

OPTIMASI PERENCANAAN ANTENA HORN PIRAMIDA DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIK

MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR

Oleh

TRİYOGA PRAPTO W – L2F 300 570

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Abstrak

Antena horn piramida adalah antena yang dipakai dalam sistem telekomunikasi gelombang mikro. Performansi antena horn piramida dapat diukur dari nilai direktivitas atau pengarahannya, semakin tinggi nilai direktivitas, maka performansi antena tersebut semakin baik. Nilai direktivitas ditentukan oleh ukuran dimensi antena. Untuk mendapat nilai direktivitas yang lebih tinggi atau optimum, maka ukuran dimensi antena horn piramida harus dirancang secara tepat pada waktu proses perencanaannya.

Proses perencanaan dimensi-dimensi antena horn piramida yang menghasilkan direktivitas optimum dapat dilakukan dengan menggunakan metode algoritma genetik. Algoritma genetik adalah algoritma pencarian nilai solusi suatu permasalahan yang didasarkan pada mekanisme seleksi alamiah individu-individu dalam suatu populasi dengan menggunakan nilai daya tahan hidup / fitness sebagai nilai kualitatif dalam penentuan individu terbaik dalam populasi yang akan direpresentasikan sebagai solusi optimum dari permasalahan tersebut. Pada Tugas Akhir ini akan disimulasikan penggunaan algoritma genetik untuk menentukan kombinasi nilai dimensi-dimensi antena horn piramida yang akan menghasilkan direktivitas optimum, yang beroperasi pada frekuensi kerja tertentu, dengan program simulasi yang dibuat menggunakan Matlab 6.1.

Dari hasil pengujian menggunakan program simulasi, diambil kesimpulan yaitu semakin tinggi frekuensi kerja antena yang digunakan, maka nilai persentase optimasi atau persentase peningkatan nilai direktivitas juga semakin besar. Pada keenam sample frekuensi kerja yang diuji, persentase kenaikan nilai direktivitas dalam satuan dBi sebesar 2,0606 % pada sample frekuensi kerja terendah 10 GHz dan sebesar 3,5504 % pada sample frekuensi kerja tertinggi 325 GHz.

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia telekomunikasi dewasa ini selalu menuntut suatu kemajuan teknologi yang lebih sempurna daripada teknologi sebelumnya, salah satu contohnya adalah teknologi antena. Antena yang berfungsi baik sebagai *transmitter* (pemancar) maupun sebagai *receiver* (penerima) gelombang elektromagnetik memiliki peranan yang sangat penting dalam suatu sistem telekomunikasi radio, oleh karena itu peningkatan mutu antena sangatlah diperlukan untuk mencapai suatu nilai pancar atau terima yang optimum. Perangkat antena dibedakan berdasarkan bentuk dan kualitas bahan yang digunakan, sehingga kemampuan tiap-tiap antena untuk memancarkan maupun menerima suatu gelombang elektromagnetik tentu berbeda.

Salah satu jenis antena adalah antena *horn* piramida, antena ini dipakai dalam sistem telekomunikasi gelombang mikro. Kelebihan antena *horn* piramida antara lain mempunyai gain yang tinggi, *bandwidth* yang relatif lebar, tidak berat dan mudah untuk dibuat. Pada antena *horn* piramida, untuk mendapatkan kapasitas pengarahannya antena terbaik dan pancaran radiasi yang sempit sehingga intensitas radiasinya menjadi semakin kuat, maka nilai direktivitas-nya perlu dibuat seoptimum mungkin. Untuk itu maka dipandang perlu adanya suatu metode pencarian direktivitas antena *horn* piramida yang optimum. Hal inilah yang menjadi pokok permasalahan yang hendak dicari jalan keluarnya dalam penulisan Tugas Akhir ini.

1.2 Tujuan

Tujuan Tugas Akhir ini adalah membuat perencanaan antena *horn* piramida yang mempunyai direktivitas optimum yang beroperasi pada frekuensi kerja tertentu, dengan jalan menentukan kombinasi ukuran dimensi-dimensi antena secara tepat, yang akan menghasilkan direktivitas optimum dengan menggunakan metode optimasi algoritma genetik.

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam Tugas Akhir ini diberikan pembatasan-pembatasan sebagai berikut:

- Optimasi perencanaan antena *horn* piramida disini adalah optimasi nilai direktivitas antena dan mengabaikan faktor kualitas bahan antena yang digunakan serta faktor-faktor eksternal lainnya yang mempengaruhi proses transmisi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan antena.
- Karena pokok permasalahan adalah nilai direktivitas, maka antena *horn* piramida yang dibahas dititikberatkan pada antena pemancar.
- Proses optimasi direktivitas antena *horn* piramida dilakukan dengan menggunakan metode algoritma genetik, dengan parameter kontrol algoritma genetik sebagai berikut : proses seleksi menggunakan metode *Roulette Wheel*, Proses *crossover* menggunakan metode *Single Point Crossover* dan proses mutasi menggunakan metode Mutasi Biner.

II ANTENA HORN PIRAMIDA

2.1 Karakteristik Antena

2.1.1 Intensitas Radiasi

Intensitas radiasi didefinisikan sebagai daya yang dipancarkan oleh suatu antena tiap satuan sudut ruang. Intensitas radiasi dapat diperoleh dengan mengalikan rapat radiasi (daya persatuan luas) terhadap kuadrat jarak pada titik yang diukur.

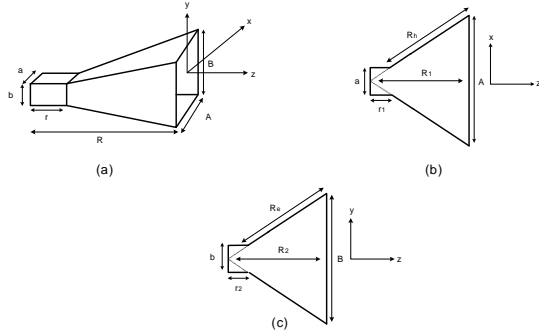
2.1.2 Direktivitas dan Gain

Direktivitas merupakan perbandingan antara intensitas radiasi maksimum dengan intensitas radiasi rata-rata.

Gain didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas maksimum suatu antena *directive* (arah pancarnya ke satu arah) dengan intensitas radiasi suatu antena pembanding *isotropis* (arah pancarnya ke segala arah), dalam kondisi daya masukan kedua antena sama besar.

