

# Optimasi *Coverage* SFN pada Pemancar TV Digital DVB-T2 dengan Metode *Simulated annealing*

Adib Nur Ikhwan, Endroyono dan Gamantyo Hendrantoro

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: adib09@mhs.ee.its.ac.id, gamantyo@ee.its.ac.id

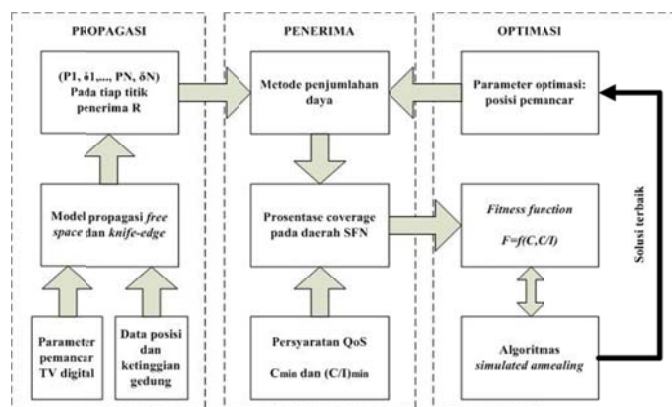
**Abstrak**—Siaran TV digital yang akan diterapkan di Indonesia pada awalnya menggunakan standar DVB-T (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial*) yang kemudian pada tahun 2012 diganti menjadi DVB-T2 (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial Second Generation*). Oleh karena itu, penelitian-penelitian sebelumnya termasuk optimasi *coverage* TV digital sudah tidak relevan lagi. *Coverage* merupakan salah satu bagian yang penting dalam siaran TV digital. Pada tugas akhir ini, optimasi *coverage* SFN (*Single Frequency network*) pada pemancar TV digital diterapkan dengan metode SA (*Simulated Annealing*). Metode SA berusaha mencari solusi dengan berpindah dari satu solusi ke solusi yang lain, dimana akan dipilih solusi yang mempunyai fungsi *energy* (*fitness*) yang terkecil. Optimasi dengan metode SA ini dilakukan dengan mengubah-ubah posisi pemancar TV digital sehingga didapatkan posisi yang terbaik. Optimasinya menggunakan 10 *cooling schedule* dengan melakukan 2 kali tes, baik pada mode FFT 2K ataupun 4K. Hasil yang dicapai dari penelitian ini adalah daerah *coverage* SFN pada pemancar siaran TV digital DVB-T2 mengalami peningkatan *coverage* relatif terbaik rata-rata sebesar 2.348% pada *cooling schedule* 7.

**Kata Kunci**—DVB-T2, optimasi *coverage*, SFN, *Simulated annealing*, TV Digital

## I. PENDAHULUAN

SAAAT ini Indonesia tengah memulai migrasi siaran TV analog ke digital. Hal ini dilatarbelakangi bahwa siaran TV digital mempunyai lebih banyak keunggulan dibandingkan TV analog. Pada penyiaran TV analog, sebuah kanal RF (*Radio Frequency*) hanya mampu ditempati oleh satu program siaran TV, sedangkan pada TV digital dapat digunakan bersamaan secara multipleks oleh beberapa program siaran TV, sehingga lebih efisien dalam penggunaan spektrum frekuensi. Selain itu, teknik modulasi digital disertai pengolahan sinyal yang kompleks memungkinkan penyiaran TV digital lebih tahan terhadap gangguan derau dan distorsi oleh kanal ataupun efek interferensi, sehingga kualitas gambar yang dihasilkan juga lebih baik dibandingkan penyiaran TV analog [1].

Migrasi TV analog ke TV digital telah dimulai pemerintah Indonesia dari tahun 2007, yaitu dengan ditetapkannya DVB-T (*Digital Video Broadcasting – Terrestrial*) sebagai standar TV digital terestrial (darat ke darat) di Indonesia. Akan tetapi, standar TV digital tersebut pada tahun 2012 diubah menjadi DVB-T2 karena pengembangan dan peningkatan standar dari DVB [2]. Akibat dari pergantian standar tersebut maka banyak aspek yang perlu disesuaikan, salah satunya mengenai optimasi *coverage*. Pada penerapan siaran TV digital, daerah *coverage* merupakan salah satu bagian yang penting. Hal ini dikarenakan dalam TV digital apabila *receiver* (penerima)



Gambar 1. Diagram metode penelitian

tidak menerima secara penuh sinyal transmisi maka dalam layar TV tidak akan ditampilkan siaran tersebut. Oleh karena itu, optimasi *coverage* menjadi salah satu topik penting dalam penerapan TV digital di Indonesia.

DVB-T2 memungkinkan pemancar TV digital menggunakan jaringan SFN. SFN adalah jaringan penyiaran dimana beberapa pemancar mengirimkan sinyal yang sama secara simultan pada kanal frekuensi yang sama. SFN menawarkan lebih banyak keuntungan dibandingkan MFN (*Multi Frequency Network*), seperti *coverage* yang lebih luas, minimnya interferensi, penggunaan daya yang lebih efisien dan memiliki keandalan yang tinggi [3].

