

Pengembangan *Economic Dispatch* Pada Sistem *Microgrid* Menggunakan Metode *Multiobjective Optimization*

Ario Pamungkas Harahap¹, Ontoseno Penangsang², dan Ardyono Priyadi³

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

e-mail: ariopamungkash@gmail.com¹,zenno_379@yahoo.com²,priyadi@ee.its.ac.id³

Abstrak

Kebutuhan daya listrik saat ini meningkat pesat seiring dengan perkembangan teknologi. Peningkatan kebutuhan daya listrik ini bertolak belakang dengan menipisnya ketersediaan sumber energi minyak dan batu bara. Permasalahan ini berdampak pada ketahanan listrik nasional. Untuk memenuhi kebutuhan daya listrik yang besar dengan cakupan wilayah yang luas diperlukan pembangkit-pembangkit tersebar berskala kecil. Pembangkit tersebar ini diupayakan bersumber pada energi terbarukan untuk meminimalkan pemakaian dari sumber energi minyak dan batu bara lalu dihubungkan ke grid utama PLN melalui Micro Grid. Oleh karena banyaknya pembangkit tersebar ini maka penting untuk menentukan besarnya pembangkitan daya listrik yang optimal dari masing-masing pembangkitnya sehingga kebutuhan daya listrik dapat dipenuhi dengan biaya dan emisi yang minimal. Optimisasi ini dikenal dengan istilah *Emission dan Economic Dispatch*. Optimisasi ini sudah banyak dilakukan dengan berbagai macam metode. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah *Multiobjective Genetic Algorithm*.

Kata kunci : *Economic, Dispatch, Microgrid, Multiobjective, Optimization*

1. Pendahuluan

Tenaga listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Permintaan daya listrik yang terus bertambah menyebabkan daya listrik yang harus disuplai oleh pembangkit menjadi sangat besar. Sumber energi yang dapat diperbaharui serta ekonomis adalah faktor penentu perkembangan industri yang bisa meningkatkan standar hidup masyarakat. Sejak revolusi industri, kebutuhan energi listrik meningkat tajam [1]. Sebagai bentuk yang baik dalam membangkitkan daya yang besar dengan cakupan wilayah yang luas, sistem pembangkitan tersebar menjadi penting untuk memenuhi permintaan beban, menaikkan keandalan, dan sebagainya [2,3]. *Economic dispatch (ED)* merupakan hal penting dalam kontrol dan operasi pada sistem tenaga [4]. Fungsi utama dari *ED* adalah untuk menjadwalkan pembangkitan dari setiap pembangkit yang beroperasi untuk dapat memenuhi kebutuhan beban pada biaya pembangkitan paling minimal [5].

Beberapa sumber energi listrik yang dimodelkan yaitu turbin angin, turbin mikro, generator diesel, sel surya, dan sel bahan bakar. Beberapa dari sumber ini adalah energi terbarukan seperti turbin angin dan sel surya sehingga masukan bahan bakar hanya diperlukan untuk sumber generator diesel [6]. Untuk memenuhi permintaan beban, energi listrik dapat dihasilkan secara langsung oleh sumber-sumber energi listrik diatas. Sumber-sumber energi listrik ini diintegrasikan ke grid utama melalui sistem *Micro Grid*. Masing-masing komponen dalam sistem *Micro Grid* modelkan

terpisah sesuai dengan karakteristik dan konstrainnya. Grid Utama menyeimbangkan perbedaan antara kebutuhan beban dan keluaran generator dari sumber mikro. Maka, ada biaya pengeluaran untuk membeli energi listrik ketika sumber mikro kekurangan dalam memenuhi kebutuhan beban. Di lain sisi, ada pemasukan dari penjualan energi listrik ketika sumber mikro menghasilkan energi listrik lebih besar dari kebutuhan beban tetapi tarif dari penjualan energi listrik lebih kecil daripada tarif pembelannya. Ada kemungkinan apabila tidak ada energi listrik yang terjual sama sekali [7].