2.2 Antena Horn Piramida

Antena *horn* Piramida merupakan antena yang dipakai dalam sistem telekomunikasi gelombang mikro (*microwave*). Skema antena *horn* piramida (*pyramidal horn antenna*) berikut dimensi-dimensinya ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Dimensi-dimensi antena *horn* piramida

Keterangan :

- (a) Bentuk geometris antena *horn* piramida
- (b) Penampang melintang pada bidang H
- (c) Penampang melintang pada bidang E

Panjang penampang bidang E (R_e) pada Gambar 1c bisa dinyatakan dengan persamaan (1).

$$R_e = \lambda \cdot \sqrt{K} \dots\dots\dots (1)$$

Sedangkan panjang penampang bidang H antena *horn* piramida (R_h), seperti ditunjukkan Gambar 1b dapat dinyatakan dengan persamaan (2).

$$R_h = \frac{K \cdot \lambda^2}{R_e} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan :

$$\lambda = \frac{c}{f} \dots\dots\dots (3)$$

$$K = \left(\frac{10^{(G/10)}}{15,7497} \right)^2 \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

- f = frekuensi kerja antena (GHz)
- λ = Panjang gelombang (m)
- c = Kecepatan cahaya ($3 \cdot 10^8$ m/detik)
- K = Efisiensi radiasi
- G = Gain antena (dBi)

Untuk menentukan dimensi *aperture* antena, yaitu mulut antena *horn* sisi A dan B diperoleh dengan persamaan (5) dan (6).

$$A = \sqrt{3 \cdot R_h \cdot \lambda} \dots\dots\dots (5)$$

$$B = \sqrt{2 \cdot R_e \cdot \lambda} \dots\dots\dots (6)$$

Maka panjang antena untuk masing-masing bidang H (R_1) dan bidang E (R_2) dapat ditentukan dengan persamaan (7) dan (8).

$$R_1 = R_h \left[1 + \left(\frac{a}{2A} \right) + \left(\frac{b}{2B} \right) \right] \dots\dots\dots (7)$$

$$R_2 = R_e \left[1 + \left(\frac{a}{2A} \right) + \left(\frac{b}{2B} \right) \right] \dots\dots\dots (8)$$

Karena nilai dari R_1 dan R_2 adalah sama, maka untuk perhitungan selanjutnya hanya diperlukan nilai tunggal yaitu panjang antena *horn* (R).

$$R = R_1 = R_2 \dots\dots\dots (9)$$

Sedangkan panjang pangkal antena *horn* piramida bidang H (r_1) dapat dicari dengan menggunakan persamaan (10).

$$R_x h = \sqrt{R_h^2 - \left(\frac{A-a}{2} \right)^2}$$

$$R_z h = \sqrt{R_x h^2 - \left(\frac{B-b}{2} \right)^2}$$

$$r_1 = R_1 - R_z h \dots\dots\dots (10)$$

Dan panjang pangkal antena *horn* piramida bidang E (r_2) dapat dihitung melalui persamaan (11).

$$R_x e = \sqrt{R_e^2 - \left(\frac{B-b}{2} \right)^2}$$

$$R_z e = \sqrt{R_x e^2 - \left(\frac{A-a}{2} \right)^2}$$

$$r_2 = R_2 - R_z e \dots\dots\dots (11)$$

2.3 Direktivitas Antena Horn piramida

Direktivitas atau pengarahannya adalah salah satu parameter yang dipakai untuk menentukan performansi dari suatu antena *horn* piramida. Penentuan nilai direktivitas dimulai dengan memasukkan nilai dimensi-dimensi antena *horn* yang telah dibahas di depan ke dalam persamaan (12), (13) dan (14).

$$q = \frac{B}{\sqrt{2 \cdot \lambda \cdot R}} \dots\dots\dots (12)$$

$$p_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\frac{\sqrt{R/\lambda}}{A/\lambda} + \frac{A/\lambda}{\sqrt{R/\lambda}} \right] \dots\dots\dots (13)$$

$$p_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\frac{\sqrt{R/\lambda}}{A/\lambda} - \frac{A/\lambda}{\sqrt{R/\lambda}} \right] \dots\dots\dots (14)$$

Dengan memakai persamaan medan listrik pada luasan mulut antena *horn*, maka dapat dicari parameter-parameter berikut dengan bantuan integral *fresnel* sinus dan cosinus, seperti diperlihatkan pada persamaan (15) dan (16).

$$C_{(x)} = \int_0^x \cos \left(\frac{\pi \tau^2}{2} \right) d\tau \dots\dots\dots (15)$$

$$S_{(x)} = \int_0^x \sin \left(\frac{\pi \tau^2}{2} \right) d\tau \dots\dots\dots (16)$$

Maka dari persamaan-persamaan tersebut di atas, diperoleh nilai direktivitas masing-masing untuk antena *horn* sektoral bidang H, antena *horn* sektoral bidang E dan antena *horn* piramida seperti berikut :

Untuk antena *horn* sektoral bidang E, analisa ke arah sektor medan listrik E menghasilkan bentuk antena *horn* sektoral bidang E dengan direktivitas-nya (D_E) dinyatakan oleh persamaan (17).

$$D_E = \frac{32 \cdot a \cdot B}{\pi \cdot \lambda^2} \left[\frac{C^2(q) + S^2(q)}{q^2} \right] \dots\dots\dots (17)$$

Untuk antena *horn* sektoral bidang H, analisa ke arah sektor medan listrik H menghasilkan bentuk antena

horn sektoral bidang H dengan direktivitas-nya (D_H) dinyatakan oleh persamaan (18).

$$D_H = \frac{4\pi \cdot b}{\lambda \cdot A} \left[[C_{(p1)} - C_{(p2)}]^2 + [S_{(p1)} - S_{(p2)}]^2 \right] \dots\dots\dots (18)$$

Untuk antena horn piramida, dapat dibentuk dari dua antena horn, yaitu antena horn sektoral bidang E dan bidang H. Harga direktivitas-nya (D_p) berbanding lurus dengan direktivitas radiasi masing-masing antena horn sektoral tersebut dan dinyatakan dengan persamaan (19). Dimana D_E dan D_H berturut-turut adalah direktivitas antena horn sektoral bidang E dan antena horn sektoral bidang H.

$$D_p = \frac{\pi \cdot \lambda^2}{32 \cdot a \cdot b} \cdot D_E \cdot D_H \dots\dots\dots (19)$$

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa direktivitas antena adalah perbandingan antara intensitas radiasi maksimum dengan intensitas radiasi rata-rata yang dipancarkan oleh suatu antena, sehingga bilamana direktivitas antena horn piramida dinyatakan dalam satuan penguatan intensitas radiasi, maka digunakan persamaan (20) dengan satuan dBi.

$$D_p (dBi) = 10 \cdot \log(D_p) \dots\dots\dots (20)$$

2.4 Waveguide Antena Horn Piramida

Waveguide antena berfungsi untuk memandu gelombang elektromagnetik yang akan dipancarkan atau diterima oleh antena. Antena horn piramida menggunakan waveguide standar untuk antena horn persegi (Waveguide Rectangular / WR). Jenis-jenis waveguide standar antena horn persegi dibedakan menurut penggunaan frekuensi kerja yang digunakan. Setiap jenis mempunyai ukuran panjang a dan lebar b yang berbeda. Jenis-jenis waveguide antena horn persegi selengkapnya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Jenis waveguide standar antena horn persegi

