



TUGAS AKHIR – TF 181801

***OPTIMASI ENERGY EFFICIENCY AND
CONSERVATION (EEC) PADA
GEDUNG WASKITA KARYA
JAKARTA DENGAN KONSEP GREEN
BUILDING MENGGUNAKAN METODE
GENETIC ALGORITHM***

**HAECKEL ALFIE SYAHRIEN
NRP. 02311640000160**

**Dosen Pembimbing :
Totok Ruki Biyanto, Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020**

“Halaman ini memang dikosongkan”



FINAL PROJECT – TF 181801

***OPTIMIZATION OF ENERGY EFFICIENCY
AND CONSERVATION (EEC) IN WASKITA
KARYA JAKARTA OFFICE WITH GREEN
BUILDING CONCEPT USING GENETIC
ALGORITHM METHOD***

**HAECKEL ALFIE SYAHRIEN
NRP. 02311640000160**

Supervisor :
Totok Ruki Biyanto, Ph.D.

***ENGINEERING PHYSICS DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya
2020***

“Halaman ini memang dikosongkan”

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Haeckel Alfie Syahrien
NRP : 02311640000160
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri dan
Rekayasa Sistem
PerguruanTinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Optimasi *Energy Efficiency And Conservation* (EEC) pada Gedung Waskita Karya Jakarta dengan Konsep *Green Building* Menggunakan Metode Genetic Algorithm” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 20 Januari 2020

Yang membuat
pernyataan,



Haeckel Alfie Syahrien
NRP.02311640000160

“Halaman ini memang dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

OPTIMASI *ENERGY EFFICIENCY AND CONSERVATION*
(EEC) PADA GEDUNG WASKITA KARYA JAKARTA
DENGAN KONSEP *GREEN BUILDING* MENGGUNAKAN
METODE *GENETIC ALGORITHM*

Oleh:



Haeckel Alfie Syahrien
NRP.02311640000160

Surabaya, 20 Januari 2020
Menyetujui/Mengetahui

Dosen Pembimbing



Totok Ruki Bivanto, Ph.D.
NIPN19710702 199802 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen
Teknik Fisika FTIRS-ITS



Dr. Suyanto, S.T., M.T.
NIPN.197111 3 199512 1 002

“Halaman ini memang dikosongkan”

**OPTIMASI ENERGY EFFICIENCY AND
CONSERVATION (EEC) PADA GEDUNG WASKITA
KARYA JAKARTA DENGAN KONSEP GREEN
BUILDING MENGGUNAKAN METODE GENETIC
ALGORITHM**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HAECKEL ALFIE SYAHRIEN
NRP.02311640000160

- | | |
|---------------------------------|-----------------------|
| 1. Totok Ruki Biyanto, Ph. D . | (Pembimbing) |
| 2. Hendra Cordova, S.T., M.T. | (Ketua Penguji) |
| 3. Ir. Matradji, M.Kom. | (Penguji 1) |
| 4. Ir. Harsono Hadi, M.T., P.hD | (Penguji 2) |
| 5. Iwan Cony S, S.T., M.T | (Penguji 3) |

SURABAYA

20 Januari, 2020

“Halaman ini memang dikosongkan”

**OPTIMASI *ENERGY EFFICIENCY AND CONSERVATION*
(EEC) PADA GEDUNG WASKITA KARYA JAKARTA
DENGAN KONSEP *GREEN BUILDING* MENGGUNAKAN
METODE *GENETIC ALGORITHM***

Nama : Haeckel Alfie Syahrien
NRP : 02311640000160
Departemen : Teknik Fisika FTIRS – ITS
Pembimbing : Totok Ruki Biyanto, Ph.D.

Abstrak

Perkembangan pembangunan gedung dari tahun ke tahun khususnya di Indonesia semakin tinggi. Banyak *owner* yang hanya memperhatikan seni arsitektur gedung tanpa melihat kepada aspek konservasi dan efisiensi energi pada gedung tersebut. Dari data yang diperoleh hanya 20 gedung yang tersertifikasi *green building* dari +700 gedung yang telah terbangun di Indonesia. Padahal dengan menggunakan konsep *energy efficiency and conservation* pemilik gedung mendapat keuntungan dari *saving cost* yang didapat dari konsep efisiensi tersebut.

Meskipun adanya *saving cost* yang diperoleh dari biaya investasi *green building*. Banyak pemilik gedung yang masih berfikir ulang karena biaya investasi yang mahal. Hal ini karena pengurangan energi harus difasilitasi dengan komponen-komponen pendukung yang tidak tersedia banyak dipasar umum. Penggunaan energi pada gedung disebabkan oleh sistem pendingin yang berperan dalam mendinginkan beban panas. Komponen beban panas yang berperan besar dalam penurunan penggunaan sistem pendingin adalah beban eksternal. Beban eksternal dipengaruhi oleh jenis selubung baik dinding, kaca maupun atap. Dengan jenis dinding yang sama, penggunaan jenis kaca dan atap yang memiliki spesifikasi baik mampu mengurangi beban panas yang dihasilkan. Hanya saja jenis kaca dan atap memiliki sifat *mixed integer non-linear programming* terhadap harga investasi dan perhitungan beban panas tersebut.

Optimasi adalah salah satu metode yang diperlukan untuk menentukan jenis kaca dan atap yang terbaik dalam menurunkan beban eksternal yang akan masuk kedalam gedung. Sehingga

dengan optimasi menggunakan *genetic algorithm* dapat mendapatkan hasil yang optimum dalam menggunakan energi. Dengan mempertimbangkan biaya investasi yang minimal sudah mendapatkan energi se-minimal mungkin.

Kata Kunci: beban eksternal, *genetic algorithm*, *green building*, *mixed integer non-linear programming*.

**OPTIMIZATION OF ENERGY EFFICIENCY AND
CONSERVATION (EEC) ON WASKITA KARYA
JAKARTA OFFICE WITH THE CONCEPT GREEN
BUILDING USING THE METHOD GENETIC ALGORITHM**

Name : Haeckel Alfie Syahrien
NRP : 02311640000160
Department : Engineering Physics FTIRS - ITS
Advisor : Totok Ruki Biyanto, Ph.D.

Abstract

The development of building construction from year to year, especially in Indonesia, is getting higher. Many owners only pay attention to building architecture without looking at conservation aspects and energy efficiency in the building. From the data obtained only 20 buildings are certified as green building from - + 700 buildings that have been built in Indonesia. Even though using the concept of energy efficiency and conservation, building owners benefit from the savings obtained from the concept of efficiency.

Although the existence of saving costs is derived from the cost of investment green building. Many building owners are still rethinking because of the expensive investment costs. This is because energy reduction must be facilitated with supporting components that are not widely available in the public market. The use of energy in buildings is caused by a cooling system that plays a role in cooling the heat. The component of heat load which plays a major role in decreasing the use of the cooling system is external load. External load is influenced by the type of sheath both walls, glass and roof. With the same type of wall, the use of glass types and roofs that have good specifications can reduce the heat load produced. It's just that the type of glass and

roof has a characteristic mixed integer non-linear programming of the investment price and calculation of the heat load.

Optimization is one of the methods needed to determine the type of glass and roof that is best in reducing the external load that will enter the building. So that by optimizing using genetic algorithms can get optimum results in using energy. By considering the investment costs that have at least gotten as minimal energy as possible.

Keywords: external load, genetic algorithm, green building, mixed integer non-linear programming.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul **“OPTIMASI *ENERGY EFFICIENCY AND CONSERVATION (EEC)* PADA GEDUNG WASKITA KARYA JAKARTA DENGAN KONSEP *GREEN BUILDING* MENGGUNAKAN METODE *GENETIC ALGORITHM*”**.

Penulisan telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir dan laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua yang selalu memberikan cinta dan kasih sayang baik secara moril dan materil serta semangat yang tak ada habisnya.
2. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
3. Bapak Totok Ruki Biyanto, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, nasihat, serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
4. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika – ITS.
5. Sahabat Home Story yang selalu memberikan semangat dan hiburan dalam menjalani hari-hari yang penuh liku dan cobaan.
6. Shaillanur Lucky Andriana Arifin yang telah membuka pikiran penulis bahwa dunia perkuliahan itu indah serta selalu menyemangati penulis.

7. Asisten Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol angkatan 2018, 2017, 2016 dan 2015 yang sangat berjasa sebagai wadah belajar bidang minat instrumentasi.
8. Seluruh teman-teman Teknik Fisika angkatan 2016 yang selalu memberikan dukungan dan bantuan selama pengerjaan Tugas Akhir dan kuliah selama 3,5 tahun.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 20 Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan	4
BAB II.....	6
2.1 Green Building.....	7
2.2 Green Building Council Indonesia (GBCI).....	7
2.3 Overall Thermal Transfer Value (OTTV).....	8
2.4 Penggunaan Energi Pada Gedung	10
2.5 Software DIALux	18
2.6 Analisis Biaya Investasi	20
2.7 Genetic Algorithm (GA)	22
BAB III.....	28
3.1 Penentuan Objek Penelitian	29
3.2 Penyusunan Model Matematika.....	30
3.3 Implementasi <i>Genetic Algorithm</i> (GA).....	34
BAB IV	39
4.1 Perhitungan OTTV Gedung	40
4.2 Perhitungan Penggunaan Energi <i>Baseline</i> Bangunan .	44
4.3 Analisis Biaya Investasi EEC.....	53
4.4 Hasil Running Genetic Algorithm	54
BAB V.....	64
5.1 Kesimpulan	65

5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem pendingin gedung bertingkat.....	12
Gambar 2.2 Representasi gen pada kromosom.....	21
Gambar 2.3. Roda lotere	23
Gambar 2.4. Ilustrasi <i>crossover</i> (kawin silang)	24
Gambar 2.5. Ilustrasi proses mutasi.....	25
Gambar 3.1. <i>Flowchart</i> penyusunan model matematika	27
Gambar 3.2. <i>Flowchart Genetic Algorithm</i>	32
Gambar 3.3. Pengkodean kromosom optimasi	33
Gambar 4.1. <i>Daylight</i> pada lantai dasar dan <i>mezzanine</i>	38
Gambar 4.2 <i>Daylight</i> pada lantai 2.....	39
Gambar 4.3 <i>Daylight</i> pada lantai 3	39
Gambar 4.4 <i>Daylight</i> pada lantai 4	39
Gambar 4.5 <i>Daylight</i> pada lantai 5	39
Gambar 4.6 <i>Daylight</i> pada lantai 6	39
Gambar 4.7 <i>Daylight</i> pada lantai 7	39
Gambar 4.8 <i>Daylight</i> pada lantai 8-16.....	40
Gambar 4.9 Grafik perbandingan LT Kaca dan <i>Daylight</i>	40
Gambar 4.10. Hasil nilai Cost Saving maksimal pada setiap poin EEC	51
Gambar 4.11. Indeks konsumsi energi dan biaya investasi EEC pada setiap poin EEC	53
Gambar 4.12. Pengurangan emisi CO ₂ pada setiap poin EEC...55	
Gambar 4.13. OTTV dan <i>daylight</i> pada setiap poin EEC.....	56

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Data Pada Baseline dan Desain Bangunan	29
Tabel 3.2. Rincian Biaya Penghematan Air dan Tambahan Investasi Lain-lain	31
Tabel 4.1. Data Gedung kantor pusat Waskita Karya.....	36
Tabel 4.2. Hasil Perhitungan OTTV Gedung	37
Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Beban Eksternal	38
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Beban Penghuni	39
Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Beban <i>Fresh Air</i>	40
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Beban Panas Oleh <i>Lighting</i>	41
Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Beban Panas Oleh Peralatan	42
Tabel 4.8. Hasil <i>Cooling Load</i> Pada <i>Baseline</i> Bangunan	42
Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Daya AHU <i>Baseline</i> Bangunan.....	43
Tabel 4.10. Hasil Perhitungan CHWP dan CWP <i>Baseline</i> Bangunan.....	44
Tabel 4.11. Perhitungan Penggunaan Energi <i>Chiller Plant</i>	44
Tabel 4.12. Perhitungan Penggunaan Energi Listrik <i>Lighting</i>	45
Tabel 4.13. Perhitungan Penggunaan Energi Peralatan	46

Tabel 4.14. Penggunaan Energi Pada <i>Baseline</i> Bangunan.....	47
Tabel 4.15. Biaya Investasi EEC Pada <i>Baseline</i> Bangunan.....	48
Tabel 4.16. Biaya Investasi EEC Pada Desain Bangunan	49
Tabel 4.17. Kombinasi Desain Terpilih Pada Setiap Poin EEC	52
Tabel 4.18. Perbandingan Hasil <i>Baseline</i> dan Desain Terpilih.....	57

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan dalam bidang konstruksi bangunan atau properti dari tahun ke tahun semakin berkembang baik dari segi desain maupun kualitas bangunan tersebut. Saat ini perkembangan konstruksi bangunan banyak mengarah ke bangunan hijau atau Green Building. Konsep green building didorong menjadi tren dunia bagi pengembangan properti saat ini. Di Amerika Serikat contohnya, para investor mulai melirik peluang green building sebagai investasi jangka panjang dikarenakan biaya operasional green building yang lebih hemat daripada bangunan konvensional walaupun harga bangunan hijau 9-10% lebih mahal dari bangunan konvensional [1].

Di Indonesia, perkembangan green building dipantau oleh suatu lembaga konsil bangunan hijau Indonesia yang bernama Green Building Council Indonesia (GBCI) di bawah naungan World Green Building Council (WGBC). GBCI memiliki standar penilaian yaitu GREENSHIP rating, dimana di dalam GREENSHIP rating tersebut penilaian dilakukan berdasarkan poin-poin pada setiap kriteria-kriteria green building [2]. Kriteria utama yang memiliki poin tertinggi dalam GREENSHIP rating adalah efisiensi dan konservasi energi atau Energy Efficiency and Conservation (EEC). Dengan melakukan efisiensi energi pada gedung, maka diharapkan mampu mengurangi polusi yang dihasilkan oleh suatu gedung dimana polusi yang dihasilkan oleh gedung merupakan perhatian serius dalam membangun green building [3].

Salah satu jenis gedung yang diaudit oleh GBCI yaitu gedung perkantoran. Gedung perkantoran saat ini banyak menggunakan energi yang tidak ramah bagi lingkungan dibandingkan dengan

jenis gedung yang lain [4]. Penggunaan energi di perkantoran tersebut mempengaruhi besarnya poin EEC dalam GREENSHIP rating. Penggunaan energi yang minimal menyebabkan nilai poin EEC yang maksimal. Besarnya penggunaan energi pada gedung perkantoran banyak disebabkan oleh besarnya beban panas yang didinginkan oleh sistem pendingin gedung tersebut. Beban panas terdiri atas beban panas eksternal dan beban panas internal. Komponen beban panas yang berperan besar dalam penurunan daya sistem pendingin yaitu beban panas eksternal [5]. Beban panas eksternal dipengaruhi oleh besarnya Overall Thermal Transfer Value (OTTV) dan jenis atap.

Besarnya OTTV dipengaruhi oleh jenis kaca dan dinding. Dengan jenis dinding yang sama, besarnya nilai OTTV pada gedung tersebut dipengaruhi oleh jenis kaca yang digunakan. Spesifikasi jenis kaca yang mempengaruhi besarnya beban panas yaitu Shading Coefficient (SC) dan Light Transmittance (LT) pada kaca. Nilai SC berpengaruh terhadap perolehan radiasi panas sinar matahari pada perhitungan OTTV. Semakin kecil nilai SC, maka nilai OTTV menjadi lebih kecil. Hal ini menyebabkan beban eksternal gedung tersebut akan berkurang. Hal ini juga membuat konsumsi energi sistem pendingin pada gedung akan berkurang [6]. Selain itu, besarnya OTTV juga mempengaruhi suatu bangunan dianggap sebagai green building karena nilai OTTV maksimal pada green building menurut SNI sebesar 45 W/m².

Spesifikasi jenis kaca yang lain yaitu Light Transmittance (LT), berperan dalam pencahayaan alami (daylight) dalam gedung. Semakin besar nilai LT, maka daylight dalam gedung yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini menyebabkan penggunaan pencahayaan buatan akan semakin kecil [7]. Sehingga, beban pencahayaan buatan dan penggunaan energi pada pencahayaan buatan akan semakin kecil. Apabila penggunaan energi pada

pencahayaannya akan semakin kecil, maka nilai poin EEC akan bertambah. Selain itu, besarnya daylight juga mempengaruhi suatu bangunan dianggap sebagai green building karena presentase luasan daerah yang menggunakan cahaya alami pada green building menurut standar GBCI minimal sebesar 30% [2].

