

Optimasi Jaringan SFN pada Sistem DVB-T2 Menggunakan Metode *Partcicle Swarm Optimization*

Oxy Riza Primasetiya, Gamantyo Hendranto, Endroyono

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: gamantyo@ee.its.ac.id

Abstrak— Di Indonesia perpindahan dari sistem analog ke sistem digital pada dunia pertelevisian saat ini sedang dalam proses. TV analog yang saat ini masih dipergunakan dianggap tidak lagi efisien, selain tidak memberikan kualitas layanan yang optimal, juga tidak efisien terhadap spektrum sinyal. Indonesia sesuai dengan Peraturan Menteri No 5 Tahun 2012, dalam penyiaran digital menggunakan Teknologi DVB-T2. Teknologi DVB-T2 (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial Second Generation*) dapat diaplikasikan dengan menggunakan SFN (*Single Frequency Network*). Jaringan SFN memungkinkan sebuah stasiun TV dapat memiliki pemancar dengan frekuensi yang sama dan tersebar pada wilayah layanan yang luas. Transmisi SFN dapat diartikan sebagai bentuk sederhana dari propagasi multipath, karena semua pemancar dalam jaringan mengirimkan secara bersamaan informasi yang sama menggunakan saluran frekuensi yang sama. Dengan teknologi SFN, meskipun semua pemancar dalam jaringan mengirimkan data pada frekuensi yang sama, hal tersebut tidak mengakibatkan interferensi dalam proses pengiriman data.

Pada Penelitian ini, membahas mengenai optimasi jaringan SFN pada sistem DVB-T2. Metode yang dipilih dalam proses optimasi DVB-T2 adalah PSO (*Particle Swarm Optimization*), lalu hasil optimasi dibandingkan dengan sebelum optimasi dan juga dibandingkan dengan metode optimasi lain, yaitu *Simulated Annealing*. Melalui metode PSO, sebuah algoritma akan disimulasikan untuk mengoptimalkan sejumlah parameter orientasi antenna pemancar pada setiap pemancar SFN di wilayah tertentu. Dengan demikian, daerah *coverage* jaringan SFN pada wilayah tersebut dapat diperluas.

Kata Kunci— DVB-T2, Jaringan SFN, Optimasi, *Particle Swarm Optimization*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital yang sangat pesat memberikan kontribusi yang sangat signifikan pada bidang penyiaran, telekomunikasi, dan proses pengiriman data elektronik. Pada bidang penyiaran menjadikan teknologi TV Digital sebagai teknologi yang memiliki jumlah program siaran yang lebih banyak dan variatif, serta memiliki kualitas tinggi. Jika pada TV analog, sebuah kanal RF (Radio Frequency) hanya dapat ditempati oleh satu sinyal program siaran TV. Jika melihat kondisi saat ini, sangat banyak sekali program siaran TV, sedangkan frekuensi yang tersedia tidak bisa bertambah. Sebaliknya, pada sistem digital, setiap kanal RF dapat digunakan bersama secara multipleks oleh beberapa program siaran [1]. Dalam TV Digital, satu kanal siaran dapat ditempati enam slot siaran dengan kompresi MPEG-2 dengan kualitas SDTV. Selain itu, teknik modulasi digital dan

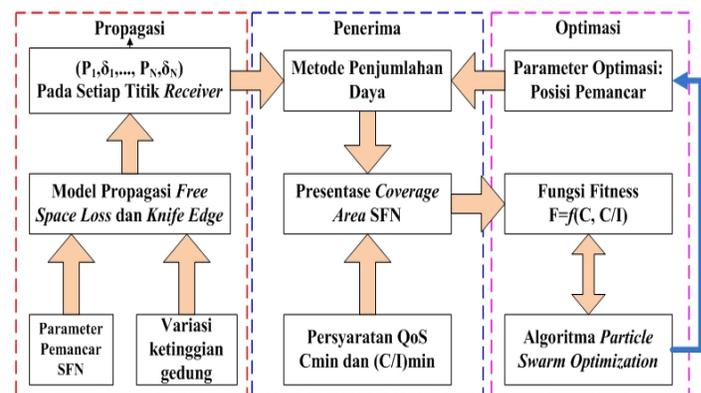
pengolahan sinyal yang dimiliki oleh sistem penyiaran TV Digital memungkinkan sistem TV digital lebih tahan terhadap derau dan distorsi oleh kanal maupun efek interferensi [2].

Sistem penyiaran TV digital DVB-T2 (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial Second Generation*) memungkinkan jaringan pemancar TV digital bekerja pada frekuensi yang sama, atau dikenal dengan SFN (*Single Frequency Network*), untuk meningkatkan cakupan dan kualitas sinyal. SFN menawarkan banyak keuntungan, seperti daerah cakupan yang lebih luas, minimnya interferensi, penggunaan daya yang lebih efisien, dan memiliki keandalan yang tinggi. SFN juga menyediakan saluran TV yang lebih banyak, sehingga penggunaan spektrum frekuensi lebih efisien [3].

