

BAB IV

TEMUAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan metode kecerdasan buatan yaitu pendekatan *Genetic Algorithm* (GA). Metode ini bekerja dalam pencarian hasil optimum yang berbasis mekanisme seleksi alam dan teori evolusi. Optimasi dilakukan dengan beberapa tahap sesuai dengan ketentuan *Genetic Algorithm* dalam memaksimalkan kualitas pencahayaan dan konsumsi energi pada penerangan jalan umum. Konfigurasi yang digunakan merupakan aspek-aspek yang dibutuhkan oleh PJU yang sesuai dengan ketentuan SNI. Penggunaan aplikasi DIALux dalam penelitian ini sebagai implementasi desain hasil optimalisasi. Mengetahui kondisi PJU eksisting pada area studi sangat penting karena akan menentukan kelayakan untuk desain ulang atau tidak.

4.1 Kondisi Penerangan Jalan Umum Area Studi

Objek pada penelitian ini adalah salah satu jalan yang terletak di kota Bandung, provinsi Jawa Barat, Indonesia. Terletak dititik koordinat $6^{\circ}54'26.1''\text{S}$ $107^{\circ}36'15.9''\text{E}$ (dari arah utara) dan $6^{\circ}54'45.2''\text{S}$ $107^{\circ}36'14.3''\text{E}$ (dari arah selatan) dengan panjang 598 m dan lebar 15 m. Termasuk dalam tipe jalan kolektor primer dengan jenis jalan satu arah yang memiliki 3 jalur kendaraan. Jalan area studi ini memiliki tingkat kepadatan yang tinggi pada siang dan malam hari karena disekitar jalan terdapat fasilitas umum yaitu rumah sakit, bengkel kendaraan, hotel dan merupakan akses untuk menuju stasiun kereta api kota Bandung. Dekat dengan pusat kota dan menjadi penghubung antar wilayah dalam kota menjadikan jalan ini memiliki tingkat kepadatan yang tinggi.

Penerangan jalan umum pada area studi memiliki 13 tiang dengan menggunakan tipe baris tunggal (*one side*). Rata-rata tinggi tiang 8,84 m dengan jarak antar tiang yang berbeda-beda. Lampu yang digunakan yaitu *Philips SON 250W E E40 CO 1SL/12* dan *Philips SRP 822* sebagai rumah lampu (*housing*). Lampu ini termasuk jenis *High Pressure Sodium* (HPS) dengan bola lampu luar berbentuk telur oval yang memiliki *luminous efficacy* sebesar 106 lm/watt. PJU area

studi memiliki kondisi yang berbeda pada setiap tiang. Kondisi ideal dengan tiang tanpa gangguan dapat dilihat pada Gambar 4.1.(a), kondisi ini sangat baik untuk penyebaran cahaya. Pada kondisi ini cahaya yang dipancarkan oleh PJU akan langsung menyebar pada objek tanpa adanya penghalang yang dapat mempengaruhi nilai iluminasinya. Sedangkan untuk Gambar 4.1.(b) merupakan contoh tiang dengan kondisi tidak ideal karena tertutup dengan pohon yang menyebabkan penyebaran cahayanya kurang maksimal, bahkan bisa bernilai 0 lux untuk tingkat iluminasinya. Kondisi seperti ini terdapat pada PJU area studi, cahaya yang dipancarkan PJU tidak secara langsung menyebar pada objek karena terhalang oleh faktor eksternal seperti pohon.



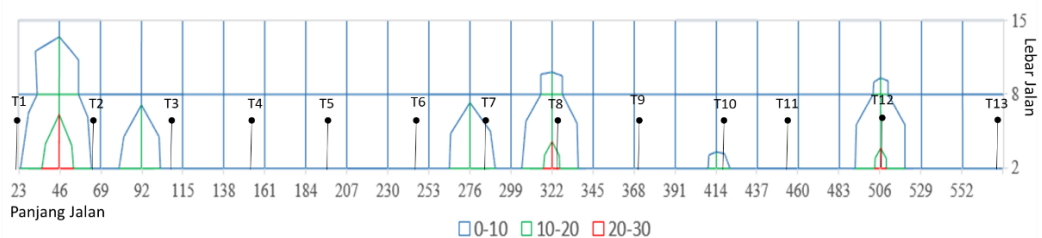
Gambar 4.1. Kondisi PJU area studi : (a) Kondisi ideal yaitu PJU 6 dan 8, (b) Kondisi tidak ideal yaitu PJU 4 dan 5.

Tabel 4.1. Data iluminasi PJU area studi.

PJU ke	Data Pengukuran Iluminasi (lux)									Rasio Kemerataan
	Di bawah lampu			Di tengah jalan			Di sebrang jalan			
	P1	P2	P8	P3	P4	P9	P5	P6	P7	
1 dan 2	34	9	28	20	4	17	1	5	8	12,5
2 dan 3	28	5	16	17	2	9	8	2	3	8,06
3 dan 4	16	3	1	9	2	1	3	2	0	3,63
4 dan 5	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0,63
5 dan 6	1	1	5	1	1	2	0	0	1	1,19
6 dan 7	5	2	18	2	1	9	1	1	3	3,69
7 dan 8	18	5	24	9	2	13	3	2	3	7,13
8 dan 9	24	2	3	13	1	1	4	1	1	4,38
9 dan 10	3	2	12	1	1	3	1	1	4	2,38
10 dan 11	12	6	0	3	2	0	4	1	0	2,75
11 dan 12	0	2	23	0	1	12	0	0	3	3,63
12 dan 13	23	1	10	12	1	3	3	1	4	4,88

