Penjadwalan Penggunaan Perangkat Elektronik Menggunakan Algoritma Genetika

1st Reviandi Naufal Kurniawan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
reviandinaufalk@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Muhammad Ary Murti
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
arymurti@telkomuniversity.ac.id

3rd Casi Setianingsih
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
setiacasie@telkomuniversity.ac.id

Abstrak*—Penggunaa listrik yang berlebihan karena pengguna lupa atau malas mematikan perangkat elektronik yang telah digunakan masih terjadi. Oleh karena itu, diperlukan solusi penjadwalan yang optimal untuk permasalahan tersebut. Penjadwalan pemakaian perangkat yang optimal dilakukan oleh model algoritma genetika. Model mengolah data dari aplikasi web dan menghasilkan rekomendasi durasi penggunaan perangkat dalam satuan jam sesuai dengan kriteria optimal. Kriteria optimal tersebut yaitu hasil durasi penjadwalan sesuai dengan interval dari tingkat prioritas perangkat dan total energi listrik terpakai tidak melebihi batas yang telah ditentukan. Nilai durasi pejadwalan tersebut kemudian dibandingkan dengan durasi pemakaian oleh pengguna. Berdasarkan pemerikasaan tersebut, program akan memberikan perintah pada perangkat melalui platform antares. Pemakaian perangkat oleh pengguna akan dikendalikan oleh modul single load amperemeter (SLA) sesuai perintah yang diberikan melalui antares. Dari pengujian, didapatkan nilai-nilai parameter yang menghasilkan penjadwalan optimal. Nilai parameter tersebut yaitu jumlah generasi optimal sebesar 484 generasi, nilai probabilitas persilangan dan mutasi sebesar 0,9 dan 0,7, dan persentase pengurangan jumlah energi total yang terpakai sebesar 0,09. Dengan parameter tersebut, untuk data 10 perangkat dan 20 perangkat secara berurutan didapatkan pemakaian energi listrik maksimum sebesar 41,53 kWh untuk keduanya, minimum sebesar 41,14 kWh dan 41,08 kWh, serta rata-rata sebesar 41,18 kWh dan 41,46 kWh.

***Kata kunci*— penjadwalan perangkat listrik, algoritma genetika, pengoptimalan**

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan utama bagi masyarakat Indonesia. Setiap aktivitas sehari-hari melibatkan penggunaan perangkat elektronik yang memerlukan sumber energi listrik. Namun, kelalaian pengguna untuk mematikan alat elektronik saat tidak digunakan membuat pemakaian listrik menjadi boros. Perilaku ini mengakibatkan kenaikan tagihan listrik bulanan dan terbuangnya energi listrik secara percuma [1] [2]. Hal ini juga memberikan dampak buruk pada lingkungan mengingat sumber daya energi yang terbatas, sementara itu kebutuhan listrik terus meningkat setiap saat. Oleh karena itu, diperlukan solusi yang tepat dalam menangani permasalahan ini [3].

Telah diajukan beberapa penyelesaian pada penelitian terdahulu yang terkait. Pada penelitian [4], [5], [6], dan [7] dilakukan audit energi sebuah bangunan untuk mengetahui total energi yang terbuang dan dari mana asalnya. Pada penelitian [8] dibuat perangkat elektronik berbasis Internet of Things yang dapat memonitor dan mengendalikan pemakaian listrik suatu gedung secara otomatis. Penelitian [9] melakukan prediksi konsumsi daya pada gedung hotel mengunakan support vector machine dengan parameter cuaca luar dan pemakaian sistem pendingin ruangan sebagai input untuk mengendalikan pemakaian pendingin ruangan. Sementara pada penelitian [10], dibuat sebuah model untuk mengatur pemakaian perangkat elektronik secara otomatis menggunakan algoritma meta-heuristic yang diterapkan pada perangkat elektronik rumahan.

Ada berbagai macam algoritma yang telah digunakan untuk mengatur pemakian energi diantaranya algoritma mix integer linear programming (MILP) [11] [12], algoritma greedy [13], algoritma priority queue [2], dan algoritma genetika [1] [10]. Penggunaan algoritma MILP pada sistem panel surya hibrida memberikan hasil pengurangan biaya listrik sebesar 30%-80% [11]. Namun, hanya sedikit perangkat elektronik yang dapat dikontrol dan kurang efisien dalam hal kecepatan komputasi [10]. Sementara itu, hasil percobaan sistem algoritma greedy menunjukkan energi listrik yang digunakan perangkat elektronik dapat dibatasi sesuai batas yang telah ditentukan dengan efisiensi mendekati 100%. Meskipun demikian, jika daya perangkat yang terbaca melebihi batas yang ditentukan maka perangkat akan mati walaupun saat digunakan [13]. Untuk sistem berbasis algoritma priority queue, pemakaian perangkat dapat dikendalikan dengan optimal sesuai dengan batas nilai token. Akan tetapi, jika pemakaian perangkat dengan prioritas lebih tinggi melebihi batas, maka perangkat dengan prioritas dibawahnya akan dimatikan secara lansung [2]. Pada sistem lain dengan algoritma genetika menunjukkan bahwa hasil penjadwalan yang diberikan sesuai dengan batasan total energi perhari dan nilai prioritas setiap perangkat. Sistem ini juga dapat bekerja untuk perangkat dengan jumlah banyak dan lebih efisien dalam kecepatan komputasi [10].

Pada penelitian ini, telah dibuat model penjadwalan penggunaan perangkat elektronik menggunakan algoritma genetika yang dapat memberikan rekomendasi durasi penggunaan perangkat listrik sesuai kriteria optimal beserta implementasinya. Pengguna dapat mengakses website untuk memasukan data perangkat yang ingin dijadwalkan dan biaya listrik satu bulan yang ingin dicapai. Dengan data tersebut model penjadwalan dapat memberikan rekomendasi durasi penggunaan yang optimal dan sistem akan mengatur nyala/mati perangkat yang dijadwalkan secara otomatis. Pengendalian perangkat ini dapat dilakukan dengan menggunakan sebuah modul *single amperemeter load* (SLA) yang dapat menerima perintah dari platform IoT antares. SLA kemudian akan menyesuaikan kondisi relay sesuai dengan perintah yang didapatkan dari platform antares.