Selain dari biaya operasi, faktor yang sangat penting untuk dianalisis yaitu emisi terhadap lingkungan. Pembangkit yang bukan bersumber pada energi terbarukan masih memerlukan bahan bakar minyak dan batu bara untuk beroperasi. Sehingga berdampak pada pencemaran lingkungan khususnya pada atmosfer. Polusi *sulphur oxides* (SO₂), *carbon oxides* (CO₂), dan *nitrogen oxides* (NO_x) pada atmosfer harus diminimalkan karena berbahaya [8]. Maka dari itu, penting untuk menentukan pembangkitan daya listrik dengan biaya dan emisi yang minimal dari masing-masing pembangkit tersebar dalam sistem *Micro Grid*. Berbagai metode untuk mengatasi permasalahan tersebut baik secara *deterministic* maupun *undeterministic* telah menjadi perhatian para peneliti sejak lama. Pendekatan *deterministic* berdasarkan pada cabang ilmu matematika teknik sedangkan pendekatan *undeterministic* bersifat heuristik menggunakan teknik probabilitas. Karena dalam permasalahan ini terdapat lebih dari satu objek yang harus dioptimasi yaitu emisi dan biaya

maka digunakan teknik *multiobjective*. Teknik *multiobjective* ini sebelumnya pernah dibahas untuk mengurangi emisi SO₂ pada sistem tenaga listrik [9]. Kemudian teknik ini juga digunakan untuk menentukan pengaturan daya aktif dan reaktif yang optimal dengan meminimalkan beberapa fungsi obyektif *optimal power flow*. Pada penelitian ini akan digunakan pendekatan *undeterministic* yaitu pendekatan *Multiobjective Genetic Algorithm* menggunakan konsep *aggregating functions*. Teknik ini mengkombinasikan beberapa fungsi objek menjadi satu model fungsi objek [11,12].

2. Pengembangan Economic Dispatch

Economic Dispatch merupakan pembagian pembebanan pada pembangkit untuk beroperasi secara ekonomis pada kondisi beban sistem tertentu. Tiap pembangkit mempunyai karakteristik yang berbeda-beda sehingga berpengaruh pada fungsi kebutuhan dan biaya bahan bakarnya. Perbedaan karakteristik itu dipengaruhi oleh jenis bahan bakar dan efisiensi dari pembangkit. Fungsi total biaya dari generator unit-*i* dimodelkan dengan persamaan :

$$CF(P) = \sum_{i=1}^N C_i \times F_i(P_i) \quad (1)$$

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (2)$$

dimana :

C_i = Harga bahan bakar pada pembangkit unit-*i*

F_i = Biaya pembangkitan pada pembangkit unit-*i*

P_i = Daya output dari pembangkit unit-*i*

Dari seluruh pembangkit yang ada di dalam sistem, terdapat tiga pembangkit yang membutuhkan bahan bakar untuk dapat beroperasi. Pembangkit tersebut adalah sel bahan bakar, turbin mikro, dan generator diesel. Tiap pembangkit itu mempunyai karakteristik yang berbeda. Maka dari itu, fungsi dari total biaya operasi pembangkit tersebut adalah sebagai berikut :

$$CF(P) = CF(P_{FC}) + CF(P_{MT}) + CF(P_{DG}) \quad (3)$$

dimana :

$CF(P)$ adalah total biaya operasi generator berbahan bakar dalam R/h

2.1 Constraints

Terdapat beberapa *constraint* yang perlu dipertimbangkan dalam operasi *Economic Dispatch* yaitu :

1. Keseimbangan Daya (*equality constraint*)

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_L \quad (4)$$

dimana P_L adalah total beban sistem.

2. Kapasitas Pembangkit (*inequality constraint*)

$$P_i^{min} \leq P_i \leq P_i^{max} \quad (5)$$

dimana P_i^{min} adalah daya operasi minimum dari pembangkit unit-*i* dan P_i^{max} adalah daya operasi maksimum dari pembangkit unit-*i*.

2.1.1 Equality Constraint

Equality Constraint merupakan batasan yang merepresentasikan keseimbangan daya dalam sistem. Karena terdapat dua pembangkit *renewable energy* yaitu turbin angin dan sel surya maka beban netto merupakan total beban sistem dikurangi daya yang dihasilkan pembangkit *renewable energy*. Beban netto ini yang nantinya akan dioptimasi oleh pembangkit-pembangkit berbahan bakar.