Total rata-rata lux	54,81
Illuminansi rata-rata	4,57

Data iluminasi pada Tabel 4.1 diambil pada tahun 2019 yang merupakan hasil proyek evaluasi PJU kota Bandung oleh Departemen Pendidikan Teknik Elektro dan Dinas Bina Marga kota Bandung. Pengukuran iluminasi dilakukan menggunakan metode *point by point*, yaitu mengukur nilai iluminasi di sembilan titik cahaya yaitu: tiga titik dibawah lampu, tiga titik di tengah-tengah jalan, dan tiga titik di seberang jalan. Menurut SNI 7391: 2008 tingkat pemerataan cahaya pada tipe jalan kolektor primer adalah 3-7 lux. Dari Tabel 4.1 dapat dilihat rata-rata iluminasi pada PJU area studi sudah memenuhi SNI, namun tidak untuk pemerataan cahayanya. Meskipun nilai iluminasi rata-rata sudah sesuai dengan SNI, pada kenyataannya masih terdapat PJU yang terhalang oleh faktor eksternal seperti pohon, sehingga nilai iluminasinya menjadi sangat kecil. Terdapat 25% dari 13 titik PJU area studi memiliki tingkat iluminasi dibawah rata-rata. Nilai iluminasi sebanyak 16,7% yang mendekati rata-rata dan 41,7% yang sesuai dengan SNI. Terdapat pula iluminasi yang lebih besar dari rata-rata SNI sebanyak 16,7%. Faktor internal seperti umur dari lampu yang digunakan menjadikan iluminasi berbeda pada setiap lampu dan faktor eksternal seperti cahaya dari luar dapat mempengaruhi rata-rata iluminansi pada PJU area studi. Gambar 4.2 merupakan ilustrasi pemerataan cahaya pada PJU area studi.



Gambar 4.2. Ilustrasi pemerataan cahaya pada PJU area studi. Dari Gambar 4.2 didapatkan ilustrasi pemerataan cahaya pada area studi dengan warna biru lebih dominan. Warna biru sebanyak 80% merupakan tingkat iluminasi 0-10 lux yang mana mendekati standar SNI yaitu 3-7 lux. Sedangkan untuk warna hijau dan merah sebanyak 20% merupakan tingkat iluminasi di atas standar SNI yaitu 10-20 lux dan 20-30 lux. Dari ilustrasi ini, untuk penyebaran cahaya tidak cukup baik namun memiliki rata-rata iluminasi sesuai dengan SNI yaitu sebesar 4,57 lux.

Kondisi jalan yang padat pada area studi ini menjadikan keberadaan PJU sangat penting. Rata-rata kecepatan kendaraan yang melewati jalan area studi ini lebih tinggi pada malam sampai pagi hari (22.00 – 04.00 WIB). Karena laju kendaraan

yang cepat maka untuk intensitas cahaya sangat penting untuk memudahkan pengendara melihat medan jalan yang akan dilewati. Kualitas serta penyebaran cahaya menjadi penting pada malam hari karena menjadi sumber penerangan bagi pengguna jalan. Rata-rata iluminasi pada jalan area studi ini sudah memenuhi SNI tetapi terdapat beberapa area gelap yang tidak mendapatkan cahaya dari PJU dikarenakan oleh beberapa faktor. Penyebaran cahaya yang merata dengan kualitas yang baik menjadi salah satu fokus pada penelitian ini.

Kualitas PJU sangat penting bagi pengguna jalan, namun aspek lain seperti konsumsi energi listrik juga harus diperhatikan. Pencahayaan terlalu terang disebabkan oleh penggunaan daya lampu yang besar akan berpengaruh terhadap konsumsi energi listrik (Rabaza et al., 2019). Selain itu, korelasi antara penerangan jalan dan jumlah kendaraan yang melewati jalan pada dasarnya berkaitan dengan pencahayaan (Abdullah et al., 2019). Ketika intensitas cahaya terlalu tinggi maka akan ada polusi cahaya yang akan berpengaruh kepada pengguna jalan seperti mempengaruhi konsentrasi pengendara, merusak lingkungan dan menyebabkan turunnya keindahan langit di waktu malam. Sebaliknya ketika PJU terlalu gelap maka akan sangat berbahaya bagi pengguna jalan khususnya pejalan kaki. Ancaman kejahatan seperti perampokan, pencurian dan penjambretan merupakan contoh dari kriminalitas yang dapat terjadi pada jalan yang gelap.

4.2 Optimalisasi Menggunakan *Genetic Algorithm* (GA)

Langkah berikutnya optimalisasi dilakukan dengan menggunakan pendekatan *Genetic Algorithm* (GA), aplikasi MATLAB digunakan sebagai alat bantu agar mendapatkan hasil yang maksimal. Optimalisasi ini dapat diproses dengan beberapa cara dalam MATLAB, salah satunya dengan menggunakan *script* yang dibuat pada *command window*. Metode *Travel Salesman Problem* (TSP) merupakan acuan dalam penulisan *script* yang akan digunakan dalam penelitian ini. Namun, beberapa fungsi dari metode TSP tidak digunakan dan diganti dengan fungsi yang lebih sesuai dengan penelitian ini. *Script* dibagi menjadi beberapa bagian dengan *script* utama berisi ketentuan dan pemodelan desain PJU yang dijadikan populasi awal, untuk ketentuan input dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Ketentuan input *Genetic Algorithm*.