Dalam pengoptimasian *coverage* pemancar SFN digunakan metode SA. SA merupakan salah satu algoritma stokastik yang didasarkan pada proses *annealing*. Proses *annealing* adalah suatu teknik yang mempelajari proses pembentukan materi yang terdiri dari butir kristal dan logam. Agar terbentuk susunan kristal yang sempurna, maka diperlukan pemanasan sampai tingkat tertentu hingga materi tersebut mencair, kemudian didinginkan secara perlahan agar menghasilkan kristal-kristal dengan kualitas yang baik [4]. Konsep ini diadaptasi oleh SA untuk menyelesaikan berbagai permasalahan optimasi, termasuk dalam penelitian ini yaitu optimasi *coverage* pada jaringan SFN dengan mengoptimalkan posisi setiap pemancar TV digital.

## II. METODE PENELITIAN

Dalam metode penelitian ini dibagi menjadi tiga blok yang saling berhubungan seperti pada gambar 1, yaitu model prediksi propagasi, model penerima dan model optimasi [5]. Arah panah yang menghubungkan antar bagian pada blok menunjukkan hubungan/keterkaitan antar bagian tersebut.

Tabel 1.  
Posisi pemancar pada mode 2K dan 4K

Mode	Koordinat Pemancar					
	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3
2K	39,5	39,5	60,5	39,5	50	57,6865
4K	29	38	71	38	50	74,373

Tabel 2.  
Range koordinat gedung penghalang

Mode	Daerah	X min	X max	Y min	Y max
2K	1	34	42	32	36
2K	2	54	62	32	36
2K	3	44	46	55	64
2K	4	54	56	55	64
4K	1	27	33	32	36
4K	2	67	73	32	36
4K	3	40	45	69	77
4K	4	55	60	69	77

A. Model Prediksi Propagasi

Model prediksi propagasi digunakan untuk mengestimasi kontribusi dari sejumlah N pemancar terhadap SFN pada setiap lokasi penerima berdasarkan model propagasi yang digunakan dan dengan menggunakan data posisi ataupun ketinggian gedung di daerah yang diukur. Model ini untuk mengukur daya terima ( $P_n, 1 \leq n \leq N$ ) dan delay propagasi ( $\delta_n, 1 \leq n \leq N$ ) yang berhubungan dengan setiap pemancar dari titik penerima ( $1 \leq r \leq R$ ) dalam wilayah SFN.

Dalam penelitian ini luasan daerah yang diukur secara keseluruhan adalah  $10\text{km} \times 10\text{km}$  yang disimulasikan dalam *square-grid* matrik  $100 \times 100$  dengan satu titik penerima setiap matriknya, sehingga terdapat 10000 titik penerima. Dalam optimasi ini digunakan 3 pemancar TV digital yang diletakkan pada posisi segitiga sama sisi agar daerah cakupannya dapat maksimal dengan koordinatnya ditunjukkan pada tabel 1. Posisi ketiga pemancar tersebut ditentukan berdasarkan jarak maksimum antar pemancar, dimana dalam penelitian ini digunakan mode 2K dan 4K dengan rasio *guard interval* 1/32. Sehingga jarak maksimum antar pemancar yang diperbolehkan adalah 2,1 km untuk mode 2K dan 4,2 km untuk mode 4K. Tinggi ketiga pemancar ditentukan sama yaitu sebesar 30 meter, dengan daya pancar sebesar 100 W. *Gain transmitter* ( $G_t$ ) dan *gain receiver* ( $G_r$ ) sebesar 10 dB. Frekuensi yang digunakan adalah 600 MHz dengan *bandwidth* sebesar 8 MHz.

Model propagasi yang digunakan pada penelitian ini adalah model propagasi *free space* dan *knife edge*. Model *free space* digunakan apabila antara pemancar dan penerima tidak terdapat halangan (*obstacle*) atau berada pada jalur *line-of-sight* (LOS) diantara keduanya. Nilai Daya *free space* yang diterima oleh antenna *receiver* yang dipisahkan dari antenna pemancar pada jarak  $d$ , dapat ditentukan dengan (1) berikut.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \tag{1}$$

dimana  $P_r(d)$  adalah daya terima dalam fungsi T-R,  $P_t$  adalah daya yang ditransmisikan,  $G_t$  adalah *gain* antenna pemancar,  $G_r$

adalah *gain* antenna penerima,  $\lambda$  adalah panjang gelombang (meter),  $d$  adalah jarak antara penerima dan pemancar (meter) dan  $L$  adalah *system loss factor* yang tidak ada hubungannya dengan propagasi ( $L \geq 1$ ).