Dalam Penelitian ini, metode algoritma heuristik PSO (*Particle Swarm Optimization*) akan diterapkan untuk mengoptimalkan *coverage area* jaringan SFN. Dengan algoritma PSO yang terinspirasi oleh perilaku sosial dari sekelompok burung dan sekawanan ikan dalam mencari makanan. PSO dipilih karena metode ini mampu memberikan solusi optimal dari fungsi nilai atau biaya yang nonlinier, dimensi yang tinggi, serta pencarian ruang multimodal yang mudah untuk diimplementasikan. Dengan demikian, metode ini diharapkan dapat memperluas daerah cakupan siaran TV digital [4].

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada Penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Yang mana metode ini akan berhenti pada iterasi ke-n.



Gambar. 1. Diagram Alir Penelitian

A. Parameter Jaringan SFN

Parameter yang digunakan pada pemancar *Single Frequency Network* ialah:

Tabel 1.
Parameter Jaringan SFN

No	Parameter	
1.	Frekuensi Kerja	600 MHz
2.	<i>Bandwidth</i>	8 MHz
3.	Mode IFFT	2 K dan 4 K
4.	Rasio <i>Guard Interval</i>	1/32
5.	Durasi simbol	2 K
		224 μs
6.	Luas Wilayah	4 K
		448 μs
7.	Jarak Antar Pemancar	100 km ²
7.	Jarak Antar Pemancar	2 K
		2,1 m
		4 K
		4,2 m

Digunakan tiga pemancar dengan daya 100 Watt. *Gain transmitter* (G_t) dan *gain receiver* (G_r) sebesar 10 dB.

B. Model Prediksi Propagasi

Pada tahap propagasi digunakan model propagasi *free space loss* dan model *knife edge*. Saat pemancar dan penerima saling *line of sight* maka digunakan propagasi *free space loss*. Jika antara pemancar dan penerima terdapat penghalang (gedung) maka digunakanlah propagasi *knife edge*. Dari kedua model tersebut digunakan untuk memperkirakan kontribusi sejumlah N pemancar pada setiap lokasi penerima.

Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai daya terima (Watt) apabila dalam keadaan *free space loss* adalah [5]:

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{c}{4\pi fd} \right)^2 \tag{1}$$

Untuk perhitungan nilai daya terima (dB) jika titik penerima dalam keadaan terhalang gedung maka persamaan yang digunakan adalah :

$$P_r = 10 \log \left(P_t G_t G_r \left(\frac{c}{4\pi fd} \right)^2 \right) + G_d \tag{2}$$

Dengan P_t adalah daya pancar antenna, G_t adalah penguatan antenna pemancar, G_r adalah penguatan antenna penerima. Sedangkan d adalah jarak pemancar dan penerima, f adalah frekuensi yang berasal dari pemancar. Adapun G_d merupakan *gain diffraction* yang merupakan redaman akibat adanya difraksi karena halangan gedung. Nilai G_d dipengaruhi faktor v merupakan nilai yang menunjukkan letak titik pemancar dan penerima terhadap titik difraksi. Nilai v sesuai persamaan:

$$v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} \tag{3}$$

Adapun G_d didapat dari model difraksi *knife edge* sesuai persamaan [5]:

$$G_d = \begin{cases} 0 & v \leq -1 \\ 20 \log (0,5 - 0,62v) & -1 \leq v \leq 0 \\ 20 \log [0,5 \exp(-0,95v)] & 0 \leq v \leq 1 \\ 20 \log [0,4 - \{0,1184 - (0,38 - 0,1v)^2\}^{1/2}] & 1 \leq v \leq 2,4 \\ 20 \log \left(\frac{0,225}{v} \right) & v > 2,4 \end{cases} \tag{4}$$

C. Perhitungan Kualitas Sinyal

Pada bagian penerima dilakukan penggabungan sinyal yang datang pada tiap lokasi *receiver* dari sejumlah pemancar yang menyusun SFN dengan menggunakan metode penjumlahan daya. Sinyal-sinyal ini dapat berguna secara penuh atau hanya sebagian saja, tergantung pada *delay* propagasinya. Selain itu sinyal juga bias mengakibatkan adanya *interference*. Pada (9) dapat digunakan untuk menghitung fungsi bobot (ω_i) kontribusi konstruktif atau destruktif [4].

$$\omega_i(t) = \begin{cases} [(T_u - t)/T_u]^2 & \text{Jika } (\Delta - T_p) < t \leq 0 \\ 1 & \text{Jika } 0 < t \leq \Delta \\ \left[\frac{(T_u + \Delta) - t}{T_u} \right]^2 & \text{Jika } \Delta < t \leq T_p \\ 0 & \text{Lainnya} \end{cases} \tag{5}$$

dimana T_u merupakan panjang symbol yang berguna, Δ panjang guard interval, dan T_p panjang dan interval di mana sinyal berkontribusi konstruktif. Sedangkan T_p bernilai $7T_u/24$.