JumGen	UkPop	Psilang	Pmutasi	MaxGen
--------	-------	---------	---------	--------

10 100 0,8 0,005 100

Tabel 4.2 merupakan ketentuan awal yang akan digunakan dalam proses optimalisasi. Jumlah gen (JumGen) merupakan banyaknya populasi, ukuran populasi (UkPop) merupakan jumlah populasi yang akan terbentuk, probabilitas silang (P_{silang}) yang akan digunakan pada proses *crossover* bernilai 0,8 sesuai dengan ketentuan dari metode TSP, P_{mutasi} yang akan digunakan pada proses *mutation* bernilai sesuai dengan ketentuan metode TSP, dan maksimum gen (MaxGen) merupakan jumlah maksimal dari gen yang terbentuk dalam satu populasi. Populasi merupakan sekumpulan dari individu yang berisi kromosom dan gen. Dalam penelitian ini menggunakan 10 populasi yang berisi ketentuanketentuan penerangan jalan umum seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Data pemodelan desain PJU.

Desain	Daya Lampu	Ketentuan Penempatan Cahaya	Lebar Jalan	Rata-Rata Pencahayaan	Tinggi Tiang	Luminous Efficacy
1	128 Watt	1 (one-side)	15 m	7 lux	10-15 m	110-120 lm/w
2	90 Watt	1 (one-side)	15 m	7 lux	10-15 m	110-120 lm/w
3	81 Watt	1 (one-side)	15 m	7 lux	10-15 m	110-120 lm/w
4	60 Watt	1 (one-side)	15 m	7 lux	10-15 m	110-120 lm/w
5	42 Watt	1 (one-side)	15 m	7 lux	10-15 m	110-120 lm/w
6	128 Watt	2 (coupled/staggered)	15 m	7 lux	10-15 m	110-120 lm/w
7	90 Watt	2 (coupled/staggered)	15 m	7 lux	10-15 m	110-120 lm/w
8	81 Watt	2 (coupled/staggered)	15 m	7 lux	10-15 m	110-120 lm/w
9	60 Watt	2 (coupled/staggered)	15 m	7 lux	10-15 m	110-120 lm/w
10	42 Watt	2 (coupled/staggered)	15 m	7 lux	10-15 m	110-120 lm/w

Setelah menentukan populasi yang merupakan ketentuan PJU sesuai dengan SNI, *Genetic Algorithm* akan menjalankan program secara bertahap mulai dari inialisasi populasi, evaluasi yang berupa *fitness function*, seleksi individu dengan metode *roulette wheel*, rekombinasi struktur dengan dua proses yaitu *crossover* dan mutasi, serta evaluasi struktur yang akan menentukan hasil optimasi terbaik.

4.2.1 Inialisasi Populasi

Rosena Shintabella, 2020

PENERAPAN GENETIC ALGORITHM DALAM OPTIMASI DESAIN ULANG PENERANGAN JALAN UMUM

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Tahap dari proses ini adalah untuk membangkitkan sebuah populasi yang berisi sejumlah kromosom dan setiap kromosomnya berisi sejumlah gen. Untuk mengimplementasikan proses inialisasi populasi menggunakan aplikasi MATLAB dapat dilakukan dengan menuliskan *script* yang berisi perintah *for* dan *if*. Input dari proses ini adalah jumlah gen dan jumlah kromosom.

Dari hasil proses ini akan didapatkan sejumlah populasi sebanyak ukuran populasi (UkPop). Ukuran populasi diambil secara *random* namun ada kode program tertentu untuk menemukan populasi yang paling optimal dari suatu permasalahan. Kromosom yang muncul merupakan hasil biner dari pemodelan desain PJU. Untuk populasi pemodelan desain PJU nomor 1-10 ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Populasi awal dengan kromosom untuk desain 1-10.

	Kromosom 1	Kromosom 2	Kromosom 3	Kromosom 4	Kromosom 5	Kromosom 6	Kromosom 7	Kromosom 8	Kromosom 9	Kromosom 10
Populasi 1	1010010100	1010110001	0001010010	1001110011	0011100101	0010110000	1100011111	0100000110	0000010001	1111101101
Populasi 2	0000110001	1001110110	0100111110	0001000111	1110110011	0110000000	1000000101	0010010111	1111101101	0111110101
Populasi 3	1101010111	0011110101	1010100001	0000011000	0010011010	0111001001	0100001100	0010111001	0011000110	1101011001
Populasi 4	1111100011	1111100011	0101011100	1000101001	1000101010	0011111111	0011010000	1010101111	1100100010	1110010000
Populasi 5	1100011001	1100100011	1000001111	1111000001	1001000011	0110100011	1110000101	0010101010	1000100110	1101001101
Populasi 6	1000011011	0110001100	1100111101	1011011011	1101011001	0010001110	1011011100	1001011101	0110110010	0011011000
Populasi 7	1010011010	1111101110	0000011011	1110100100	0111111101	0010101011	0010010110	1111110000	0111100010	1110100110
Populasi 8	1000001010	0100111101	0100111001	0111111111	0100010011	0000111101	0110001000	0010101001	1101000000	0001101110
Populasi 9	0110011101	1000100110	0101011101	1101001011	0010011011	0101001011	0010100010	0111001001	1010100100	1001000000
Populasi 10	1100111101	0001011011	1001101010	1100011110	1101000111	0000100100	1111110011	1100001011	1010011010	1000111110

4.2.2 Evaluasi (*Fitness Function*)

Fungsi *fitness* pada desain ini mengimplementasikan fungsi *fitness* minimum untuk mencari solusi desain dengan memaksimalkan penggunaan energi listrik. Fungsi *fitness* minimum dapat dicari dengan persamaan 5 menggunakan fungsi tujuan dari persamaan 8.

$$\text{Fungsi Tujuan} = \text{norm}(XYpju(\text{kromosom}(ii), :) - XYpju(\text{kromosom}(ii + 1), :)) \quad (8)$$

Keterangan :