Sedangkan jika terdapat halangan diantara pemancar dan penerima maka terdapat nilai *gain* difraksi yang diprediksi dengan model propagasi *knife edge*. Nilai daya terima total ( $P$ ) didapatkan dari jumlah antara daya terima hasil pendekatan model *free space* dengan *gain* difraksi ( $G_d$ ) seperti yang ditunjukkan pada (2).

$$P = 10 \log_{10} \left( \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \right) + G_d \text{ (dB)} \tag{2}$$

Halangan dalam propagasi *knife-edge* ini berupa gedung penghalang yang berjumlah 60 gedung. Setiap gedung dimodelkan berbentuk persegi yang berukuran  $100\text{m} \times 100\text{m}$ . Gedung-gedung tersebut ketinggiannya diacak dalam *range* 10-80 meter agar sesuai dengan kondisi aslinya. Selain itu, posisi gedung-gedung tersebut juga disusun secara acak tetapi masih berada di sekitar posisi pemancar dengan dibatasi *range* tertentu agar pengaruh adanya *obstacle* tersebut besar terhadap daerah *coverage* SFN dan kondisi terjelek dari adanya *obstacle* dapat dimodelkan. Pada tabel 2 dapat dilihat *range* koordinat gedung yang disusun acak tersebut.

B. Model Penerima

Blok penerima menggabungkan sinyal yang datang pada tiap lokasi penerima dari N pemancar yang menyusun SFN menggunakan metode penjumlahan daya. Sinyal-sinyal ini dapat berkontribusi untuk membangun secara penuh atau sebagian atau bahkan menginterferensi komponen. Pada model penerima ini, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan *delay* propagasi sinyal dari tiap titik penerima terhadap masing-masing pemancar. Nilai tersebut telah diperoleh dengan model prediksi propagasi. Kemudian dicari nilai *delay* efektif dengan cara mengurangi nilai *delay* propagasi dengan nilai referensi waktu ( $\delta_0$ ) 100 ns, nilai referensi ini adalah durasi yang dibutuhkan satelit GPS untuk memancarkan sinyal 1 pps (*pulse per second*) ke *oscillator* 10 MHz pada penerima GPS di pemancar DVB-T2 sehingga setiap pemancar DVB-T2 menjadi sinkron. Nilai Daya terima ( $P(d)$ ) dihitung menjadi dua cara berdasarkan adanya difraksi, jika tidak ada difraksi maka dihitung dengan model propagasi *free space* (1) dan jika ada difraksi maka dihitung dengan model propagasi *knife edge* (2). Dengan nilai *receiver mask* (3) dapat diketahui juga nilai *carrier* (C) dan *carrier-to-interference ratio* (C/I) (5) [5].

$$\omega_n = \begin{cases} ((T_u - t)/T_u)^2 & \text{jika } (T_g - T_p) < t \leq 0 \\ 1 & \text{jika } 0 < t \leq T_g \\ ((T_u + T_g - t)/T_u)^2 & \text{jika } T_g < t \leq T_p \\ 0 & \text{untuk yang lain} \end{cases} \tag{3}$$

Pada persamaan (4),  $T_u$  adalah panjang simbol yang berguna,  $T_g$  adalah panjang *guard interval*,  $T_p$  adalah interval saat sinyal berkontribusi konstruktif.

$$T_p = 7T_u/24 \tag{4}$$

$$\left(\frac{C}{I}\right) = \frac{\sum_{n \in A} P_n \cdot \omega_n (\delta_n - \delta_0)}{\sum_{n \in A} P_n \cdot (1 - \omega_n (\delta_n - \delta_0)) + \sum_{n \in B} P_n + N_0} \quad (5)$$

Pada persamaan (5) diatas SFN terdiri atas N pemancar  $A = \{1, \dots, N\}$  dan terdapat M pemancar pada jaringan lain yang beroperasi pada frekuensi yang sama  $B = \{1, \dots, M\}$ .  $P_n$  adalah daya terima dari pemancar ke-n,  $\omega_n$  adalah nilai fungsi bobot,  $\delta_n$  adalah delay relatif echo ke-n untuk referensi waktu sinkronisasi  $\delta_0$  dan  $N_0$  adalah *noise power*. *Noise power* dapat diketahui dari (6).

$$N_0 = kTB \quad (6)$$

dimana  $k$  adalah konstanta Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$ ), T adalah suhu absolut (290 K) dan B adalah *bandwidth*.

### C. Model Optimasi

Pada proses optimasi digunakan algoritma SA. Hubungan antara metode SA dan masalah *coverage* ini adalah pada *fitness function*. *Fitness function* dipakai untuk memeriksa keakuratan iteratif dari solusi  $Q$  (7) yang berkaitan pada persentase daerah *coverage* sinyal pada daerah SFN. Solusi  $Q$  pada penelitian ini adalah konfigurasi posisi terbaik dari ketiga pemancar. Pada penelitian ini posisi ketiga pemancar akan diubah-ubah sehingga diperoleh konfigurasi optimal dari pemancar.  $Cov_r$  adalah jumlah titik penerima yang tercakup karena telah memenuhi kriteria QoS ( $C \geq C_{min}$  dan  $(C/I) \geq (C/I)_{min}$ ) seperti pada (9). Nilai  $C_{min}$  adalah -75 dBm [11], sedangkan Nilai  $(C/I)_{min}$  dicari yang sesuai dengan luasan 100 km<sup>2</sup> baik pada mode 2K ataupun 4K. Nilai *fitness function* merupakan 100 persen dikurangi nilai  $Cov_r$  seperti ditunjukkan pada (8) [6]. Dari nilai *fitness* yang telah diketahui tersebut maka dapat dijadikan *initial energy* pada optimasi dengan SA.