Jika SFN terdiri dari N pemancar $\Omega = \{1, \dots, N\}$ dan ada pemancar M dari jaringan lain yang beroperasi pada frekuensi yang sama $\Psi = \{1, \dots, M\}$, rasio *carrier-to-interference* (C/I) dapat dijelaskan dalam fungsi bobot di atas, seperti dijelaskan dalam persamaan dibawah ini[4].

$$(C/I) = \frac{\sum_{i \in \Omega} P_i \omega_i (\delta_i - \delta_0)}{\sum_{i \in \Omega} P_i (1 - \omega_i (\delta_i - \delta_0)) + \sum_{i \in \Psi} P_i + N_0} \tag{6}$$

$$N_0 = kTB \tag{7}$$

Dimana P_i merupakan daya yang diterima dari pemancar ke-i (Watt), ω_i sebagai nilai fungsi bobot, δ_i sebagai delay relative *echo* ke-i terhadap satuan waktu sinkronisasi (s), δ_0 merupakan waktu sinkronisasi (s), N_0 sebagai Noise (Watt), k merupakan konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$), T merupakan Suhu (Kelvin), dan B sebagai Bandwidth (Hz).

D. Optimasi

Dalam proses optimasi, algoritma heuristik *Particle Swarm Optimization* (PSO) digunakan untuk menemukan posisi antenna pemancar SFN yang menghasilkan coverage paling besar. Dalam penggunaannya algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) menggunakan *fitness function*. *Fitness function* digunakan untuk memeriksa coverage yang dihasilkan pada setiap *swarm* dengan iterasi yang berbeda-beda. *Fitness function* ini mengevaluasi presentase lokasi penerima dengan pertimbangan cakupan bahwasetiap daerah cakupan dikapan telah tercakup jika C dan (C/I) melebihi ambang batas nilai-nilai Cmin dan (C/I)min yang ditentukan oleh pengguna. Ambang batas untuk konstelasi 64-QAM dengan *code rate* 5/6 disini ditetapkan Cmin ≥ -75 dBm [4] dan C/I $\geq 20,2$ dB [7].

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

$$Cov_r = \begin{cases} 1 & \text{jika } C \geq C_{min} \ \& \ (C/I) \geq (C/I)_{min} \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases} \tag{9}$$

E Algoritma Particle Swarm Optimization

Terinspirasi perilaku dari sekawanan burung dan sekawanan ikan, satu himpunan partikel atau sejumlah solusi bergerak dengan dipengaruhi oleh riwayat dan memori partikel sebelumnya pada ruang dimensi-*D*. Selama proses penerbangan dalam bergerak mencari posisi terbaik, setiap partikel menentukan posisinya sendiri berdasarkan pengalamannya sendiri (nilai ini yang disebut *Pbest*) dan berdasarkan pengalaman dari partikel tetangganya (nilai ini disebut *Gbest*).

Modifikasi ini dapat diwakili sebagai sebuah konsep kecepatan. Kecepatan dari setiap agen sesuai persamaan berikut [4]:

$$v_{k+1} = w \cdot v_k + c_1 r_1 \times (P_{best} - x^k) + c_2 r_2 \times (G_{best} - x^k) \tag{10}$$

Dengan,

- X^k : titik pencarian sekarang ini
- X^{k+1} : posisi pencarian yang dimodifikasi
- V^k : kecepatan saat ini
- V^{k+1} : kecepatan agen yang dimodifikasi
- V_{pbest} : kecepatan berdasar *pbest*
- V_{gbest} : kecepatan berdasar *gbest*
- n* : jumlah partikel dalam kelompok
- r_1, r_2 : dua bilangan random antara 0 dan 1
- $pbest_i$: *pbest* dari agen *k*
- $gbest_i$: *gbest* dari kelompok
- w* : *inertia weight*
- c_i : konstanta akselerasi atau *constriction coefficient*

Menggunakan persamaan di atas, kecepatan tertentu yang secara bertahap akan semakin mendekati *Pbest* dan *Gbest* bisa dihitung. Posisi saat ini (pencarian dalam ruang solusi) bisa didapatkan dari persamaan berikut:

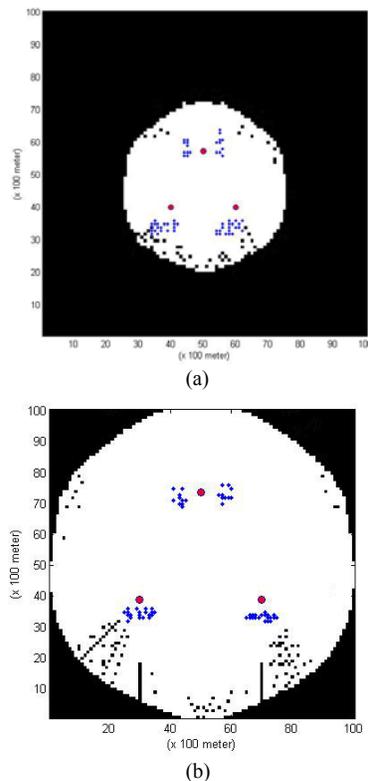
$$x^{k+1} = x^k + v_{k+1} \quad . \quad k = 1, 2 \dots n \tag{11}$$