II. KAJIAN TEORI

A. Penjadwalan Perangkat Elektronik

Penerapan sistem penjadwalan perangkat elektronik pada penelitian ini diperuntukkan untuk perangkat elektronik yang sering dipakai dalam keseharian. Perangkat elektronik yang direkomendasikan adalah perangkat elektronik rumahan atau perangkat elektronik dalam satu ruangan kantor. Contoh perangkat elektronik tersebut yaitu lampu, kipas angin, Televisi, laptop, dan lainnya. Pada tahap implementasi penjadwalan, perangkat elektronik yang digunakan yaitu lampu TL 18W yang terletak di ruangan P.313 Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom.

B. Algoritma Genetika

Algoritma genetika merupakan algoritma optimasi atau algoritma pencarian numerik yang didasarkan pada cara kerja dari seleksi alam dan genetika makhluk hidup. Algoritma ini cukup sederhana dan mudah dipahami serta banyak digunakan untuk menyelesaikan berbagai macam permasalahan yang berhubungan dengan pencarian solusi optimal dari permasalahan tersebut [14][15]. Tahapan algoritma genetika dibagi menjadi 5 tahapan umum sebagai berikut. Inisialisasi populasi dimana populasi awal dibangkitkan [14]. Evaluasi populasi untuk menentukan nilai fitness dari setiap kromosom dalam populasi yang terbentuk selama proses algoritma genetika berlangsung [14][16] menggunakan persamaan berikut.

$$fitness = \sum_{i=1}^{n} G_i P_i \qquad \text{II.1}$$

Dimana:
Fitness = nilai fitness dari setiap kromosom
G_i = nilai gen ke-i pada kromosom yang dievaluasi
P_i = nilai prioritas perangkat ke-i

Seleksi Kromosom untuk memilih beberapa kromosom dalam populasi sebagai induk yang memiliki performa lebih baik dibandingkan kromosom lainnya [14][17]. Persilangan (*crossover*) untuk pertukaran informasi antara dua kromosom yang berbeda. Metode persilangan yang digunakan penelitian ini yaitu metode persilangan *single point crossover* [14][17]. Mutasi untuk mengubah nilai gen dalam suatu kromosom secara acak diantara interval area pencarian [14][17].

C. Area Pencarian

Area pencarian merupakan kumpulan angka dalam interval tertentu yang memiliki kemungkinan untuk menjadi solusi optimal dari permasalahan yang ingin diselesaikan oleh algoritma genetika [14]. Dalam penelitian ini, area pencarian tersebut berada pada interval 1 sampai 24 yang menunjukkan durasi pemakaian perangkat dalam satuan jam. Area pencarian juga ditentukan berdasarkan tingkat prioritas yang dibagi menjadi 5 kelompok yaitu very high, high, medium, low, very low. Berdasarkan dua hal tersebut, area pencarian yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Tingkat prioritas *very high*, nilai acak interval 20 – 24
2. Tingkat prioritas *high*, nilai acak interval 15 – 19
3. Tingkat prioritas *medium*, nilai acak interval 10 – 14
4. Tingkat prioritas *low*, nilai acak interval 5 – 9
5. Tingkat prioritas *very low*, nilai acak interval 1 – 4

D. Batasan Jumlah Energi

Model penjadwalan menggunakan algoritma genetika ini memiliki batasan atau threshold untuk hasil yang diberikan berupa jumlah energi yang boleh dipakai oleh seluruh peralatan dalam satu hari. Nilai threshold dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$T = \frac{(B_m \div T_D)}{30} \qquad \text{II.2}$$

Dimana:
T = threshold atau batasan jumlah energi perhari (kWh)
Bm = Tagihan listrik satu bulan yang ingin dicapai (Rupiah)
TD = Tarif daftar listrik (Rupiah/kWh)

Jika jumlah energi yang digunakan seluruh perangkat setelah dihitung dengan menjumlahkan hasil perkalian setiap nilai gen dengan daya perangkat terkait melebihi batas, maka nilai durasi pemakaian perangkat akan diubah. Perubahan dilakukan dengan mengurangkan nilai durasi setiap gen dalam kromosom yang diperiksa dengan sebagian persentase dari nilai setiap gen. Nilai yang dihasilkan dari hasil proses pengurangan tersebut akan menggantikan nilai yang ada, kemudian jumlah energi yang digunakan akan diperiksa kembali. proses yang sama akan terus dilakukan hingga batas pemakaian energi yang telah ditentukan tidak dilewati.

Bila jumlah energi listrik dari sebuah kromosom melebihi hasil dari persamaan tersebut, maka akan dilakukan pengurangan nilai setiap gen dalam satu kromosom tersebut sebagai berikut.

$$D_b = D_l - (D_l \times s) \qquad \text{II.3}$$

Dimana:
D_b = Durasi baru gen tertuju (Jam)
D_l = Durasi lama gen tertuju (Jam)
s = persentase pengurangan gen tertuju (%)

Setelah semua nilai gen mendapatkan nilai baru dari persamaan II.3, jumlah energi listrik dari kromosom tersebut akan diperiksa kembali. Proses pemeriksaan dan pengurangan ini akan terus berlangsung hingga jumlah energi listrik dari setiap kromosom dalam populasi lebih kecil atau sama dengan hasil persamaan II.1.

E. Antares

Antares merupakan nama produk platform IoT buatan anak perusahaan PT. Telekomunikasi Indonesia yaitu TelkomIoT [18]. Platform IoT merupakan layanan yang mengintegrasikan berbagai perangkat IoT dalam satu tempat yang bersifat open-source dan terpusat, namun tetap memperhatikan kemanan dan kerahasian data [19].

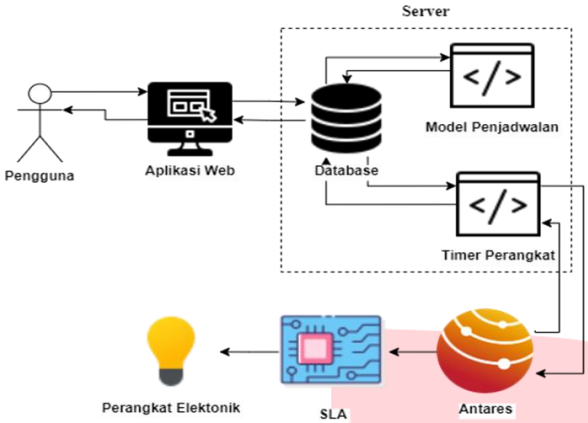
F. Golongan Tarif Harga Listrik PLN

Terdapat beberapa golongan tarif harga listrik yang ditetapkan oleh perusahaan listrik negara (PLN). Beberapa golongan tersebut diantaranya golongan rumah tangga, golongan bisnis, golongan pelayanan sosial, golongan industri, golongan kantor pemerintah dan penerangan jalan umum, dan lainnya [20]. Golongan tarif listrik PLN yang digunakan pada penelitian ini yaitu golongan rumah tangga dengan daya 900 VA memiliki harga Rp 1.352 per kWh dan daya 1.300 VA hingga 6.600 VA keatas memiliki harga Rp 1.444,70 per kWh [21].