$$Q = (q_1, q_2, \dots, q_{N-1}, q_N) \quad (7)$$

$$F(\%) = 100 \left( 1 - \left( \sum_{r=1}^R \frac{Cov_r}{R} \right) \right) \quad (8)$$

$$Cov_r = \begin{cases} 1 & \text{Jika } C \geq C_{min} \ \& \ (C/I) \geq (C/I)_{min} \\ 0 & \text{Untuk yang lain} \end{cases} \quad (9)$$

Pada metode SA, dibutuhkan beberapa variabel awal yaitu:

- Temperatur awal ( $T_0$ ) = 0,5
- Temperatur akhir ( $T_N$ ) = 0,001
- Iterasi maksimum ( $N$  atau  $i_{maks}$ ) = 1000
- Cooling shedule yang digunakan adalah semua *cooling schedule* (*cooling schedule* 0 sampai 9)

Dalam kaitannya dengan optimasi pada *coverage* SFN pemancar TV digital, maka algoritma SA dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Menentukan nilai kontrol  $T_0$ ,  $T_N$  dan iterasi maksimal yang diinginkan.
- Menentukan *initial solution* (posisi awal pemancar).
- Menghitung *fitness* dari *initial solution* tersebut.

Tabel 3.

Macam-macam *cooling schedule* [7]

Cooling schedule	Persamaan
0	$T_i = T_0 - i \frac{T_0 - T_N}{N}$
1	$T_i = T_0 \left(\frac{T_N}{T_0}\right)^{\frac{i}{N}}$
2	$A = \frac{(T_0 - T_N)(N + 1)}{N}$ ; $B = T_0 - A$ ; $T_i = \frac{A}{i + 1} + B$
3	$A = \frac{\ln(T_0 - T_N)}{\ln(N)}$ ; $T_i = T_0 - i^A$
4	$T_i = \frac{T_0 - T_N}{i + e^{-3(i-\frac{N}{2})}} + T_N$
5	$T_i = \frac{1}{2}(T_0 - T_N)x(1 + \cos(\frac{i\pi}{N})) + T_N$
6	$T_i = \frac{1}{2}(T_0 - T_N)x\left(1 + \tanh\left(\frac{10i}{N} - 5\right)\right) + T_N$
7	$T_i = \frac{(T_0 - T_N)}{\cosh\left(\frac{10i}{N}\right)} + T_N$
8	$A = \left(\frac{1}{N}\right) \ln\left(\frac{T_0}{T_N}\right)$ ; $T_i = T_0 e^{-Ai}$
9	$A = \left(\frac{1}{N^2}\right) \ln\left(\frac{T_0}{T_N}\right)$ ; $T_i = T_0 e^{-Ai^2}$

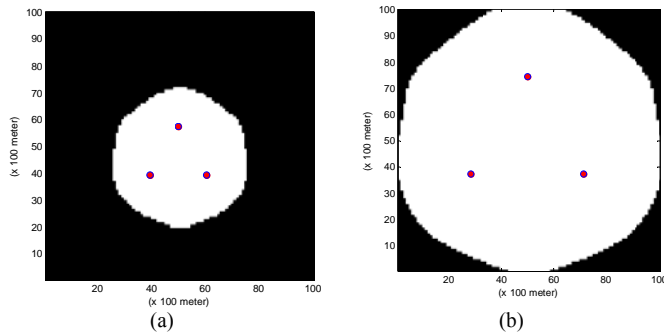
- Melakukan random posisi setiap pemancar, dimana batas posisi random ditentukan. Proses ini dinamakan *update solution*.
- Melakukan proses perhitungan kembali nilai *fitness* yang dihasilkan dari *update* posisi pemancar tersebut.
- Menghitung selisih antara *fitness* terbaru dengan *fitness* awal. Hasilnya digunakan untuk menghitung probabilitas Boltzmann.
- Melakukan penurunan nilai kontrol  $T_0$  ke target  $T_N$  menggunakan *cooling schedule* (Tabel 3) yang dipilih.

### III. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS DATA

#### A. Penentuan Nilai Threshold QoS C/I

Dalam penentuan nilai *threshold* QoS C/I maka disesuaikan dengan mode transmisi yang dipilih yaitu 4K dan 2K untuk kemudian dicoba dengan masing-masing modulasi dengan *code rate* yang berbeda. Modulasi yang dicoba ini dipilih yang diijinkan oleh peraturan pemerintah Indonesia [8] dan besarnya *Rayleigh Channel*  $(C/I)_{min}$  pada tiap modulasi dan *code rate* telah ditetapkan dalam ETSI [9].