Pada Penelitian ini, besar ukuran *swarm* divariasikan jumlahnya untuk membandingkan hasil *fitness* terbaik setiap ukuran *swarm*. Ukuran *swarm* yang digunakan yaitu 24, 36, 48 partikel. Sedangkan untuk *inertia weight* sebesar 0,729, nilai *constriction coefficient* = 1.49445[6], dan digunakan iterasi sebanyak 3 kali, 10 kali, 30 kali.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Coverage Area Model Propagasi Knife Edge

Saat pemancar berada pada daerah yang memiliki halangan, dalam hal ini berupa gedung, model propagasi yang digunakan yaitu model propagasi *knife edge*. Jumlah gedung yang ada dalam luas 100 km² sebanyak 60 gedung dengan posisi berada pada sekitar pemancar DVB-T2 dengan ketinggian diacak dengan *range* antara 10 meter sampai 80 meter. *Threshold* antenna penerima diatur dengan nilai C_{min} adalah -75 dBm[4] dan nilai C/I_{min} adalah 20,2 dB[7]. *Coverage* pemancar pada saat kondisi ada halangan dalam hal ini gedung dengan model propagasi *knife edge* dapat dilihat pada gambar 2



Gambar. 2. Coverage Area Model Knife Edge (a) Mode 2 K (b) Mode 4 K

Pada gambar 2 terlihat bahwa halangan gedung memberikan pengaruh pada luas cakupan wilayah pemancar DVB-T2. Daerah yang berada di belakang gedung dengan ketinggian gedung lebih dari tinggi pemancar membuat daerah yang berada di belakang gedung tersebut menjadi tidak dapat menerima sinyal. Nilai luas wilayah yang dapat di-cover oleh tiga pemancar DVB-T2 dapat dilihat pada tabel 2.

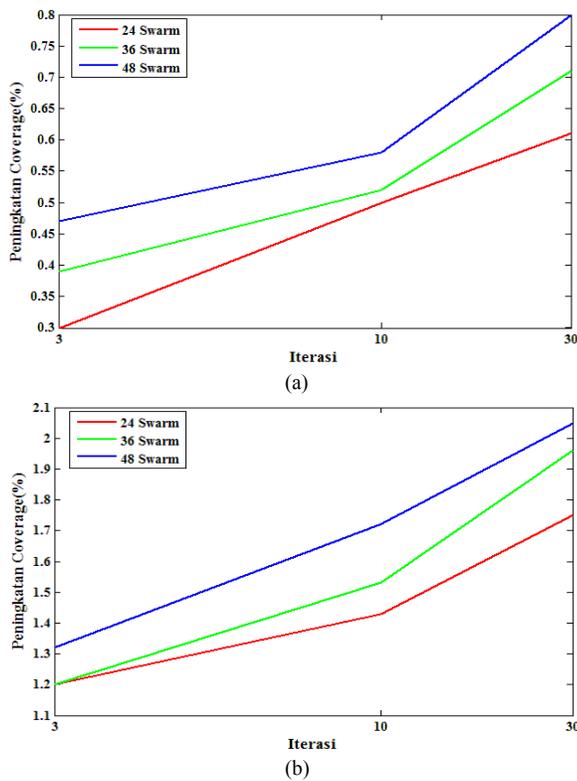
Tabel 2.

Persentase Coverage Area Knife Edge		
Mode	Persentase dalam luas 100 km ²	Coverage terhadap 4K Free Space Loss
2 K	19,76	24,68 %
4 K	77,95	97,39 %

Dari tabel diatas juga dilakukan penyesuaian terhadap *coverage area* untuk luas cakupan 4 K yang *free space loss* sebesar 80,04%. Dari.

B. Analisis Pengaruh Iterasi Terhadap Hasil Optimasi, dan Lama Proses Optimasi

Pada subbab ini dibandingkan pengaruh setiap iterasi yang dilakukan pada setiap ukuran *swarm*. Dari gambar 3 dapat disimpulkan bahwa banyaknya iterasi mempengaruhi peningkatan hasil optimasi. Semakin banyak iterasi yang dilakukan maka hasil optimasi akan mengalami peningkatan yang semakin besar. Hal itu terlihat, ketika 30 iterasi dibandingkan dengan 10 iterasi dan 3 iterasi memiliki peningkatan hasil optimasi yang lebih besar.