Norm = fungsi yang sudah tersedia di MATLAB

$$XYpju = \{1 \ 1.22; 1 \ 0.86; 1 \ 0.77; 1 \ 0.57; 1 \ 0.4; 2 \ 2.44; 2 \ 1.71; 2 \ 1.54; 2 \ 1.14; 2 \ 0.78\}$$

Kromosom(ii) = kromosom ke.... (jika ii+1 maka nomor kromosom bertambah 1)

XY_{pu} yang digunakan didapatkan dari persamaan 9 berikut ini :

$$f(S, k) = f(X, Y) \quad (9)$$

Dengan k merupakan koefisien dengan dua nilai yang mungkin : k = 1 (jika susunan lumener satu sisi) atau k = 2 (jika susunannya dua sisi atau selang-seling) dan S adalah persamaan 10 berikut ini :

$$S = \frac{k \times P}{\omega \times E} \quad (10)$$

Keterangan :

P = Daya listrik yang dikonsumsi lampu PJU

□ = Lebar jalan

E = Ketentuan rata-rata iluminansi

Dari persamaan-persamaan di atas, nilai *fitness* dari beberapa kromosom dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut ini :

Tabel 4.5. Nilai fungsi *fitness*.

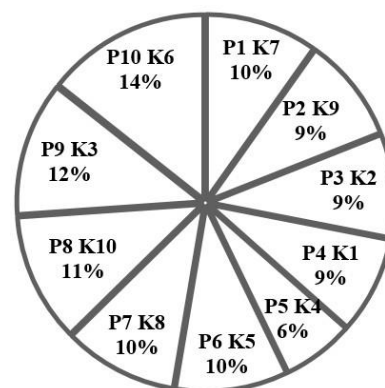
Populasi	Kromosom	Nilai <i>Fitness</i>
Populasi 1	Kromosom 7	0,1333
Populasi 2	Kromosom 9	0,1250
Populasi 3	Kromosom 2	0,1230
Populasi 4	Kromosom 1	0,1153
Populasi 5	Kromosom 4	0,0854
Populasi 6	Kromosom 5	0,1334
Populasi 7	Kromosom 8	0,1356
Populasi 8	Kromosom 10	0,1531
Populasi 9	Kromosom 3	0,1596
Populasi 10	Kromosom 6	0,1950

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa nilai *fitness* terbaik adalah nilai *fitness* populasi 10 kromosom 6 yaitu sebesar 0,1950. Sedangkan nilai *fitness* terburuk adalah nilai *fitness* populasi 5 kromosom 4 yaitu 0,0854. Populasi dengan nilai

fitness terbaik ini akan menjadi orang tua pada proses *crossover*, karena dianggap dapat tetap hidup pada saat seleksi individu berlangsung. Sebaliknya ketika populasi dengan nilai *fitness* yang buruk, maka akan tereliminasi ketika seleksi individu berlangsung.

4.2.3 Seleksi Individu (*Roulette Wheel*)

Seleksi individu pada desain ini menggunakan metode yang pada umumnya digunakan *Genetic Algorithm* (GA) yaitu metode *roulette wheel*. Metode ini menirukan permainan *roulette wheel* di mana masing-masing kromosom menempati potongan lingkaran pada roda *roulette* secara proporsional sesuai nilai *fitness*. Kromosom yang memiliki nilai *fitness* terbesar akan menempati potongan lingkaran yang lebih besar dibandingkan dengan kromosom bernilai *fitness* rendah.



Gambar 4.3. Hasil seleksi individu.

Pada Gambar 4.3 kromosom 6 pada populasi 10 (P10 K6) menempati posisi potongan yang paling besar yaitu 14%, disusul dengan kromosom 3 pada populasi 9 (P9 K3) dengan potongan sebesar 12%. Sedangkan potongan terkecil ditempati oleh kromosom 4 pada populasi 5 (P5 K4) dengan potongan sebesar 6%. Hal ini menjadikan P10 K6 dan P9 K3 akan tetap hidup pada proses selanjutnya, sedangkan P5 K4 akan terseleksi sehingga tidak bisa bertahan pada proses selanjutnya.

4.2.4 *Crossover*

Crossover pada desain ini mengimplementasikan skema *order crossover*. Pada skema ini, satu bagian kromosom dipertukarkan dengan tetap menjaga urutan desain terbaik yang bukan bagian dari kromosom tersebut. Masukan dari proses ini

adalah kromosom orang tua 1 (bapak), kromosom orang tua 2 (ibu) dan JumGen.

				I1				I2			
P1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	
P2	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	
				(a)							
C1				1	0	1	1				
C2				0	1	0	0				
				(b)							

Gambar 4.4. *Crossover* menggunakan skema *order crossover*.

Gambar 4.4 merupakan ilustrasi dari skema *order crossover* dengan kromosom orang tua 1 (P1) adalah kromosom 6 pada populasi 10, kromosom orang tua 2 (P2) adalah kromosom 3 pada populasi 9, C1 dan C2 merupakan anak hasil dari *crossover* antara P1 dan P2. Mula-mula dua buah titik potong (I1 dan I2) dibangkitkan secara acak atau random untuk memotong kromosom P1 dan P2 (Gambar 4.4 a). Kemudian dua kromosom anak (C1 dan C2), mendapatkan genen bagian dari kromosom P1 dan P2 secara menyilang. Kromosom C1 mendapatkan {1, 0, 1, 1} dan C2 mendapatkan {0, 1, 0, 0} (Gambar 4.4 b). Posisiposisi gen yang masih kosong pada kromosom C1 diisi dengan gen-gen dari P1, secara berurutan dari gen 1 sampai gen 10, kecuali gen yang ada pada titik potong. Hal yang sama juga dilakukan untuk kromosom C2. Dari proses *crossover* ini, didapatkan hasil berupa anak yang merupakan kromosom berisi gen baru seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Kromosom hasil *crossover*.