Pada hasil percobaan melalui model LOS didapatkan persentase *coverage* dan *fitness* sesuai dengan (8). Persentase *coverage* disini merupakan perbandingan antara daerah yang tercakup dengan keseluruhan daerah yang diukur. Nilai  $(C/I)_{min}$  yang akan dipilih haruslah mempunyai persentase yang tinggi tetapi masih berada dalam luasan daerah yang diuji (100 km<sup>2</sup>). Nilai  $(C/I)_{min}$  ini nantinya akan dibuat sama baik mode 4K ataupun 2K sehingga nilai  $(C/I)_{min}$  yang dipilih harus mewakili keduanya. Maka setelah melalui pertimbangan tersebut dipilihlah nilai  $(C/I)_{min}$  adalah 20,2 dB yakni pada modulasi 64-QAM dengan *code rate* 5/6. Hal ini dikarenakan pada nilai C/I ini persentase daerah *coverage* pada mode 4K maksimal dan tidak melebihi luasan daerah yang diuji yakni



Gambar 2. (a) Simulasi model propagasi *free space* mode 2K  
(b) Simulasi model propagasi *free space* mode 4K

100 km<sup>2</sup>, mode 2K mengikuti nilai dari 4K karena daerah *coverage*-nya relatif lebih sempit daripada 4K.

**B. Hasil Simulasi dan Analisis Data pada Model Propagasi Free space**

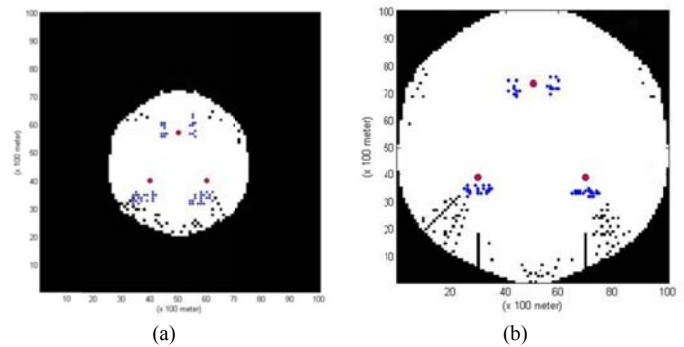
Pada hasil simulasi *free space* diatas dapat dilihat terdapat tiga pemancar SFN dengan titik berwarna merah yang lokasinya telah ditentukan seperti pada tabel 1. Daerah berwarna putih adalah daerah *coverage* dari pemancar SFN tersebut, daerah tersebut merupakan daerah yang masuk dalam kriteria *threshold* dari *C* dan *C/I* yaitu  $C_{min} = -75$  dBm dan  $(C/I)_{min} = 20,2$  dB. Sedangkan daerah yang berwarna hitam adalah daerah yang tidak masuk dalam kriteria *threshold*.

Dari hasil simulasi tersebut persentase *coverage* dari mode 2K adalah 20,64 % dan persentase dari mode 4K adalah 80,04 %. Selanjutnya nilai tersebut dijadikan persentase *coverage* relatif dengan menyesuaikan menjadi 100% untuk setiap mode FFT. Hal ini dilakukan untuk memberikan hasil yang lebih aktual.

**C. Hasil Simulasi dan Analisis Data pada Model Propagasi Knife edge**

Pada model propagasi *knife edge* terdapat *obstacle* (penghalang) antara pemancar dengan penerima. Penghalang pada propagasi ini berupa gedung-gedung yang disusun acak dengan fungsi *random* pada MATLAB dengan range seperti pada tabel 2. Setelah dilakukan simulasi acak maka didapatkan nilai posisi koordinat dari gedung-gedung tersebut. Hasil simulasi acak gedung dapat dilihat pada simulasi daerah *coverage* pada gambar 3.

Apabila dibandingkan antara simulasi model propagasi *knife edge* dengan *free space* maka terdapat perbedaan pada luasan daerah *coverage*-nya, dimana pada *free space* jumlah daerah *coverage*-nya lebih luas daripada *knife edge*. Hal ini dikarenakan pada model propagasi *knife edge* terdapat *obstacle* berupa gedung (titik-titik biru) sehingga terjadi difraksi sinyal yang datang dari pemancar ke penerima yang menimbulkan titik-titik hitam yaitu daerah yang tidak masuk dalam kriteria *threshold* QoS seperti pada (7). Melalui simulasi dapat diketahui nilai persentase *coverage* dan *fitness* dari model propagasi *knife edge*. Nilai persentase *coverage* pada mode 2K adalah 19,76% dan nilai persentase dari mode 4K adalah 77,95%.



Gambar 3. (a) Simulasi model propagasi *knife edge* mode 2K  
(b) Simulasi model propagasi *knife edge* mode 4K

Tabel 4.  
Persentase *coverage* relatif dan *fitness* relatif pada *knife edge*

Mode	Coverage relatif (%)	Fitness relatif (%)
2K	95,736	4,264
4K	97,389	2,611

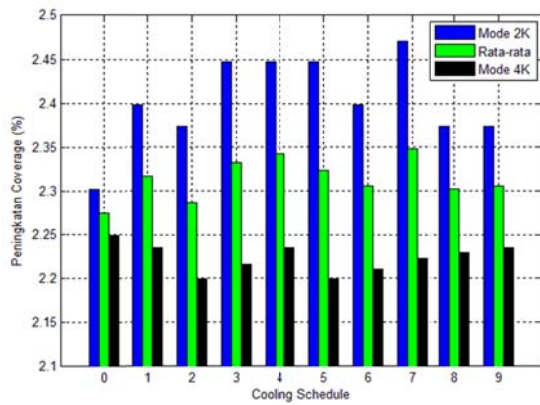
Setelah diketahui nilai persentase *coverage* tersebut maka diketahui juga nilai *fitness* yang akan dijadikan *initial energy* pada proses optimasi dengan metode SA, yaitu sebesar 80,24% pada mode 2K dan 22,05% pada mode 4K sedangkan persentase relatif dari model *free space* dapat dilihat pada tabel 4.