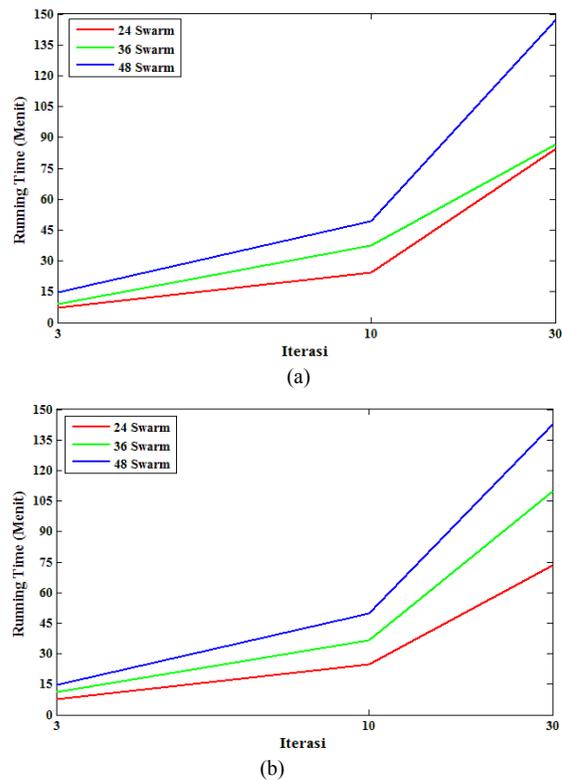


Gambar. 3. Grafik Pengaruh Iterasi Terhadap Peningkatan Hasil Optimasi PSO (a) Mode 2 K (b) Mode 4 K

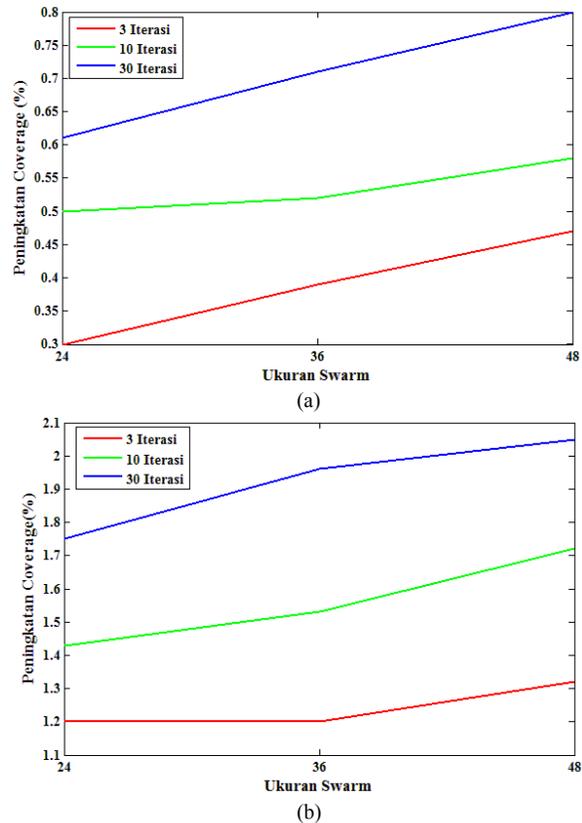
Selain mempengaruhi nilai *fitness*, iterasi juga mempengaruhi lama waktu optimasi dalam satuan menit. Pada gambar 4 dapat ditarik kesimpulan bahwa jumlah iterasi mempengaruhi lama waktu optimasi yang pada grafik diatas ditunjukkan dalam satuan menit. Pada setiap *swarm*, jumlah iterasi mempengaruhi lama waktu optimasi, hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah iterasi, maka semakin banyak jumlah perulangan setiap partikel atau *swarm* dalam suatu kelompok. Setiap kali perulangan atau iterasi jelas membutuhkan waktu untuk proses optimasi, sehingga 30 iterasi pada seluruh ukuran *swarm* selalu akan memiliki waktu optimasi yang lebih lama, karena lama waktu optimasi merupakan penjumlahan dari setiap perulangan yang dilakukan, jadi jika dilakukan 30 iterasi, maka akan dijumlahkan sebanyak 30 waktu perulangan.

C. Analisis Pengaruh Ukuran Swarm Terhadap Hasil Optimasi Waktu Konvergensi dan Lama Proses Optimasi

Pada subbab ini dibandingkan pengaruh ukuran *swarm*, yang mana setiap ukuran *swarm* dilakukan iterasi sebanyak 3 iterasi, 10 iterasi dan 30 iterasi. Pada gambar 5. terlihat bahwa ketika ukuran *swarm* yang lebih besar memiliki peningkatan terhadap luasan wilayah yang lebih besar. Semakin besar ukuran *swarm*, maka akan semakin besar pula peningkatan terhadap cakupan luas wilayah yang dapat di-cover.



