaruhi hasil simulasi sistem identifikasi jalur sekunder dan simulasi sistem kendali derau aktif.
2. Pada simulasi sistem identifikasi jalur sekunder, *Signal to Error Ratio* (SER) yang besar akan menghasilkan koefisien model *Plant* yang sesuai untuk masukan bagi ANC. Sedangkan pada simulasi sistem kendali derau aktif, SER yang besar menandakan keberhasilan sistem untuk meredam derau dengan baik, dan sinyal galat yang minimal.
3. Simulasi kendali derau aktif menggunakan algoritma Normalized-LMS dengan pencarian nilai optimasi menggunakan algoritma genetik menghasilkan nilai SER sebesar 16.01023237 dB pada blower.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Haykin, Simon. 1996. *Adaptive Filter Theory*, third edition. New Jersey: Prentice-Hall International, INC.
- [2] Husnaini, Irma. 2005. "Perancangan dan Implementasi Sistem Kendali Derau Aktif Umpan Maju Broadband Pada Ruang Terbuka". Tesis. Bandung: ITB.

- [3] Kuo, Sen M dan Morgan, Dennis R. 1996. *Active Noise Control Algorithm and DSP Implementations*. New York: John Willey & Sons Inc.
- [4] Larsen, Allan R. 2003. *Digital Signal Processing Of Lf-Output Of Microwave Transceivers*. Master's Thesis. University of Southern Denmark.
- [5] Milosevic, Aleksandar dan Schaufelberger, Urs. 2005. *Active Noise Control*. Diploma Thesis. Rapperswil: University of Applied Sciences Rapperswil HSR.
- [6] Nuriadi, Risman. 2006. *Simulasi Sistem Kendali Derau Aktif Umpan Maju Menggunakan Algoritma Adjoint LMS*. Tugas Akhir. Padang:UNAND.
- [7] Kuswadi, Son. 2007. *Kendali Cerdas, Teori dan Aplikasi Praktisnya*. Yogyakarta: ANDI.
- [8] Suyanto. 2005. *Algoritma Genetika dalam MATLAB*. Yogyakarta: ANDI.
- [9] Suyanto, ST. Msc. 2008. *Evolutionary Computation, Komputasi Berbasis "Evolusi" dan "Genetika"*. Informatika: Bandung.
- [10] Widrow, Bernard dan Stearns, Samuel D. 1985. *Adaptive Signal Processing*. New Jersey: Prentice-Hall Signal Processing Series.
- [11] Wirabrata, Agung. 2008. *Simulasi Sistem Kendali Derau Aktif Umpan Maju Menggunakan Algoritma Adaptive Line Enhancer - Least Mean Square (ALE-LMS)*. Tugas Akhir. Padang: UNAND.
- [12] Yohan Naftali. 2008. *Algoritma Genetik*. <http://www.workpress.com>
- [13]. Darwison, 2001, Optimal value in the design of a dc servomotor treatment scheme as a position control, Proceeding IFAC & CIGR, Bali
- [14] Darwison, Ikhwana Elfitri, dan Meza Silvana, 2006, *Optimalisasi Bobot Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan Algoritma Genetik dalam Identifikasi Suara* (No. 26 Vol.2 Thn.XIII November 2006)