**D. Hasil dan Analisis Optimasi dengan Metode SA**

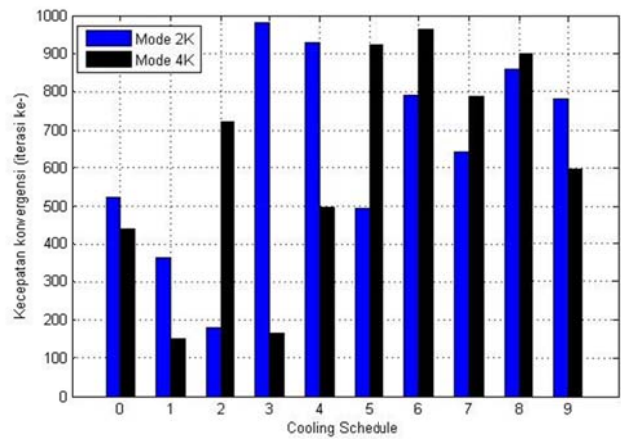
Optimasi ini dilakukan 2 kali tes pada tiap *cooling schedule* pada kedua mode (2K dan 4K) dan diambil nilai rata-ratanya yang kemudian dianalisis untuk dipilih *cooling schedule* yang terbaik. *Cooling schedule* terbaik ini dibandingkan antara parameter-parameter optimasi yaitu nilai *fitness* akhir, kecepatan konvergensi dan *running time* optimasi.

**1) Fitness Akhir**

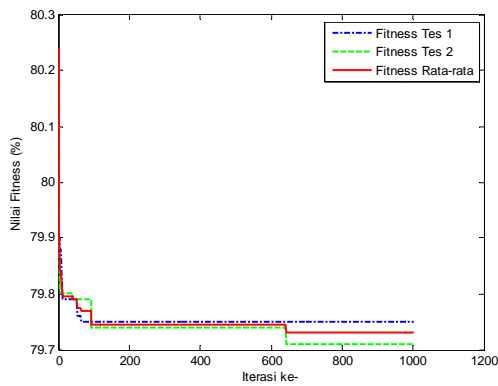
Nilai persentase peningkatan *coverage* relatif merupakan selisih nilai *fitness* awal relatif (tabel 4) dan *fitness* akhir relatif dari optimasi. Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa *cooling schedule* yang mempunyai peningkatan rata-rata tertinggi adalah *cooling schedule* 7 yaitu dengan peningkatan rata-rata sebesar 2,348%. Pada range persentase 100 km<sup>2</sup> atau belum dilakukan penyesuaian, *cooling schedule* 7 mempunyai peningkatan sebesar 0,51% pada mode 2K dan 1,78% pada mode 4K. Nilai tersebut apabila diukur dalam km<sup>2</sup> adalah sekitar 0,51 km<sup>2</sup> dan 1,78 km<sup>2</sup> dimana nilai ini lumayan besar untuk menambah daerah *coverage* penerimaan TV digital. Hasil optimasi pada *cooling schedule* 7 dapat dilihat pada gambar 5 (mode 2K) dan gambar 6 (mode 4K). Sedangkan simulasinya dapat dilihat pada gambar 7(a) (mode 2K tes 2) dan pada gambar 7(b) (mode 4K tes 1). Kecepatan konvergensi yang baik adalah saat suatu *cooling schedule* mencapai nilai *fitness* akhir pada waktu yang cepat (mempunyai iterasi yang paling sedikit) baik pada mode 2K atau mode 4K.



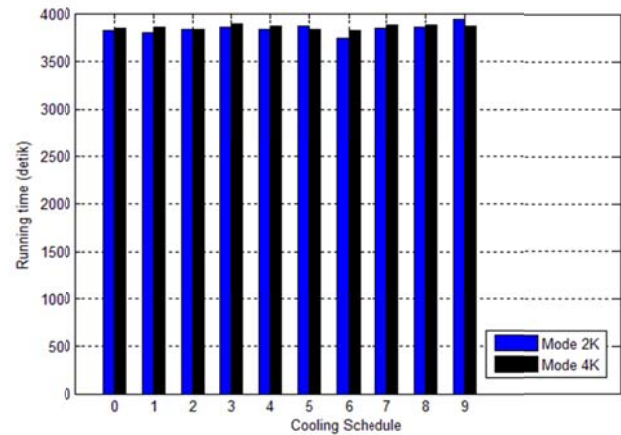
Gambar 4. Peningkatan coverage relatif mode 2K dan 4K



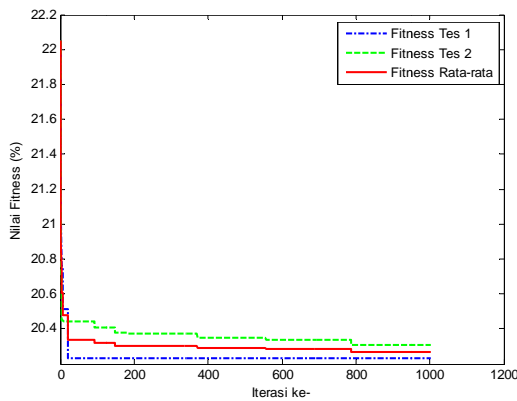
Gambar 8. Perbandingan kecepatan konvergensi mode 2K dan 4K