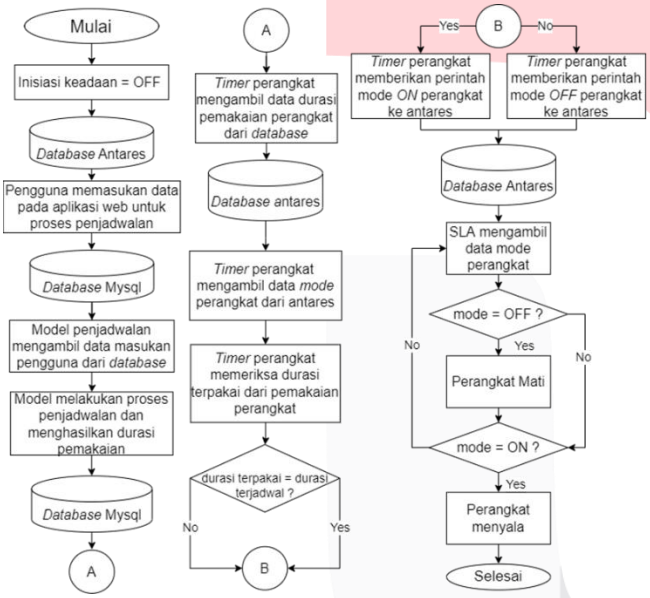
III. METODE

A. Alur Proses Sistem

Alur proses dari penjadwalan penggunaan perangkat ini dapat dijelaskan dengan gambar dibawah ini.



GAMBAR 1 Gambaran umum sitem penjadwalan



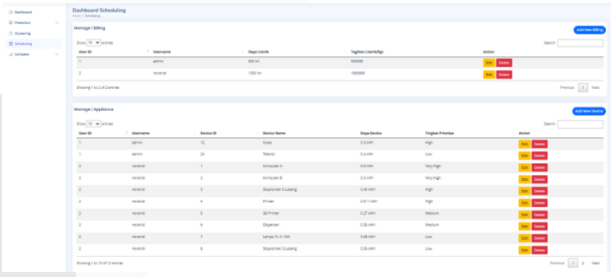
GAMBAR 2 Diagram alur proses penjadwalan

Pengguna mengakses aplikasi web untuk memasukan data masukan yang diperlukan sistem. Data tersebut diantaranya data diri, nilai daya listrik yang digunakan (dalam satuan VA), besar tagihan listrik satu bulan yang ingin dicapai, dan data perangkat elektronik yang ingin dijadwalkan. Data tersebut kemudian disimpan ke dalam *database* untuk digunakan oleh model penjadwalan. Hasil penjadwalan oleh model kemudian dikirim kembali ke *database* untuk digunakan oleh program *timer* perangkat. *Timer* akan memeriksa durasi yang sudah terpakai setiap detik dan mengirimkan data berupa durasi tersisa untuk setiap perangkat ke database. Nilai sisa durasi ini akan ditampilkan pada aplikasi web sehingga pengguna dapat melihat sisa durasi pemakaian setiap perangkat. Bila durasi pemakaian yang telah ditentukan pada penjadwalan habis, maka program timer akan mengirimkan perintah untuk mematikan perangkat ke antares. Perintah ini diambil oleh SLA untuk dieksekusi. Selama sistem berjalan, SLA akan membaca nilai mode perangkat yang diberikan pengguna melalui aplikasi android dan dikirim ke antares untuk mengendalikan nyala/mati perangkat. Jika pengguna mematikan perangkat sebelum durasi habis, maka timer akan menghentikan perhitungan durasi.

C. Aplikasi Web Intelligence Energy Management System (IEMS)

GAMBAR 3 Diagram Unified Modeling Language (UML) Website IEMS

GAMBAR 4 Tampilan depan website IEMS

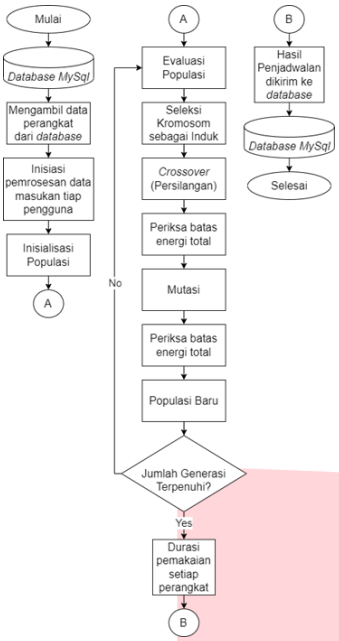


GAMBAR 5 Tampilan laman dashboard penjadwalan

Website IEMS digunakan pengguna sistem ini untuk memasukan data-data yang diperlukan dalam proses penjadwalan. Data-data tersebut diantaranya data golongan daya listrik, data tagihan listrik bulanan yang ingin dicapai, dan data perangkat seperti nama perangkat, daya perangkat, dan tingkat prioritas perangkat. Pengguna juga dapat melihat data durasi pemakaian perangkat yang sudah terjadwal dan tersisa.

D. Model Penjadwalan Algoritma Genetika

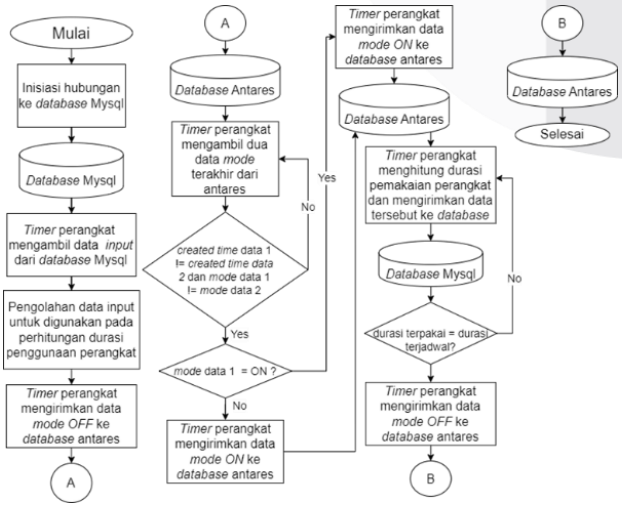
Langkah kerja dari model penjadwalan pada penelitian ini seperti pada gambar berikut dimana jumlah generasi menyatakan jumlah iterasi yang dilakukan oleh algoritma tersebut untuk menghasilkan solusi akhir.