Selain itu juga, besarnya nilai LT pada spesifikasi kaca berbanding lurus terhadap besarnya nilai SC. Semakin besar nilai LT, maka nilai SC akan semakin besar. Ini mengakibatkan beban panas eksternal akan semakin besar walaupun beban pencahayaan semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa beban panas eksternal dan beban panas pencahayaan yang disebabkan oleh nilai SC dan LT pada kaca bersifat non-linier. Selain itu, pada spesifikasi kaca tersebut, biaya investasi kaca yang dibutuhkan sangat beragam. Besarnya biaya investasi kaca tidak hanya tertuju pada spesifikasi kaca saja, melainkan juga tertuju pada merk kaca. Sehingga, besarnya biaya investasi kaca terhadap spesifikasi kaca bersifat non-linier.

Selain besarnya nilai OTTV, besarnya beban eksternal juga dipengaruhi oleh jenis atap yang digunakan. Dalam menurunkan beban eksternal pada gedung, bisa juga dilakukan penambahan insulasi pada atap gedung. Penambahan insulasi pada atap dapat menurunkan beban panas eksternal sehingga penggunaan energi yang disebabkan oleh beban panas eksternal akan semakin berkurang [8]. Hanya saja, dengan melakukan penambahan insulasi pada atap, maka perlu dibutuhkan biaya investasi yang cukup banyak disamping biaya investasi kaca. Hal ini mempengaruhi besarnya nilai return of investment (ROI) dimana ROI menunjukkan besarnya biaya penghematan atau cost saving yang dihasilkan terhadap biaya investasi yang dibutuhkan.

Oleh karena itu, diperlukan suatu perhitungan optimasi terhadap dua variabel tersebut yakni jenis kaca dan penggunaan insulasi untuk mencari nilai poin EEC yang optimum. Karena variabel

yang dioptimasi yaitu jenis kaca bersifat non-linier dan penggunaan insulasi pada atap bersifat integer, maka variabel optimasi tersebut termasuk dalam permasalahan mixed integer non-linier programming (MINLP). Permasalahan MINLP sulit untuk menghasilkan solusi global optimum, sehingga diperlukan suatu metode untuk menghasilkan solusi global optimum salah satunya yaitu metode Genetic Algorithm (GA). Dengan menggunakan metode GA, diharapkan akan didapatkan nilai EEC yang optimum dengan mencari nilai *Cost Saving* yang maksimal serta memperhitungkan besarnya nilai OTTV dan presentase daylight. Pada dasarnya metode GA merupakan suatu metode pencarian solusi optimum yang meniru mekanisme evolusi dalam perkembangan makhluk hidup [9]. Pada kriteria *Green Building* yang bisa di optimisasi ada 2 yaitu *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC) dikarenakan kriteria yang lain berhubungan dengan manusia/*human* dimana hal tersebut tidak dapat di optimisasi.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, maka didapatkan rumusan masalah yang akan diselesaikan sebagai berikut:

1. Bagaimana mendapatkan nilai EEC yang optimum menggunakan metode GA ?
2. Bagaimana pengaruh variasi jenis pergantian kaca dan penggunaan insulasi pada atap gedung terhadap nilai EEC yang optimum dengan mempertimbangkan biaya investasi yang minimal dan *Cost Saving* yang maksimal?

1.3. Tujuan

Dari perumusan masalah tersebut didapatkan tujuan penelitian yang akan dilakukan, yaitu sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan nilai EEC yang optimum menggunakan GA.

2. Untuk mengetahui pengaruh variasi jenis pergantian kaca dan penggunaan insulasi pada atap gedung terhadap nilai EEC yang optimum dengan mempertimbangkan biaya investasi yang minimal dan nilai *Cost Saving* yang maksimal.

1.4. Lingkup Kajian

Untuk menghindari luasnya permasalahan yang dapat muncul pada saat penelitian berlangsung, maka pada tugas akhir ini ditentukan lingkup kajian sebagai berikut.

1. Standard yang digunakan yaitu standard Green Building Council Indonesia.
2. Gedung yang digunakan adalah Gedung Waskita Karya Jakarta (Jl. D.I Panjaitan Jakarta Timur)

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Green Building

Gedung merupakan suatu bangunan tembok yang berukuran besar yang digunakan sebagai tempat kegiatan manusia. Selama daur hidupnya, gedung membutuhkan energi, air, dan material serta menghasilkan limbah baik padat, cair maupun gas. Tentu saja, hal ini dapat memberikan dampak buruk terhadap lingkungan. Bangunan hijau atau *green building* adalah gedung yang dapat meminimalkan dampak negatif tersebut. Bangunan hijau juga mengarah pada struktur dan pemakaian proses yang bertanggung jawab terhadap lingkungan dan penggunaan sumber daya yang hemat sepanjang siklus hidup bangunan tersebut [2].

Bangunan ramah lingkungan ini punya kontribusi menahan laju pemanasan global dimana mampu menghemat penggunaan energi dalam bangunan dan memiliki efek terhadap biaya operasional yang kecil dibandingkan dengan bangunan konvensional lainnya. Hal ini dipengaruhi oleh desain bangunan, ventilasi udara, dan penggunaan energi terbarukan [10]. Selain itu, *Green Building* juga menyehatkan untuk manusia dan dapat mengurangi sampah / limbah yang ditimbulkan manusia. Hal ini dipengaruhi oleh tingkat kelembaban udara, ventilasi yang sangat memadai, dan filtrasi udara [10].

2.2 Green Building Council Indonesia (GBCI)

Lembaga Konsil Bangunan Hijau Indonesia atau GBCI adalah lembaga yang berkomitmen penuh terhadap pendidikan masyarakat dalam mengaplikasikan praktik-praktik terbaik lingkungan dan memfasilitasi transformasi industri bangunan global menuju bangunan yang berkelanjutan. GBCI berperan dalam melakukan sertifikasi suatu bangunan menjadi green building dengan standar penilaian tersendiri [2].

Standar penilaian yang digunakan dalam sertifikasi bangunan tersebut bernama *GREENSHIP rating*. *GREENSHIP rating* merupakan sistem

penilaian standar GBCI yang digunakan sebagai alat bantu bagi para pelaku industri bangunan, baik pemilik gedung, arsitek, teknisi, desainer interior, maupun pelaku lainnya dalam menerapkan sertifikasi suatu gedung menjadi *green building*. Standar yang ingin dicapai dalam penerapan GREENSHIP rating adalah terwujudnya suatu konsep bangunan hijau atau ramah lingkungan (*green building*) sejak tahap perencanaan, pelaksanaan, hingga pengoperasian dan pemeliharaan. Sistem penilaiannya dikelompokkan berdasarkan enam kategori atau kriteria, yaitu [2]:

- Tepat Guna Lahan (*Appropriate Site Development/ASD*)
- Efisiensi & Konservasi Energi (*Energy Efficiency & Conservation/EEC*)
- Konservasi Air (*Water Conservation/WAC*)
- Sumber & Siklus Material (*Material Resources & Cycle/MRC*)
- Kualitas Udara & Kenyamanan Udara (*Indoor Air Health & Comfort/IHC*)
- Manajemen Lingkungan Bangunan (*Building & Environment Management*)

Masing-masing aspek terdiri atas beberapa rating yang mengandung kredit yang masing-masing memiliki muatan nilai tertentu dan akan diolah untuk menentukan penilaian. Poin Nilai memuat standar-standar baku dan rekomendasi untuk pencapaian standar tersebut. Diharapkan, dengan adanya perangkat penilaian ini akan terjadi transformasi di industri bangunan agar konsep bangunan ramah lingkungan dapat diterapkan di Indonesia [2].

Apabila suatu bangunan berhasil melaksanakan butir rating tersebut, maka mendapatkan nilai dari butir tersebut. Kalau jumlah semua nilai (*point*) yang berhasil dikumpulkan bangunan tersebut dalam melaksanakan sistem rating tersebut mencapai suatu jumlah yang ditentukan, maka bangunan tersebut dapat disertifikasi pada tingkat sertifikasi tertentu [2].

2.3 Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*) merupakan prosedur standar mengenai konservasi energi yang menghitung panas yang

masuk suatu selubung bangunan. Perhitungan OTTV setiap arah menurut SNI 03-6389-2011 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$OTTV = \{\alpha \times [U_w \times (1 - WWR)] \times TDek\} + (U_f \times WWR \times \Delta T) + (SCk \times SCeff \times WWR \times SF) \quad (2.1)$$

dengan:

$OTTV$ adalah selubung bangunan satu arah (W/m^2)

α adalah absorbtansi panas

U_w adalah transmitansi termal dinding tak tembus cahaya ($W/m^2 \cdot ^\circ K$)

WWR adalah perbandingan luas jendela dan luas seluruh dinding

$TDek$ adalah beda temperatur ekivalen ($^\circ K$)

U_f adalah transmitansi termal pada kaca ($W/m^2 \cdot K$)

ΔT adalah perbedaan suhu ($^\circ K$)

SCk adalah koefisien peneduh kaca

$SCeff$ adalah koefisien peneduh gedung

SF adalah faktor radiasi matahari (W/m^2)

Dari perhitungan OTTV setiap arah dinding tersebut, maka dapat dapat diketahui OTTV total untuk semua arah dinding seperti persamaan sebagai berikut:

$$OTTV = \frac{(OTTV_u \times A_u) + (OTTV_s \times A_s) + (OTTV_b \times A_b) + (OTTV_t \times A_t)}{A_u + A_s + A_b + A_t} \quad (2.2)$$

dengan:

$OTTV_u$ adalah nilai OTTV sisi utara

$OTTV_s$ adalah nilai OTTV sisi selatan

$OTTV_b$ adalah nilai OTTV sisi barat

$OTTV_t$ adalah nilai OTTV sisi timur

A_u adalah luas fasad sisi utara

A_s adalah luas fasad sisi selatan

A_b adalah luas fasad sisi barat

A_t adalah luas fasad sisi timur

2.4 Penggunaan Energi Pada Gedung

Perhitungan penggunaan energi pada gedung memakai standar GBCI yaitu menggunakan worksheet dengan menggunakan perbandingan data *baseline* dan data desain, yaitu [2]:

- a. Data baseline adalah data acuan gedung dengan nilai standar SNI/ASHRAE/ ketentuan dari GBCI.
- b. Data desain adalah data yang digunakan oleh arsitek dalam merencanakan gedung yang sesuai dengan yang diinginkan.

Perhitungan penggunaan energi secara umum diawali dengan perhitungan beban panas terlebih dahulu yang terdiri atas:

1. Beban Eksternal

$$Q_{external} = (A_{bid} \times OTTV) + (A_{roof} \times U_{roof} \times \Delta T) \quad (2.3)$$

dengan:

$Q_{external}$	adalah beban eksternal (kW)
A_{bid}	adalah luas bidang total (m ²)
$OTTV$	adalah nilai selubung bangunan (W/m ²)
A_{roof}	adalah luas atap (m ²)
U_{roof}	adalah transmitansi termal pada atap (W/m ² .K)
ΔT	adalah perbedaan suhu antara lingkungan dan ruangan (°C)

2. Beban Penghuni

$$Q_{occupant} = (Person \times Q_{s\ occupant}) + (Person \times Q_{l\ occupant}) \quad (2.4)$$

dengan:

$Q_{occupant}$	adalah beban penghuni (kW)
$Person$	adalah jumlah penghuni
$Q_{s\ occupant}$	adalah panas sensibel orang sesuai standar SNI sebesar 59 (W/orang)

$Q_{l\text{ occupant}}$ adalah panas latent orang sesuai standar SNI sebesar 74 (W/orang)

3. Beban *Fresh Air* dari Luar

$$Q_{air} = Q_{s\text{ air}} + Q_{l\text{ air}} \quad (2.5)$$

dengan:

Q_{air} adalah beban *fresh air* dari luar (kW)

$Q_{s\text{ air}}$ adalah beban *fresh air* sensibel dari luar (kW)

$Q_{l\text{ air}}$ adalah beban *fresh air* latent dari luar (kW)

atau,

$$Q_{air} = (a \times \text{Fresh Air} \times \Delta T) + (b \times \text{Fresh Air} \times \Delta R) \quad (2.6)$$

dengan:

a adalah konstanta dengan nilai 1.218

b adalah konstanta dengan nilai 2.998

Fresh Air adalah kebutuhan udara luar untuk penghuni (L/s)

ΔT adalah perbedaan suhu antara lingkungan dan ruangan (°C)

ΔR adalah perbedaan rasio kelembaban (kg uap air / kg udara)

Perhitungan *fresh air* ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$\text{Fresh Air} = [R_p + (R_a \times A_{person})] \times \text{Total Occupant} \quad (2.7)$$

dengan:

R_p adalah laju aliran udara luar per orang (L/s.orang)

R_a adalah luasan laju aliran udara luar (L/s.m²)

A_{person} adalah kerapatan luasan per orang (m²/orang)

Total Occupant adalah jumlah penghuni

4. Beban Pencahayaan Buatan

$$Q_{light} = \frac{[(LPD \times t_{op} \times A_{non\ light}) + (LPD \times t_{non\ light} \times A_{light})]}{t_{op}} \quad (2.8)$$

dengan:

Q_{light}	adalah beban pencahayaan buatan (kW)
LPD	adalah kerapatan daya pencahayaan (W/m^2)
t_{op}	adalah waktu operasional gedung (jam/tahun)
$A_{non\ light}$	adalah luasan daerah tanpa pencahayaan alami (m^2)
$t_{non\ light}$	adalah waktu operasional gedung saat memakai lampu (jam/tahun)
A_{light}	adalah luasan daerah terkena pencahayaan alami (m^2)

5. Beban Peralatan

$$Q_{plug} = PPD \times NLA \quad (2.9)$$

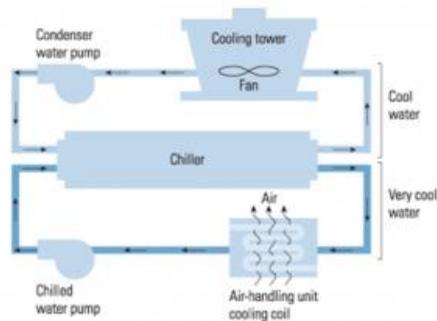
dengan:

Q_{plug}	adalah beban peralatan (kW)
PPD	adalah kerapatan daya peralatan (W/m^2)
NLA	adalah luasan daerah operasional gedung (m^2)

Dari beban-beban panas tersebut, maka persamaan beban panas total ditunjukkan sebagai berikut.

$$Q_{tot} = Q_{external} + Q_{occupant} + Q_{air} + Q_{light} + Q_{plug} \quad (2.10)$$

Setelah penentuan beban pendingin total, dilakukan perhitungan sistem pendingin yang dibutuhkan seperti Gambar 2.1. berikut ini.