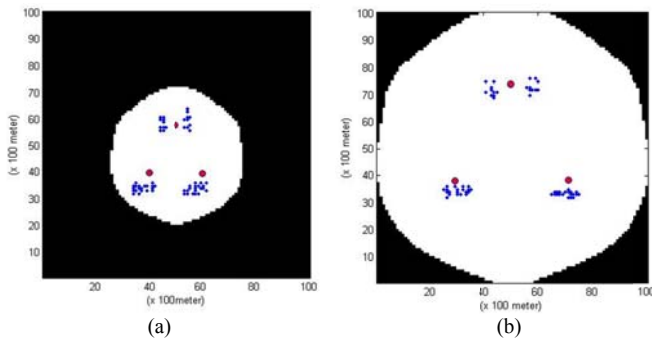
Gambar 5. Hasil optimasi pada cooling schedule 7 mode 2K



Gambar 9. Perbandingan running time pada mode 2K dan 4K



Gambar 6. Hasil optimasi pada cooling schedule 7 mode 4K



Gambar 7.  
 (a) Simulasi hasil optimasi pada cooling schedule 7 mode 2K  
 (b) Simulasi hasil optimasi pada cooling schedule 7 mode 4K

2) Kecepatan Konvergensi

Dari gambar 8 didapatkan bahwa cooling schedule 1 adalah yang terbaik, dimana pada mode 2K kecepatannya sedang (iterasi ke-364) dan pada mode 4K kecepatannya cepat (iterasi ke-151).

3) Running time

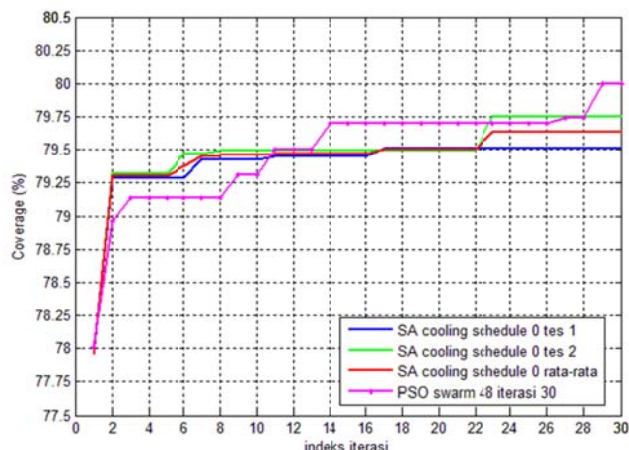
Nilai running time ditentukan oleh banyak variabel seperti banyaknya iterasi, banyaknya perhitungan dalam matlab dan kecepatan komputer memproses program. Gambar 9 adalah running time optimasi tiap cooling schedule pada mode 2K dan 4K. Berdasarkan gambar 7 maka didapatkan nilai running time terbaik adalah pada cooling schedule 6, akan tetapi jarak waktu antar cooling schedule tidak jauh (dalam kisaran rata-rata 3844 detik). Ini menunjukkan bahwa running time pada optimasi ini tidaklah terlalu berpengaruh antara setiap cooling schedule ataupun pada mode FFT yang berbeda. Hal ini terjadi karena dalam melakukan optimasi digunakan iterasi yang sama yaitu 1000 iterasi sehingga perbedaan running time-nya tidak terlalu signifikan.

E. Analisis Perbandingan Optimasi SA dengan PSO

Hasil nilai optimasi dari metode SA yang sudah dijelaskan sebelumnya akan dibandingkan dengan metode optimasi yang lain yaitu metode PSO (Particle Swarm Optimization) [10]. Perbandingan disini dimaksudnya untuk memberikan gambaran tentang optimasi coverage dengan metode lain. Perbandingan antara kedua metode ini dibagi dalam dua mode

Tabel 5.  
Perbandingan hasil optimasi SA dan PSO

Parameter	Mode	SA cooling schedule 0	SA cooling schedule 7	PSO swarm 48 iterasi 30
Coverage relatif (%)	2K	98,038	98,207	98,546
	4K	99,638	99,613	99,95
Running time (detik)	2K	114,83	115,37	8833,74928
	4K	115,17	116,52	8565,3148



Gambar 10. Perbandingan persentase *coverage* mode 4K pada SA dan PSO

(mode 2K dan 4K) dimana dalam setiap mode akan dibandingkan parameter-parameter optimasi, yaitu nilai *fitness/coverage* terbaik kedua metode, dan juga *running time*-nya. Sedangkan kecepatan konvergensi tidak dibandingkan karena terjadinya nilai *fitness* akhir pada metode SA bisa melebihi jumlah iterasi yang digunakan pada metode PSO.