GAMBAR 6 Diagram alur penjadwalan algoritma genetika

Langkah pertama dari proses ini yaitu mengambil data untuk setiap perangkat elektronik pada database Mysql. Selanjutnya data tersebut diproses sehingga dapat diolah oleh model penjadawalan algoritma genetika. Data masukan akan melewati beberapa tahapan model penjadwalan algoritma genetika dimulai dari inisialisasi populasi, evaluasi nilai *fitness* populasi menggunakan persamaan II.1, seleksi kromosom induk dengan metode *ranking selection*, persilangan antara 2 kromosom induk dengan metode *single-point crossover*, mutasi nilai gen dimula dari urutan gen pertama, hingga terbentuk populasi baru pada setiap iterasi sesuai jumlah generasi yang telah ditetapkan. Pada setiap akhir proses persilangan dan mutasi, dilakukan pengecekan dan pengurangan jumlah energi menggunakan persamaan II.3. Setelah proses iterasi penjadwalan selesai, maka akan didapatkan hasil berupa nilai durasi penggunaan untuk setiap perangkat elektronik dalam satuan jam. Hasil tersebut kemudian dikirimkan kembali ke database Mysql.

E. Timer Durasi Penggunaan Perangkat Elektronik

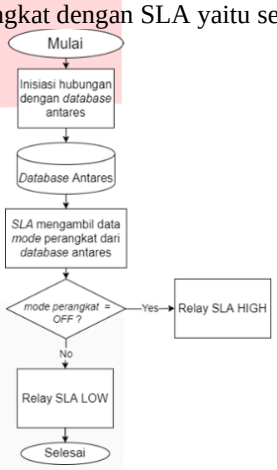


GAMBAR 7 Diagram alur timer penggunaan perangkat

Program timer berfungsi memeriksa durasi yang terpakai oleh perangkat dan memberikan perintah mode *OFF* pada perangkat tersebut saat durasinya telah habis. Langkah kerja program timer dapat dilihat pada gambar 7. Timer mengambil data hasil penjadwalan serta data nama, nama device antares, dan nilai token setiap perangkat dan mengirimkan data mode OFF ke database antares. Selanjutnya timer mengambil dua data terakhir dari antares secara kontinu untuk mendeteksi perintah menyalakan perangkat oleh pengguna. Jika perintah menyalakan diterima, timer mulai menghitung durasi penggunaan perangkat tersebut. Proses pemeriksaan durasi terpakai akan berlangsung secara kontinu selama pengguna tidak memberikan perintah mematikan perangkat dan durasi terpakai untuk perangkat elektronik tersebut.

F. Pengendalian Perangkat dengan SLA

SLA akan mengendalikan pemakaian perangkat sesuai perintah yang didapat dari database antares. Alur kerja pengendalian perangkat dengan SLA yaitu sebagai berikut.



GAMBAR 8 Diagram alur proses pengendalian SLA

Langka pertama SLA mengambil data mode terakhir pada antares. Jika mode perangkat benilai OFF, maka keadaan relay SLA akan menjadi HIGH sehingga perangkat elektronik mati. Jika mode perangkat yang didapat bernilai ON, maka keadaan relay SLA akan menjadi LOW sehingga perangkat akan menyala.

G. Data Contoh Perangkat Untuk Pengujian Model Penjadwalan

Pada pengujian untuk menentukan parameter terbaik dari model penjadwalan algoritma genetika, digunakan data contoh perangkat elektronik sejumlah 20 perangkat dengan keterangan data tersebut sebagai berikut.

TABLE 1 Data contoh perangkat elektronik yang dijadwalkan

No	Perangkat Elektronik	Daya Listrik Perangkat (kW)	Tingkat Prioritas	*Value* Perangkat Elektronik
1	Perangkat 1	0.6	Very High	500
2	Perangkat 2	0.3	Very High	500
3	Perangkat 3	0.45	High	400
4	Perangkat 4	0.011	High	400
5	Perangkat 5	0.27	Medium	300
6	Perangkat 6	0.35	Medium	300

No	Perangkat Elektronik	Daya Listrik Perangkat (kW)	Tingkat Prioritas	*Value* Perangkat Elektronik
7	Perangkat 7	0.08	Low	200
8	Perangkat 8	0.35	Low	200
9	Perangkat 9	0.195	Very Low	100
10	Perangkat 10	0.04	Very Low	100
11	Perangkat 11	0.4	Very Low	100
12	Perangkat 12	0.5	Very Low	100
13	Perangkat 13	0.32	Very Low	100
14	Perangkat 14	0.23	Very Low	100
15	Perangkat 15	0.32	Very Low	100
16	Perangkat 16	0.25	Very Low	100
17	Perangkat 17	0.37	Very Low	100
18	Perangkat 18	0.05	Very Low	100
19	Perangkat 19	0.15	Very Low	100
20	Perangkat 20	0.125	Very Low	100

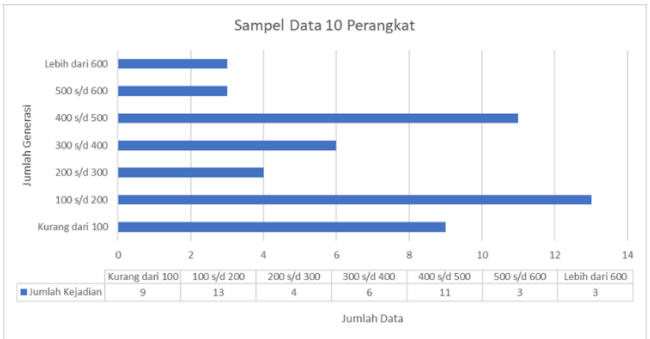
Sementara itu value untuk setiap perangkat tersebut ditentukan dengan aturan sebagai berikut.