Gambar 2.1. Sistem pendingin gedung bertingkat

Pada Gambar 2.1., terlihat bahwa sistem pendingin tersebut terdiri atas *chiller*, AHU, *chilled water pump*, *condenser water pump*, dan *cooling tower*. *Chiller* adalah mesin pendingin yang berfungsi untuk mendinginkan air yang menggunakan refrijeran kemudian digunakan untuk mendinginkan udara di dalam gedung. AHU atau *air handling unit* berfungsi sebagai media pertukaran panas antara air dingin dengan udara. *Chilled water pump* atau CHWP merupakan pompa yang berfungsi untuk sirkulasi air dingin antara AHU dan *chiller*. *Condenser water pump* atau CWP merupakan pompa yang berfungsi dalam mengalirkan fluida antara cooling tower dan *chiller*. *Cooling tower* atau CT merupakan media pendingin yang berfungsi untuk mendinginkan refrijeran di dalam *chiller*. Besarnya daya CT sendiri berdasarkan spesifikasi cooling tower yang digunakan. Besarnya daya AHU ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut.

$$fan\ AHU = \frac{a \times AFR \times P_s}{Fan\ eff \times Drive\ eff \times Motor\ eff} \quad (2.11)$$

dengan:

fan AHU adalah daya AHU (kW)
a adalah konstanta dengan nilai 0.000161
AFR adalah laju aliran udara (m³/menit)
P_s adalah tekanan statis total sesuai standar GBCI sebesar 50 (mm aq)

<i>Fan eff</i>	adalah efisiensi <i>fan</i> AHU
<i>Drive eff</i>	adalah efisiensi <i>drive</i> AHU
<i>Motor eff</i>	adalah efisiensi motor AHU

Perhitungan AFR ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$AFR = \frac{a \times [Q_{s\ occupant} + Q_{plug} + Q_{light} + (Q_{s\ air} \times \text{By Pass Factor})]}{\Delta T} \quad (2.12)$$

dengan:

<i>a</i>	adalah konstanta dengan nilai 49.26464
<i>By Pass Factor</i>	adalah presentase udara ruangan yang ditukar
ΔT	adalah perbedaan suhu antara ruangan dengan udara sistem pendingin ($^{\circ}C$)

P_s pada *baseline* merupakan standar yang digunakan GBCI, sedangkan pada desain bangunan perhitungan P_s ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$P_s = (AFR_D / AFR_B)^2 \times P_{s\ B} \quad (2.13)$$

dengan:

P_s	adalah tekanan statis total desain (mm aq)
AFR_D	adalah laju aliran udara desain (m^3 /menit)
AFR_B	adalah laju aliran udara <i>baseline</i> (m^3 /menit)
$P_{s\ B}$	adalah tekanan statis total <i>baseline</i> (mm aq)

Setelah perhitungan daya AHU, dapat dilakukan perhitungan daya CHWP dengan persamaan sebagai berikut.

$$CHWP = \frac{CHWFR \times \text{Pump Head}}{a \times \text{Pump Eff}} \quad (2.14)$$

dengan:

<i>CHWP</i>	adalah daya <i>chilled water pump</i> (kW)
<i>CHWFR</i>	adalah laju aliran air dingin (GPM)
<i>Pump Head</i>	adalah tinggi tekanan pompa maksimal (ft)
<i>a</i>	adalah konstanta dengan nilai 3960
<i>Pump Eff</i>	adalah efisiensi pompa

Perhitungan CHWFR ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$CHWFR = \frac{a \times Q_{tot}}{\Delta T \text{ Chilled Water}} \quad (2.15)$$

dengan:

a adalah konstanta dengan nilai 24
 ΔT adalah perbedaan suhu antara air yang didinginkan *chiller* dengan air dari AHU (°F)

Setelah perhitungan daya CHWP, dapat dilakukan perhitungan daya CWP dengan persamaan sebagai berikut.

$$CWP = \frac{CWFR \times \text{Pump Head}}{a \times \text{Pump Eff}} \quad (2.16)$$

dengan:

CWP adalah daya *condenser water pump* (kW)
 $CWFR$ adalah laju aliran air kondenser (GPM)
 Pump Head adalah tinggi tekanan pompa maksimal (ft)
 a adalah konstanta dengan nilai 3960
 Pump Eff adalah efisiensi pompa

Perhitungan CHWFR ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$CHWFR = \frac{a \times Q_{tot}}{\Delta T \text{ Condenser Water}} \quad (2.17)$$

dengan:

a adalah konstanta dengan nilai 30
 ΔT adalah perbedaan suhu antara air yang didinginkan *chiller* dengan air dari *cooling tower* (°F)

Dari persamaan (2.14) dan (2.16), parameter *pump head* pada CHWP dan CWP pada *baseline* gedung berbeda daripada desain gedung. *Pump head* pada *baseline* merupakan standar yang digunakan GBCI, sedangkan pada desain bangunan, perhitungan *pump head* ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$Pump\ Head = (WFR_D/WFR_B)^2 \times Pump\ Head_B \quad (2.18)$$

dengan:

Pump Head adalah tinggi tekanan pompa desain (ft)
WFR_D adalah laju aliran air CHWP atau CWP (GPM)
WFR_B adalah laju aliran air CHWP atau CWP (GPM))
Pump Head_B adalah tinggi tekanan pompa baseline (ft)

Setelah itu, dilakukan perhitungan konsumsi energi yang terdiri atas:

1. Konsumsi Energi Pada Sistem Pendingin

$$Konsumsi\ Chiller = Q_{tot} \times t_{op} \times (NPLV + CHWP + CWP + CT) \quad (2.19)$$

NPLV sendiri merupakan karakteristik sistem pendingin ketika beroperasi pada berbagai kapasitas pendinginan. Besarnya nilai NPLV pada baseline gedung menggunakan standar GBCI. Sedangkan, besarnya nilai NPLV pada desain gedung berdasarkan spesifikasi mesin chiller yang digunakan.

2. Konsumsi Energi Pada Pencahayaan

$$Konsumsi\ light = [(LPD \times t_{op} \times A_{non\ light}) + (LPD \times t_{non\ light} \times A_{light}) + (LPD_{non\ op} \times NLA \times t_{non\ op})]/1000 \quad (2.20)$$

dengan:

LPD_{non op} adalah kerapatan daya pencahayaan saat bukan waktu operasional (W/m²)
t_{non op} adalah waktu bukan operasional gedung (jam/tahun)

3. Konsumsi Energi Pada Peralatan

$$Konsumsi\ plug = \frac{[(PPD \times NLA \times t_{op}) + (PPD_{non\ op} \times NLA \times t_{non\ op})]}{1000} \quad (2.21)$$

dengan:

$PPD_{non\ op}$ adalah kerapatan daya peralatan saat bukan waktu operasional (W/m^2)

4. Konsumsi Energi Pada Distribusi Udara

$$Konsumsi\ AHU = fan\ AHU \times t_{op} \quad (2.22)$$

5. Konsumsi Energi Pada Lift dan Eskalator

$$Konsumsi\ lift = Daya\ lift \times t_{op} \quad (2.23)$$

6. Konsumsi Energi Pada Beban Lain

$$Konsumsi\ other = daya\ beban\ lain \times NLA \times t_{op} \quad (2.24)$$

7. Konsumsi Energi Pada Ventilasi Tempat Parkir

$$Konsumsi\ tempat\ parkir = \frac{[daya\ tempat\ parkir \times (t_{op} + t_{non\ op})]}{1000} \quad (2.25)$$

Setelah penggunaan energi gedung tersebut diketahui, maka dilakukan perhitungan penggunaan energi dengan desain yang diinginkan dengan rumus perhitungan yang sama. Hanya saja pada bagian tertentu akan dikondisikan berbeda agar penggunaan energi pada desain gedung dapat berkurang. Penurunan penggunaan energi pada gedung tersebut dijadikan acuan untuk melakukan perhitungan poin EEC seperti pada persamaan berikut ini.

$$EEC = \left[\left(\frac{Konsumsi_B - Konsumsi_D}{Konsumsi_B} \right) \% - 10\% \right] / 2 \quad (2.26)$$

dengan:

EEC adalah poin EEC yang didapatkan

$Konsumsi_B$ adalah konsumsi energi pada baseline gedung (kWh/tahun)

$Konsumsi_D$ adalah konsumsi energi pada desain gedung (kWh/tahun)

Dari persamaan diatas, dapat diketahui semakin besar penurunan penggunaan energi pada desain bangunan terhadap *baseline* bangunan, maka poin EEC yang didapat akan semakin besar.

2.5 Software DIALux

DIALux adalah free software atau perangkat lunak gratis yang digunakan untuk mendesain tata cahaya ruangan baik ruang *indoor/outdoor* maupun tata cahaya objek lainnya. Dengan *software* DIALux, pengguna dapat mengetahui pencahayaan bangunan sehingga bisa memprediksi tingkat pencahayaan bangunan tersebut ketika proses instalasi atau rancang bangun bangunan tersebut. Salah satu kelebihan software DIALux terhadap software lainnya yang sejenis adalah tingkat visualisasi yang ditampilkan sangat baik dan mudah untuk dijalankan dikarenakan *software* ini sudah menyediakan elemen-elemen pendukung seperti jenis dinding, jenis kaca, dan lain-lain.

Pada software ini, juga dilengkapi dengan katalog jenis-jenis lampu yang tersedia pada industri lampu dunia, sehingga pengguna dapat memutuskan jenis lampu yang cocok dengan *project* yang dikerjakan karena hasil kalkulasi pada software ini akan menyerupai keadaan sebenarnya. Selain perancangan dan kalkulasi jenis lampu pada bangunan, pengguna juga dapat mengetahui tingkat pencahayaan alami pada bangunan tersebut dengan dilengkapi letak geografi, waktu, musim, kondisi lingkungan, dan lain-lain pada bangunan yang dirancang.

Perancangan ruangan pada DIALux dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan membuat ruangan secara langsung atau menggunakan desain ruangan dari *software* yang berbeda dengan jenis data yang sama yaitu DWG/DFX. Pada proses simulasi atau kalkulasi bangunan, DIALux menyediakan 2 kalkulasi pencahayaan yaitu kalkulasi pencahayaan buatan dan alami. Hal ini memberikan dampak positif terhadap efisiensi pencahayaan bangunan nantinya dengan mengatur penggunaan lampu sebagai pencahayaan buatan terhadap pencahayaan alami sehingga penggunaan lampu akan semakin berkurang seiring dengan banyaknya persentase pencahayaan alami. Selain itu,

pemanfaatan cahaya alami dengan desain dan material yang tepat dapat menghemat energi cahaya buatan sebesar 30% [11].

Pencahayaan alami pada gedung juga dipengaruhi oleh besarnya faktor transmisi dan refleksi bahan yang tembus cahaya sesuai dengan persamaan Hukum Beer-Lambert berikut ini [12].

$$I = I_0 e^{-\beta cx} \quad (2.27)$$

dimana:

I	adalah intensitas cahaya yang ditransmisikan (lux)
I_0	adalah intensitas cahaya mula-mula (lux)
β	adalah koefisien absorpsi per konsentrasi (1/cm.M)
c	adalah konsentrasi bahan absorpsi (M)
x	adalah tebal bahan (cm)

Desain sistem pencahayaan gedung di suatu tempat sangat dipengaruhi oleh letak geografis atau letak gedung dan arah sinar matahari gedung tersebut. Sehingga pencahayaan gedung satu dengan lainnya akan berbeda tergantung dengan letak geografis dan arah sinar matahari gedung tersebut. Seperti pada gedung yang menghadap timur, akan dihasilkan pencahayaan yang berbeda dibandingkan gedung yang menghadap selatan. Selain itu, letak gedung terhadap industri dan pemukiman akan menghasilkan pencahayaan gedung tersebut berbeda seperti gedung yang pada arah tertentu memiliki gedung dengan ketinggian yang lebih tinggi dibandingkan gedung yang berdiri sendiri dengan samping gedung yang memiliki pemukiman atau gedung yang relatif lebih sedikit. Dalam merancang kualitas pencahayaan suatu ruangan, terdapat beberapa kriteria dasar agar dihasilkan pencahayaan yang baik dan optimal. Kriteria-kriteria tersebut diantaranya yaitu:

- Jumlah lampu yang digunakan pada pencahayaan ruangan.
- Distribusi kepadatan cahaya.
- Batasan silau cahaya.
- Arah pencahayaan dan pembentukan bayangan.
- Warna dan refleksi cahaya.
- Kondisi dan iklim ruangan.

2.6 Analisis Biaya Investasi

Salah satu tujuan perhitungan penggunaan energi pada *green building* selain mendapatkan poin maksimal dalam penilaian *GREENSHIP* yaitu menentukan besarnya biaya investasi yang dibutuhkan untuk mendesain suatu bangunan menjadi bangunan berstandar *green building*. Analisa biaya investasi pada *green building* dilakukan dengan melakukan perhitungan besarnya biaya investasi bangunan *baseline* dan bangunan desain dimana biaya investasi *baseline* yaitu biaya investasi yang dihasilkan pada bangunan yang dihitung menggunakan data acuan gedung dengan nilai standar SNI/ASHRAE/ketentuan dari GBCI. Sedangkan biaya investasi desain didapatkan dari biaya investasi yang dihasilkan menggunakan data yang digunakan oleh arsitek dalam merencanakan gedung yang sesuai dengan yang diinginkan untuk mencapai target sebagai *green building*. Secara umum, perhitungan biaya investasi EEC pada *baseline* ditunjukkan pada perhitungan berikut ini.

$$C_{EEC B} = C_{glass} + C_{AC system} + C_{lamp} \quad (2.28)$$

dengan:

$C_{EEC B}$	adalah biaya investasi kriteria EEC <i>baseline</i> (Rp)
C_{facade}	adalah biaya investasi kaca jendela (Rp)
$C_{AC system}$	adalah biaya investasi sistem pendingin (Rp)
C_{lamp}	adalah biaya investasi lampu (Rp)

Sedangkan perhitungan biaya investasi EEC pada desain *green building* ditunjukkan pada perhitungan berikut ini.

$$C_{EEC D} = C_{glass} + C_{AC system} + C_{lamp} + C_{ESM} + C_{lux sensor} \quad (2.29)$$

dengan:

$C_{EEC D}$	adalah biaya investasi kriteria EEC desain (Rp)
C_{facade}	adalah biaya investasi kaca jendela (Rp)
$C_{AC system}$	adalah biaya investasi sistem pendingin (Rp)

C_{lamp}	adalah biaya investasi lampu (Rp)
C_{ESM}	adalah biaya investasi <i>electrical sub metering</i> (Rp)
$C_{lux\ sensor}$	adalah biaya investasi <i>lux sensor</i> (Rp)

Selain menentukan besarnya biaya investasi, perlu juga dilakukan perhitungan untuk menentukan biaya tambahan investasi total yang didapat dari biaya investasi desain dikurangi biaya investasi *baseline* seperti persamaan berikut ini.

$$\text{Biaya Tambahan Investasi} = C_{EECD} - C_{EECB} + C_{\text{investasi lain}} \quad (2.30)$$

dengan:

$C_{\text{investasi lain}}$ adalah biaya investasi tambahan kriteria lain (Rp)

Biaya tambahan investasi pada kriteria-kriteria green building yang lain yaitu:

$$C_{\text{investasi lain}} = C_{ASD} + C_{MRC} + C_{WAC} + C_{IHC} + C_{BEM} \quad (2.31)$$

dengan:

C_{ASD}	adalah biaya tambahan investasi kriteria ASD (Rp)
C_{MRC}	adalah biaya tambahan investasi kriteria MRC (Rp)
C_{WAC}	adalah biaya tambahan investasi kriteria WAC (Rp)
C_{IHC}	adalah biaya tambahan investasi kriteria IHC (Rp)
C_{BEM}	adalah biaya tambahan investasi kriteria BEM (Rp)

Selain itu juga, dengan diterapkannya konsep *green building* tersebut, akan terlihat konsumsi energi listrik dan air setiap tahunnya pada gedung desain akan berkurang dibandingkan gedung *baseline*. Hal ini berdampak pada penghematan dari biaya operasional yang didapatkan oleh gedung berstandar *green building* tersebut setiap tahunnya. Biaya penghematan ini nantinya dapat menutupi biaya tambahan investasi pada pembangunan bangunan berstandar *green building* tersebut yang dinamakan sebagai *return of investment* (ROI). Adapun persamaan

perhitungan *return of investment* (ROI) ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$ROI = \frac{\text{Biaya Penghematan}}{\text{Biaya Tambahan Investasi}} \times 100\% \quad (2.32)$$

Pada persamaan diatas terlihat bahwa semakin besar biaya penghematan, maka nilai ROI akan semakin besar, dan tentu saja biaya tambahan investasi yang dikeluarkan bisa ditekan dengan biaya penghematan atau operasional gedung tersebut.

2.7 Genetic Algorithm (GA)

Genetic algorithm (GA) merupakan bagian terpenting dalam kelompok *Evolutionary Computation*. GA didasarkan pada proses genetika dan secara ilmiah digunakan untuk menemukan solusi optimal. GA pertama kali digunakan oleh Holland sebagai alat optimasi pada tahun 1980an dengan meniru mekanisme evolusi dalam perkembangan makhluk hidup yang dicetuskan oleh Darwin. Elemen GA secara umum terdiri atas seleksi dan rekombinasi pada kromosom di dalam suatu populasi. GA banyak digunakan pada berbagai permasalahan diantaranya yaitu desain teknik, kecocokan parameter, permasalahan transportasi, pengolahan citra, *traveling salesman problem* (TSP), *scheduling*, dan lain sebagainya [13].

GA termasuk pelopor dalam bidang konsep metaheuristik dikarenakan banyak algoritma komputasi muncul dan menggunakan beberapa langkah dari GA. Prosedur-prosedur dasar pada GA diantaranya yaitu mutasi, seleksi, dan *crossover*. Yang membedakan GA dengan metode optimasi lainnya yaitu, prosedur pencarian dalam GA hanya didasarkan pada nilai fungsi tujuan tanpa ada pemakaian gradient atau teknik kalkulus. Dengan prosedur inilah, akhirnya akan didapatkan solusi akhir dari permasalahan optimasi yang dihadapi [9].