C1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
C2	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1

4.2.5 Mutasi

Mutasi pada desain ini mengimplementasikan skema *swapping mutation* yaitu menukarkan gen termutasi dengan gen lain yang dipilih secara acak atau random. Masukan untuk proses ini adalah kromosom, JumGen, dan Pmutasi. Untuk semua gen dalam kromosom, jika bilangan random [0,1] yang dibangkitkan kurang dari Pmutasi, maka nilai gen tersebut akan ditukarkan dengan nilai gen lain yang dipilih secara acak atau random. Misalnya, kromosom {0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0} dapat termutasi menjadi kromosom {1, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0}, dalam hal ini posisi

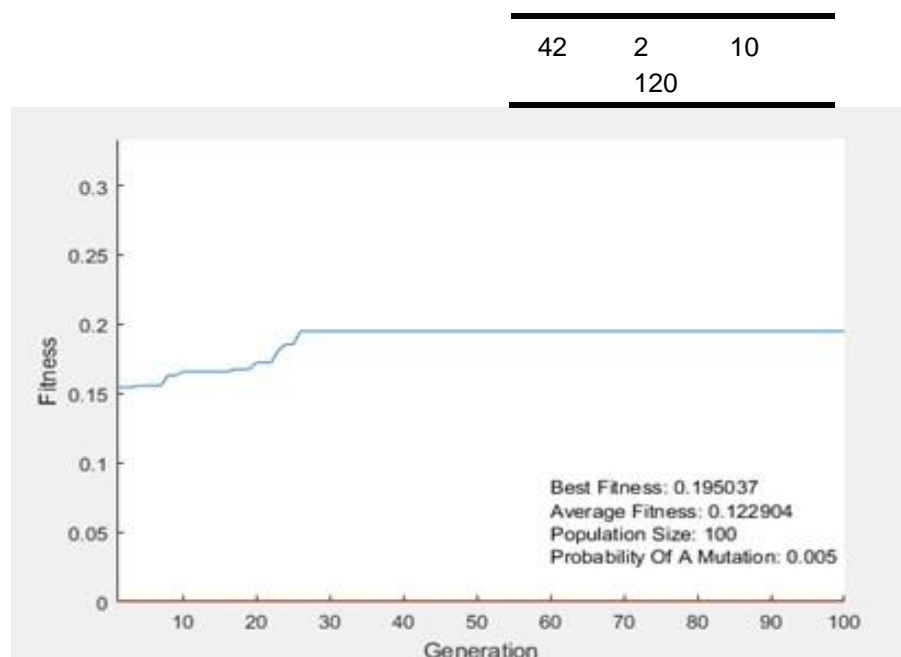
gen ke 1 bertukar dengan posisi gen ke 5. Dari proses mutasi ini, didapatkan hasil berupa kromosom (6 dan 3) yang berisi gen baru seperti pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Kromosom hasil mutasi.

Kromosom 6	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Kromosom 3	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1

4.2.6 Hasil *Genetic Algorithm* (GA)

Setelah melalui beberapa proses akan didapatkan desain terbaik untuk PJU jalan area studi. Desain terbaik merupakan populasi dengan nilai *fitness* terbaik dan telah melewati proses rekombinasi struktur (*crossover* dan mutasi). Hasil terbaik dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Hasil simulasi dari *Genetic Algorithm*.

Pada Gambar 4.5 kurva menunjukkan nilai *fitness* dari seluruh generasi, dengan *fitness* terbaik sebesar 0,195037; rata-rata nilai *fitness* sebesar 0,122904; ukuran populasi berjumlah 100 dengan probabilitas mutasi sebesar 0,005. Tabel pada gambar di atas menyatakan daya listrik yang paling optimal untuk digunakan pada PJU jalan area studi sebesar 42 watt, dengan koefisiensi susunan luminer dua sisi atau berselang-seling, tinggi tiang yang dianjurkan setinggi 10 m dan *luminous efficacy* sebesar 120 lm/Watt. Dari hasil optimalisasi, semua rekomendasi desain terbaik memenuhi standar SNI.

Perancangan PJU menggunakan pendekatan kecerdasan buatan yaitu *Genetic Algorithm* dapat memberikan keuntungan dalam hal optimasi konfigurasi terbaik dalam desain PJU. Metode ini dapat menghasilkan desain sesuai kriteria SNI yang berlaku di Indonesia. Hal ini dapat mempermudah perancang dalam menentukan aspek-aspek desain ulang PJU. Optimalisasi dengan pendekatan ini dinilai baik digunakan dalam kasus PJU. Walaupun bekerja secara acak, *Genetic Algorithm* dinilai handal dalam memecahkan masalah optimasi (Gómez-lorente et al, 2013).

Pendekatan *Genetic Algorithm* merupakan salah satu metode yang sangat cepat dan mudah untuk perencanaan instalasi PJU dengan menjamin penggunaan energi yang efisien dan menghasilkan keseragaman cahaya yang baik. Metode ini sangat efektif digunakan untuk mempermudah menghitung parameter utama dalam instalasi PJU. Optimasi menggunakan pendekatan ini akan menyediakan metode cepat untuk merancang instalasi berkelanjutan baik PJU maupun penerangan lainnya (Rabaza et al., 2019).

4.3 Implementasi Desain Penerangan Jalan Umum Menggunakan DIALux

Dari hasil optimalisasi desain menggunakan metode *Genetic Algorithm* didapatkan rekomendasi desain terbaik untuk jalan area studi dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Desain PJU terbaik hasil dari optimalisasi GA.