1. Tingkat prioritas *very high* : nilai *value* 500
2. Tingkat prioritas *high* : nilai *value* 400
3. Tingkat prioritas *medium* : nilai *value* 300
4. Tingkat prioritas *low* : nilai *value* 200
5. Tingkat prioritas *very low* : nilai *value* 100

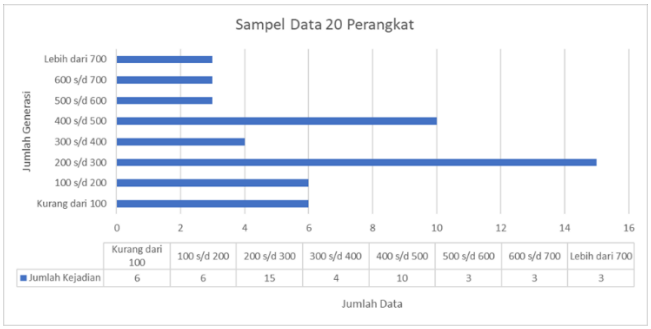
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Jumlah Generasi

Pada pengujian ini, ditetapkan jumlah generasi percobaan sebanyak 3000 generasi, batas pemakaian energi (*threshold*) sebesar 41,53 kWh, nilai probabilitas persilangan dan nilai probabilitas mutasi yaitu 0,4 dan jumlah populasi sebanyak 10 yang juga merujuk pada penelitian sebelumnya. Pengujian dilakukan menggunakan data 10 perangkat elektronik pertama dan data 20 perangkat elektronik pertama. Dengan menggunakan parameter tersebut, model penjadwalan dijalankan sebanyak 50 kali, kemudian setiap hasilnya dianalisis untuk menentukan jumlah generasi yang menunjukkan nilai fitness yang stabil. Hasil pengujian menunjukkan untuk 10 perangkat, jumlah generasi untuk mencapai nilai fitness yang stabil paling sering terjadi pada rentang generasi ke 100 – 200 dan 400 – 500. Sementara untuk 20 perangkat terjadi pada rentang generasi ke 200 – 300 dan 400 – 500.

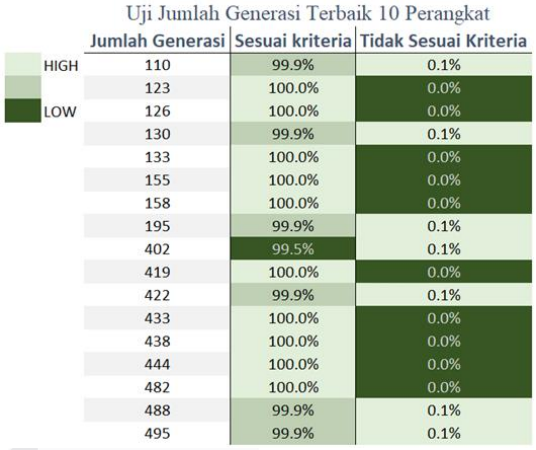


GAMBAR 9 Hasil pengambilan 50 sampel 10 data perangkat pertama



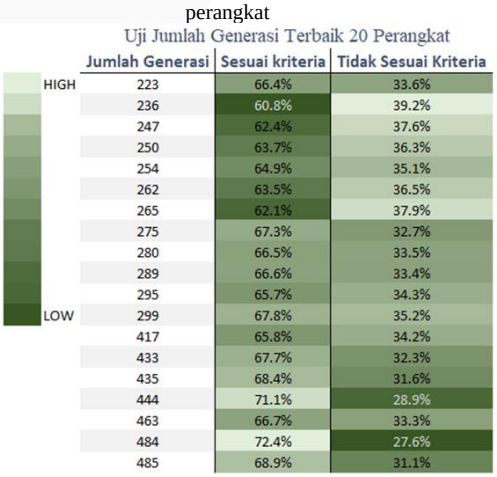
GAMBAR 10 Hasil pengambilan 50 sampel 20 data perangkat pertama

Selanjutnya dilakukan pengujian untuk menentukan tingkat kesesuaian hasil penjadwalan dengan kriteria optimal yang telah ditetapkan dengan menggunakan jumlah generasi dari data diatas. Untuk sampel data 10 perangkat pertama, dari 13 data jumlah generasi pada rentang generasi ke 100 – 200 hanya diambil 8 data dan dari 11 data pada rentang 400 – 500 hanya diambil 10 data. Untuk sampel data 20 perangkat, dari 15 data jumlah generasi pada rentang generasi ke 200 – 300 hanya diambil 12 data dan dari 10 data pada rentang 400 – 500 hanya diambil 7 data. Setelah dilakukan pengujian model untuk setiap data generasi tersebut sebanyak 1000 kali, didapatkan hasil sebagai berikut.



Jumlah Generasi	Sesuai kriteria	Tidak Sesuai Kriteria
110	99.9%	0.1%
123	100.0%	0.0%
126	100.0%	0.0%
130	99.9%	0.1%
133	100.0%	0.0%
155	100.0%	0.0%
158	100.0%	0.0%
195	99.9%	0.1%
402	99.5%	0.1%
419	100.0%	0.0%
422	99.9%	0.1%
433	100.0%	0.0%
438	100.0%	0.0%
444	100.0%	0.0%
482	100.0%	0.0%
488	99.9%	0.1%
495	99.9%	0.1%

GAMBAR 11 Heatmap hasil pengujian jumlah generasi terbaik 10 perangkat



Jumlah Generasi	Sesuai kriteria	Tidak Sesuai Kriteria
223	66.4%	33.6%
236	60.8%	39.2%
247	62.4%	37.6%
250	63.7%	36.3%
254	64.9%	35.1%
262	63.5%	36.5%
265	62.1%	37.9%
275	67.3%	32.7%
280	66.5%	33.5%
289	66.6%	33.4%
295	65.7%	34.3%
299	67.8%	35.2%
417	65.8%	34.2%
433	67.7%	32.3%
435	68.4%	31.6%
444	71.1%	28.9%
463	66.7%	33.3%
484	72.4%	27.6%
485	68.9%	31.1%

GAMBAR 12 Heatmap hasil pengujian jumlah generasi terbaik 20 perangkat

Untuk hasil pengujian 10 perangkat, ada beberapa jumlah generasi yang memiliki hasil pengujian dengan persentase kesesuaian kriteria optimal sebesar 100%. Sementara untuk

hasil pengujian 20 perangkat, jumlah generasi sebanyak 484 generasi memiliki persentase kesesuaian dengan kriteria optimal sebesar 72.4%. Oleh karena itu jumlah generasi 484 yang akan dipilih sebagai jumlah generasi paling optimal untuk kedua jumlah perangkat.