No	Jenis Waveguide	Range Frekuensi Kerja Yang Digunakan (GHz)	Dimensi	
			Panjang a (cm)	Lebar b (cm)
1	WR 650	1,12 - 1,7	16,9	8,66
2	WR 430	1,71 - 2,6	11,3	5,87
3	WR 284	2,61 - 3,95	7,62	3,81
4	WR 187	3,96 - 5,85	5,08	2,54
5	WR 137	5,86 - 8,2	3,81	1,91
6	WR 90	8,21 - 12,4	2,54	1,27
7	WR 62	12,41 - 18	1,78	0,99
8	WR 42	18,1 - 26,5	1,27	0,64
9	WR 28	26,51 - 40	0,91	0,56
10	WR 19	40,1 - 60	0,68	0,44
11	WR 12	60,1 - 90	0,51	0,36
12	WR 8	90,1 - 140	0,20	0,20
13	WR 5	140,1 - 220	0,20	0,20
14	WR 3	220,1 - 325	0,20	0,20

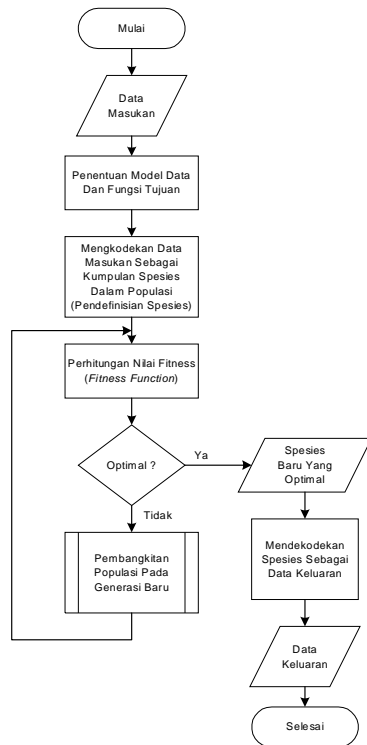
Keterangan: WR = Waveguide Rectangular

III ALGORITMA GENETIK

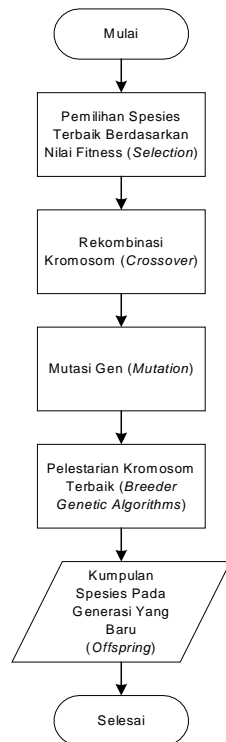
Algoritma genetik adalah algoritma pencarian nilai yang didasarkan pada mekanisme evolusi biologis. Langkah-langkah di dalam algoritma genetik didasarkan pada mekanisme pemilihan spesies secara alamiah dengan menggunakan perkembangan genetik, dimana alam secara terus menerus melakukan pemilihan dengan mempertahankan spesies-spesies yang mempunyai daya tahan hidup yang tinggi (*fit*) dan membuang atau mematikan spesies-spesies yang mempunyai daya tahan hidup yang rendah atau lemah. Dengan proses perkawinan silang antara spesies-spesies tersebut akan menyebabkan terjadinya perubahan gen-gen. Perubahan genetik ini tidak hanya terjadi pada perkawinan silang, tetapi juga bisa terjadi akibat mutasi gen dan proses adaptasi. Pada kurun waktu tertentu (sering dikenal dengan istilah generasi), populasi secara keseluruhan akan lebih banyak memuat spesies yang *fit*.

Pada algoritma ini, teknik pencarian dilakukan sekaligus atas sejumlah solusi yang mungkin yang dikenal dengan istilah "Populasi". Individu yang terdapat dalam satu populasi disebut dengan istilah "Kromosom". Kromosom ini merupakan suatu solusi yang masih berbentuk simbol. Populasi awal dibangun secara acak, sedangkan populasi berikutnya merupakan hasil evolusi kromosom-kromosom melalui iterasi yang disebut dengan istilah "Generasi". Pada setiap generasi, kromosom akan melalui proses evaluasi dengan menggunakan alat ukur yang disebut dengan "fungsi *Fitness*". Nilai *fitness* dari suatu kromosom akan menunjukkan kualitas kromosom dalam populasi tersebut. Generasi berikutnya dikenal dengan istilah "Offspring" (anak), terbentuk dari gabungan dua kromosom generasi sekarang yang bertindak sebagai "Parent" (induk) dengan menggunakan operator "Crossover" (penyilangan). Selain operator penyilangan, suatu kromosom dapat juga dimodifikasi dengan menggunakan operator "Mutasi". Populasi generasi yang baru, dibentuk dengan cara menyeleksi kromosom dengan nilai *fitness* terbaik dari kromosom induk dan dikonversikan ke kromosom anak, serta jumlah kromosom yang terseleksi sebanding dengan jumlah kromosom yang dibuang sehingga ukuran populasi (jumlah kromosom dalam suatu populasi) selalu konstan. Setelah melalui beberapa generasi, maka algoritma genetik akan konvergen ke kromosom terbaik.

Diagram alir Algoritma genetik secara umum ditampilkan dalam Gambar 2. Sedangkan subrutin "Pembangkitan Populasi Pada Generasi Baru" yang memuat urutan operasi genetik, dapat dijabarkan dalam rutin diagram alir pada Gambar 3.



Gambar 2 Diagram alir algoritma genetik secara umum



Gambar 3 Diagram alir urutan operasi genetik pada populasi dalam satu generasi

Langkah-langkah algoritma genetik dijelaskan dalam poin-poin berikut.

3.1 Penentuan Parameter Kontrol

Yang disebut dengan parameter kontrol algoritma genetik, yaitu: maksimum generasi (*n_{gen}*), ukuran populasi (*popsi_{ze}*), probabilitas *crossover* (*p_c*) dan probabilitas mutasi (*p_m*). Nilai parameter ini ditentukan juga berdasar permasalahan yang akan dipecahkan. Dari berbagai referensi, ada beberapa rekomendasi yang bisa digunakan, antara lain :

- Untuk permasalahan yang akan memiliki kawasan solusi cukup besar, direkomendasikan nilai parameter kontrol :
(*popsi_{ze}*; *p_c*; *p_m*) = (50; 0,6; 0,001)
- Bila rata-rata *fitness* setiap generasi digunakan sebagai indikator, maka digunakan parameter :
(*popsi_{ze}*; *p_c*; *p_m*) = (30; 0,95; 0,01)
- Bila *fitness* dari individu terbaik dipantau pada setiap generasi, maka diusulkan :
(*popsi_{ze}*; *p_c*; *p_m*) = (80; 0,45; 0,01)
- Maksimum generasi (*n_{gen}*) dan ukuran populasi (*popsi_{ze}*) sebaiknya tidak lebih kecil dari 30, untuk sembarang jenis permasalahan.