Daya Lampu	Ketentuan Penempatan Cahaya	Lebar Jalan	Rata-Rata Pencahayaan	Tinggi Tiang	Luminous Efficacy
42 Watt	2 (coupled/staggered)	15 m	7 lux	10 m	120 lm/W

Dari Tabel 4.8 daya lampu yang harus dimiliki sumber cahaya adalah 42 Watt dengan luminous efficacy sebesar 120 lm/Watt, maka luminasi dari sumber cahaya harus sebesar 5040 lm. Lampu yang dipilih adalah *Philips* BGP322 T35 1XGRN78-3S/740 DW dengan spesifikasi yang mendekati dari ketentuan hasil optimasi yaitu daya listrik sebesar 42 Watt, luminous efficacy sebesar 119 lm/Watt, dan luminasi 5500 lm dengan LOR 91%. Berikut ini merupakan spesifikasi dari *Philips* BGP322 T35 1XGRN78-3S/740 DW :

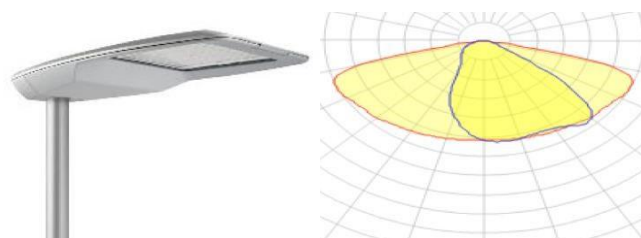
Tabel 4.9. Spesifikasi *Philips* BGP322 T35 1XGRN78-3S/740 DW.

Manufaktur *Philips*

Jenis lampu Tipe	LED
	BGP322 T35 1XGRN78-3S/740 DW

Rosena Shintabella, 2020

Tegangan Nominal	220-240 V AC, 50/60 Hz
Daya Listrik	42 Watt
Luminasi	5500 lm
Luminous Efficacy	119 lm/Watt
Ligh Output Ratio	91%



Gambar 4.6. Philips BGP322 T35 1XGRN78-3S/740 DW

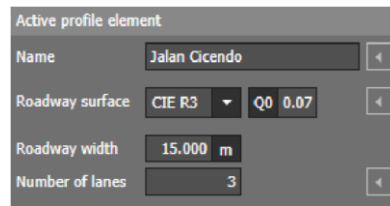
Setelah memilih jenis sumber cahaya, langkah selanjutnya adalah implementasi hasil desain melalui simulasi di perangkat lunak DIALux Evo 9.0. Pertama masukkan data profil jalan di area studi. Data yang dibutuhkan antara lain: parameter kondisi jalan, lebar jalan raya, lebar trotoar, tinggi trotoar, dan jenis lampu. Untuk parameter kondisi jalan dimuat dalam Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Parameter kondisi permukaan jalan.

Kode Jalan	Nilai Parameter Permukaan	Deskripsi
C1	0,1	Jalan beton
C2	0,07	Jalan aspal
W1	0,11	Permukaan jalan basah
W2	0,15	Permukaan jalan basah
W3	0,21	Permukaan jalan basah
W4	0,25	Permukaan jalan basah

Spesifikasi parameter pada jalan area studi adalah lebar jalan sebesar 15 m. Lebar trotoar sisi kanan adalah 1,8 m, lebar trotoar sisi kiri 0,95 m dan tinggi trotoar 0,1 m. Dengan Kondisi permukaan jalan yang merupakan aspal hitam sehingga nilai parameter permukaannya 0,07. Gambar 4.7 menunjukkan parameter kondisi jalan

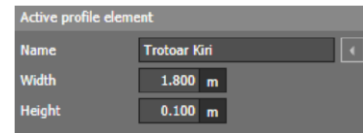
untuk proses simulasi.



(a)



(b)

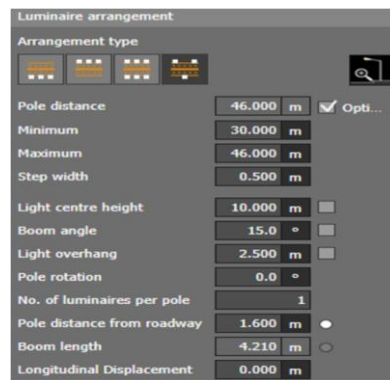


(c)

Gambar 4.7. Parameter jalan (a). Parameter kondisi jalan, (b). Parameter trotoar kanan, dan (c). parameter trotoar kiri.

Langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai parameter rencana agar dapat disimulasikan oleh DIALux Evo 9.0. Parameter-parameter tersebut antara lain: *pole distance* (jarak antar tiang), *light centre height* (tinggi tiang), *light overhang* (jarak dari titik tengah lampu ke pinggir jalan), *pole distance from roadway* (jarak tiang ke jalan raya). Sesuai dengan ketentuan standar nasional dan hasil optimalisasi, untuk jarak antar tiang sejauh 46 m dan tinggi tiang 10 m.

Parameter rencana ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Parameter rencana.

Setelah semua parameter terpenuhi, DIALux akan secara otomatis menampilkan nilai-nilai iluminasi pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Nilai-nilai iluminasi PJU desain ulang.