B. Pengujian Nilai Probabilitas Persilangan dan Mutasi

Pengujian dilakukan untuk menentukan nilai probabilitas persilangan dan mutasi yang menghasilkan penjadwalan optimal. Hasil dari kedua pengujian nilai probabilitas tersebut sebagai berikut. Setelah dilakukan pengujian model sebanyak 1000 kali, didapatkan hasil sebagai berikut.

Uji Nilai Probabilitas Crossover 10 Perangkat

	Generasi	Device	P.Crossover	P.Mutasi	Sesuai Kriteria
HIGH	484	10	0.1	0.4	100.0%
	484	10	0.2	0.4	100.0%
LOW	484	10	0.3	0.4	99.9%
	484	10	0.4	0.4	99.8%
	484	10	0.5	0.4	100.0%
	484	10	0.6	0.4	99.9%
	484	10	0.7	0.4	99.9%
	484	10	0.8	0.4	100.0%
	484	10	0.9	0.4	100.0%

GAMBAR 13 Pengujian nilai probabilitas persilangan terbaik untuk data 10 perangkat pertama

Uji Nilai Probabilitas Crossover 20 Perangkat

	Generasi	Device	P.Crossover	P.Mutasi	Sesuai Kriteria
HIGH	484	20	0.1	0.4	75.7%
	484	20	0.2	0.4	78.0%
	484	20	0.3	0.4	77.5%
	484	20	0.4	0.4	78.3%
	484	20	0.5	0.4	74.9%
	484	20	0.6	0.4	76.1%
	484	20	0.7	0.4	77.3%
	484	20	0.8	0.4	75.2%
LOW	484	20	0.9	0.4	80.4%

GAMBAR 14 Pengujian nilai probabilitas persilangan terbaik untuk data 20 perangkat pertama

Uji Nilai Probabilitas Mutasi 10 Perangkat

	Generasi	Device	P.Crossover	P.Mutasi	Sesuai Kriteria
HIGH	484	10	0.9	0.1	99.8%
	484	10	0.9	0.2	99.7%
	484	10	0.9	0.3	99.8%
LOW	484	10	0.9	0.5	99.9%
	484	10	0.9	0.6	100.0%
	484	10	0.9	0.7	100.0%
	484	10	0.9	0.8	100.0%
	484	10	0.9	0.9	100.0%

GAMBAR 15 Pengujian nilai probabilitas mutasi terbaik untuk data 10 perangkat pertama

Uji Nilai Probabilitas Mutasi 20 Perangkat

	Generasi	Device	P.Crossover	P.Mutasi	Sesuai Kriteria
HIGH	484	20	0.9	0.1	81.2%
	484	20	0.9	0.2	75.0%
	484	20	0.9	0.3	74.9%
	484	20	0.9	0.5	80.3%
	484	20	0.9	0.6	82.6%
	484	20	0.9	0.7	83.3%
	484	20	0.9	0.8	79.1%
LOW	484	20	0.9	0.9	77.7%

GAMBAR 16 Pengujian nilai probabilitas mutasi terbaik untuk data 20 perangkat pertama

Hasil pengujian untuk 10 perangkat menunjukkan pada beberapa kombinasi nilai probabilitas persilangan dan mutasi didapatkan persentase kesesuaian kriteria optimal sebesar 100%. Hasil pengujian untuk 20 perangkat menunjukkan nilai probabilitas persilangan 0,9 memiliki persentase kesesuaian kriteria terbesar yaitu 80,4%. Oleh karena itu, 0,9 ditentukan sebagai nilai probabilitas persilangan terbaik. Untuk hasil pengujian nilai probabilitas mutasi 10 perangkat didapatkan persentase kesesuaian kriteria optimal sebesar 100% pada beberapa nilai. Sementara nilai probabilitas mutasi 0,7 pada percobaan data 20 perangkat memiliki persentase kesesuaian kriteria terbesar yaitu 83.3%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan kombinasi nilai probabilitas persilangan dan mutasi yang paling optimal secara berurutan adalah 0,9 dan 0,7.

C. Pengujian Persentase Pengurangan Nilai Gen

Dalam pengujian ini, dilakukan analisis terhadap beberapa nilai persentase pengurang durasi pemakaian setiap perangkat yang didapat selama proses penjadwalan berlangsung. Ditetapkan nilai persentase yang akan digunakan dalam pengujian berada pada rentang 0.9 hingga 0.01. Untuk nilai parameter lain diambil dari hasil penggujian sebelumnya. Setelah dilakukan pengujian model sebanyak 1000 kali, didapatkan hasil sebagai berikut.

Uji Nilai Persentase Pengurangan Energi Total 10 Perangkat

	Generasi	Device	P.Crossover	P.Mutasi	% Substractor	Sesuai Kriteria
HIGH	484	10	0.9	0.7	0.9	100.0%
	484	10	0.9	0.7	0.8	100.0%
LOW	484	10	0.9	0.7	0.7	100.0%
	484	10	0.9	0.7	0.6	100.0%
	484	10	0.9	0.7	0.5	100.0%
	484	10	0.9	0.7	0.4	100.0%
	484	10	0.9	0.7	0.3	100.0%
	484	10	0.9	0.7	0.2	100.0%
	484	10	0.9	0.7	0.1	100.0%
	484	10	0.9	0.7	0.09	100.0%
	484	10	0.9	0.7	0.08	100.0%
	484	10	0.9	0.7	0.07	100.0%
	484	10	0.9	0.7	0.06	100.0%
	484	10	0.9	0.7	0.05	99.9%
	484	10	0.9	0.7	0.04	100.0%
	484	10	0.9	0.7	0.03	99.9%
	484	10	0.9	0.7	0.02	100.0%
	484	10	0.9	0.7	0.01	99.8%

GAMBAR 17 Pengujian Nilai Persentase Pengurangan Energi Total data 10 Perangkat Pertama