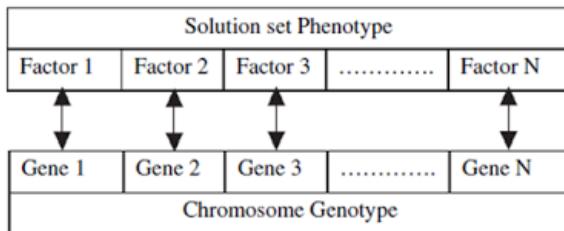
Untuk menyelesaikan permasalahan optimasi, secara garis besar algoritma GA dasar dapat dijelaskan sebagai berikut, diantaranya yaitu [9]:

a. Inisialisasi populasi

Inisialisasi populasi dilakukan untuk membangkitkan populasi awal yang berisi sejumlah kromosom. Banyaknya populasi menunjukkan jumlah solusi permasalahan optimasi yang dihasilkan.

b. Pengkodean kromosom

Dalam GA, kromosom merupakan bagian penting dalam algoritma. Kromosom pada GA mewakili satu vektor solusi (gen) atau bisa dilakukan proses pengkodean kromosom. Kode yang umum digunakan yaitu kode biner yang mana setiap gen pada kromosom bisa berupa deretan nilai 0 atau 1.



Gambar 2.2. Representasi gen pada kromosom

Pada Gambar 2.2. 1 kromosom diwakili oleh beberapa gen. Setiap gen pada kromosom mewakili satu vektor solusi yang dinamakan dengan fenotip. Sedangkan genotip adalah vektor solusi yang dirubah dalam bentuk biner.

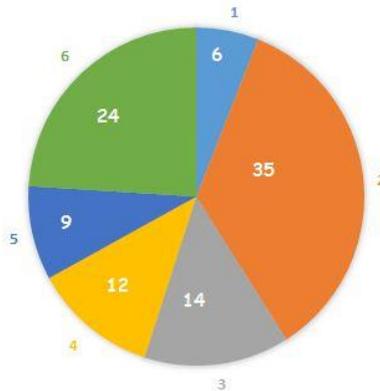
c. *Fitness*

Fungsi *fitness* digunakan untuk mengukur tingkat kesesuaian suatu solusi dengan solusi yang dicari. Fungsi *fitness* bisa berhubungan langsung dengan fungsi obyektif atau melalui modifikasi. Sejumlah solusi yang dibangkitkan akan disesuaikan atau dievaluasi terhadap fungsi *fitness*. Fungsi *fitness* yang biasa digunakan yaitu $F(x) = \frac{1}{1+f(x)}$, dimana $f(x)$ adalah fungsi obyektif dari permasalahan yang

diselesaikan. Untuk kasus optimasi dengan solusi minimal, jika nilai $f(x)$ bernilai kecil, maka nilai fitness bernilai besar. Begitupun sebaliknya untuk kasus optimasi dengan solusi maksimal, fungsi fitness menggunakan fungsi nilai $f(x)$ atau $F(x) = f(x)$.

d. Seleksi

Setelah setiap solusi dievaluasi terhadap fungsi fitness, maka perlu dilakukan proses seleksi terhadap kromosom. Seleksi pada GA bertujuan untuk memberikan kesempatan adanya fitness lebih besar bagi anggota populasi yang paling fit. Ada beberapa cara melakukan seleksi ini, seperti *rank-based fitness assignment*, *roulette wheel selection*, *stochastic universal sampling*, *local selection*, *truncation selection*, *tournament selection*, dan lain sebagainya. Metode seleksi yang umum digunakan yaitu melalui metode *roulette wheel selection* atau roda lotere seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3. berikut ini.



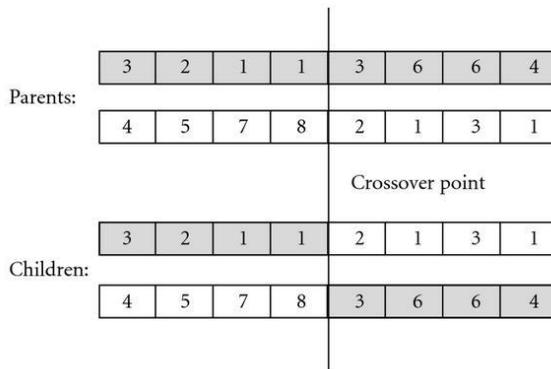
Gambar 2.3. Roda lotere

Pada Gambar 2.3. ditunjukkan contoh proses seleksi menggunakan *roulette wheel selection* dengan 6 individu. Dalam roda lotere, setiap individu memiliki kesempatan untuk dipilih dengan peluang terpilih ditunjukkan pada nilai fitness di masing-masing individu. Pada gambar

terlihat bahwa, jika roda diputar sebanyak jumlah individu, maka peluang individu ke 2 dengan nilai *fitness* 35 yang akan terpilih paling besar, dibanding individu-individu yang lain. Hal ini berdampak pada peluang terpilihnya individu 2 sebagai induk karena memiliki nilai *fitness* tertinggi.

e. *Crossover* (kawin silang)

Kekuatan dari GA ialah pada kemampuan pencarian dalam *crossover* (kawin silang), dimana algoritma genetik menerapkan mempertahankan beberapa solusi terbaik, dan menghilangkan solusi yang tidak baik. Skema dari kawin silang ini yaitu dengan mendapatkan dua buah individu orang tua, selanjutnya ditentukan titik pindah silang secara acak. Jika diasumsikan X adalah panjang kromosom, maka titik pindah silang berada diantara 1 hingga X-1, kemudian beberapa bagian dari dua kromosom ditukar pada titik pindah silang yang terpilih. Titik pindah silang ialah titik terjadinya pertukaran gen antar dua individu orang tua.



Gambar 2.4. Ilustrasi *crossover* (kawin silang)

Pada Gambar 2.4. diatas terlihat bahwa dalam satu kromosom, setengah dari jumlah gen pada setiap kromosom akan dikawin silangkan untuk menghasilkan generasi atau anak yang baru. Pada Gambar 2.4. tersebut, terlihat bahwa 2 anak yang dihasilkan memiliki separuh jumlah gen dalam kromosom yang dimiliki oleh generasi

sebelumnya atau orangtua. Namun, kawin silang juga berakibat buruk jika ukuran populasi yang dibangkitkan sangat kecil, karena sebuah kromosom dengan solusi-solusi akan menyebar ke kromosom lainnya. Oleh karena itu, dalam kasus-kasus tertentu seperti kasus TSP, proses kawin silang ditiadakan karena hasil pembangkitan bilangan random akan lebih besar daripada probabilitas pindah silang. Hal ini bertolak belakang jika ukuran populasi yang dibangkitkan lebih banyak, dimana jika diimbangi dengan banyaknya probabilitas *crossover*, maka solusi-solusi yang dihasilkan akan cepat tercapai dan konvergen.

f. Mutasi

Proses mutasi memungkinkan munculnya individu-individu baru. Mutasi mengacu pada perubahan urutan gen pada kromosom itu sendiri. Parameter terpenting dalam mutasi yaitu probabilitas mutasi. Ini akan menentukan kromosom mana yang mengalami perubahan gen. Semakin besar nilai probabilitas mutasi, maka gen dalam kromosom yang mengalami mutasi akan semakin banyak. Sebagai contoh, jika probabilitas mutasi sebesar 0.05, maka 5% dari jumlah populasi akan mengalami mutasi. Selain itu, dengan adanya mutasi, kemungkinan menghasilkan solusi di luar batasan dengan hasil solusi yang lebih optimal

Awal	0	1	1	0	1	1	0	0
Akhir	0	1	0	0	1	1	0	0

Gambar 2.5. Ilustrasi proses mutasi

Pada Gambar 2.5. diatas, terlihat bahwa dalam satu kromosom, 1 dari jumlah gen pada setiap kromosom akan dimutasi untuk menghasilkan generasi yang baru. Dalam contoh tersebut, jenis mutasi yang dilakukan yaitu *bit string mutation*.

g. Elitisme

Elitisme yaitu suatu konsep dalam mempertahankan individu-individu terbaik yang telah diperoleh dalam suatu generasi ke generasi

setelahnya. Sehingga individu terbaik akan tetap muncul pada populasi selanjutnya sehingga akan muncul jumlah solusi tunggal. Langkah ini dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti penyalinan individu terbaik atau dengan kombinasi antar solusi pada setiap individu hasil turunan generasi sebelumnya. Dengan adanya elitisme terlihat bahwa penggunaan elitisme memiliki peranan penting dalam optimasi *genetic algorithm* dengan fungsi tujuan tunggal.

h. Pergantian populasi

Skema pergantian populasi lama dengan populasi baru dimaksudkan untuk mengganti sejumlah individu saja dalam satu populasi. Hal ini memungkinkan pada populasi selanjutnya terdapat sejumlah individu yang diganti dengan syarat jumlah individu pada populasi tersebut tetaplah sama dari generasi ke generasi setelahnya [14].

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

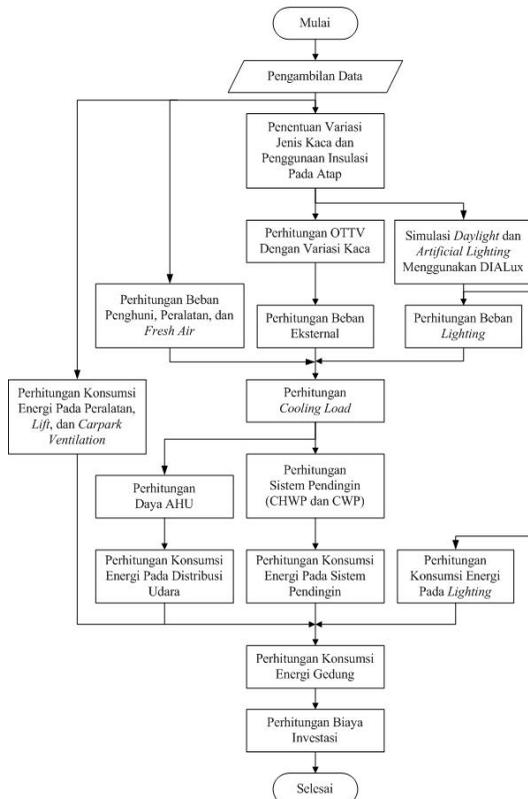
3.1 Penentuan Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan perhitungan kriteria *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) pada gedung Waskita Karya Jakarta menggunakan standar penilaian *Green Building Council Indonesia* (GBCI) yaitu *GREENSHIP rating*. Dalam perhitungan kriteria EEC, dilakukan perbandingan perhitungan konsumsi energi pada *baseline* dan desain bangunan. Semakin kecil konsumsi energi pada desain bangunan, maka poin EEC yang dihasilkan akan semakin besar dan begitupun sebaliknya. Faktor yang mempengaruhi konsumsi energi pada bangunan disebabkan oleh beban panas yang dihasilkan selubung bangunan tersebut [5]. Selubung bangunan pada gedung perkantoran terdiri atas selubung dinding berupa kaca dan selubung atap. Karena selubung dinding mayoritas berupa kaca, maka pemilihan jenis kaca mempengaruhi besarnya beban panas pada selubung dinding bangunan. Sedangkan pada selubung atap bangunan banyak dipengaruhi jenis atap yang digunakan seperti penggunaan insulasi pada atap bangunan tersebut [8]. Sehingga variabel yang akan dioptimasi dalam penelitian ini adalah variasi jenis kaca dan variasi penggunaan insulasi pada atap bangunan.

Variasi jenis kaca terdiri atas 154 jenis kaca dengan spesifikasi yang berbeda-beda (*Lampiran A.1.*). Sedangkan variasi penggunaan insulasi pada atap (*Lampiran A.2.*) terdiri atas 3 jenis yaitu dengan ketentuan jenis insulasi dengan nilai 1 menunjukkan tanpa memakai insulasi, nilai 2 menunjukkan memakai insulasi *rockwool*, dan nilai 3 menunjukkan memakai insulasi *glasswool*. Dari 2 variabel tersebut, akan dihasilkan nilai poin EEC dan presentase *return of investment* (ROI) yang tergantung pada variasi jenis kaca dan insulasi yang digunakan.

3.2 Penyusunan Model Matematika

Dalam melakukan optimasi, perlu dilakukan penyusunan model matematika untuk menentukan parameter-parameter perhitungan hingga didapatkan nilai poin kriteria EEC dan biaya investasi EEC pada *green building*. Perhitungan kriteria EEC dibagi atas 2 yaitu perhitungan baseline dan desain bangunan seperti dijelaskan pada Bab II sebelumnya. Secara umum perhitungan kriteria EEC ditunjukkan pada Gambar 3.1. berikut ini.



Gambar 3.1. Flowchart penyusunan model matematika

Berdasarkan Gambar 3.1. diatas, tahapan-tahapan yang dilakukan sebagai berikut.

- Pengambilan data
Pada tahap ini, dilakukan pengambilan data bangunan yang akan dibangun yang didapat oleh tim proyek bangunan tersebut seperti luasan selubung, luasan daerah operasional bangunan, dan kondisi dan *detail* bangunan seperti peralatan yang digunakan, jumlah penghuni dan lain-lain.
- Penentuan variasi jenis kaca dan insulasi pada atap
Pada tahap ini dilakukan penentuan variasi jenis kaca dan insulasi atap yang digunakan pada desain bangunan seperti ditunjukkan pada *Lampiran A.1.* dan *Lampiran A.2.*. Sedangkan pada *baseline* bangunan, jenis kaca disesuaikan oleh data gedung yang didapatkan.
- Simulasi *daylight* pada DIALux
Pada tahap ini dilakukan simulasi *daylight* untuk mengetahui besarnya beban panas pencahayaan buatan dan konsumsi listrik pencahayaan buatan.
- Perhitungan OTTV
Perhitungan OTTV dilakukan untuk mengetahui besarnya panas yang masuk melalui selubung bangunan.
- Perhitungan beban panas bangunan
Perhitungan beban panas bangunan terdiri atas beban selubung bangunan atau eksternal, beban panas oleh *lighting*, beban penghuni, dan beban udara alami yang dibutuhkan oleh penghuni. Perhitungan beban eksternal dilakukan berdasarkan pada hasil perhitungan OTTV dan selubung atap. Untuk perhitungan beban penghuni, beban udara alami, dan beban peralatan didasarkan pada pengumpulan data pada gedung Waskita Karya Jakarta.
- pompa sistem pendingin
Perhitungan pompa sistem pendingin seperti CHWP dan CWP dilakukan untuk mengetahui besarnya beban sistem pendingin yang digunakan pada bangunan tersebut.
- Perhitungan sistem AHU

Perhitungan sistem AHU untuk mengetahui besarnya daya AHU yang digunakan. Besarnya daya AHU berpengaruh terhadap sirkulasi udara dalam bangunan yang menggunakan sistem pendingin terpusat tersebut.

- Perhitungan konsumsi energi bangunan
Konsumsi energi pada bangunan dihasilkan oleh penggunaan energi pada pendingin udara, distribusi udara, pencahayaan, dan peralatan lain seperti penggunaan lift, pompa, ventilasi ruang parkir, dan lain-lain. Nantinya pada proses optimasi, perhitungan konsumsi energi bangunan terdiri atas perhitungan konsumsi energi baseline bangunan dan perhitungan konsumsi energi desain bangunan. Selisih antara perhitungan *baseline* bangunan dan desain bangunan akan menghasilkan poin-poin EEC seperti ditunjukkan pada Persamaan (2.26).
- Perhitungan biaya investasi kriteria EEC
Perhitungan biaya investasi kriteria EEC terdiri atas biaya investasi jenis kaca, biaya investasi sistem pendingin dan biaya investasi lampu yang digunakan.

Tahapan-tahapan model matematika diatas akan digunakan untuk mengetahui besarnya konsumsi energi dan biaya investasi kriteria EEC pada baseline dan desain bangunan tersebut. Pada 2 perhitungan tersebut, terdapat perbedaan data-data yang digunakan seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1. berikut ini.