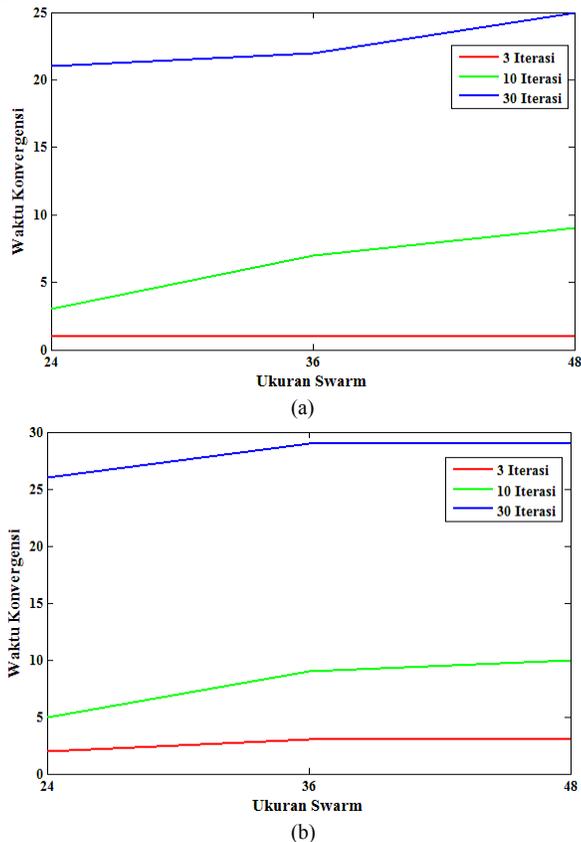
Gambar. 4. Grafik Pengaruh Iterasi Terhadap Lama Waktu Optimasi PSO (a) Mode 2 K (b) Mode 4 K



Gambar. 5. Grafik Pengaruh Ukuran Swarm Terhadap Peningkatan Hasil Optimasi PSO (a) Mode 2 K (b) Mode 4 K

Ukuran *swarm* selain mempengaruhi peningkatan *coverage*, juga mempengaruhi waktu konvergensi pada iterasi ke berapa

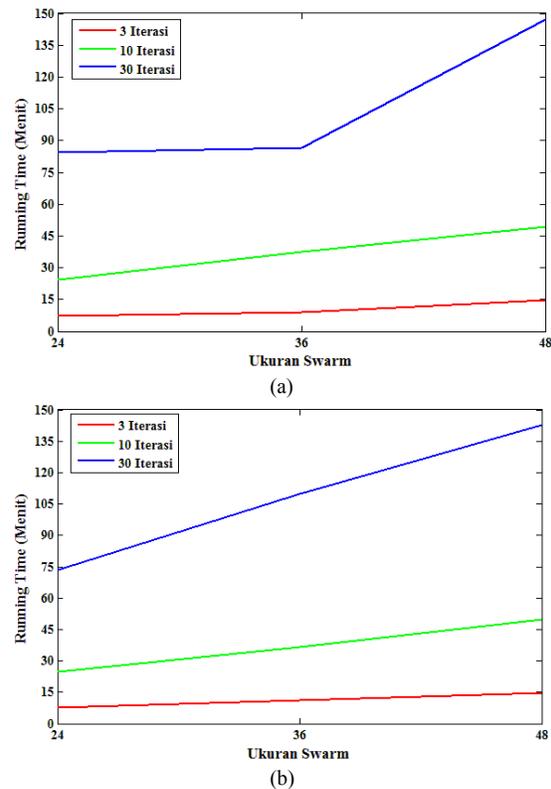
ukuran *swarm* tersebut mencapai *coverage* terbaik. Grafik pengaruh ukuran *swarm* terhadap waktu konvergensi iterasi untuk mencapai nilai *coverage* terbaik dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar. 6. Grafik Pengaruh Ukuran *Swarm* Terhadap Waktu Konvergensi Optimasi PSO (a) Mode 2 K (b) Mode 4 K

Pada gambar diatas, kecuali pada 3 iterasi, terjadi perbedaan waktu konvergensi, yang mana semakin besar ukuran *swarm*, maka waktu konvergensi untuk mencapai nilai *coverage* terbaik akan semakin lama. Hal ini disebabkan, ketika ukuran *swarm* semakin banyak, maka akan semakin banyak pula partikel atau agen yang mencari nilai *coverage* terbaik, sehingga memberikan kemungkinan pada iterasi berikutnya mendapatkan nilai *coverage* terbaik, jika pada iterasi berikutnya memiliki nilai *coverage* lebih baik dibanding iterasi sebelumnya, maka nilai *coverage* terbaik akan diperbarui. Pada 3 iterasi mode 2 K tidak terjadi perbedaan, karena terlalu sedikit iterasi yang dilakukan. Tidak terjadinya perubahan tersebut dikarenakan pada 3 iterasi belum mencapai konvergensi.