Uji Nilai Persentase Pengurangan Energi Total 20 Perangkat

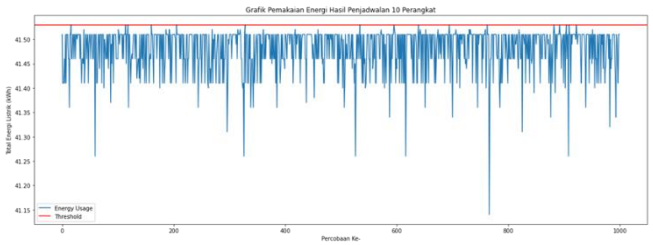
	Generasi	Device	P.Crossover	P.Mutasi	% Substractor	Sesuai Kriteria
HIGH	484	20	0.9	0.7	0.9	48.5%
	484	20	0.9	0.7	0.8	50.3%
	484	20	0.9	0.7	0.7	49.9%
	484	20	0.9	0.7	0.6	56.0%
	484	20	0.9	0.7	0.5	48.9%
	484	20	0.9	0.7	0.4	55.7%
	484	20	0.9	0.7	0.3	54.0%
	484	20	0.9	0.7	0.2	59.9%
	484	20	0.9	0.7	0.1	79.2%
	484	20	0.9	0.7	0.09	84.0%
	484	20	0.9	0.7	0.08	82.1%
LOW	484	20	0.9	0.7	0.07	78.1%
	484	20	0.9	0.7	0.06	81.6%
	484	20	0.9	0.7	0.05	78.5%
	484	20	0.9	0.7	0.04	80.8%
	484	20	0.9	0.7	0.03	82.0%
	484	20	0.9	0.7	0.02	80.2%
	484	20	0.9	0.7	0.01	81.4%

GAMBAR 18 Pengujian Nilai Persentase Pengurangan Energi Total data 20 Perangkat Pertama

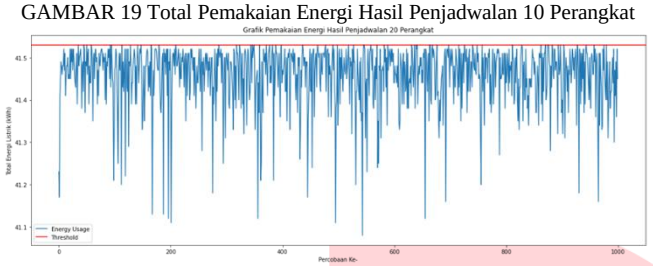
Dari hasil uji coba tersebut dapat disimpulkan untuk pengujian pada data 10 perangkat pertama, hanya nilai persentase pengurangan 0.05, 0.03, dan 0.01 yang memiliki kesesuaian kriteria dibawah 100%. Sementara pada hasil uji coba untuk data 20 perangkat pertama, nilai persentase pengurangan 0.09 memiliki kesesuain kriteria tertinggi yaitu 84%. Oleh karena itu nilai persentase pengurangan yang paling optimal adalah 0.09.

D. Pengujian Jumlah Energi Listrik Terpakai

Jumlah energi listrik yang terpakai dari hasil penjadwalan tidak boleh melebihi dan diharapkan mendekati batasan energi/*threshold* yang telah ditentukan sesuai kriteria optimal. Jumlah energi terpakai dari hasil pengujian dapat dilihat pada gambar berikut dengan *threshold* sebesar 41,53 kWh.



GAMBAR 19 Total Pemakaian Energi Hasil Penjadwalan 10 Perangkat



GAMBAR 20 Total Pemakaian Energi Hasil Penjadwalan 20 Perangkat

Hasil pengujian menunjukkan untuk data 10 perangkat dan 20 perangkat secara berurutan didapatkan pemakaian energi listrik maksimum sebesar 41,53 kWh untuk keduanya, minimum sebesar 41,14 kWh dan 41,08 kWh, serta rata-rata sebesar 41,18 kWh dan 41,46 kWh. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa jumlah energi terpakai dari hasil penjadwalan memenuhi kriteria optimal.

E. Pengujian Fungsionalitas Hasil Model Penjadwalan

Pengujian ini bertujuan untuk memeriksa kerja sistem apakah sudah sesuai dengan hasil penjadwalan yang diberikan oleh model penjadwalan algoritma genetika. Tahapan proses yang diuji dalam pengujian ini dimulai penjalanan program timer perangkat, penerimaan data ke database antares dari program timer perangkat, hingga penarikan data dari database antares oleh SLA untuk mengendalikan perangkat elektronik tersebut seperti pada tabel 1. Pengujian dilakukan pada ruang P.313, gedung Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom. Perangkat elektronik yang diuji menggunakan lampu TL 18W sejumlah 8 buah yang ditempatkan pada 2 buah rumah lampu dengan satu rumah berisikan 4 buah lampu.

TABLE 2 Contoh hasil pengujian fungsionalitas SLA

Test Case Description	Pre-Condition	Testing Step	Expected Result	Result
Program *timer* perangkat mengambil data *input* dari *database* Mysql	Hasil penjadwalan terbaru sudah masuk kedalam *database* Mysql	Program *timer* perangkat sudah dijalankan	*Console* pada spyder IDE menunjukkan nilai durasi penjadwalan setiap perangkat	Passed
Program *timer* perangkat mulai menghitung durasi pemakaian perangkat setelah perangkat dinyalakan oleh pengguna dan mengirim perintah ke antares	*Console* pada spyder IDE menunjukkan nilai durasi penjadwalan setiap perangkat	Pengguna menyalakan perangkat elektronik melalui aplikasi android IEMS	Perangkat elektronik menyala	Passed
Program *timer* perangkat mengirim data durasi terpakai dan tersisa ke *database* Mysql	Perangkat elektronik telah dinyalakan	Melihat data durasi terpakai dan tersisa pada *database* Mysql atau website IEMS	Data durasi terpakai dan tersisa berganti setiap waktunya	Passed
Program *timer* perangkat menghentikan penggunaan perangkat elektronik saat durasi terpakai sama dengan durasi terjadwal dan mengirim perintah ke antares	Perangkat elektronik telah dinyalakan	Melihat data durasi terpakai pada *database* Mysql atau website IEMS	Perangkat mati setelah durasi pemakaian nya habis	Passed
Antares menerima data perintah dari program *timer* perangkat	Program *timer* telah dijalankan	Pengguna menekan tombol power untuk setiap perangkat pada aplikasi android IEMS	Masuk data perintah baru ke antares sesuai dengan yang diberikan dari aplikasi android IEMS	Passed
SLA mengambil data perintah dari antares	SLA sudah terpasang pada perangkat elektronik dan aktif	Pengguna menekan tombol power untuk perangkat yang dituju pada aplikasi android IEMS	Perangkat menyala dan mati sesuai perintah yang ada pada antares	Passed