Fungsi persamaannya dinyatakan sebagai berikut :

$$P_{net} = Load - P_{PV} - P_{WT} \quad (6)$$

dimana :

P_{net} adalah beban netto dari sistem *Micro Grid* dalam kW

2.1.2 Inequality Constraint

Inequality Constraint merupakan batasan yang merepresentasikan kapasitas daya dari pembangkit. Terdapat tiga pembangkit berbahan bakar dalam sistem *Micro Grid* ini yaitu sel bahan bakar, generator diesel, dan turbin mikro. Pembangkit tersebut mempunyai kapasitas daya yang berbeda. Fungsi pertidaksamaannya adalah sebagai berikut :

$$P_{FC}^{min} \leq P_{FC} \leq P_{FC}^{max} \quad (7)$$

$$P_{MT}^{min} \leq P_{MT} \leq P_{MT}^{max} \quad (8)$$

$$P_{DG}^{min} \leq P_{DG} \leq P_{DG}^{max} \quad (9)$$

dimana :

P_{FC}^{min} adalah daya operasi minimum dari pembangkit sel bahan bakar

P_{FC}^{max} adalah daya operasi maksimum dari pembangkit sel bahan bakar

P_{MT}^{min} adalah daya operasi minimum dari pembangkit turbin mikro

P_{MT}^{max} adalah daya operasi maksimum dari pembangkit turbin mikro

P_{DG}^{min} adalah daya operasi minimum dari pembangkit generator diesel

P_{DG}^{max} adalah daya operasi maksimum dari pembangkit generator diesel

Dalam penelitian ini, parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$P_{FC}^{min} = 0$$

$$P_{FC}^{max} = 50$$

$$P_{MT}^{min} = 0$$

$$P_{MT}^{max} = 30$$

$$P_{DG}^{min} = 0$$

2.2 Emission

Beberapa pembangkit listrik dalam beroperasi akan menghasilkan gas buang yang disebut emisi. Emisi tersebut berupa Sulfur Dioksida (SO₂), Carbon Dioksida (CO₂), dan Nitrogen Oksida (NO_x).

Satu pembangkit berbahan bakar yang ada dalam sistem *Micro Grid* diatas mempunyai karakteristik emisi yang berbeda-beda. Emisi dari ketiga pembangkit berbahan bakar tersebut berupa Sulfur Dioksida (SO_2), Carbon Dioksida (CO_2), dan Nitrogen Oksida (NO_x).

$E(P)$ adalah total emisi generator berbahan bakar dalam g

α_{DG} adalah koefisien non-negatif dari SO_2

β_{DG} adalah koefisien non-negatif dari CO_2

γ_{DG} adalah koefisien non-negatif dari NO_x

3. Multiobjective Genetic Algorithm

Metode yang paling sederhana dan mudah dipahami dalam menyelesaikan *multiobjective optimization* adalah metode *Weighted Sum*. Metode ini mengkombinasikan beberapa tujuan ke dalam fungsi gabungan sehingga penyelesaiannya berupa satu fungsi tujuan saja. Metode ini seringkali digunakan oleh karena efisiensi dalam komputasi dan kesederhanaannya. Metode *Weighted Sum* menggabungkan beberapa fungsi tujuan dengan *weights*. Persamaan metode *Weighted Sum* adalah sebagai berikut :

$$f = w_1 f_1(P) + w_2 f_2(P) + \dots + w_k f_k(P) \quad (10)$$

dimana f_k adalah fungsi tujuan ke- k . Sedangkan w_k adalah *weights* dari fungsi tujuan ke- k .

Langkah-langkah *genetic algorithm* adalah sebagai berikut :

1. Inisialisasi Populasi

Inisialisasi Populasi merupakan membangkitkan populasi secara acak, dimana lebar kromosom disesuaikan dengan jumlah objek yang akan dioptimasi.