Tabel 3.1. Data Pada Baseline dan Desain Bangunan

No.	Jenis Data	Satuan	Baseline	Desain
1	<i>Occupant Density</i>	m ² /orang	10	12
2	<i>Plug Power Density during AC Hours</i>	W/m ²	10	8
3	<i>Plug Power Density during non-AC Hours</i>	W/m ²	1	1
4	<i>Lift Load</i>	kW	40	26
5	<i>Others Power Density</i>	W/m ²	5	4
6	<i>Carpark Mechanical Ventilation</i>	W/m ²	5	4

Pada perhitungan *baseline* bangunan, data-data yang digunakan selain menggunakan data-data gedung Waskita Karya Jakarta, juga menggunakan standar yang digunakan GBCI. Sedangkan perhitungan desain bangunan dilakukan setelah dilakukan proses optimasi pada model matematika pada Gambar 3.1. diatas dengan variasi jenis kaca dan penggunaan insulasi pada atap bangunan.

Sebelum melakukan optimasi, juga dilakukan penentuan biaya investasi pada desain bangunan. Dari penentuan biaya investasi tersebut, dapat ditentukan besarnya variasi ROI pada desain bangunan seperti pada Persamaan (2.32). Perhitungan nilai ROI nantinya akan digunakan sebagai mencari Cost Saving dimana nantinya sebagai *fitness function* yang akan digunakan sebagai fungsi objektif pada optimasi menggunakan GA.

Dari setiap hasil perhitungan desain tersebut, maka akan didapatkan nilai EEC point dan ROI yang berbeda-beda. Dengan tujuan memaksimalkan nilai ROI dengan mempertimbangkan nilai EEC dan *daylight*, maka fungsi tujuan yang digunakan seperti pada Persamaan (3.1) berikut ini.

$$\max f(x) \rightarrow \text{fungsi ROI} \quad (3.1)$$

Karena fungsi tujuan optimasi yaitu mencari nilai ROI maksimal agar dapat mengetahui Cost Saving yang maksimal pula, maka fungsi *fitness* yang digunakan sama dengan fungsi objektif yaitu seperti pada Persamaan (3.2).

$$\max \text{fitness} = \text{Biaya Reduksi Listrik} + \text{Biaya Reduksi Air} \quad (3.2)$$

Dengan n menunjukkan nomor desain yang digunakan dengan batasan atau *constrain* yaitu nilai OTTV, poin EEC dan *daylight* sesuai standar GBCI. Biaya penghematan pada fungsi *fitness* didapatkan dari biaya penghematan listrik dan biaya penghematan air. Sedangkan biaya tambahan investasi didapatkan dari Persamaan (2.30) dan (2.31). Rincian biaya penghematan air

dan biaya tambahan investasi lain-lain diasumsikan seperti pada Tabel 3.2. berikut ini [15].

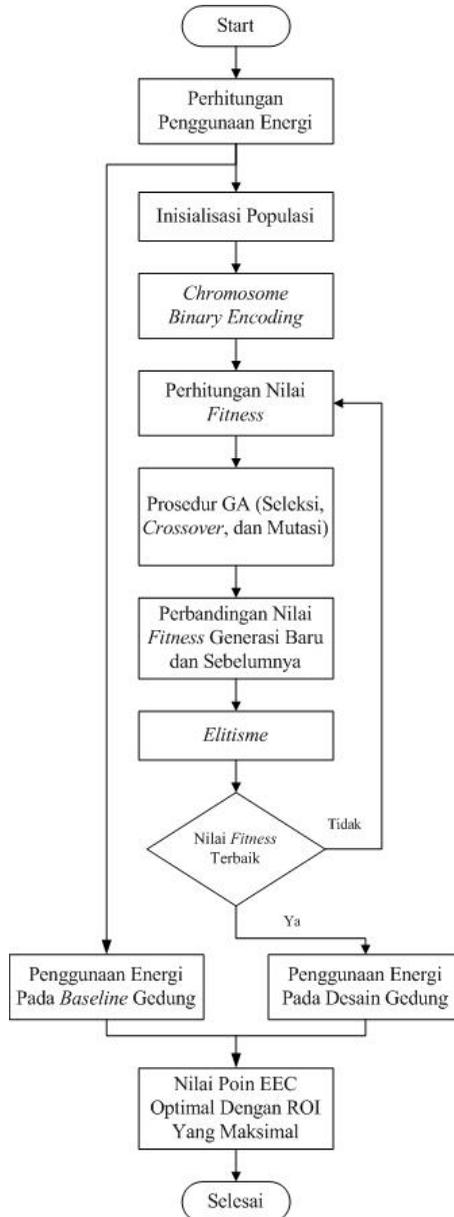
Tabel 3.2. Rincian Biaya Penghematan Air dan Tambahan Investasi Lain-lain

Rincian Biaya	Harga
Biaya Penghematan Air	Rp 154,053,075
Biaya Tambahan ASD	Rp 490,875,000
Biaya Tambahan MRC	Rp 898,475,000
Biaya Tambahan WAC	Rp 1,063,592,524
Biaya Tambahan IHC	Rp 76,100,000
Biaya Tambahan BEM	Rp 630,000,000

3.3 Implementasi *Genetic Algorithm* (GA)

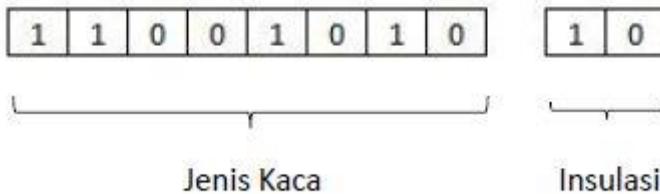
Fitness function yang telah dibuat kemudian dimasukkan ke dalam program GA sebagai fungsi maksimasi. *Performance* dari algoritma GA sendiri tergantung pada penentuan *parameter-parameter* yang digunakan seperti jumlah iterasi atau generasi, jumlah populasi, probabilitas pindah silang, dan probabilitas mutasi. Hal ini dikarenakan optimasi GA dilakukan secara random dengan kemungkinan hasil solusi yang berbeda-beda walaupun memiliki fungsi *fitness* yang relatif sama atau tidak berbeda jauh. Sehingga, ini perlu dilakukan berkali-kali untuk mencari parameter yang tepat dalam optimasi desain *green building* yang diinginkan.

Secara umum, langkah-langkah optimasi menggunakan algoritma GA yang dilakukan, ditunjukkan pada Gambar 3.2. berikut ini.



Gambar 3.2. Flowchart Genetic Algorithm

Pada Gambar 3.2. diatas, parameter GA yang telah diolah menggunakan standard *Green Building Council Indonesia* (GBCI) kemudian akan dilakukan proses **inisialisasi populasi**. Dimana populasi tersebut berisi kromosom desain perhitungan yang terdiri atas 2 variabel yaitu jenis kaca dan penggunaan insulasi. Pada tahap *chromosome binary encoding*, desain perhitungan dalam populasi sebanyak 10 kemudian dikodekan menjadi bilangan *real*. Dalam kromosom, terdapat 2 istilah yaitu fenotip dan genotip dimana 1 kromosom diwakili oleh beberapa gen. Setiap gen pada kromosom yang dikodekan dinamakan dengan genotip. Sedangkan fenotip adalah vektor solusi yang dirubah dalam bentuk *real*. Dalam fenotip tersebut, terdapat 2 bagian gen yaitu variabel kaca dan penggunaan insulasi dimana 8 bit awal menunjukkan jumlah variasi kaca dan 2 bit akhir menunjukkan penggunaan insulasi seperti pada Gambar 3.3. berikut ini.



Gambar 3.3. Pengkodean kromosom optimasi

Pembagian genotip pada Gambar 3.3. diatas dilakukan berdasarkan jumlah variasi yang digunakan. Pada jenis kaca, terdapat 154 jenis kaca (*Lampiran A.1.*) dimana jika dikonversikan ke dalam bit, maka jumlah bit maksimal yang digunakan sebanyak 8 bit. Sedangkan pada penggunaan insulasi, jumlah variasi yang digunakan sebanyak 3 (*Lampiran A.1.*) dimana jika dikonversikan ke dalam bit, maka jumlah bit maksimal yang digunakan sebanyak 2 bit.

Setelah itu, dilakukan **perhitungan nilai fitness** yang menggunakan fungsi logika if. Pada perhitungan nilai *fitness* akan dilakukan evaluasi terhadap vektor solusi pada kromosom.

Setelah proses evaluasi vektor solusi terhadap fungsi *fitness*, perlu dilakukan **seleksi** terhadap kromosom. Seleksi kromosom dilakukan berdasarkan menggunakan mekanisme roda lotere atau *roulette wheel selection* berdasarkan nilai *fitness* terbaik.

Kemudian, dilakukan proses **mutasi**, yang mana masing-masing gen atau bilangan biner biner dalam setiap kromosom akan mengalami perubahan yang tadinya angka 0 menjadi 1 dan begitupun sebaliknya yang terjadi secara *random*. Selain dilakukan proses mutasi juga dilakukan proses **crossover** atau kawin silang untuk melihat variasi kromosom dalam populasi yang dibentuk. Dari proses mutasi dan *crossover*, akan ditentukan pengujian atau **perbandingan nilai *fitness* kromosom** untuk menghasilkan nilai kombinasi yang *optimum* atau terbaik. Dalam perbandingan nilai *fitness* tersebut, nantinya akan diciptakan kromosom sementara untuk menampung individu terbaik yang dinamakan proses **elitisme**. Dari proses elitisme tersebut akan dihasilkan generasi terpilih yang konvergen pada iterasi tertentu sehingga didapatkan nilai EEC yang *optimum* dengan nilai *Cost Saving* yang maksimal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum, perhitungan penggunaan energi menurut GBCI terdiri atas 2 perhitungan yaitu penggunaan energi pada baseline bangunan dan desain bangunan. Perhitungan *baseline* bangunan menggunakan angka-angka standar GBCI dan standar-standar yang lain yang diperbolehkan oleh GBCI. Sedangkan perhitungan desain bangunan dilakukan berdasarkan keinginan tim ahli dalam mendesain bangunan ramah lingkungan. Nantinya selisih penggunaan energi pada *baseline* dan desain bangunan akan dijadikan acuan dalam mendapatkan poin EEC. Pada penelitian tugas akhir ini perhitungan desain bangunan terlebih dahulu melalui tahap optimasi seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2. sebelumnya. Sedangkan perhitungan baseline bangunan melalui beberapa tahap seperti pada Gambar 3.1. sebelumnya.

Pada Gambar 3.1. tersebut, tahapan-tahapan perhitungan penggunaan energi diawali dengan pengumpulan data-data bangunan. Secara umum, data-data bangunan ditunjukkan pada Tabel 4.1. berikut ini.

Tabel 4.1. Data Gedung Waskita Karya Jakarta

No	Description	Unit	Nilai	Formula
1	Outdoor Temp (Dry Bulb)	°C DB	33	Data
2	Outdoor Temp (Wet Bulb)	°C WB	27	Data
3	Indoor Temp (Dry Bulb)	°C DB	25	Design
4	Indoor Relative Humidity	%	60	Design
5	Building Floor Area / Roof Area	m ²	925	Design
6	Number of Floors		16	Design
7	Floor to Floor	m1	4.2	Design
8	Total Gross Floor Area (GFA)	m ²	21,756	Design
9	Service Area	m ²	11,608	Design
10	Nett Lettable Area (NLA)	m ²	10,149	(8) - (9)
11	Gross Surface Area of Facade	m ²	7,082	Design
12	Total Hours / Year	Hour	8,760	365 days x 24 hours

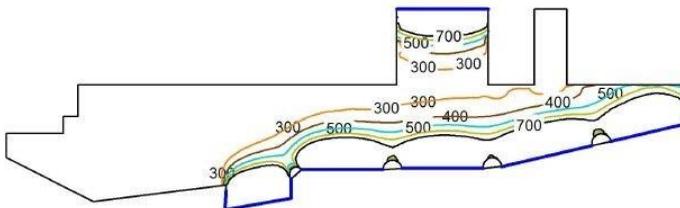
Tabel 4.1. Lanjutan

No	Description	Unit	Nilai	Formula
13	Operating Hours		10 Hours	
14	AC Hours / Week	Hours/Week	50	(13) x 5 days
15	AC Hours / Year	Hours/Year	2,600	(14) x 52 weeks
16	Non AC Hours / Year	Hours/Year	6,160	(12) - (15)

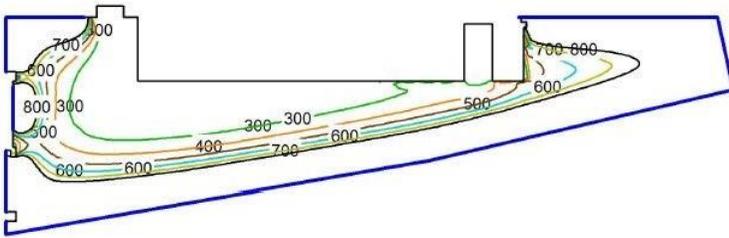
4.1 Simulasi Pencahayaan Alami dengan DIALux

Setelah dilakukan pengambilan data, hal selanjutnya yang perlu dilakukan yaitu simulasi pencahayaan alami. Dalam simulasi tersebut parameter terpenting yang harus dimasukkan yaitu penentuan letak dan waktu simulasi pada DIALux. Pada simulasi ini waktu simulasi di atur pada tanggal 9 November 2019 pukul 09.00. Penentuan pukul 09.00 dikarenakan pada waktu tersebut, penerangan cahaya matahari dalam kondisi optimum [2]. Setelah itu, mengatur *daylight properties* pada kaca atau jendela dengan memvariasikan lebar dan tinggi jendela serta memasukkan nilai indeks pada setiap jenis kaca yang ada.

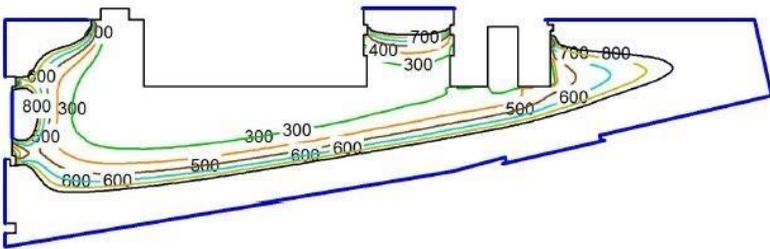
Adapun hasil simulasi pencahayaan alami sama dengan pencahayaan buatan yaitu dibagi menjadi beberapa lantai gedung yaitu lantai dasar dan *mezzanine*, lantai 2 hingga lantai 7, dan lantai 8. Lantai 9 hingga lantai 16 memiliki kesamaan terhadap lantai 8, jadi hasil output lantai 8 dapat mewakili lantai 9 hingga lantai 16. Adapun hasil output setiap lantai ditunjukkan pada gambar-gambar berikut ini.