M	2,87	5,75	8,62	11,50	14,37	17,25	20,12	23,00	25,87	28,75	31,62	34,50	37,37	40,25	43,12	46,00
1,67	3,44	3,45	3,36	3,42	3,81	4,67	5,92	6,82	6,82	5,92	4,67	3,81	3,42	3,36	3,45	3,44
3,33	4,50	4,43	4,24	4,38	4,96	6,18	7,96	9,19	9,19	7,96	6,18	4,96	4,38	4,24	4,43	4,50
5,00	5,72	5,49	5,15	5,22	5,86	6,89	8,87	10,27	10,27	8,87	6,89	5,86	5,22	5,15	5,49	5,72

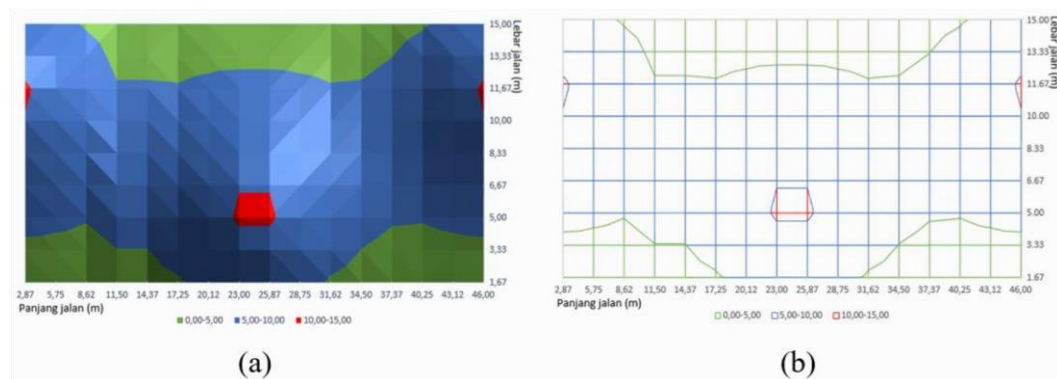
Rosena Shintabella, 2020

PENERAPAN GENETIC ALGORITHM DALAM OPTIMASI DESAIN ULANG PENERANGAN JALAN UMUM

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

6,67	6,92	6,67	6,00	5,81	6,22	6,92	6,	9,92	9,92	8,70	6,92	6,22	5,81	6,00	6,67	6,92
8,33	8,63	7,80	6,72	6,13	6,13	6,72	7,80	8,63	8,63	7,80	6,72	6,13	6,13	6,72	7,80	8,63
10,00	9,92	8,70	6,75	6,22	5,81	6,00	6,67	7,03	7,03	6,67	6,00	5,81	6,22	6,75	8,70	9,92
11,67	10,27	8,87	6,89	5,80	5,22	5,15	5,49	5,72	5,72	5,49	5,15	5,22	5,80	6,89	8,87	10,27
13,33	9,19	7,96	6,18	4,96	4,38	4,24	4,43	4,50	4,50	4,43	4,24	4,38	4,96	6,18	7,96	9,19
15,00	6,82	5,92	4,67	3,81	3,42	3,36	3,45	3,44	3,44	3,45	3,36	3,42	3,81	4,67	5,92	6,82

Tabel 4.11 merupakan hasil nilai-nilai iluminasi PJU desain ulang dari aplikasi DIALux. Nilai iluminasi terbesar adalah 10,27 lux dan nilai iluminasi terkecil adalah 3,36 lux. Selain tabel, DIALux juga dapat menampilkan nilai iluminasi rata-rata PJU desain ulang adalah sebesar 6,15 lux dengan rasio pemerataan 0,54. Untuk ilustrasi penyebaran cahaya dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Ilustrasi penyebaran cahaya PJU desain ulang (a) Contour, (b) Wireframe Contour.

Dari hasil ilustrasi penyebaran cahaya, warna biru terlihat dominan diantara warna lainnya. Warna biru merupakan ilustrasi tingkat iluminasi 5-10 lux, warna hijau merupakan ilustrasi iluminasi 0-5 lux, dan warna merah ilustrasi dengan tingkat iluminasi 10-15 lux. Warna biru dan hijau yang dominan ini mencerminkan tingkat iluminasi sesuai SNI yaitu 0-10 lux dengan rata-rata tingkat iluminasi secara keseluruhan sebesar 6,15 lux.

Untuk perbandingan nilai iluminasi PJU eksisting dengan PJU desain ulang hasil optimaslisasi menggunakan *Genetic Algorithm* dapat dilihat pada Tabel 4.12. **Tabel 4.12.** Perbandingan PJU eksisting dengan PJU hasil optimasi.

Jenis Pencahayaan	PJU Eksisting	PJU Desain Ulang	SNI
E Rata-Rata (Jalan)	7,13 lux	6,15 lux	3-7 lux
E Rata-Rata (Trotoar Kanan)	7,17 lux	3,24 lux	3-7 lux
E Rata-Rata (Trotoar Kiri)	4,68 lux	3,03 lux	3-7 lux

Perbandingan ini menggunakan data 2 titik cahaya untuk data eksisting merupakan PJU nomor 7 dan 8 dengan kondisi yang ideal karena penyebaran cahaya tidak terganggu oleh faktor eksternal sedangkan untuk PJU desain ulang menggunakan 3 titik cahaya karena menggunakan tipe penempatan berselangseling. Tipe penempatan dari hasil desain ulang ini lebih optimal karena menghasilkan penyebaran cahaya lebih baik sehingga ketika laju kendaraan semakin tinggi maka akan memberikan kenyamanan bagi pengendara agar dapat melihat medan jalan dengan jelas. Dari Tabel 4.12 nilai rata-rata iluminasi PJU eksisting untuk jalan dan trotoar kanan nilainya mendekati SNI tetapi belum memenuhi standar sedangkan untuk trotoar kiri sudah memenuhi SNI. Untuk PJU desain ulang hasil optimasi *Genetic Algorithm* rata-rata iluminasi untuk jalan, trotoar kanan dan trotoar kiri sudah memenuhi SNI.