Teknik dalam pembangkitan populasi awal ini ada beberapa cara, diantaranya adalah sebagai berikut :

- Random Generator adalah cara yang melibatkan pembangkitan bilangan random untuk nilai setiap gen sesuai dengan representasi kromosom yang digunakan. Jika menggunakan representasi biner, salah satu contoh penggunaan random generator adalah penggunaan rumus berikut untuk pembangkitan populasi awal :
- Pendekatan Tertentu (Memasukkan Nilai Tertentu ke dalam Gen) Cara ini adalah dengan memasukkan nilai tertentu ke dalam gen dari populasi awal yang dibentuk.

2. Seleksi

Seleksi digunakan untuk memilih individu-individu mana saja yang akan dipilih untuk proses crossover dan mutasi. Seleksi digunakan untuk mendapatkan calon induk yang baik. "Induk yang baik akan menghasilkan keturunan yang baik". Proses seleksi dilakukan dengan cara membuat

kromosom yang mempunyai *fitness* tinggi mempunyai kemungkinan terpilih yang besar atau mempunyai nilai probabilitas yang tinggi

3. Crossover

Crossover (Kawin Silang) adalah operator dari *genetic algorithm* yang melibatkan dua induk untuk membentuk kromosom baru. Pindah silang menghasilkan titik baru dalam ruang pencarian yang siap untuk diuji. Operasi ini tidak selalu dilakukan pada semua individu yang ada. Individu dipilih secara acak untuk dilakukan crossing dengan probabilitas antara 0.6 s/d 0.95. Jika pindah silang tidak dilakukan, maka nilai dari induk akan diturunkan kepada keturunan. Metode yang digunakan salah satunya adalah *one-cut point*, yaitu memilih secara acak satu posisi dalam kromosom induk kemudian saling menukar gen

4. Mutasi

Mutasi merupakan operator yang berperan untuk menggantikan gen yang hilang dari populasi akibat proses seleksi yang memungkinkan munculnya kembali gen yang tidak muncul pada inisialisasi populasi.

5. Populasi Baru

Proses seleksi kromosom menggunakan konsep aturan evolusi Darwin yang telah disebutkan sebelumnya yaitu kromosom yang mempunyai nilai *fitness* tinggi akan memiliki peluang lebih besar untuk terpilih lagi pada generasi selanjutnya. Kromosom-kromosom baru disebut dengan *offspring*

4. Implementasi Algoritma

Dalam penelitian ini, terdapat algoritma yang digunakan untuk mengoperasikan sistem kelistrikan *Micro Grid* model *grid-connected* secara optimal. Algoritma tersebut adalah sebagai berikut :

1. Daya keluaran dari turbin angin dihitung sesuai dengan hubungan kecepatan angin dan daya keluarannya.
2. Daya keluaran dari sel surya dihitung sesuai dengan efek suhu dan radiasi matahari yang berbeda dari kondisi standar tes.
3. Asumsikan turbin angin dan sel surya tidak menghasilkan biaya dan emisi saat beroperasi.
4. Jika total permintaan beban lebih kecil dari daya keluaran sel surya dan turbin angin maka daya sisa akan dijual ke PLN.
5. Beban netto dihitung hanya jika daya keluaran dari turbin angin dan sel surya lebih kecil dari total permintaan beban.
6. Memilih sumber lainnya dalam memenuhi beban (generator diesel) sesuai dengan fungsi tujuannya.

Jika daya keluaran seluruh pembangkit masih tidak cukup dalam memenuhi total permintaan beban maka akan membeli daya dari PLN.

Multiobjective genetic algorithm digunakan untuk mengoptimasi pembangkitan daya oleh sel bahan bakar, turbin mikro, dan generator diesel ketika beban lebih besar dari pembangkitan sel surya dan turbin angin tetapi masih mampu dipenuhi oleh ketiga pembangkit lainnya agar mendapatkan biaya dan emisi yang paling minimal. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Membangkitkan populasi secara acak, dimana lebar kromosom disesuaikan dengan jumlah objek yang akan di optimasi. Dalam kasus ini, objek yang dioptimasi adalah keluaran daya pembangkit berbahan bakar. Terdapat 3 pembangkit berbahan bakar dalam sistem *Micro Grid* ini yaitu sel bahan bakar, turbin mikro, dan generator diesel. Sehingga terdapat 3 gen dalam satu kromosom. Sedangkan kromosom yang dibangkitkan dalam satu populasi adalah 1000.
2. Pengkodean kromosom merupakan konversi dari nilai asumsi ke nilai real. Nilai ini diwakili oleh kromosom yang dibangkitkan secara acak tadi. Sedangkan nilai real adalah nilai daya pembangkitan yang sesungguhnya. Dalam kasus ini, pengkodean kromosom adalah representasi dari batasan kapasitas daya keluaran pembangkit berbahan bakar.