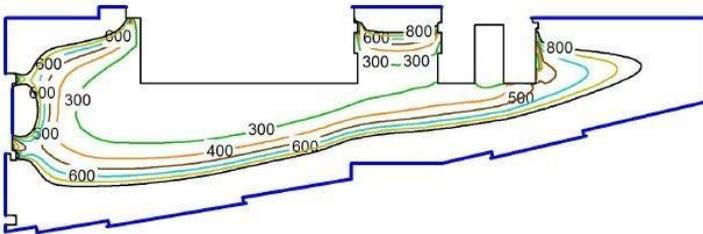
Gambar 4.1. *Daylight* pada lantai dasar dan *mezzanine*



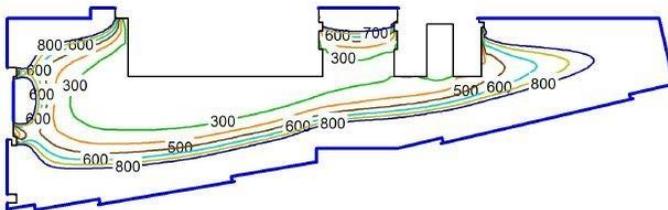
Gambar 4.2. Daylight pada lantai 2



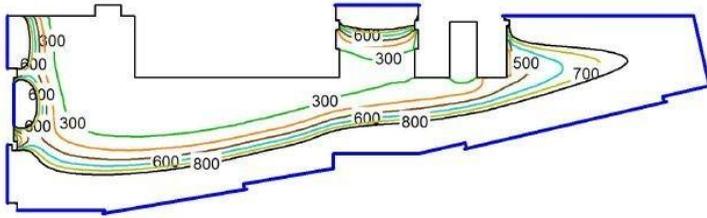
Gambar 4.3. Daylight pada lantai 3



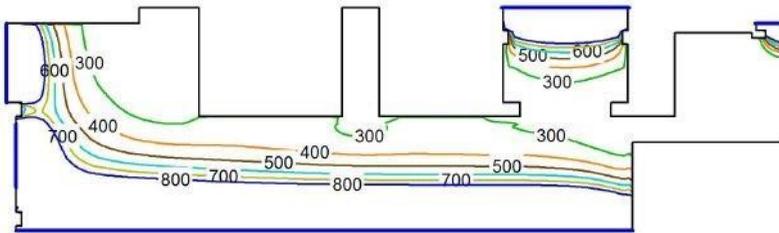
Gambar 4.4. Daylight pada lantai 4



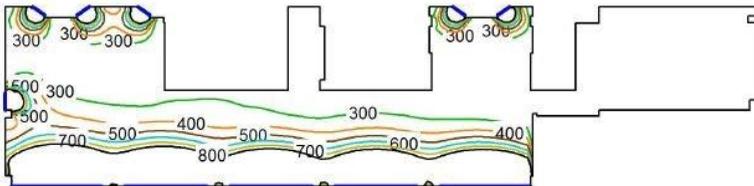
Gambar 4.5. Daylight pada lantai 5



Gambar 4.6. *Daylight* pada lantai 6

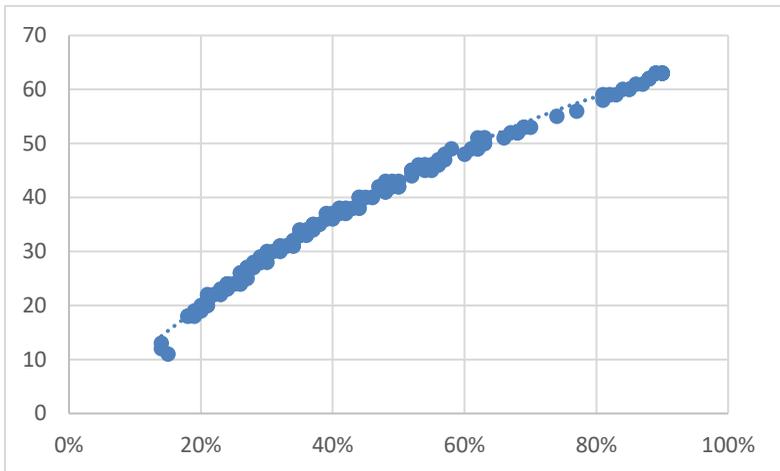


Gambar 4.7. *Daylight* pada lantai 7



Gambar 4.8. *Daylight* pada lantai 8-16

Dari hasil simulasi untuk mengetahui *daylight* pada setiap variasi kaca, maka dapat dihasilkan persebaran data *daylight* terhadap spesifikasi kaca yang mempengaruhi besarnya *daylight* yaitu LT yang ditunjukkan pada Gambar 4.9. untuk melihat *trendline* fungsi yang dapat digunakan untuk mempermudah simulasi optimasi selanjutnya.



Gambar 4.9 Grafik perbandingan LT kaca dan *daylight*

4.2 Perhitungan OTTV Gedung

Perhitungan OTTV dilakukan menggunakan standar SNI 03-6389-2011. Dalam perhitungan tersebut, dengan memasukan nilai *baseline* yaitu SC kaca sebesar 0.93 dan U_f kaca sebesar 5.7, maka dapat dilakukan perhitungan nilai OTTV. Hasil perhitungan OTTV gedung ditunjukkan pada Tabel 4.2. berikut ini.

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan OTTV Gedung

Lantai	OTTV Area (Watt)	OTTV (Watt/M ²)
LT. GF – MZ	29419.83	55.99
LT. 2	26253.80	50.64
LT. 3	35867.32	65.18
LT. 4	35782.16	67.90
LT. 5	39505.58	72.09
LT. 6	30248.40	54.93
LT. 7	32301.31	73.03

Lantai	OTTV Area (Watt)	OTTV (Watt/M ²)
LT. 8 - 16	114983.86	33.62
Total	344362.27	48.62

Dari perhitungan OTTV gedung tersebut, terlihat bahwa OTTV pada gedung tersebut tidak memenuhi standar SNI yaitu sebesar 45 W/m². Hal ini dikarenakan jenis kaca yang memiliki nilai SC yang tinggi yaitu sebesar 0.93. Oleh karena itu, dalam pemilihan desain gedung terpilih nantinya akan dilakukan batas-batas optimasi dengan OTTV yang lebih rendah dari OTTV standar SNI yaitu sebesar 45 W/m². Hasil perhitungan OTTV pada desain variasi jenis kaca memiliki perhitungan sama hanya saja memiliki perbedaan terletak pada nilai SC kaca dan Uf kaca.

4.3 Perhitungan Penggunaan Energi *Baseline* Bangunan

Setelah dilakukan perhitungan OTTV gedung tersebut, maka dapat dilakukan perhitungan penggunaan energi pada *baseline* bangunan. Perhitungan penggunaan energi pada *baseline* bangunan diawali dengan melakukan perhitungan perhitungan penyusun beban panas bangunan menurut standar GBCI. Perhitungan penyusun beban panas atau *cooling load* seperti beban eksternal, beban penghuni, beban *fresh air*, beban *lighting*, dan beban peralatan. Perhitungan beban eksternal ditunjukkan pada Tabel 4.3. berikut ini.

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Beban Eksternal

No	Description	Unit	Baseline	Formula
1	Gross Surface Area of Façade	m ²	7,082	Design
2	Building Roof Area	m ²	925	Design
3	OTTV	Watt/m ²	45.00	SNI
4	Roof U-Factor	Watt/m ² . K	2.766	GBCI
5	Outdoor Temp (Dry Bulb)	°C DB	33	Data
6	Indoor Temp (Dry Bulb)	°C DB	25	Data

No	Description	Unit	Baseline	Formula
7	ΔT	°C	8	(5) - (6)
8	Total Building External Heat Gain			
9	- Heat Gain From Façade	kW	318.71	Persamaan (2.3)
10	- Heat Gain From Roof	kW	20.47	Persamaan (2.3)
11	Total Heat Gain from Building Envelope	kW	339.18	Persamaan (2.3)

Pada Tabel 4.3. diatas, besarnya nilai OTTV dan U_{roof} berdasarkan standar SNI dan Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 38 Tahun 2012 tentang Bangunan Gedung Hijau. Sedangkan luas bidang, luas atap, dan perbedaan suhu berdasarkan Tabel 4.1. Pada perhitungan tersebut, terlihat bahwa beban eksternal banyak dipengaruhi oleh nilai OTTV dan U_{roof} . Nantinya pada proses optimasi desain bangunan, besarnya nilai OTTV dan U_{roof} dipengaruhi oleh jenis kaca dan jenis atap yang digunakan. Setelah perhitungan beban eksternal, dilakukan perhitungan beban penghuni seperti ditunjukkan pada Tabel 4.4. berikut ini.

Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Beban Penghuni

No	Description	Unit	Baseline	Formula
1	Occupant Density	m^2 /person	10	SNI
2	Nett Lettable Area (NLA)	m^2	10,149	Design
3	Total Occupant	person	1,015	(2)/(1)
4	Heat Gain from People			
5	- Sensibel Heat Gain/person	W/person	59	SNI
6	- Latent Heat Gain/person	W/person	74	SNI
7	Total People Sensibel Heat Gain	kW	59.89	Persamaan (2.4)
8	Total People Latent Heat Gain	kW	75.11	Persamaan (2.4)
9	Total People Heat Gain	kW	135.00	Persamaan (2.4)

Pada Tabel 4.4. diatas, terdapat perbedaan data antara *baseline* bangunan dengan desain bangunan yaitu besarnya nilai densitas penghuni seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1. sebelumnya. Setelah perhitungan beban penghuni, dilakukan perhitungan beban *fresh air* seperti ditunjukkan pada Tabel 4.5. berikut ini.

Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Beban *Fresh Air*

No	Descripti on	Unit	Baseline	Formula
1	Outdoor Average Temp during AC Hours	°C	33 DB / 27 WB	
2	Inside Average Temp during AC Hours	°C	25 DB/60% RH	
3	Delta Temp during AC Hours	°C	8	33°C - 25°C
4	Outdoor Average Humidity during AC Hours	kg/kg	0.0201	Psychrometric Chart
5	Inside Average Humidity during AC Hours	kg/kg	0.0119	Psychrometric Chart
6	Delta Humidity Ratio during AC Hours	kg/kg	0.0082	(4) - (5)
7	Total Occupant	Perso n	1,015	SNI
8	Outdoor Intake/Introduction	L/s per person	5.5	Persamaan (2.7)
9	Total Fresh Air	L/s	5,582.50	Persamaan (2.7)
10	Q Sensibel Air Intake (AC Hours)	kW	54.3959	Persamaan (2.6)
11	Q Latent Air Intake (AC Hours)	kW	137.850	Persamaan (2.6)
12	Q Total Intake Air	kW	192.25	Persamaan (2.5)

Pada perhitungan beban *fresh air*, besarnya jumlah penghuni gedung mempengaruhi kebutuhan udara penghuni gedung tersebut. Semakin kecil jumlah penghuni, maka jumlah beban *fresh air* akan semakin berkurang. Hal ini menyebabkan beban panas yang akan didinginkan sistem pendingin akan semakin berkurang. Selain beban *fresh air*, beban panas oleh lighting juga mempengaruhi beban panas total gedung seperti pada Tabel 4.6. berikut ini.

Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Beban Panas Oleh *Lighting*

No	Description	Unit	Baseline	Formula
1	Lighting Power Density during AC Hours	W/m ²	15	SNI
2	Lighting Power during None AC Hours	W/m ²	1	Design
3	Nett Lettable Area (NLA)	m ²	10,149	Design
4	% Daylight Area	%	62%	Design
5	% Daylight Hours during AC Hours	%	70%	Design
6	Total Hours / Year	Hour	8,760	
7	Operating Hour		10 Hours	
8	AC Hours/Week	Hour/Week	50	(7) x 5 days
9	AC Hours/Year	Hour/Year	2,600	(8) x 52 weeks
10	Non AC Hours/Year	Hour/Year	6,160	(6) - (9)
11	Daylighting Hours/Year during AC Hours	Hour/Year	1,820	(5) x (9)
12	Non Daylighting during AC Hours	Hour/Year	780	(9) - (11)
13	Floor Area Daylighted	m ²	6,291	(4) x (3)
14	Floor Area None Daylighted	m ²	3,858	(3) - (13)
15	Lighting Heat Gain during AC Hours (None Daylight Area)	Wh	150,454.39	Persamaan (2.8)
16	Lighting Heat Gain during AC Hours (Daylight Area)	Wh	73,604,643	Persamaan (2.8)
17	Average Lighting Heat Gain during AC Hours	W/m ²	8.49	Persamaan (2.8)
18	Lighting Power during None AC Hours	W/m ²	1	(2)
19	Total Lighting Sensibel Heat Gain	kW	86.18	Persamaan (2.8)

Pada Tabel 4.6. diatas, besarnya beban *lighting* banyak disebabkan oleh nilai *lighting power density* (LPD), dan luasan pencahayaan alami. Pada *baseline* bangunan, nilai LPD berdasarkan standar SNI. Sedangkan pada desain bangunan, nilai LPD desain bangunan berdasarkan hasil simulasi DIALux sebelumnya. Sedangkan nilai luasan pencahayaan alami tergantung pada spesifikasi nilai LT pada setiap jenis kaca yang digunakan. Pada perhitungan beban panas oleh *lighting*, terlihat bahwa jenis kaca dengan spesifikasi nilai LT yang baik akan mampu mengurangi penggunaan lampu atau pencahayaan buatan gedung tersebut. Selain beban panas oleh *lighting*, beban panas oleh peralatan juga mempengaruhi beban panas total gedung seperti ditunjukkan pada Tabel 4.7. berikut ini.

Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Beban Panas Oleh Peralatan

No	Description	Unit	Baseline	Formula
1	Nett Lettable Area (NLA)	m ²	10,149	Design
2	Plug Load Heat Gain during AC Hours	W/m ²	10	GBCI
3	Plug Load Heat Gain during None AC Hours	W/m ²	1	GBCI
4	Total Heat Gain during AC Hours	kW	101.49	Persamaan (2.9)
5	Total Heat Gain during None AC Hours	kW	10.15	Persamaan (2.9)

Pada Tabel 4.7. diatas, terdapat perbedaan data antara *baseline* bangunan dengan desain bangunan yaitu besarnya nilai densitas peralatan seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1. sebelumnya. Setelah itu, maka perhitungan beban-beban panas tersebut akan dijumlahkan menjadi beban panas total atau *cooling load* gedung seperti ditunjukkan pada Tabel 4.8. berikut ini.

Tabel 4.8. Hasil *Cooling Load* Pada *Baseline* Bangunan

No	Description	Unit	Baseline
1	Total Heat Gain from Facade	kW	318.71
2	Total Heat Gain from Roof	kW	20.47
3	Total People Sensibel Heat Gain	kW	59.89
4	Total People Latent Heat Gain	kW	75.11
5	Q Sensibel Air Intake (AC Hours)	kW	54.40
6	Q Latent Air Intake (AC Hours)	kW	137.85
7	Total Lighting Sensibel Heat Gain	kW	86.18
8	Total Equipment Sensibel Heat Gain	kW	101.49
9	Total Average Cooling Load (AC Hours)	kW	854.09
10	Total Average Cooling Load (AC Hours)	TR	242.84

Setelah dilakukan perhitungan *cooling load*, maka dilakukan perhitungan *air handling unit* (AHU) untuk mengetahui penggunaan energi sistem AHU dalam mengatur pengkondisian

udara dalam gedung. Perhitungan daya AHU ditunjukkan pada Tabel 4.9. berikut ini.

Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Daya AHU *Baseline* Bangunan

No	Description	Unit	Baseline	Formula
1	<i>Q sensibel outdoor air</i>	kW	54.396	<i>Bldg Load Calc.</i>
2	<i>By pass factor</i>	%	20%	<i>Design</i>
3	<i>Q sensibel outdoor air (by pass portion)</i>	kW	10.88	Persamaan (2.12)
4	<i>Total Heat Gain from Building Envelope</i>	kW	339.18	<i>Bldg Load Calc.</i>
5	<i>Total People Sensibel Heat Gain</i>	kW	59.89	<i>Bldg Load Calc.</i>
6	<i>Total Lighting Sensibel Heat Gain</i>	kW	86.18	<i>Bldg Load Calc.</i>
7	<i>Total Plug Load Sensibel Heat Gain</i>	kW	101.49	<i>Bldg Load Calc.</i>
8	<i>Room Sensibel Heat Gain</i>	kW	597.61	Pers (2.12)
9	<i>Indoor Temperature (Dry Bulb)</i>	°C	25	<i>Design</i>
10	<i>Supply Air Temperature</i>	°C	15	<i>Design</i>
11	<i>Difference Temperature</i>	°C	10	(9) - (10)
12	<i>Air Flow Rate</i>	m ³ /men	2,944.09	Persamaan (2.12)
13	<i>Total Static Pressure</i>	mm aq	50	<i>Design</i>
14	<i>Fan Efficiency</i>	%	70%	<i>Design</i>
15	<i>Drive Efficiency</i>	%	70%	<i>Design</i>
16	<i>Motor Efficiency</i>	%	70%	<i>Design</i>
17	<i>Fan AHU</i>	kW	69.096	Persamaan (2.11)
18	<i>AHU Energy Consumption</i>	kWh/year	163,318	Persamaan (2.22)

Kemudian, dapat dilakukan perhitungan daya pompa sistem pendingin yang dibutuhkan dalam *baseline* bangunan tersebut. Pompa pada sistem pendingin terbagi atas 2 yaitu *chilled water pump* (CHWP) dan *condenser water pump* (CWP). CHWP merupakan pompa yang berfungsi untuk sirkulasi air dingin antara AHU dan *chiller*, sedangkan CWP merupakan pompa yang berfungsi dalam mengalirkan fluida antara *cooling tower* dan

chiller. Perhitungan pompa CHWP dan CWP ditunjukkan pada Tabel 4.10. berikut ini.

Tabel 4.10. Hasil Perhitungan CHWP dan CWP *Baseline* Bangunan

No	Description	Unit	Baseline	Formula
	Primary Chilled Water Pump			
1	Delta Chilled Water Temperature	F	10	ARI
2	Chilled Water Flow Rate	GP M	582.83	Persamaan (2.15)
3	Pump Head	Ft	150	GBCI
4	Pump Efficiency	%	70%	Design
5	Pump kW	kW	23.62	Persamaan (2.14)
	Condenser Water Pump			
1	Delta Condenser Water Temp.	F	10	ARI
2	Condenser Water Flow Rate	GP M	728.53	Persamaan (2.17)
3	Pump Head	Ft	75	GBCI
4	Pump Efficiency	%	70%	Design
5	Pump kW	kW	14.76	Persamaan (2.16)

Setelah dilakukan perhitungan CHWP dan CWP, maka dilakukan perhitungan penggunaan energi sistem pendingin *Chiller plant*. Perhitungan penggunaan energi sistem pendingin *Chiller plant* ditunjukkan pada Tabel 4.11. berikut ini.