Parameter-parameter kontrol algoritma genetik di atas tidak mutlak harus digunakan, karena hanya sebagai referensi bantuan agar algoritma genetik yang dijalankan mampu mencapai hasil yang tepat dalam artian akan menghasilkan suatu nilai yang dianggap sebagai nilai optimum. Bilamana dipakai parameter kontrol yang lain, (*n_{gen}*, *popsi_{ze}*; *p_c*; *p_m*) yang berbeda, tidak menjadi masalah bila juga akan menghasilkan nilai optimum.

3.2 Fungsi Fitness

Fungsi evaluasi merupakan masalah yang penting dalam algoritma genetik. Fungsi evaluasi yang baik harus mampu memberikan nilai *fitness* sesuai dengan kinerja kromosom. Pada permulaan optimasi, umumnya nilai *fitness* masing-masing individu mempunyai rentang yang lebar. Seiring dengan bertambahnya generasi beberapa kromosom mendominasi populasi dan menyebabkan nilai *fitness* akan mempunyai rentang yang sempit dan pada akhirnya setelah melewati beberapa generasi, nilai *fitness* akan terkonsentrasi ke suatu nilai tunggal yang dianggap sebagai nilai terbaik. Karena yang akan dihitung adalah nilai optimum dari suatu fungsi, maka fungsi *fitness* yang dipilih umumnya adalah fungsi itu sendiri.

3.3 Pendefinisian Spesies

Fase pendefinisian spesies dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut: Penentuan model spesies yang paling sederhana adalah spesies dengan kromosom yang terdiri dari gen-gen yang tersusun dari bilangan biner. Misalnya suatu fungsi *f(x)* yang dioptimumkan pada interval [a b], kromosom akan disajikan dalam bentuk biner untuk merepresentasikan bilangan real dari variabel x, sedang panjang kromosom ditentukan berdasarkan ketelitian yang diinginkan, dengan cara menggunakan persamaan (21).

$$Pembagian\ ranah = (b-a) \times 10^n \dots\dots\dots (21)$$

Dimana :
(a,b) = Panjang ranah a ke b
n = Ketelitian / presisi yang diinginkan

Setelah pembagian ranah diketahui maka akan didapatkan panjang kromosom dengan menggunakan persamaan (22).

$$2^{(L-1)} < pembagian\ ranah < 2^L \dots\dots\dots (22)$$

Dimana :
L= panjang kromosom

Setelah diketahui panjang kromosom, maka akan dibangkitkan bilangan biner acak sebesar *popsize* (ukuran populasi) yang diinginkan. Setelah didapatkan kromosom sebanyak *popsize* maka selanjutnya dilakukan pemetaan dari kromosom biner ($b_{17} b_{16} b_{15} \dots b_0$) ke bilangan real x dari interval $[a, b]$ dilakukan dengan dua langkah sebagai berikut :

- Mengubah kromosom biner dari bilangan basis 2 menjadi bilangan basis 10 yang kemudian direpresentasikan sebagai nilai x' dengan menggunakan persamaan (23)

$$(b_{17} b_{16} b_{15} \dots b_0)_2 = \left(\sum_{i=0}^{17} b_i \cdot 2^i \right)_{10} = x' \dots (23)$$
- Mencari Bilangan real x yang merupakan perwujudan dari kromosom bersangkutan dengan persamaan (24)

$$x = a + x' \cdot \frac{(b - a)}{(x_{\max} - 1)} \dots (24)$$

Dimana :
 x = Nilai real kromosom
 a = Batas kiri interval
 b = Batas kanan interval
 x' = Hasil perubahan kromosom biner dari bilangan basis 2 menjadi basis 10
 x_{\max} = Batas tertinggi range

3.4 Seleksi

Pada proses algoritma genetik, keanekaragaman populasi dan tekanan seleksi memegang peranan penting. Keduanya sangat berkaitan erat. Meningkatnya tekanan seleksi akan berakibat pada minimnya keragaman populasi. Sebaliknya tekanan seleksi yang terlalu longgar membuat proses pencarian menjadi kurang efisien. Seleksi merupakan proses yang bertanggung jawab atas pemilihan kromosom dalam proses reproduksi.

Proses seleksi kromosom yang akan mengalami operasi genetik adalah menggunakan teknik stokastik dalam hal ini salah satunya adalah metode *Roulette Wheel Selection* (seleksi roda rolet). Metode *roulette wheel* ini merupakan metode yang paling sederhana, dan sering juga dikenal dengan nama *Stochastic Sampling With Replacement*. Pada metode ini, individu-individu dipetakan dalam suatu segmen garis secara berurutan sedemikian sehingga tiap-tiap segmen individu memiliki ukuran yang sama dengan ukuran *fitness*-nya. Sebuah bilangan acak dibangkitkan dan individu yang memiliki segmen dalam kawasan bilangan acak tersebut akan terseleksi. Proses ini diulang hingga diperoleh sejumlah individu yang diharapkan. Langkah-langkah proses seleksi adalah sebagai berikut:

- Menghitung fungsi *fitness* (F) untuk masing-masing kromosom (v_i). Dengan $i = 1, 2, \dots, Popsize$

$$F(v_i) = f(x_i) \dots (25)$$
- Menghitung total fungsi *fitness* dari populasi tersebut.

$$F_{total} = \sum_{i=1}^{popsize} F(v_i) \dots (26)$$
- Menghitung *Fitness* relatif (p_k) atau probabilitas seleksi untuk masing-masing kromosom v_i . Dengan $i = 1, 2, \dots, popsize$

$$p_k = \frac{F(v_i)}{F_{total}} \dots (27)$$

- Menghitung *Fitness* kumulatif (q_k) untuk masing-masing kromosom v_i . Dengan $i = 1, 2, \dots, popsize$

$$q_k = \sum_{i=1}^{popsize} p_k \dots (28)$$

Proses seleksi didasarkan atas pemutaran *roulette wheel* sebanyak *popsize* kali, setiap kali dipilih kromosom tunggal sebagai populasi baru, dengan cara sebagai berikut :

- Membangkitkan bilangan acak desimal r untuk rentang $[0, 1]$ sebanyak *popsize* yaitu 20 kali.
- Bila $r < q_1$, maka dipilih kromosom pertama (v_1), bila $r > q_1$ dipilih kromosom ke- i ($2 \leq i \leq popsize$) sedemikian rupa sehingga: $q_{i-1} < r < q_i$.