Pada perbandingan nilai *coverage*-nya, kedua metode dibandingkan pada nilai *coverage* relatif akhir terbesarnya. Pada metode PSO didapatkan nilai *coverage* terbesarnya adalah pada *Swarm* 48 iterasi 30 baik pada mode 2K ataupun mode 4K. Sedangkan pada metode SA didapatkan nilai *coverage* terbesar untuk mode 2K adalah pada *cooling schedule* 7 dan nilai *coverage* terbesar untuk mode 4K adalah pada *cooling schedule* 0. Untuk hasil lengkapnya dapat dilihat pada tabel 5. Dikarenakan jumlah iterasi yang berbeda antara metode SA (1000 iterasi) dan PSO (30 iterasi), maka pada plot matlab disesuaikan dengan jumlah iterasi yang lebih sedikit yaitu 30 iterasi. Hasilnya perbandingan untuk mode 4K dapat dilihat pada gambar 10. Dari hasil perbandingan nilai *coverage* tersebut dapat diketahui bahwa metode PSO mempunyai persentase *coverage* yang sedikit lebih besar, sehingga lebih baik dalam optimasi *coverage* dibandingkan metode SA.

Pada perbandingan *running time*-nya, kedua metode optimasi juga dibandingkan dengan jumlah iterasi yang disesuaikan yaitu 30 iterasi. Sesuai data pada tabel 5, didapatkan nilai *running time* rata-ratanya dari metode SA pada mode 2K adalah 115,1 detik dan pada mode 4K adalah 115,845 detik. Sehingga dari perbandingan kedua metode tersebut dapat disimpulkan bahwa metode SA memiliki *running time* yang lebih cepat yakni sekitar 75 kali lebih cepat dibandingkan metode PSO.

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian metode SA pada mode 2K dan 4K dengan menggunakan 10 *cooling schedule* telah berhasil mengoptimalkan daerah *coverage* SFN pemancar TV digital. Pada parameter peningkatan *coverage* relatif terbaik terdapat pada *cooling schedule* 7 dengan peningkatan rata-rata sebesar 2,348% apabila diukur dalam *range* persentase 100 km<sup>2</sup> maka didapatkan peningkatan sekitar 0,51 km<sup>2</sup> dan 1,78 km<sup>2</sup>. Kemudian pada parameter kecepatan konvergensi didapatkan *cooling schedule* 1 adalah yang terbaik, dimana pada mode 2K kecepatan konvergensi sedang (iterasi ke-364) dan pada mode 4K kecepatan konvergensi cepat (iterasi ke-151), sehingga *cooling schedule* 1 cocok untuk optimasi yang membutuhkan efisiensi waktu yang baik. Sedangkan *running time* pada optimasi ini tidaklah terlalu berpengaruh antar *cooling schedule* ataupun pada mode FFT yang berbeda. Hal ini terjadi karena iterasi yang digunakan dalam optimasi adalah sama yaitu 1000 iterasi.

Dari hasil perbandingan optimasi terbaik antara metode SA dan metode PSO pada iterasi yang sama (30 iterasi) didapatkan hasil bahwa metode PSO lebih baik dalam optimasi *coverage* dibandingkan metode SA. Akan tetapi, pada perbandingan *running time*-nya metode SA lebih unggul dibandingkan metode PSO yaitu sekitar 75 kali lebih cepat, sehingga metode SA memiliki efisiensi waktu yang lebih baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budiarto, H., Tjahjono, B.H., Ruffyanto, A., Kusuma, A., Hendratoro, G., Dharmanto, S. "Sistem TV Digital dan Prospeknya di Indonesia". Jakarta : Multikom Indo Persada. 2005.
- [2] Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika. "Standar Penyiaran Televisi Digital Terrestrial Penerimaan Tetap Tidak Berbayar (*free-to-air*)". Nomor 5. 2012.
- [3] Mattsson, A. "Single Frequency Networks in DTV", *IEEE Transactions On Broadcasting*, Vol.51, No.4. 2005.
- [4] Rutenbar, Rob A. "Simulated annealing Algorithms: An Overview". *IEEE CIRCUITS AND DEVICE MAGAZINE*. Januari 1989.
- [5] Lanza, M., A.L. Gutiérrez, I. Barriuso, J.R. Pérez, M. Domingo, L. Valle and J. Basterrechea. "Coverage Optimization in Single Frequency Networks using Simulated annealing". *IEEE*. 2011.
- [6] Lanza, M., A.L. Gutiérrez, I. Barriuso, J.R. Pérez, M. Domingo, L. Valle and J. Basterrechea. "Optimization of Single Frequency Networks for DVB-T Services using SA and PSO". *Proceeding of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*. 2011.
- [7] Brian, T. Luke. "Simulated annealing Cooling schedules". <URL: <http://www.btluke.com/simanf1.html>>
- [8] Rancangan Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia. "Persyaratan Teknis Alat dan Perangkat Pemancar Televisi Siaran Digital Berbasis Standar DVB – T2". 2012.
- [9] ETSI TS 102 831 V.1.1.1. "Digital Video Broadcasting (DVB): Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)". 2010.
- [10] Primasetiya, Oxy Riza. "Optimasi Jaringan SFN pada Sistem DVB-T2 menggunakan Metode Particle Swarm Optimization". Tugas Akhir Sarjana, Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2013.