Tabel 4.11. Perhitungan Penggunaan Energi *Chiller Plant*

No	Description	Unit	Baseline	Formula
1	Total Average Cool. Load (AC hours)	TR	242.84	Bldg Load Calc.
2	Chiller - Full Load	kW/TR	0.676	SNI
3	Water Cooled Chiller - NPLV Calculation	kW/TR	0.653	NPLV Standar GBCI

No	Description	Unit	Baseline	Formula
4	Primary Chiller Water Pump – CHWP	kW/TR	0.097	Pump Calc.
5	Condenser Water Pump – CWP	kW/TR	0.061	Pump Calc.
6	Cooling Tower – CT	kW/TR	0.050	Pump Calc.
7	Total Chiller Plant	kW/TR	0.861	Total (3) - (6)
8	Total Chiller Plant Annual Energy Cons.	KWh/year	543,722	Persamaan (2.19)

Pada perhitungan tersebut, terlihat bahwa penggunaan energi pada chiller plant banyak disebabkan oleh CHWP dan CWP. Hal ini dikarenakan besarnya komponen lainnya seperti nilai NPLV dan *Cooling Tower* akan selalu sama antara *baseline* dan desain bangunan. Seperti pada Persamaan (2.15) dan (2.17) terlihat bahwa CHWP dan CWP tergantung pada besarnya beban *cooling load* dan tentu saja bergantung pada jenis kaca dan jenis atap yang digunakan. Semakin baik spesifikasi jenis kaca dan atap yang digunakan, maka *cooling load* yang dihasilkan akan semakin kecil dan tentu saja besarnya penggunaan energi pada *chiller plant* akan semakin kecil. Selain penggunaan energi pada AHU dan *chiller plant*, penggunaan energi juga dipengaruhi oleh penggunaan energi listrik pada pencahayaan buatan dan peralatan lainnya seperti ditunjukkan pada Tabel 4.12. hingga Tabel 4.13.

Tabel 4.12. Perhitungan Penggunaan Energi Listrik *Lighting*

No	Description	Unit	Baseline	Formula
1	Lighting Power Density during AC Hours	W/m ²	15	SNI
2	Lighting Power Density during None AC Hours	W/m ²	1	Design
3	Net Lettable Area (NLA)	m ²	10,149	Design
4	Daylight Percentage	%	61.99%	Design
5	Percentage of Daylight Hours during AC Hours	%	70.00%	Design
6	Total Hour/Year	Hour	8,760	365 days x 24 hours
7	Operating Hours	Hour	10 Hours	
8	AC Hours/Week	hour/week	50	(7) x 5 days
9	AC Hours/Year	hour/year	2,600	(8) x 52 weeks

No	Description	Unit	Baseline	Formula
10	None AC Hours/Year	hour/year	6,160	(6) - (9)
11	Daylight Hours/Year during AC Hours	hour/year	1,820	(5) x (9)
12	None Daylighting Hours/Year during AC Hours	hour/year	780	(9) - (11)
13	Floor Area Daylighted	m ²	6,291	(4) x (3)
14	Floor Area None Daylighted	m ²	3,858	(3) - (13)
Lighting Energy (LE) Consumption				
15	LE during AC Hours (None Daylight Area)	kWh/Year	150,454.39	Persamaan (2.20)
16	LE during AC Hours (Daylight Area)	kWh/Year	73,604.64	Persamaan (2.20)
17	LE during None AC Hours	kWh/Year	62,516.61	Persamaan (2.20)
18	Total Lighting Energy Consumption	kWh/Year	286,575.64	Persamaan (2.20)

Tabel 4.13. Perhitungan Penggunaan Energi Peralatan

No	Description	Unit	Baseline	Formula
Plug Load Heat Gain				
1	Plug Load Heat Gain during AC Hours	W/m ²	10	GBCI
2	Plug Load Heat Gain during None AC hours	W/m ²	1	Design
3	Energy for Plug Load during AC hours	kWh/year	263,869	Persamaan (2.21)
4	Energy Plug Load during None AC hours	kWh/year	62,517	Persamaan (2.21)
5	Total Energy for Plug Load	kWh/year	326,385	Persamaan (2.21)
Lift & Escalator				
6	Elevator during AC Hours	KW/Bldg	40	GBCI
7	Total Energy for Lift & Elevator	kWh/year	104,000	Persamaan (2.23)
Others (pumps, STP, etc)				
8	Power Density	W/m ²	5	Design
9	Total Energy for Others	kWh/year	131,934	Persamaan (2.24)
Carpark MV				
10	Car park during AC Hours	W/m ²	5	Design
11	Total Energy for Carpark MV	kWh/year	78,402	Persamaan (2.25)

Pada Tabel 4.12. penggunaan lampu selain menyebabkan beban panas, juga menyebabkan penggunaan energi listrik pada

gedung bertambah. Hal ini menunjukkan bahwa spesifikasi kaca yaitu LT selain berperan dalam besarnya beban panas yang diakibatkan oleh lampu, juga berperan dalam penggunaan listrik pada lampu. Dari hasil perhitungan penggunaan energi tersebut, maka penggunaan energi total pada *baseline* bangunan ditunjukkan pada Tabel 4.14. berikut ini.

Tabel 4.14. Penggunaan Energi Pada *Baseline* Bangunan

No	Description	Unit	Baseline
1	Chiller	kWh/Year	543,722
2	Air Distribution	kWh/Year	163,318
3	Lighting	kWh/Year	286,576
4	Plug Load	kWh/Year	326,385
5	Lift	kWh/Year	104,000
6	Others	kWh/Year	131,934
7	Carpark MV	kWh/Year	78,402
8	Total Bld Energy Consumption	kWh/Year	1,634,337

4.4 Analisis Biaya Investasi EEC

Secara umum, perhitungan biaya investasi *baseline* terdiri atas investasi kaca jendela atau fasad, investasi lampu, dan investasi sistem pendingin. Jenis kaca yang digunakan pada *baseline* gedung Waskita Karya Jakarta yaitu jenis *Indoflot Clear*. Untuk perhitungan biaya investasi kriteria EEC pada *baseline* bangunan ditunjukkan pada Tabel 4.15. berikut ini.

Tabel 4.15. Biaya Investasi EEC Pada *Baseline* Bangunan

No.	Deskripsi	Biaya Investasi <i>Baseline</i> EEC			
		Volume	Satuan	Harga	Jumlah
1	Chiller	242.84	TR	Rp 6,000,000	Rp 1,457,069,420
2	CHWP	23.62	kW	Rp 5,000,000	Rp 118,110,930
3	CWP	14.76	kW	Rp 5,000,000	Rp 73,819,331
4	fan AHU	62.81	kW	Rp 3,000,000	Rp 188,443,896
5	Kaca	4477.27	m ²	Rp 325,000	Rp 1,455,111,856
6	Lampu	10148.80	m ²	Rp 150,000	Rp 1,522,320,000
Total					Rp 4,814,875,434

Sedangkan untuk biaya investasi yang dibutuhkan oleh setiap variasi jenis kaca dan insulasi pada atap sama dengan perhitungan biaya investasi pada baseline bangunan, hanya saja terdapat perbedaan seperti ditunjukkan pada Persamaan (2.29) yang ditunjukkan pada Tabel 4.16. berikut ini.

Tabel 4.16. Biaya Investasi EEC Pada Desain Bangunan

No.	Deskripsi	Biaya Investasi Desain			
		Volume	Satuan	Harga	Jumlah
1	<i>Chiller</i>	Variasi	TR	Rp 6,000,000	Variasi
2	<i>CHWP</i>	Variasi	kW	Rp 5,000,000	Variasi
3	<i>CWP</i>	Variasi	kW	Rp 5,000,000	Variasi
4	<i>fan AHU</i>	Variasi	kW	Rp 3,000,000	Variasi
5	Kaca	4477.27	m ²	Variasi	Variasi
6	Lampu	1479	piece	Rp 1,500,000	Rp 2,218,500,000
7	<i>Lux Sensor</i>	16	set	Rp 4,440,000	Rp 71,040,000
8	<i>Electrical Sub Metering</i>	4	piece	Rp 6,000,000	Rp 24,000,000
9	Insulasi	925	m ²	Variasi	Variasi
Total					Variasi

Setelah itu, dapat dilakukan perhitungan biaya tambahan investasi pada setiap variasi jenis kaca dan insulasi seperti ditunjukkan pada Persamaan (2.28).

4.5 Hasil Running Genetic Algorithm

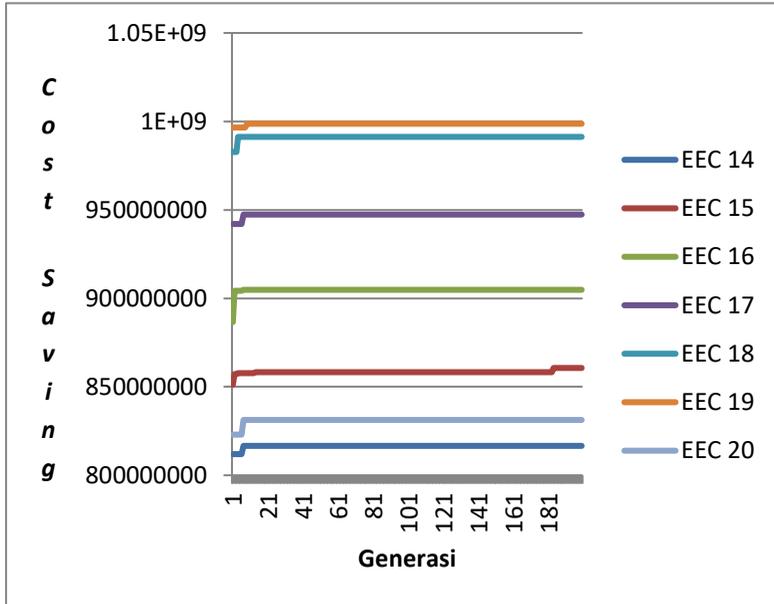
Setelah dilakukan perhitungan penggunaan energi pada *baseline* bangunan, maka dapat dilakukan perhitungan penggunaan energi pada desain bangunan. Perhitungan penggunaan energi pada desain bangunan didapat dari simulasi hasil optimasi pada variasi jenis kaca dan penggunaan insulasi pada atap. Dalam proses optimasi, fungsi obyektif yang digunakan berdasarkan pada Persamaan (3.1) dan (3.2). Implementasi algoritma genetik selanjutnya dapat memasukkan fungsi *fitness* pada *listing program* GA dengan menggunakan *software* komputasi dengan parameter GA sebagai berikut:

- Jumlah variabel = 2
- Jumlah bit = 10

- Batas bawah = 1
- Batas atas = 154 dan 3
- Ukuran populasi = 100
- Jumlah iterasi = 200
- Probabilitas kawin silang (P_c) = 80 % atau 0.8
- Probabilitas mutasi (P_m) = 1 % atau 0.1

Dalam parameter GA diatas, jumlah variabel menunjukkan jumlah kombinasi yang digunakan yaitu jenis kaca dan insulasi atap untuk didapatkan data-data yang sesuai *fitness* yang diinginkan. Data-data tersebut jika dirubah ke dalam biner akan menghasilkan gen bernilai 0 atau 1 dimana jumlah bit yang dibutuhkan maksimal sebesar 10 bit. Batas atas dan batas bawah menunjukkan kromosom yang akan dilakukan proses optimasi dimana jenis kaca yang dioptimasi dimulai dari data 1 hingga data 154 serta jenis insulasi antara 1 hingga 3. Kemudian, dimasukkan ukuran populasi, probabilitas kawin silang, dan probabilitas mutasi yaitu berturut-turut sebesar 100, 0.8 dan 0.1. Ukuran populasi sebanyak 100 menunjukkan bahwa pencarian solusi dilakukan pada 100 individu dalam sebuah populasi dengan kemungkinan terjadinya proses kawin silang atau perkawinan antara dua individu sebesar 80% atau 0.8 dan kemungkinan terjadinya mutasi untuk setiap individu sebesar 1% atau 0.1 sepanjang 200 generasi atau iterasi. Pemilihan parameter probabilitas kawin silang dan mutasi berdasarkan tingkat konvergensi hasil optimasi terhadap generasi.

Dalam *running* program tersebut dengan parameter GA tersebut, dilakukan pencarian *fitness* Cost Saving terbaik pada setiap nilai poin EEC untuk melihat nilai *fitness* Cost Saving terbaik di setiap nilai poin EEC. Hasilnya dalam beberapa kali *running* dengan rentang nilai poin EEC antara poin 14 hingga poin 20 didapatkan grafik Cost Saving maksimal seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3. berikut ini.



Gambar 4.10 Hasil nilai Cost Saving maksimal pada setiap poin EEC

Dari hasil optimasi tersebut, dapat diketahui kombinasi jenis kaca (*Lampiran A.1.*) dan penggunaan insulasi (*Lampiran A.2.*) seperti ditunjukkan pada Tabel 4.17. berikut ini.

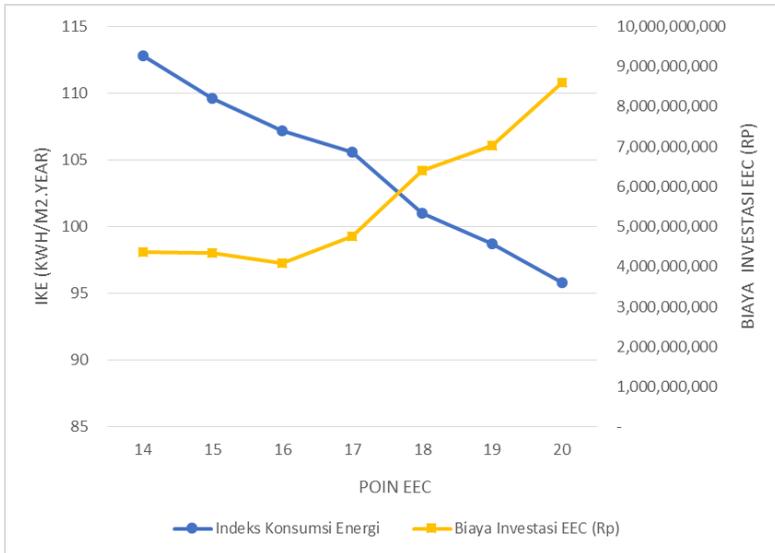
Tabel 4.17. Kombinasi Desain Terpilih Pada Setiap Poin EEC

EEC	Jenis Kaca	Jenis Insulasi	Cost Saving (Rp.)
14	Panasap Blue Green	Glasswool	Rp. 816.555.801
15	6 mm Stopsol #2 + A12 (Air) + 6mm Clear (SS Clear)	Rockwool	Rp. 860.651.448
16	8 mm Stopsol #2 + A12 (Air) + 6mm PG #3 (SS Clear)	Rockwool	Rp. 904.223.434
17	6 mm Sunergy #2 + A12 (Air) + 6mm Clear (Sunergy Blue Green)	Tanpa Insulasi	Rp. 947.357.720
18	8 mm Sunergy #2 + A12 (Air) + 6mm PG #3 (Sunergy Green)	Rockwool	Rp. 990.743.713
19	8 mm Sunergy #2 + A12 (Argon) + 6mm PG #3 (Sunergy Green)	Glasswool	Rp. 997.061.770
20	Panasap Dark Grey (3mm)	Glasswool	Rp. 831.267.490

Pada Tabel 4.17. terlihat bahwa besarnya *fitness* Cost Saving pada masing-masing poin EEC sangat bervariasi. Pada dasarnya, *fitness* Cost Saving yang dihasilkan menunjukkan solusi Cost Saving paling maksimum yang dihasilkan dari setiap poin EEC karena setelah optimasi, *fitness* yang dihasilkan selalu sama sepanjang generasi atau iterasi dan *running* berulang-ulang tetap akan menghasilkan nilai *fitness* maksimum yang sama. Hanya saja, dalam GA, solusi-solusi pada awal generasi belum tentu sama dikarenakan pembangkitan populasi untuk mencari solusi dilakukan secara *random* atau acak.