3.5 Crossover

Crossover (pindah silang/rekombinasi kromosom) adalah operator genetik yang utama. Metode yang dipakai di sini yaitu *Single Point Crossover* (penyilangan satu titik). Prinsip kerja operator ini adalah dengan mengambil individu dan memotong *string* kromosom mereka pada posisi yang terpilih secara acak, untuk memproduksi dua segmen *head* dan dua segment *tail*. Jumlah kromosom yang diharapkan mengalami *crossover* dalam satu populasi ditentukan persamaan (29).

$$n \text{ crossover} = p_c \times popsize \dots (29)$$

Dengan :
 $n \text{ crossover}$ = Jumlah kromosom yang diharapkan mengalami *crossover*
 p_c = Probabilitas *crossover*

Kromosom yang mengalami *crossover* ditentukan dengan persamaan (30).

$$\text{Kromosom } v_i \text{ yang mengalami crossover} = r_i < p_c \dots (30)$$

Dimana :
 r_i = Bilangan acak yang dibangkitkan, $i = 1, 2, \dots, popsize$
 v_i = Kromosom dalam populasi, $i = 1, 2, \dots, popsize$

3.6 Mutasi

Operator mutasi digunakan untuk melakukan modifikasi satu atau lebih nilai gen dalam individu yang sama. Mutasi memastikan bahwa probabilitas untuk pencarian pada daerah tertentu dalam persoalan tidak pernah nol dan mencegah kehilangan total materi genetik setelah pemilihan dan penghapusan. Mutasi ini bukanlah operator genetik yang utama, tetapi hanya dilakukan secara acak pada gen dengan kemungkinan / probabilitas yang kecil. Bit yang akan terkena mutasi ditentukan dengan syarat pada persamaan (31).

$$\text{Syarat bit yang terkena mutasi} = r_i < p_m \dots (31)$$

Dengan :
 r_i = Bilangan acak yang dibangkitkan pada setiap bit
 p_m = Probabilitas mutasi

3.7 Pelestarian Kromosom Terbaik

Seperti telah diketahui bahwa metode seleksi dalam algoritma genetik dilakukan secara acak, sehingga ada kemungkinan bahwa kromosom yang sebenarnya sudah baik tidak bisa turut serta pada generasi berikutnya karena tidak lolos seleksi. Untuk itu perlu kiranya ada pelestarian kromosom-kromosom terbaik, sehingga

kromosom-kromosom yang sudah baik tersebut bisa lolos seleksi. Seorang pakar algoritma genetik, Muhlenbein, mengusulkan adanya perbaikan pada algoritma genetik yang dikenal dengan nama *Breeder Genetic Algorithms* (BGA). Pada BGA ini digunakan parameter r , yang menunjukkan kromosom-kromosom terbaik. Kromosom-kromosom ini akan tetap dipertahankan pada generasi berikutnya dengan cara menggantikan sebanyak r kromosom pada generasi tersebut secara acak.

Kromosom-kromosom yang akan diganti ditentukan secara acak dengan mengacu pada persamaan (32).

$$\text{Syarat kromosom yang akan diganti} = r_i < r \dots\dots\dots (32)$$

Dengan :

- r_i = Bilangan acak yang dibangkitkan pada setiap kromosom
- r = Probabilitas pelestarian kromosom terbaik

3.8 Konvergensi Algoritma Genetik

Dengan cara yang sama, melewati proses seleksi, *crossover*, mutasi dan pelestarian kromosom terbaik yang dilakukan pada generasi kedua sampai maksimum generasi, maka akan didapatkan kondisi konvergen. kondisi konvergensi algoritma genetik akan tercapai bila berada dalam kondisi :

- *Fitness* terbaik tiap generasi telah berulang sebanyak n kali pada n generasi terakhir, dan / atau :
- Semua anggota populasi, yaitu kromosom-kromosom telah memiliki karakteristik yang sama, dengan kata lain : *fitness* terbaik = *fitness* terburuk = *fitness* rata-rata.

Sehingga nilai *fitness* terbaik yang telah konstan pada kedua indikator konvergensi di atas selanjutnya direpresentasikan sebagai solusi optimum dari permasalahan tersebut.

IV PERANCANGAN SISTEM DAN ANALISA OPTIMASI

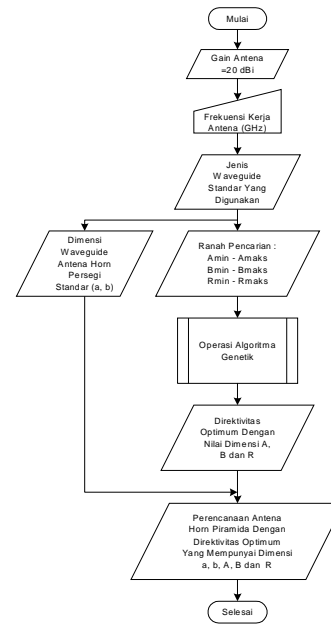
4.1 Perancangan Sistem Optimasi

Optimasi perancangan antenna *horn* piramida disini dimaksudkan sebagai kegiatan untuk mencari nilai direktivitas antenna *horn* piramida yang optimum dengan jalan menentukan kombinasi ukuran dimensi-dimensi antenna yang mempengaruhi nilai direktivitasnya.

Proses pencarian nilai dimensi-dimensi antenna *horn* piramida yang dimulai dengan memasukkan nilai frekuensi dan gain antenna yang digunakan, telah dibahas pada Bab 2 yaitu dengan menggunakan persamaan (1) sampai (11), sedangkan proses pencarian nilai direktivitas antenna *horn* piramida menggunakan persamaan (12) sampai (20). Dari persamaan-persamaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai direktivitas antenna *horn* piramida dipengaruhi oleh nilai dimensi-dimensinya yaitu: A (panjang mulut antenna bidang-H), B (lebar mulut antenna bidang-E), R (panjang antenna), a (panjang *waveguide* bidang-H) dan b (lebar *waveguide* bidang-E).

Dengan demikian, untuk menentukan direktivitas antenna *horn* piramida yang optimum maka cara yang dipakai adalah menentukan kombinasi yang tepat antara nilai dimensi-dimensi tersebut. Karena nilai dimensi a dan b disesuaikan dengan ukuran *waveguide* standar antenna *horn* persegi seperti ditampilkan pada Tabel 1, maka nilai a dan b tidak bisa disesuaikan lagi, sehingga nilai dimensi antenna yang bisa dikombinasikan untuk mencari direktivitas antenna yang optimum adalah A, B dan R. Proses pencarian kombinasi A, B dan R yang

dapat menghasilkan direktivitas antenna yang optimum ini dilakukan dengan menggunakan metode optimasi algoritma genetik, yang alur kerjanya ditampilkan dalam diagram alir pada Gambar 4. Pada diagram alir tersebut, subrutin “Operasi Algoritma Genetik” dapat dijabarkan sebagai urutan operasi algoritma genetik yang sebelumnya telah ditampilkan pada diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 4 Diagram alir penerapan algoritma genetik untuk perancangan antenna *horn* piramida untuk menghasilkan direktivitas optimum

Penentuan direktivitas antenna yang optimum disini dilakukan pada antenna dengan frekuensi dan gain tertentu, dengan menggunakan *waveguide* yang sesuai dengan frekuensi kerja antenna yang telah ditentukan. Frekuensi kerja antenna harus berada dalam range frekuensi *waveguide* standar pada Tabel 1.