Dari hasil pengujian diatas, dapat disimpulkan bahwa implementasi dari hasil penjadwalan sudah sesuai dengan rancangan dan berjalan sesuai harapan dengan tingkat keberhasilan sebagai berikut.

$$\text{uji fungsionaliatas} = \frac{\text{Total berhasil}}{\text{Total pengujian}} \times 100\%$$

$$\text{uji fungsionaliatas} = \frac{6}{6} \times 100\% = 100\%$$

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu model penjadwalan yang telah dibuat dapat menghasilkan

penjadwalan yang optimal untuk perangkat berjumlah 10 dan 20 perangkat dengan menggunakan 4 parameter terbaik. Parameter-parameter tersebut yaitu jumlah generasi terbaik sebesar 484 generasi, nilai probabilitas persilangan sebesar 0,9, nilai mutasi sebesar 0,7, dan nilai persentase pengurangan nilai gen sebesar 0,09. Jumlah energi yang terpakai oleh perangkat elektronik dari hasil penjadwalan dengan parameter tersebut untuk 10 perangkat memiliki nilai maksimum sebesar 41,53 kWh, nilai minimum sebesar 41,14 kWh, dan nilai rata-rata sebesar 41,18 kWh. Jumlah energi yang terpakai oleh perangkat elektronik dari hasil penjadwalan dengan parameter tersebut untuk 20 perangkat memiliki nilai maksimum sebesar 41,53 kWh, nilai minimum sebesar 41,08 kWh, dan nilai rata-rata sebesar 41,46 kWh. Sementara itu, hasil pengujian fungsionalitas/alpha SLA yang didapatkan sebesar 100%. Oleh karena itu disimpulkan sistem SLA yang telah dibuat berdasarkan penjadwalan yang didapatkan sudah sesuai dengan rancangan.

REFERENSI

[1] W. M. Ilham, R. E. Saputra, S.T., M.T. and C. Setianingsih, S.T., M.T., *Manajemen Dan Kendali Beban Perangkat Elektronik Berbasis Web Dengan Algoritma Genetika*, Bandung: Fakultas Teknik Elektro. Telkom University, 2020.

[2] S. A. Widhiono, M. A. Murti and C. Setianingsih, *Queue Design Of Android Application For Managing And Controlling Electronic Loads Based On Priority Queue Algorithm*, Bandung: Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, 2019.

[3] M. F. Nur, M. A. Murti and C. Setianingsih, "Design Of Home Electrical Appliances Control And Monitoring System Based On Android," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 6, pp. 125 - 134, 2019.

[4] C. Y. Rachmat, S. Kumara and D. Giriantari, "Studi Manajemen Energi Di Rumah Sakit Prima," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 18, pp. 23 - 34, 2019.

[5] F. Mulyani, H. Suyono and R. N. Hasanah , "Audit dan Rancangan Implementasi Sistem Manajemen Energi berbasis ISO 50001 di Universitas Brawijaya Malang," *Jurnal EECCIS*, vol. 12, pp. 78 - 84, Oktober 2018.

[6] A. M. J. Mahdi, "Energy Audit A Step To Effective Energy Management," *International Journal of Trend in Research and Development*, vol. 5(2), pp. 521 - 525, 2018.

[7] H. K. Wong and C. K. Lee, "Application Of Energy Audit In Buildings And A Case Study," *1993 2nd International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, APSCOM-93*, vol. 2, pp. 977-981, 1993.

[8] M. A. D. Alghifary, D. M. A. Murti, S.T., M.T and C. Setianingsih, S.T., M.T, "Design Of Management Devices And Electrical Load Control," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 7, pp. 148-155, 2020.

[9] M. Shao, X. Wang, Z. Bu , X. Chen and Y. Wang, "Prediction Of Energy Consumption In Hotel Buildings Via Support Vector Machines," *Sustainable Cities and Society*, vol. 57, pp. 102-128, 2020.

[10] I. U. Khan, X. Ma, C. J. Taylor, N. Javaid and K. A. Gamage, "Heuristic Algorithm Based Dynamic Scheduling Model Of Home Appliances In Smart Grid," *Proceedings of the 24th International Conference on Automation & Computing, Newcastle University*, 6-7 Septermber 2018.

[11] M. A. Fikri, P. D. I. A. Soeprijanto, M.T. and D. D. F. U. Putra, S.T., M.T., *Design Of Home Power Management System For Electrical Appliances And Power Resources Using Mixed Integer Linear Programming (Milp)*, Surabaya: Department Of Electrical Engineering, Institut Teknologi Sepuluh November, 2018.

[12] K. M. Tsui and S. C. Chan, "Demand Response Optimization for Smart Home Scheduling Under Real-Time Pricing," *IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID*, vol. 3(4), pp. 1812-1821, 2012.

[13] P. S. Juwita, D. E. Susanto, S.T., M.T. and J. Halomoan, S.T., M.T., "Design And Implementation Of Power Management Using Greedy Algorithm For Home Automation," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 4, pp. 1512-1519, 2017.

[14] D. A. Coley, An Introduction to Genetic Algorithms for Scienctist and Engineer, World Scientific, 1999.

[15] D. E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addinson-Wesly Publishing Company, INC., 1989.

[16] Jyotishree, "Knowledge Based Operation And Problems Representation In Genetic Algorithms," 2012. [Online]. Available: http://hdl.handle.net/10603/32680.

[17] D. Whitley, "A Genetic Algorithm Tutorial," *Statistic and Computing*, vol. 4, pp. 65-85, 1994.

[18] Antares, "antares.id," [Online]. Available: https://antares.id/id/docs.html. [Accessed 7 July 2022].

[19] A. G.-V. A. R.-G. A. F. Terroso-Saenz, "An open IoT platform for the management and analysis of energy data," *Future Generation Computer Systems*, 2017.

[20] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, "Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2016 Tentang Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan Oleh PT Perusahaan Listrik Negara," Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia , 2016.

[21] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, "www.esdm.go.id," 1 September 2020. [Online]. Available: https://www.esdm.go.id/en/media-center/news-archives/menteri-esdm-tetapkan-tarif-listrik-pelanggan-tegangan-rendah-nonsubsidi-turun. [Accessed 9 8 2022].