Pada penelitian ini, nilai *fitness* Cost Saving ditentukan oleh seberapa besar penghematan energi yang dihasilkan oleh variasi jenis kaca dan penggunaan insulasi atap terhadap biaya tambahan investasi yang dibutuhkan oleh setiap variasi tersebut. Besarnya penghematan yang dihasilkan terhadap besarnya biaya investasi menunjukkan besarnya laba atau keuntungan yang didapat atas biaya investasi tambahan. Besarnya penghematan energi sendiri dipengaruhi oleh jenis kaca dan insulasi yang digunakan. Hal ini terlihat bahwa dengan penambahan kaca dari sebelumnya *single glass* menjadi *double glass*, maka poin EEC yang dihasilkan bisa bertambah. Hal ini dikarenakan spesifikasi nilai U_f pada *single glass* lebih besar daripada *double glass* (**Lampiran A.1.**). Dari Tabel 4.17. diatas, terlihat bahwa pada poin EEC sebesar 19 memiliki nilai *fitness* Cost Saving maksimal sebesar Rp. 997.061.770. Semakin besar nilai Cost Saving, maka keuntungan yang didapat akan semakin besar pula. Pada nilai poin EEC terbesar yaitu sebesar 20 didapat Cost Saving yang lebih sedikit yaitu Rp. 831.267.490. Ini menunjukkan bahwa keuntungan yang didapat pada poin EEC 20 lebih rendah daripada keuntungan yang didapat pada poin EEC 19.

Besarnya penghematan desain Bangunan menunjukkan besarnya pengurangan konsumsi energi yang dihasilkan oleh setiap variasi jenis kaca. Hal ini juga mempengaruhi besarnya poin EEC yang dihasilkan. Besarnya indeks konsumsi energi (IKE) *optimum* yang dihasilkan pada setiap poin EEC ditunjukkan pada Gambar 4.4. berikut ini.



Gambar 4.11 Indeks konsumsi energi dan biaya investasi EEC pada setiap poin EEC

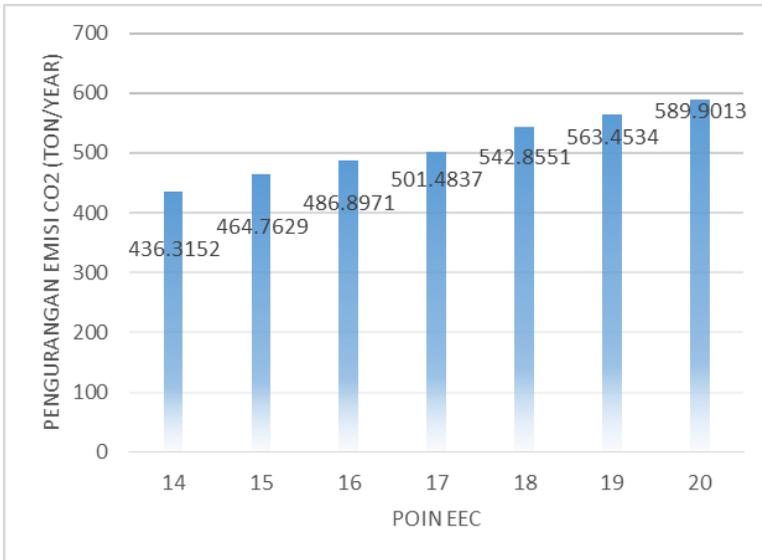
Pada Gambar 4.4. diatas, terlihat bahwa IKE yang dihasilkan pada poin EEC 19 sebesar 107 kWh/m².Tahun. Besarnya IKE menunjukkan besarnya konsumsi energi yang dihasilkan pada suatu bangunan setiap meter persegi. Semakin kecil konsumsi energi pada gedung tersebut, maka semakin hemat pula penggunaan energi pada gedung tersebut dan tentu saja biaya operasional untuk biaya listrik akan jauh lebih kecil. Pada Gambar 4.4. diatas, terlihat bahwa IKE yang dihasilkan pada poin EEC 16 lebih kecil daripada IKE yang dihasilkan pada poin EEC 20 yakni sebesar 96 kWh/m².Tahun. Hal ini menunjukkan bahwa biaya operasional poin EEC 16 lebih hemat daripada poin EEC 20.

Namun, hal ini tidak menjamin keuntungan yang didapatkan dalam mengembangkan suatu gedung menjadi *green building* semakin besar mengingat Cost Saving yang dihasilkan jauh lebih rendah daripada poin EEC 19 serta kendala dalam mengembangkan *green building* terletak pada biaya investasi

yang terlampau besar. Hal ini menunjukkan biaya investasi pada kriteria EEC untuk mengembangkan suatu gedung menjadi gedung *berstandar green building* dengan poin EEC sebesar 20 lebih besar daripada poin EEC 19 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Pada Gambar 4.4. terlihat bahwa biaya investasi pada kriteria EEC yang dibutuhkan untuk mengembangkan suatu gedung menjadi gedung *berstandar green building* paling rendah terletak pada poin EEC sebesar 19 sebesar Rp. 4.078.905.465,-. Hal ini jauh lebih sedikit daripada biaya investasi pada kriteria EEC yang dibutuhkan dalam poin EEC 20 yang bernilai Rp. 8.590.312.820,-. Hal ini menunjukkan bahwa untuk mendapatkan poin EEC yang besar, maka biaya investasi pada kriteria EEC yang dibutuhkan juga besar walaupun konsumsi energi pada poin EEC 20 lebih kecil dari poin EEC 19. Perbedaan biaya investasi pada kriteria EEC ini banyak disebabkan oleh harga kaca dikarenakan untuk biaya investasi lain seperti penggunaan lampu, *lux sensor*, dan *electrical sub metering* tetap serta investasi membangun *chiller plant* cenderung menurun yang berbanding lurus dengan peningkatan poin EEC seperti ditunjukkan pada Tabel 4.16. Besarnya harga kaca sendiri juga akan semakin mahal jika tipe kaca yang digunakan menjadi *double glass*. Hal ini dikarenakan dengan *double glass*, maka spesifikasi yang dihasilkan akan semakin baik jika dibandingkan dengan *single glass*. Selain itu, bisa disebabkan jenis spesifikasi kaca sendiri dimana spesifikasi kaca berbanding lurus dengan harga kaca dimana semakin baik spesifikasi kaca, maka harga kaca akan semakin tinggi pula.

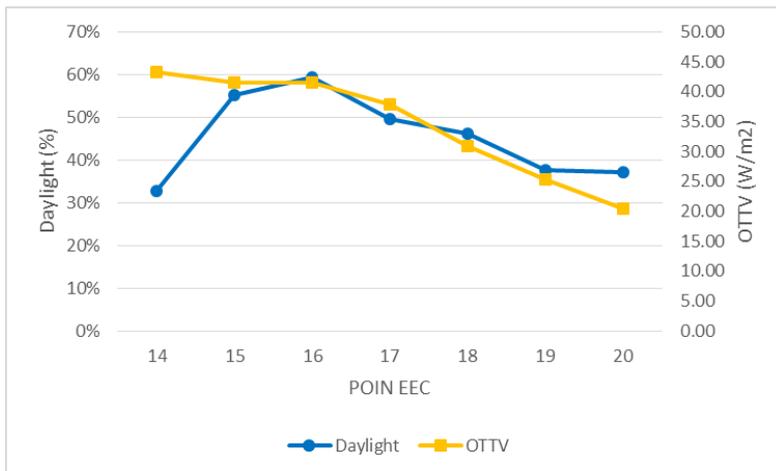
Besarnya konsumsi energi pada setiap poin EEC, juga mempengaruhi besarnya pengurangan emisi CO₂ yang dihasilkan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5. berikut ini.



Gambar 4.12 Pengurangan emisi CO₂ pada setiap poin EEC

Pada Gambar 4.5 diatas, terlihat bahwa pengurangan emisi CO₂ pada poin EEC 19 sebesar 563.4534 ton/tahun. Besarnya pengurangan CO₂ ini didapatkan dari besarnya penghematan konsumsi energi (IKE) pada desain bangunan terhadap baseline bangunan. Semakin rendah konsumsi energi desain bangunan, maka semakin besar pula pengurangan emisi CO₂ yang dihasilkan gedung tersebut. Pada Gambar 4.5. diatas terlihat besarnya pengurangan emisi CO₂ pada poin EEC 20 cukup besar dibandingkan dengan poin EEC 19 yakni sebesar 589.9013 ton/tahun. Hal ini menunjukkan bahwa optimasi dengan GA membaca kondisi beberapa kemungkinan yang sedemikian rumit yaitu mempertimbangkan biaya penghematan, biaya investasi, parameter *daylight*, parameter OTTV, dan parameter yang lain. Selain itu, dalam GA, pencarian solusi *optimum* berupa global *optimum* dengan beberapa kemungkinan parameter tertentu tidak lebih baik daripada solusi-solusi yang lain. Seperti dalam Gambar 4.6. berikut ini dimana nilai OTTV pada poin EEC 19 lebih tinggi

daripada poin EEC 20 walaupun *daylight* yang dihasilkan merupakan *daylight* paling tinggi daripada poin EEC yang lain.



Gambar 4.13 OTTV dan *daylight* pada setiap poin EEC

Dari hasil optimasi desain gedung tersebut, dapat dibandingkan dengan baseline gedung tersebut seperti ditunjukkan pada Tabel 4.18. berikut ini.

Tabel 4.18. Perbandingan Hasil Baseline dan Desain Terpilih

Deskripsi	Satuan	Perbandingan	
		Baseline	Desain Terpilih
Kapasitas Sistem Pendingin (Chiller)	TR	242.84	200.11
Indeks Konsumsi Energi	kWh/m ² .Year	161	107
Emisi CO ₂	ton/Year	1456.195	969.298
Biaya Investasi Sistem Pendingin (Chiller)	Rp.	1,457,069,420	1,200,675,063
Biaya Investasi CHWP	Rp.	118,110,930	66,088,490
Biaya Investasi CWP	Rp.	73,819,331	41,305,307
Biaya Investasi AHU	Rp.	188,443,896	93,751,561
Biaya Investasi Kaca	Rp.	1,455,111,856	335,795,044
Biaya Investasi Insulasi Atap	Rp.	-	27,750,000
Biaya Investasi Lampu	Rp.	1,522,320,000	2,218,500,000
Biaya Investasi ESM	Rp.	-	24,000,000
Biaya Investasi Lux Sensor	Rp.	-	71,040,000

Tabel 4.19 Breakdown penghematan total/*Cost Saving* pada poin EEC 19

Konsumsi Listrik	Biaya Reduksi
Chiller	Rp. 362.410
Fan AHU	Rp. 80.563
Light	Rp. 209.581
Plug	Rp. 254.857
Lift	Rp. 68.640
Carpark	Rp. 105.548
Other	Rp. 62.722

Pada Tabel 4.18. terlihat bahwa hasil optimasi desain terpilih memiliki kapasitas sistem pendingin yang lebih kecil daripada kapasitas sistem pendingin yang dibutuhkan oleh *baseline* gedung. Hal ini menunjukkan bahwa beban panas yang dihasilkan pada hasil optimasi desain terpilih lebih kecil daripada beban panas yang dihasilkan oleh *baseline* gedung. Hal ini juga menyebabkan nilai IKE pada *baseline* gedung jauh lebih besar daripada nilai IKE pada hasil optimasi desain terpilih dengan penurunan IKE sebesar 54 kWh/m².tahun. Besarnya IKE juga mempengaruhi besarnya emisi CO₂ yang dihasilkan oleh suatu gedung. Pada Tabel 4.18. terlihat bahwa emisi CO₂ yang dihasilkan oleh hasil optimasi desain terpilih lebih kecil daripada emisi CO₂ yang dihasilkan oleh *baseline* gedung. Dari sisi ekonomi, terlihat bahwa biaya investasi pada kriteria EEC yang dibutuhkan oleh hasil optimasi desain terpilih lebih sedikit dikarenakan adanya penurunan harga sistem pendingin dan harga kaca yang digunakan. Penurunan harga sistem pendingin diakibatkan oleh penurunan kapasitas sistem pendingin. Penurunan kapasitas pendingin sendiri tentu saja disebabkan oleh jenis kaca yang digunakan. Jika spesifikasi kaca yaitu nilai SC dan U_f bernilai kecil, maka nilai beban eksternal dan kapasitas sistem pendingin akan berkurang. Selain itu, pada spesifikasi

yang lain pada kaca yaitu nilai LT dan LR juga berpengaruh terhadap penurunan beban panas oleh *lighting*. Semakin besar nilai LT dan LR, maka beban panas oleh *lighting* akan semakin kecil. Hal ini diakibatkan penggunaan *daylight* akan semakin besar. Besarnya beban panas oleh *lighting* akan berpengaruh pada kapasitas sistem pendingin dan biaya investasi sistem pendingin juga.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari hasil optimasi EEC, nilai poin EEC *optimum* sebesar 19 dengan jenis kaca yang digunakan yaitu 8 mm Sunergy #2 + A12 (Argon) + 6mm PG #3 (Sunergy Green) dan menggunakan insulasi *Glasswool* dengan nilai *Cost Saving* sebesar Rp. 997.061.770
2. Variasi pergantian jenis kaca dan insulasi atap sangat berpengaruh terhadap nilai EEC. Selain itu, pergantian jenis kaca dan insulasi atap juga berpengaruh terhadap besarnya biaya investasi EEC. Semakin baik spesifikasi jenis kaca dengan ditambahkan insulasi atap, maka sistem pendingin yang dibutuhkan akan semakin kecil. Hal ini berdampak pada penurunan biaya investasi sistem pendingin dan biaya investasi EEC total.

5.2 Saran

Adapun saran yang bisa dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh penggunaan *daylight* pada *green building* sehingga penggunaan *daylight* pada *green building* menjadi maksimal.
2. Untuk mengembangkan *green building*, diharapkan adanya perhatian serius terhadap penghematan penggunaan *air conditioning* pada gedung dengan cara membangun *district cooling system* yang terintegrasi.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh *space* pada *double glass* untuk penghematan energi pada *green building*.

“Halaman ini memang dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bradshaw, W. B., 2006. *Buying Green*. Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- [2] Divisi Rating dan Teknologi, 2013. *GREENSHIP untuk BANGUNAN BARU Versi 1.2*. Jakarta: Green Building Council Indonesia.
- [3] Zigenfus, Richard E., 2008. *Element Analysis of the Green Building Process*. New York: Rochester Institute of Technology.
- [4] Bhatt, M. S., Rajkumar, N., Jothibas, S., Sudirkumar, R., Pandian, G., Nair, K. R. C., 2005. "Commercial and residential building energy labeling". *Journal of Scientific & Industrial Research* 64, 1:30-34.
- [5] Gulati, N., 2012. *Cost Effectiveness in HVAC by Building Envelope Optimization*. Nottingham: University of Nottingham.
- [6] Yik, F. W. H., Wan, K. S. Y., 2005. "An evaluation of the appropriateness of using overall thermal transfer value (OTTV) to regulate envelope energy performance of air-conditioned buildings". *Elsevier Ltd: Energy*, 30:41-71.
- [7] Sandanasamy, D., Govindarajane, S., Sundararajan, T., 2013. "Natural Lighting In Green Buildings-An Overview and A Case Study". *International Journal of Engineering Science and Technology* 5, 1:119-122.
- [8] Bojic, M., Miletic, M., Bojic, L., 2014. "Optimization of thermal insulation to achieve energy savings in low energy house (refurbishment)". *Elsevier Ltd: Energy Conversion and Management*, 84:681-690.
- [9] Santosa, Budi., Willy, Paul., 2011. *Metoda Metaheuristik, Konsep dan implementasi*. Surabaya: Penerbit Guna Widya.
- [10] Ng Ban H., Zainal Abidin., 2011. "An Overview of Malaysia Green Technology Corporation Office Building: A Showcase Energy-Efficient Building Project in

- Malaysia". *Journal of Sustainable Development* 4, 5:212-228.
- [11] Pigg, Scott, 2005. *Energy Savings from Daylighting: A Controlled Experiment*. (<http://www.ecw.org/prod/233-1.pdf>, diakses pada tanggal 24 Mei 2014).
- [12] Taylor, Alma E. F., 2000. *Illumination Fundamentals*. New York: Rensselaer Polytechnic Institute.
- [13] Venkataraman, P., 2002. *Applied optimization with MATLAB Programming*. New York: John Wiley & Sons.
- [14] Suyanto, 2005. *Algoritma Genetika dalam MATLAB*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [15] Yinurullah, S., dkk, 2013. *Project Group: Gedung Waskita Office Jakarta Timur*. Jakarta: Green Building Council Indonesia.