Pada contoh kasus disini akan dibahas optimasi direktivitas antenna *horn* piramida yang mempunyai frekuensi kerja = 10 GHz dan gain = 20 dBi, dengan nilai dimensi antenna yang disyaratkan memiliki ketelitian empat angka di belakang koma. Karena frekuensi kerja antenna yang digunakan adalah 10 GHz maka *waveguide* yang digunakan adalah WR 90 yang mempunyai cakupan range frekuensi 8,21 – 12,4 GHz dengan panjang a = 2,54 cm dan lebar b = 1,27 cm. Range frekuensi *waveguide* 8,21 – 12,4 GHz ini digunakan untuk menentukan ranah dimensi antenna minimum dan maksimum yang dapat diperoleh dari perhitungan, sedangkan nilai frekuensi kerja antenna 10 GHz digunakan untuk menentukan nilai panjang gelombang (λ) yang berguna pada saat proses pencarian dimensi antenna dan juga proses pencarian direktivitas antenna *horn* piramida (D_p).

Dengan memasukkan frekuensi minimum 8,21 GHz dan gain 20 dBi pada persamaan (1) sampai (11) akan menghasilkan nilai A = 15,9479 cm, B = 13,0214 cm dan R = 26,1800 cm. Sedangkan dengan frekuensi maksimum 12,4 GHz dan gain = 20 dBi yang dimasukkan pada persamaan (1) sampai (11) akan menghasilkan nilai A = 10,5590 cm, B = 8,6214 cm dan

R = 18,3403 cm. Dengan demikian ranah pencarian nilai dimensi antenna diketahui yaitu :

- Dimensi A berada pada range : 10,5590 – 15,9479 cm
- Dimensi B berada pada range : 8,6214 – 13,0214 cm.
- Dimensi R berada pada range : 18,3403 – 26,1800 cm.

Dari sini permasalahan dapat dirumuskan yaitu : “Tentukan nilai A pada interval [10,5590 15,9479], B pada interval [8,6214 13,0214] dan R pada interval [18,3403 26,1800] yang mengoptimalkan fungsi

$$D_p = 10 \cdot \log \left(\frac{\pi \cdot \lambda^2}{32 \cdot a \cdot b} \cdot D_E \cdot D_H \right)$$

disyaratkan mempunyai batas ketelitian empat angka di belakang koma”. Pada penggunaan algoritma genetik untuk memecahkan permasalahan ini, pertamakali yang harus dilakukan adalah menentukan parameter kontrol algoritma genetik. Pada kasus ini, parameter kontrol algoritma genetik yang digunakan adalah:

- Maksimum generasi (*ngen*) = 50
- Ukuran populasi (*popsize*) = 30
- Probabilitas *crossover* (*p_c*) = 0,9
- Probabilitas mutasi (*p_m*) = 0,01
- Probabilitas pelestarian kromosom terbaik (*r*) = 0,2

Fungsi *fitness* yang digunakan adalah persamaan akhir perhitungan, yaitu persamaan direktivitas antenna *horn* piramida dalam satuan dBi, yaitu :

$$\text{Fungsi } fitness = D_p (dBi) = 10 \cdot \log \left(\frac{\pi \cdot \lambda^2}{32 \cdot a \cdot b} \cdot D_E \cdot D_H \right)$$

Langkah selanjutnya adalah membangkitkan kromosom biner secara acak sebanyak ukuran populasi yaitu 30 buah kromosom, yang digunakan sebagai populasi awal generasi pertama. Untuk menentukan panjang kromosom tiap komponen A, B dan R, digunakan persamaan (21) dan (22) yang menghasilkan :

$$\begin{aligned} \text{Pembagian ranah A} &= (15,9479 - 10,5590) \times 10^4 = 53.889 \\ \text{Pembagian ranah B} &= (13,0214 - 8,6214) \times 10^4 = 44.000 \\ \text{Pembagian ranah R} &= (26,1800 - 18,3403) \times 10^4 = 78.397 \end{aligned}$$

Karena,

$$\begin{aligned} 2^{15} &< 53.889 < 2^{16} \\ 2^{15} &< 44.000 < 2^{16} \\ 2^{16} &< 78.397 < 2^{17} \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \text{Panjang kromosom A} &= 16 \text{ bit} \\ \text{Panjang kromosom B} &= 16 \text{ bit} \\ \text{Panjang kromosom R} &= 17 \text{ bit} \end{aligned}$$

Dengan begitu, untuk kromosom dengan panjang 49 bit yang akan digunakan disini, nantinya berlaku:

- Bit ke-1 hingga bit ke-16 merepresentasikan variabel A
- Bit ke-17 hingga bit ke-32 merepresentasikan variabel B

- Bit ke-33 hingga bit ke-49 merepresentasikan variabel R

Contoh perhitungan untuk kromosom pertama (*v₁*) yaitu memasukkan bilangan biner hasil pembangkitan acak ke dalam persamaan (24), untuk mendapatkan nilai real variabel A, B dan R. Batas kiri dan batas kanan interval adalah nilai minimum dan nilai maksimum ranah pencarian nilai dimensi antenna A, B dan R.

Contoh perhitungan untuk kromosom pertama (*v₁*) yaitu memasukkan bilangan biner hasil pembangkitan acak yaitu (000111110001000111011010100010010110110100110001) ke dalam persamaan (24), untuk mendapatkan nilai real variabel A, B dan R. Batas kiri dan batas kanan interval adalah nilai minimum dan nilai maksimum ranah pencarian nilai dimensi antenna A, B dan R.

$$\begin{aligned} \text{Batas kiri interval A} &= 10,5590 \\ \text{Batas kanan interval A} &= 15,9479 \\ \text{Batas tertinggi range} &= 2^{16} = 65536 \\ A' &= (0001111100010001)_2 = (7953)_{10}; \text{ dan} \\ A &= 10,5590 + 7953 \cdot \frac{(15,9479 - 10,5590)}{(65536 - 1)} = 11,2130 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas kiri interval B} &= 8,6214 \\ \text{Batas kanan interval B} &= 13,0214 \\ \text{Batas tertinggi range} &= 2^{16} = 65536 \\ B' &= (1101101010001001)_2 = (55945)_{10}; \text{ dan} \\ B &= 8,6214 + 55945 \cdot \frac{(13,0214 - 8,6214)}{(65536 - 1)} = 12,3775 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas kiri interval R} &= 18,3403 \\ \text{Batas kanan interval R} &= 26,1800 \\ \text{Batas tertinggi range} &= 2^{17} = 131072 \\ R' &= (01101101001100001)_2 = (55905)_{10}; \text{ dan} \\ R &= 18,3403 + 55905 \cdot \frac{(26,1800 - 18,3403)}{(131072 - 1)} = 21,6841 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan nilai *fitness* yang berupa fungsi direktivitas antenna *horn* piramida maka nilai real A = 11,2130; B = 12,3775 dan R = 21,6841 dimasukkan ke dalam persamaan (12) hingga (20) yang akan menghasilkan :

$$\text{Nilai } Fitness = \text{Direktivitas Antena } (dBi) = 6,8257$$

Dimensi A, B dan R yang ditampilkan dalam tabel menggunakan satuan cm sedangkan nilai *fitness* menggunakan satuan dBi. Proses yang sama juga diterapkan pada kromosom ke-2 hingga kromosom ke-30.