$$P_{FC}^{min} \leq P_{FC} \leq P_{FC}^{max} \quad (11)$$

$$P_{MT}^{min} \leq P_{MT} \leq P_{MT}^{max} \quad (12)$$

$$P_{DG}^{min} \leq P_{DG} \leq P_{DG}^{max} \quad (13)$$

dimana:

P^{min} adalah daya operasi minimum dari pembangkit dalam kW

P^{max} adalah daya operasi maksimum dari pembangkit dalam kW

3. Metode *crossover*, *mutation* serta *recombination* digunakan untuk menyeleksi individu yang paling optimal dalam populasi tersebut. Probabilitas *Crossover* yang dipakai adalah 0.8. Sedangkan probabilitas *Mutation* yang dipakai adalah 0.3.
4. Proses akan terus berulang untuk mendapatkan kromosom terbaik. Kromosom terbaik ini direpresentasikan dalam bentuk nilai *fitness*. Nilainya sebagai berikut:

$$f = 1 \div [\{w_1 \times CF(P)\} + \{w_2 \times S \times E(P)\}] \quad (14)$$

$$w_2 = 1 - w_1 \quad (15)$$

dimana :

$CF(P)$ adalah total biaya operasi generator berbahan bakar dalam R/h

$E(P)$ adalah total emisi generator berbahan bakar dalam g

w_1 adalah *weight* biaya operasi

w_2 adalah *weight* emisi

S adalah *scaling factor* dari fungsi emisi

5. Pada generasi tertentu, jika *fitness* hasil seleksi kurang dari standart. Maka *Genetic Algorithm*

akan membangkitkan populasi baru, untuk menggantikan populasi lama.

6. Kromosom terbaik dari seluruh proses tersebut akan muncul setelah iterasi maksimum terpenuhi. Dalam kasus ini, iterasi maksimumnya adalah 25 generasi.

5. Hasil Simulasi dan Analisa

Hasil perhitungan pada penelitian ini berupa table-table yang meliputi pembangkitan optimal, biaya total, emisi total dan biaya beli maupun jual daya PLN dengan berbagai kondisi beban. Hasil perhitungan pertama ketika total permintaan beban lebih kecil dari daya keluaran sel surya dan turbin angin sehingga sisa daya yang dibangkitkan kedua pembangkit itu akan dijual ke PLN. Berikut ini merupakan data yang dimasukkan dalam simulasi :

Tabel 1 Data masukan

Kasus	Total beban (kW/h)	Kecepatan angin (m/s)	Jumlah turbin angin (unit)	Radiasi matahari (W/m ²)	Suhu (Celcius)	Jumlah sel surya (modul)
1	0.07	5	1	1000	60	5
2	0.20	8	2	1500	50	4
3	0.45	10	3	2000	30	6
4	1.55	15	3	500	50	5

Tabel 2 Hasil simulasi perhitungan pertama

Kasus	Daya sel surya (kW/h)	Daya turbin angin (kW/h)	Total Daya Renewable (kW/h)	Total Penjualan Daya (kW/h)	Total Pemasukan (R/h)
1	0.342	0.034	0.377	0.307	183.9
2	0.436	0.262	0.697	0.497	298.4
3	0.971	0.688	1.659	1.209	725.2
4	0.182	1.783	1.964	0.414	248.4

Dari hasil simulasi diatas, terlihat perbedaan daya yang dibangkitkan oleh sel surya dan turbin angin ketika mendapat variasi masukan yang berbeda. Hal itu disebabkan karena tiap pembangkit mempunyai karakteristik yang berbeda sesuai dengan fungsi pembangkitannya masing-masing seperti yang telah ditunjukkan pada bab 3. Daya yang dibangkitkan turbin angin dipengaruhi oleh kecepatan angin dan jumlah unit turbin angin. Sedangkan daya yang dibangkitkan sel surya dipengaruhi oleh radiasi matahari, suhu, dan jumlah modul sel surya. Berbagai variasi total beban disimulasikan untuk mengetahui berapa sisa daya terbangkit yang mampu dijual ke PLN dan jumlah pemasukan dari penjualan daya tersebut.