Optimasi desain PJU menggunakan pendekatan *Genetic Algorithm* ini dapat dibuktikan dengan implementasi hasil optimalisasi menggunakan aplikasi DIALux. Data penyebaran cahaya, rata-rata iluminasi dan rasio pemerataan cahaya dapat secara langsung diketahui oleh DIALux. Ini sangat membantu dalam membuktikan kinerja dari optimalisasi menggunakan pendekatan *Genetic Algorithm*. Hasil desain dari DIALux ini akan dibandingkan dengan keadaan PJU eksisting. Dari perbandingan tersebut terbukti bahwa desain hasil optimasi lebih baik dibandingkan dengan keadaan eksisting area studi. Aplikasi DIALux memberikan hasil yang akurat dalam menghitung rata-rata iluminasi dan rasio pemerataan cahaya PJU (De Oliveira et al., 2014).

4.4 Penggunaan Energi Listrik

Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2016, golongan tarif listrik untuk keperluan PJU pada tegangan rendah adalah tipe P-3/TR. Maka biaya pemakaiannya sebesar 1.467,28 (Rp/kWh). Biaya listrik pada PJU dapat dihitung menggunakan persamaan 6 dan 7.

4.4.1 PJU Area Studi

Terdapat 13 tiang PJU pada area studi dengan masing-masing lampu memiliki daya sebesar 250 Watt. Daya listrik total dapat dihitung menggunakan persamaan 6 dan 7 :

$$\begin{aligned}
 P_{total} &= \text{Jumlah titik PJU} \times \text{Daya PJU terpasang per unit} \\
 &= 13 \text{ titik} \times 250 \text{ Watt} \\
 &= 3.250 \text{ Watt} \\
 &= 3,25 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Penerangan jalan umum di area studi diasumsikan beroperasi selama 12 jam per hari (pukul 18.00-06.00), sehingga tarif energi listrik dalam satu bulan adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Tarif energi listrik} &= W \times \text{Tarif dasar listrik} \\
 &= (P \times t) \times \text{Tarif dasar listrik} \\
 &= (3,25 \text{ kW} \times (12 \text{ jam} \times 30 \text{ hari})) \times 1.467,28 \\
 &= \text{Rp. 1.716.717/bulan}
 \end{aligned}$$

Besarnya biaya energi listrik yang dikeluarkan oleh PJU eksisting adalah sebesar Rp. 1.716.717 dalam 1 bulan dan Rp.20.886.730 dalam 1 tahun. Hasil ini didapatkan dengan asumsi penggunaan 12 jam per hari (pukul 18.00-06.00) sesuai dengan penggunaan PJU yang ada di Indonesia.

4.4.2 PJU Hasil Optimalisasi *Genetic Algorithm*

Dengan koefisiensi susunan lumener yang digunakan adalah tipe selangseling maka terdapat 25 tiang PJU hasil optimasi dengan masing-masing lampu jenis *Philips BGP322 T35 1XGRN78-3S/740 DW* yang memiliki daya sebesar 42 Watt. Daya listrik total dapat dihitung menggunakan persamaan 6 dan 7 :

$$\begin{aligned}
 P_{total} &= \text{Jumlah titik PJU} \times \text{Daya PJU terpasang per unit} \\
 &= 25 \text{ titik} \times 42 \text{ Watt} \\
 &= 1050 \text{ Watt} \\
 &= 1,05 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Penerangan jalan umum di area studi diasumsikan beroperasi selama 12 jam per hari (pukul 18.00-06.00), sehingga tarif energi listrik dalam satu bulan adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Tarif energi listrik} &= W \times \text{Tarif dasar listrik} \\
 &= (P \times t) \times \text{Tarif dasar listrik} \\
 &= (1,05 \text{ kW} \times (12 \text{ jam} \times 30 \text{ hari})) \times 1.467,28
 \end{aligned}$$

$$= \text{Rp. } 554.632/\text{bulan}$$

Besarnya biaya energi listrik yang dikeluarkan oleh PJU desain ulang adalah sebesar Rp. 554.632 dalam 1 bulan dan Rp. 6.748.730 dalam 1 tahun. Dari hasil dapat dilihat biaya energi listrik PJU desain ulang lebih hemat sebesar 68% (1 bulan) dan 70% (1 tahun) dari PJU eksisting. Hasil ini didapatkan dengan asumsi penggunaan 12 jam per hari (pukul 18.00-06.00) sesuai dengan penggunaan PJU yang ada di Indonesia.

Dalam penelitian ini, optimasi desain PJU menggunakan metode pendekatan *Genetic Algorithm* terbukti dapat menghemat energi. Desain ini berhasil menghemat daya listrik 32% dengan biaya sampai 70% dalam 1 tahun. Hal ini disebabkan oleh penggunaan teknologi LED dengan daya yang rendah namun memiliki tingkat iluminasi yang tinggi. Desain ini juga terbukti baik dalam hal pemerataan cahaya yang dapat dilihat dari hasil implementasi menggunakan aplikasi DIALux. Penggunaan energi secara efisien pada sistem penerangan jalan dimungkinkan menggunakan teknologi LED karena jenis ini memiliki kualitas cahaya yang lebih baik dengan polusi cahaya rendah (Nagai et al., 2013). Oleh karena itu, meskipun LED mungkin membutuhkan lebih banyak anggaran investasi, itu dapat dianggap lebih efektif dibandingkan dengan HPS dalam anggaran pengeluaran perbulan (Bergesen et al., 2016). Teknologi LED sebagai pengganti lampu konvensional telah dipilih karena mempromosikan aspek hemat energi yang signifikan.