Pengaruh lain dari perbedaan ukuran *swarm* yaitu lama waktu optimasi dalam hal ini ditunjukkan dalam satuan menit. Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin banyak ukuran *swarm*, maka lama waktu optimasi semakin besar. Jika ukuran *swarm* semakin besar, maka akan semakin banyak pula partikel yang mencari posisi terbaik untuk mendapatkan *coverage* tertinggi, sedangkan waktu setiap partikel untuk mencapai posisi terbaik berbeda-beda. Lama waktu optimasi merupakan waktu yang dibutuhkan untuk setiap *swarm* mencapai posisi terbaik, sehingga jika ada yang salah satu yang belum menemukan posisi terbaik dalam satu kali iterasi, maka waktu optimasi akan terus berjalan.

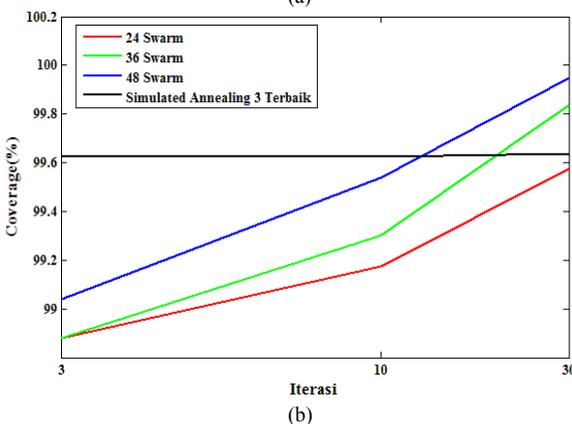
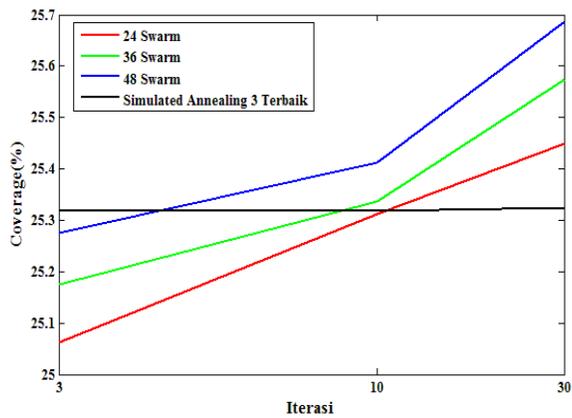


Gambar. 7. Grafik Pengaruh Ukuran *Swarm* Terhadap Lama Waktu Optimasi PSO (a) Mode 2 K (b) Mode 4 K

D. Perbandingan Hasil Optimasi Particle Swarm Optimization dengan Simulated Annealing (SA)

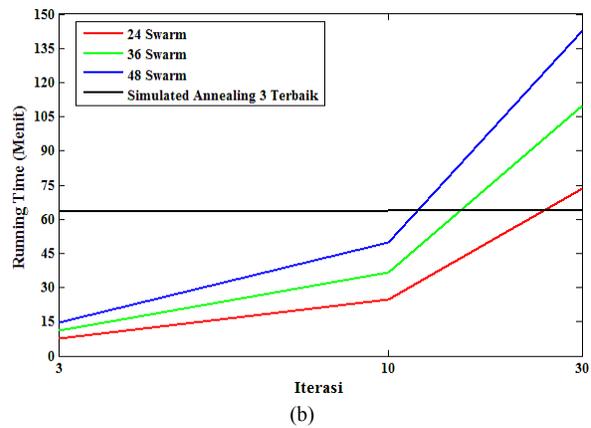
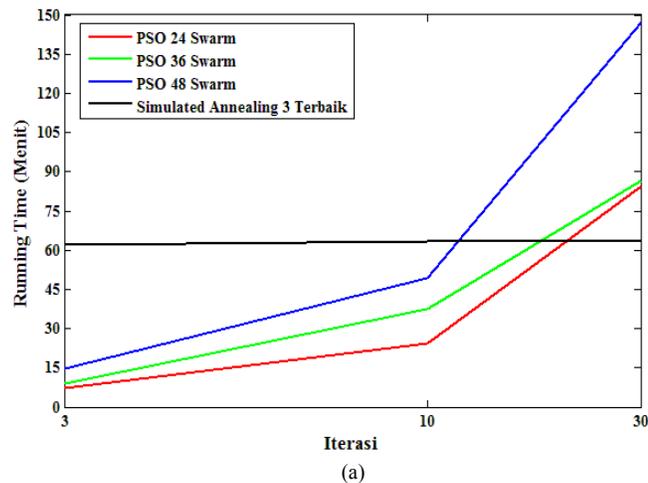
Pada subbab dibandingkan dari hasil dari luasan wilayah yang dapat di-cover dari kedua algoritma tersebut setelah dibagi dengan *coverage* maksimal sebesar 80,04%. Grafik perbandingan *coverage* antara PSO dan *Simulated Annealing*[8] dapat dilihat pada gambar 8.