Hasil Perhitungan kedua ketika total permintaan beban lebih besar dari daya keluaran sel surya dan turbin angin sehingga dibutuhkan pembangkit berbahan bakar (sel bahan bakar, turbin mikro, dan generator diesel) untuk membantu memenuhi total permintaan beban. *Multiobjective genetic algorithm* digunakan untuk menentukan

pembangkitan yang optimal untuk masing-masing pembangkit berbahan bakar tersebut. Dalam studi kasus kedua ini, yang menjadi prioritas utama yaitu minimisasi biaya operasi daripada minimisasi emisi sehingga parameter w_1 ditentukan 0.8 sedangkan parameter w_2 ditentukan 0.2. Untuk mengetahui perbedaan daya yang dibangkitkan oleh pembangkit berbahan bakar maka parameter masukan pembangkit *renewable* disamakan yaitu kecepatan angin diasumsikan 17 m/s, jumlah turbin angin sebanyak 5 unit, radiasi matahari 1500 W/m^2 , suhu 70°C , dan jumlah sel surya sebanyak 6 modul. Berikut ini merupakan hasil simulasi dengan berbagai variasi total permintaan beban:

Tabel 3 Hasil simulasi perhitungan kedua

Kasus	Total beban (kW/h)	Daya sel surya (kW/h)	Daya turbin angin (kW/h)	Daya sel bahan bakar (kW/h)	Daya turbin mikro (kW/h)	Daya generator diesel (kW/h)	Total emisi (g/h)	Total biaya operasi (R/h)
1	30.55	0.579	3.939	25.847	0.009	0.200	33.550	41823.6
2	50.47	0.579	3.939	45.240	0.426	0.328	59.026	81486.5
3	60.78	0.579	3.939	49.391	5.614	1.258	96.296	118836.5
4	87.64	0.579	3.939	49.017	28.622	5.506	243.526	193234.7

Dari hasil simulasi diatas, terlihat perbedaan daya yang dibangkitkan oleh pembangkit berbahan bakar dengan asumsi pembangkitan dari pembangkit *renewable* besarnya sama dalam berbagai variasi beban. Pembangkit sel bahan bakar dioperasikan paling besar dalam memenuhi total permintaan beban karena memiliki biaya operasi dan emisi yang paling kecil, sedangkan pembangkit generator diesel dioperasikan paling kecil karena memiliki biaya operasi dan emisi yang paling besar

Pada perhitungan ketiga sama seperti perhitungan kedua tetapi yang berbeda adalah dalam perhitungan ketiga yang menjadi prioritas utama untuk diminimisasi yaitu emisi daripada biaya operasinya. Berkebalikan dengan studi kasus 2, parameter w_1 ditentukan 0.2 sedangkan parameter w_2 ditentukan 0.8. Sedangkan parameter masukan pembangkit *renewable* disamakan dengan studi kasus 2 yaitu kecepatan angin diasumsikan 17 m/s, jumlah turbin angin sebanyak 5 unit, radiasi matahari 1500 W/m^2 , suhu 70°C , dan jumlah sel surya sebanyak 6 modul. Berikut ini merupakan hasil simulasi dengan berbagai variasi total permintaan beban:

Tabel 3 Hasil simulasi perhitungan ketiga

Kasus	Total beban (kW/h)	Daya sel surya (kW/h)	Daya turbin angin (kW/h)	Daya sel bahan bakar (kW/h)	Daya turbin mikro (kW/h)	Daya generator diesel (kW/h)	Total emisi (g/h)	Total biaya operasi (R/h)
1	30.55	0.579	3.939	26.010	0.043	0.028	29.720	42341.5
2	50.47	0.579	3.939	45.686	0.427	0.002	51.807	81922.4
3	60.78	0.579	3.939	48.950	7.377	0.028	70.267	121713.0
4	87.64	0.579	3.939	49.681	29.590	3.944	209.245	194847.2