Setelah melewati tahapan seleksi, *crossover*, mutasi dan pelestarian kromosom terbaik, maka dari populasi generasi pertama didapatkan hasil : pada populasi akhir generasi pertama dapat dilihat bahwa:

$$\begin{aligned} - \text{Fitness terburuk} &= 5,4453 \text{ (pada kromosom ke-1)} \\ - \text{Fitness rata-rata} &= 6,8785 \\ - \text{Fitness terbaik} &= 7,2358 \text{ (pada kromosom ke-8)} \end{aligned}$$

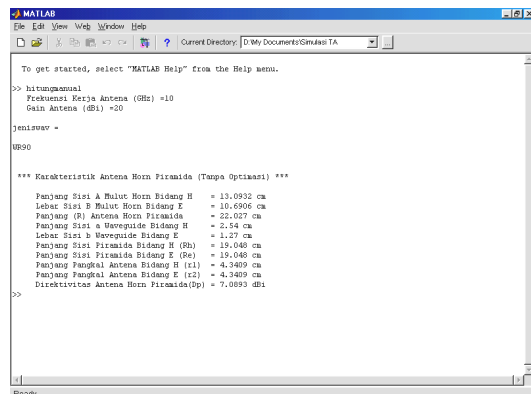
Hasil ini tentu belum optimal karena baru perhitungan satu generasi. Untuk mencapai kondisi optimal atau konvergen maka penghitungan harus dilanjutkan ke generasi kedua dan seterusnya hingga generasi ke-50 sesuai dengan parameter kontrol algoritma genetik yang telah ditentukan sebelumnya, dengan metode yang sama dengan perhitungan generasi pertama.

4.2 Analisa Optimasi

Untuk melakukan perhitungan nilai optimum dengan menggunakan algoritma genetik hingga generasi ke-50, tentu tidak mudah dilakukan secara manual, karena masalah keterbatasan waktu, tenaga dan juga yang utama adalah masalah ketelitian proses penghitungan. Untuk itu maka perlu dirancang suatu program simulasi yang berfungsi untuk melakukan perhitungan-perhitungan algoritma genetik yang prosesnya telah dijelaskan di bagian depan. Dengan menggunakan program simulasi untuk proses perhitungan, maka akan menghemat waktu, tenaga dan juga hasil yang didapat memiliki tingkat akurasi atau ketelitian yang tinggi.

Program simulasi yang digunakan, dibuat menggunakan bahasa pemrograman *Matlab* versi 6.1 yang dijalankan pada *Personal Computer* dengan sistem operasi *Microsoft Windows*. Pada Tugas Akhir ini, dirancang dua buah program simulasi, yang pertama adalah program perhitungan karakteristik antena *horn* piramida tanpa optimasi yang meliputi dimensi dan direktivitas berdasarkan persamaan-persamaan dasar teori dan yang kedua adalah program perhitungan karakteristik antena *horn* piramida yang meliputi dimensi dan direktivitas yang dioptimasi dengan menggunakan algoritma genetik, dimana program ini dirancang dengan berbasis GUI (*Graphical User Interface*). Keluaran dari kedua program simulasi tersebut nantinya akan dibandingkan untuk mengetahui kondisi direktivitas antena *horn* piramida tanpa dan dengan proses optimasi.

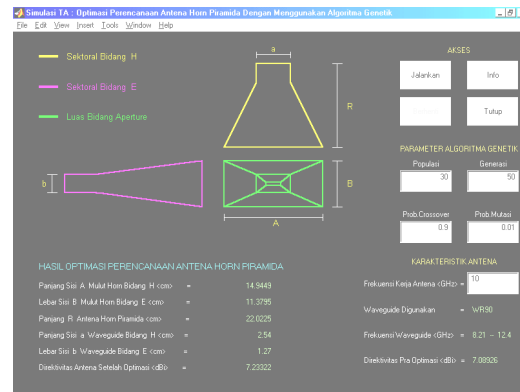
Tampilan program simulasi perhitungan karakteristik antena *horn* piramida tanpa optimasi ditampilkan pada Gambar 5.



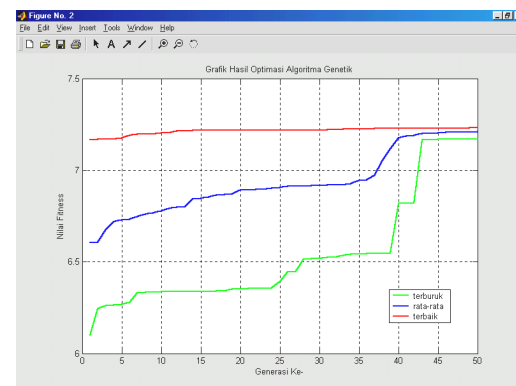
Gambar 5 Tampilan program simulasi perhitungan karakteristik antena *horn* piramida tanpa optimasi

Sedangkan tampilan program simulasi perhitungan karakteristik antena *horn* piramida yang dioptimasi dan grafik hasil optimasi dengan menggunakan algoritma genetik ditampilkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Dari grafik hasil optimasi pada Gambar 7, dapat dilihat bahwa syarat kondisi konvergensi telah terpenuhi pada indikator pertama yaitu: *fitness* terbaik tiap generasi telah berulang sebanyak n kali pada n generasi terakhir, dengan demikian proses optimasi dianggap telah berhasil.



Gambar 6 Tampilan hasil penghitungan optimasi karakteristik antena



Gambar 7 Tampilan grafik hasil optimasi oleh algoritma genetik

Berdasarkan pada hasil yang didapat dari perhitungan menggunakan program simulasi yang ditampilkan pada Gambar 6 maka atas rumusan permasalahan, Maka dari hasil proses optimasi, didapatkan hasil yaitu pada frekuensi kerja antena = 10 GHz dan gain = 20 dBi, antena *horn* piramida mempunyai direktivitas optimum 7,2332 dBi dengan ukuran dimensi a = 2,54 cm, b = 1,27 cm, A= 14,9449 cm ; B = 11,3795 cm dan R = 22,0225 cm. Direktivitas hasil optimasi ini tentunya lebih baik daripada direktivitas antena tanpa optimasi, seperti telah ditampilkan oleh program perhitungan karakteristik antena tanpa optimasi pada Gambar 5 yaitu 7,0893 dBi.

Untuk mengetahui apakah hasil dari perhitungan menggunakan algoritma genetik lebih baik dari perhitungan tanpa optimasi, maka hasil dari kedua macam metode perhitungan tersebut akan dibandingkan satu sama lain. Karakteristik antena yang dibandingkan adalah nilai direktivitas pada perhitungan dengan frekuensi kerja antena yang berbeda-beda seperti ditampilkan pada Tabel 2.