Pada gambar 8 untuk hasil dari *Simulated Annealing* merupakan hasil *coverage* dari 3 *cooling schedule* terbaik. Dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil *coverage* dari PSO memiliki hasil yang lebih bagus ketika diiterasi sebanyak 30 iterasi. Nilai *Simulated Annealing* diambil 3 *cooling schedule* terbaik. Nilai PSO memiliki *coverage* lebih baik dibandingkan dengan *Simulated Annealing* karena, dalam satu kelompok PSO memiliki agen lebih banyak, yaitu 24, 36, 48 *swarm* sedangkan untuk *Simulated Annealing* hanya memiliki satu agen dalam mencari suhu terkecil yang nantinya digunakan sebagai penentuan *coverage* terbaik. Jika nilai *coverage* terbaik mode 2 K pada masing-masing algoritma dibandingkan, maka hasil optimasi PSO pada 48 *swarm* 30 iterasi sebesar 25, 687% memiliki hasil *coverage* lebih baik dibandingkan dengan hasil optimasi *Simulated Annealing* pada *cooling schedule* 7 sebesar 25,325%. Untuk mode 4 K, hasil optimasi PSO pada 48 *swarm* 30 iterasi sebesar 99,95% memiliki hasil *coverage* lebih baik dibandingkan dengan hasil optimasi *Simulated Annealing* pada *cooling schedule* 0 sebesar 99,638%.



Gambar. 8. Perbandingan coverage PSO dan Simulated Annealing (a) Mode 2 K (b) Mode 4 K

Sedangkan perbandingan lama waktu optimasi, Grafik perbandingan lama waktu optimasi antara PSO dan SA dapat dilihat pada gambar 9, yang mana nilai Simulated Annealing diambil dari 3 cooling schedule terbaik. Jika dibandingkan hasil antara PSO dan Simulated Annealing, Simulated Annealing memiliki lama waktu optimasi yang lebih sedikit dibandingkan dengan PSO. Hal ini dikarenakan pada PSO dalam proses optimasi memiliki lebih banyak agen untuk mencari posisi terbaik dalam bentuk 24, 36, 48 swarm.



Gambar. 9. Perbandingan Lama Waktu Optimasi PSO dan Simulated Annealing (a) Mode 2K (b) Mode 4 K

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan program optimasi dengan Algoritma Particle Swarm Optimization yang telah dibuat dan hasil analisa yang telah dilakukan pada optimasi jaringan SFN pada DVB-T2, dapat disimpulkan bahwa algoritma PSO mampu meningkatkan persentase daerah cakupan. Semakin banyak ukuran swarm, peningkatan coverage juga semakin besar. Semakin banyak iterasi yang dilakukan, semakin besar peningkatan coverage yang dihasilkan. Peningkatan coverage tertinggi pada mode 2 K terjadi pada 48 swarm dengan 30 iterasi sebesar 0,8 % dan mode 4 K pada 48 swarm dengan 30 iterasi sebesar 2, 05%. Jika dibandingkan dengan algoritma optimasi Simulated Annealing, peningkatan coverage dari hasil optimasi PSO memiliki peningkatan yang lebih besar, namun jika dilihat dari lama proses optimasi, Simulated Annealing memiliki lama waktu optimasi yang lebih cepat dibandingkan dengan algoritma PSO.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budiarto, H., Tjahjono, BH., Ruffyanto, A., Kusuma, A., Hendratoro, G., Dharmanto, S. *Sistem TV Digital dan Prospeknya di Indonesia*. Jakarta : Multikom Indo Persada. Bab 1, . 2007
- [2] Wu, Y., Pliszka E., Caron, B., Bouchard, P., Chouinard G. 2000. *Comparison of terrestrial DTV transmission systems: the ATSC 8-VSB, the DVB-T COFDM, and the ISDB-T BST-OFDM*. IEEE Transactions on Broadcasting, v. 46, no. 2, hal. 101-113.
- [3] Mattsson, A. *Single Frequency Networks in DTV*, IEEE Transactions On Broadcasting, Vol.51, No.4. . 2005
- [4] Lanza, M., Gutierrez, AL., Barriuso, I., Domingo, M., Perez, JR., Valle, L., Basterrechea, J. *Optimization of Single Frequency Networks for DVB-T Services Using SA and PSO*. Roma : Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP). 2011.
- [5] T. S. Rappaport, "Wireless Communications Principles and Practices, 2nd ed.", Prentice Hall, 2002.
- [6] Poli, R., Kennedy J., Blackwell T., "Particle Swarm Optimization : An Overview", Springer Science + Business Media, 2007.
- [7] ETSI TS 102 831. 2012. "Digital Video Broadcasting (DVB): Implementation Guidelines for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2)", V1.2.1 (2012-08).
- [8] Ikhwan. Adib Nur, Tugas Akhir, "Optimasi Coverage SFN Pada Pemancar TV Digital DVB-T2 Dengan Metode Simulated Annealing" Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2013