Dari hasil simulasi diatas, terlihat perbedaan daya yang dibangkitkan oleh pembangkit berbahan bakar dengan asumsi pembangkitan dari pembangkit *renewable* besarnya sama dalam berbagai variasi beban. Pembangkit sel bahan bakar dioperasikan paling besar dalam memenuhi total permintaan beban karena memiliki biaya operasi dan emisi yang paling kecil, sedangkan pembangkit generator diesel dioperasikan paling kecil karena memiliki biaya operasi dan emisi yang paling besar. Dalam studi kasus perhitungan ketiga ini, total emisi merupakan prioritas utama untuk diminimisasi daripada total biaya operasi. Terlihat perbedaan hasil simulasi diantara studi kasus kedua dan studi kasus ketiga dimana total emisi pada studi kasus ketiga lebih kecil dibandingkan dengan total emisi pada studi kasus kedua tetapi biaya operasi pada studi kasus ketiga lebih besar dari biaya operasi pada studi kasus kedua.

Studi kasus keempat merupakan penengah antara studi kasus kedua dan studi kasus ketiga. Dalam studi kasus keempat, yang menjadi prioritas untuk diminimisasi adalah keduanya yaitu total biaya operasi dan total emisi. Keduanya memiliki kepentingan yang sama. Maka dari itu, parameter w_1 dan parameter w_2 ditentukan seimbang yaitu 0.5. Sedangkan parameter masukan pembangkit *renewable* disamakan dengan studi kasus 2 dan studi kasus 3 yaitu kecepatan angin diasumsikan 17 m/s, jumlah turbin angin sebanyak 5 unit, radiasi matahari 1500 W/m^2 , suhu 70°C , dan jumlah sel surya sebanyak 6 modul. Berikut ini merupakan hasil simulasi dengan berbagai variasi total permintaan beban

Tabel 3 Hasil simulasi perhitungan keempat

Kasus	Total beban (kW/h)	Daya sel surya (kW/h)	Daya turbin angin (kW/h)	Daya sel bahan bakar (kW/h)	Daya turbin mikro (kW/h)	Daya generator diesel (kW/h)	Total emisi (g/h)	Total biaya operasi (R/h)
1	30.55	0.579	3.939	26.051	0.008	0.066	30.599	41983.0
2	50.47	0.579	3.939	45.715	0.389	0.024	52.278	81570.2
3	60.78	0.579	3.939	49.992	6.193	0.088	70.437	120289.3
4	87.64	0.579	3.939	48.846	29.640	4.648	225.091	194513.9

Dari hasil simulasi diatas, terlihat perbedaan nilai total biaya operasi dan total emisi jika dibandingkan dengan studi kasus kedua dan studi kasus ketiga. Nilai yang didapatkan dalam studi kasus keempat merupakan nilai tengah dari studi kasus kedua dan studi kasus ketiga. Terlihat nilai total emisi pada studi kasus keempat lebih besar dari studi kasus ketiga tetapi lebih kecil dari studi kasus kedua. Sedangkan nilai total biaya operasi pada studi kasus keempat lebih kecil.

6. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini, *Micro Grid* menggunakan *multiobjective genetic algorithm*

optimization, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode ini mampu menentukan pembangkit yang dioperasikan serta besarnya daya yang dibangkitkan berdasarkan permintaan beban dalam sistem *Micro Grid* sehingga beban dapat dipenuhi dengan biaya dan emisi yang paling minimal.
2. Terdapat pemasukan dari penjualan daya ke PLN apabila daya yang terbangkit dari pembangkit *renewable* lebih besar dari permintaan beban tetapi terdapat pengeluaran dari pembelian daya PLN apabila permintaan beban melebihi total pembangkitan dari seluruh pembangkit dalam sistem *Micro Grid*.
3. Dengan mengatur nilai *weight* dari *multiobjective genetic algorithm* maka didapatkan hasil *emission* dan *economic dispatch* yang sesuai dengan yang diprioritaskan. Semakin besar nilai *weight* maka semakin besar pula prioritasnya.
4. Metode *multiobjective genetic algorithm* mempunyai nilai penyebaran yang kecil dari nilai rata-rata hitungannya. Metode ini juga sangat efisien dalam pemecahan masalah karena waktunya yang singkat yaitu hanya sekitar 26 detik.