V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian menggunakan program simulasi serta analisa hasil pengujian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses optimasi dengan menggunakan algoritma genetik pada waktu proses perencanaan, dapat digunakan untuk meningkatkan nilai direktivitas antena *horn* piramida tanpa meningkatkan nilai frekuensi kerja dan gain antena yang digunakan, dengan cara mencari kombinasi nilai dimensi-dimensi antena yang mempengaruhi nilai direktivitas, sehingga pada akhirnya didapatkan kombinasi nilai dimensi-dimensi antena yang menghasilkan direktivitas antena yang optimum.
2. Proses penghitungan nilai optimum direktivitas antena *horn* piramida pada frekuensi kerja tertentu dengan berbagai parameter kontrol algoritma genetik yang berbeda-beda menghasilkan nilai optimum direktivitas antena yang nilainya tidak terpaut jauh. Pada proses pengujian dengan *sample* frekuensi kerja 10 GHz, dengan parameter kontrol algoritma genetik (populasi, generasi, probabilitas *crossover*, probabilitas mutasi) mendapatkan hasil : (30; 50; 0,6; 0,02) menghasilkan nilai optimum 7,2340 dBi, (30; 50; 0,9; 0,01) = 7,2332 dBi, (50; 30; 0,6; 0,02) = 7,2335 dBi, (50; 30; 0,9; 0,01) = 7,2354 dBi, (80; 20; 0,6; 0,02) = 7,2356 dBi, (80; 20; 0,9; 0,01) = 7,2358 dBi. Hasil tersebut lebih baik daripada nilai direktivitas antena tanpa optimasi yaitu 7,0893 dBi.
3. Dari hasil pengujian optimasi nilai direktivitas antena *horn* piramida pada berbagai macam *sample* frekuensi kerja, proses optimasi dapat meningkatkan nilai direktivitas antena pada keenam *sample* frekuensi kerja yang diuji, dengan persentase kenaikan nilai direktivitas dalam satuan dBi sebesar 2,0606 % pada *sample* frekuensi kerja terendah 10 GHz dan sebesar 3,5504 % pada *sample* frekuensi kerja tertinggi 325 GHz.
4. Dengan demikian semakin tinggi frekuensi kerja antena yang digunakan, maka nilai persentase optimasi atau persentase peningkatan nilai direktivitas yang dihasilkan oleh proses optimasi menggunakan algoritma genetik juga mengalami peningkatan.

5.2 Saran

Kendala utama hasil perencanaan antena *horn* piramida yang mempunyai dimensi-dimensi antena dengan ketelitian empat angka di belakang koma ini adalah mengimplementasikannya ke dalam perangkat keras secara tepat, jadi oleh karena itu bila tidak memungkinkan, nilai dimensi antena dapat sekurang-kurangnya dibulatkan dengan ketelitian satu angka di belakang koma.

DAFTAR PUSTAKA

1. Blake, Lamont V, *Antennas*, New York: John Wiley & Sons, 1966
2. Chipperfield, Andrew, Peter Fleming, Hartmut Polheim & Carlos Fonseca, *Genetic Algorithms Toolbox (For Use With Matlab)*
3. Collins, RE, *Antennas and Radiowave Propagation*, New York: Mc Graw-Hill International Education, 1985
4. Davis, Lawrence, *Handbook of Genetic Algorithms*, New York: Van Nostrand Reinhold, 1991
5. Dawid, Herbert, *Adaptive Learning by Genetic Algorithms-Analytical Result and Applications to Economic Models (Second, Revised and Enlarged Edition)*, Vienna: Springer, 1996
6. Delgado, Heriberto J. and Michael H. Thursby, Ph. D, "*Design of a 10 GHz Rectangular Microstrip Patch Antenna Using HP Momentum*", Report Number 1, Antenna Systems Laboratory Technical Journal, Department of Electrical/Computer Engineering - Florida Institute of Technology, 1997
7. Delgado, Heriberto J., Young-Min Jo and Michael H. Thursby, Ph.D., "*Anechoic Chamber Quiet Zone Analytical and Experimental Characterization for Various Transmitting Antennas*", Report Number 11, Antenna Systems Laboratory Technical Journal, Department of Electrical/Computer Engineering Florida Institute of Technology, December, 1997
8. Djarwanto PS, *Pokok-Pokok Metode Pengumpulan Data dan Penulisan Karya Ilmiah*, Jakarta: Liberty, 1991
9. Gandhi, OMP., *Microwave Engineering and Applications*, Singapore: Maxwell Macmillan International ed., 1989
10. Hanselman, Duane & Bruce Littlefield, *Matlab (Bahasa Komputasi Teknis)*, Yogyakarta: Andi Yogyakarta, 2000
11. Krauss, John D, *Antennas (Second Edition)*, New York: Mc Graw-Hill International Education, 1988
12. Krauss, John D, Ronald J Marhefka, *Antennas (Third Edition)*, New York: Mc Graw-Hill International Education, 2002
13. Kuswara Setiawan, *Paradigma Sistem Cerdas – Artificial Intelligence*, Malang: Bayumedia Publishing, 2003
14. Man K.F, K.S.Tang, S.Kwong & W.A.Halang, *Genetic Algorithms For Control and Signal Processing – Advanced in Industrial Control*, London: Springer- Verlag London Limited, 1997
15. Michalewicz, Zbigniew, *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, Vienna: Springer-Verlag, 1996
16. Mitsuo Gen, Runwei Cheng, *Genetic Algorithms & Engineering Design*, Canada: John Wiley & Sons Inc, 1997
17. Polheim, Hartmut, *GEA Toolbox: Genetic and Evolutionary Algorithms: Principles, Methods and Algorithms*. <http://www.geatbx.com/docu/algindex.html>
18. Russel, Stuart J & Peter Norvig, *Artificial Intelligence – a Modern Approach*, New Jersey: Prentice Hall, 1995
19. Sandi Setiawan, *Artificial Intelligence*, Yogyakarta: Andi Offset, 1993
20. Son Kuswandi, *Pengendali Cerdas*, Jakarta: EEPI, 2000
21. Sri Kusumadewi, *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2003
22. Young-Min Jo, "*Phase Model for a Sectoral Horn Antenna*", Technical Report, Antenna Systems Laboratory-Florida Institute Of Technology, July 1997
23. Young-Min Jo & Michael H. Thursby, Ph.D, "*Field Analysis Using a Horn Antenna in the Quiet-Zone*", Report Number 9, Antenna Systems

- Laboratory Technical Journal - Florida Institute of Technology, November,1997
24. _____, *Building GUI With Matlab*,The Math Works,June,1997
 25. _____, *Getting Started With Matlab*,The Math Works,September,1998
 26. _____,*Pyramidal Horn Antenna*,
<http://www.qwed.com.pl>
 27. _____, *Using Matlab*, The Math Works,Januari, 1999

Mengetahui / Menyetujui

Pembimbing I

Achmad Hidayatno, ST,MT
NIP. 132 137 933

Pembimbing II

Aghus Sofwan, ST,MT
NIP. 132 163 757