Daftar Pustaka:

- [1] Imam Robandi, "Modern Power System Control", Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2009.
- [2] WANG Jiang-hai, TAI Neng-ling, SONG Kai, "Penetration Level Permission of for DG in Distributed Network Considering Relay Protection," Proceedings of the CSEE, 30 (2010), No. 22, 37-43.
- [3] YU Kun, CAO Yijia, CHEN Xingying, "Dynamic Probability Power Flow of District Grid Containing Distributed Generation," Proceedings of the CSEE, 31 (2011), No. 1, 20-25.
- [4] Naoto Yorino, Hafiz Mohd Habibuddin, Zoka Yoshifumi, Sasaki Yutaka, Ohnishi Yuji, "Dynamic Economic Dispatch with Generator's Feasible Operation Region", Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010 Asia-Pacific, 10.1109/APPEEC.2010.5448180, 2010.
- [5] D. W. Ross, S. Kim, "Dynamic Economic Dispatch of Generation", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-99, no. 6, pp. 2060-2068, Nov. 1980.
- [6] Mohamed Faisal A, Koivo Heikki, "System modelling and online optimal management of MicroGrid using Mesh Adaptive Direct Search", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 32, no 5 . 2010, pp. 398-407.
- [7] S. Campanari and E. Macchi. Technical and tariff scenarios effect on microturbine trigenerative applications. *Journal of Engineering for Gas turbines and Power*, 126:581 – 589, July 2004.
- [8] Morgantown, W, "Emission rates for new DG technologies", *the Regulatory Assistance Project*, Online Available, <http://www.raponline.org/ProjDocs/DREmsRul/Collfile/DGEmissionsMay2001.pdf>.
- [9] Wibowo, Rony Seto, Sidarjanto, Syarifuddin, M. "Studi Multi Obyektif Economy-Emission Dispatch untuk Mengurangi Emisi SO2 pada Sistem Tenaga Listrik", Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro ITS, 1999.
- [10] Priyanto, Yun Tonce Kusuma. "Combine Active Reactive Dispatch Multiobjective Optimal Power Flow Using Firefly Algorithm", Master Theses of Electrical Engineering, RTE 621.319 Pri p, 2013.
- [11] Bakirtzis, A., Petridis, V., dan Kazarlis, S. "Genetic Algorithm solution to the Economic Dispatch problem", *IEE Proc-Gener. Transm. and Distrib*, vol 141, no. 4, p.377-382, 1994.
- [12] Mohamed Faisal A, Koivo Heikki, "Multiobjective Genetic Algorithms for Online Management Problem of Microgrid", *Journal of International Review of Electrical Engineering (IREE)* Vol. 3, no 1 . 2008, pp. 46-54.
- [13] Mohamed, Faisal A. "Microgrid modelling and online management." (2008).
- [14] M. A. Abido. Environmental/economic power dispatch using multiobjective evolutionary algorithms. *IEEE Transactions on Power Syst*, 18(4):1529 – 1537, November 2003.
- [15] S. Bernow and D. Marron. Valuation of environmental externalities for energy planning and operations. In *Tellus Institute Report 90-SB01 Boston, MA*, May 1990.
- [16] M. Pipattanasomporn, M. Willingham, and S. Rahman. Implications of on-site distributed generation for commercial/industrial facilities. *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(1):206 – 212, February 2005.
- [17] Hermawanto, Denny. "Algoritma Genetika dan Contoh Aplikasinya." (2003).
- [18] Basuki, Ahmad, 2003, "Algoritma Genetika Suatu Alternatif Penyelesaian Permasalahan Searching, Optimasi dan Machine Learning", <http://lecturer.eepis-its.edu/~kangedi/materi/kuliah/Kecerdasan Buatan/Bab 7 Algoritma Genetika.pdf>.