TUGAS AKHIR - TF 181801

OPTIMASI *WATER CONSERVATION* (WAC) MENGGUNAKAN METODE *STOCHASTIC ALGORITHM* PADA GEDUNG WASKITA KARYA JAKARTA

ALKALANTA YUSUF BIMAHARDJI
NRP. 02311640000162

Dosen Pembimbing:
Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

TUGAS AKHIR - TF 181801

OPTIMASI *WATER CONSERVATION* (WAC) MENGGUNAKAN METODE *STOCHASTIC ALGORITHM* PADA GEDUNG WASKITA KARYA JAKARTA

ALKALANTA YUSUF BIMAHARDJI
NRP. 02311640000162

Dosen Pembimbing:
Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT - **TF 181801**

OPTIMIZATION OF WATER CONSERVATION (WAC) USING THE STOCHASTIC ALGORITHM METHOD AT WASKITA KARYA JAKARTA BUILDING

ALKALANTA YUSUF BIMAHARDJI
NRP. 02311640000162

Supervisors:
Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.

Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama	: Alkalanta Yusuf Bimahardji
NRP	: 02311640000162
Departemen / Prodi	: Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas	: Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)
Perguruan Tinggi	: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "***OPTIMASI WATER CONSERVATION (WAC) MENGGUNAKAN METODE STOCHASTIC ALGORITHM PADA GEDUNG WASKITA KARYA JAKARTA***" 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 sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 10 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,

METERAI TEMPEL

6000

ENAM RIBU RUPIAH

Alkalanta Yusuf Bimahardji

NRP. 02311640000162

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

OPTIMASI *WATER CONSERVATION* (WAC) MENGGUNAKAN METODE *STOCHASTIC ALGORITHM* PADA GEDUNG WASKITA KARYA JAKARTA

oleh:

Alkalanta Yusuf Bimahardji

NRP. 02311640000162

Surabaya, 10 Agustus 2020

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I

Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19710702 199802 1 001

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FTI-ITS

Dr. Suyanto, S.T., M.T.

NIP. 19711111 331995 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI *WATER CONSERVATION* (WAC) MENGGUNAKAN METODE *STOCHASTIC ALGORITHM* PADA GEDUNG WASKITA KARYA JAKARTA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Progam Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

ALKALANTA YUSUF BIMAHARDJI

NRP. 02311640000162

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing I)
2. Hendra Cordova, S.T., M.T. (Ketua Penguji)
3. Ir. Matradji, M.Kom. (Penguji I)
4. Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T. (Penguji II)
5. Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. (Penguji III)
6. Iwan Cony Setiadi, S.T., M.T. (Penguji IV)

SURABAYA

2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMASI *WATER CONSERVATION* (WAC) MENGGUNAKAN METODE *STOCHASTIC ALGORITHM* PADA GEDUNG WASKITA KARYA JAKARTA

Nama	**:**	**Alkalanta Yusuf Bimahardji**
NRP	**:**	**02311640000162**
Departemen	**:**	**Teknik Fisika FTIRS - ITS**
Dosen Pembimbing	**:**	**Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.**

ABSTRAK

Kebutuhan pembangunan gedung bertingkat dari tahun ke tahun semakin banyak. Saat ini, pemilik bangunan gedung bertingkat masih banyak fokus dalam desain interior, eksterior dan arsitektur tanpa melihat aspek konservasi air pada bangunan tersebut. Menurut data dari *Green Building Council Indonesia* di Indonesia hanya terdapat 20 gedung yang telah tersertifikasi sebagai bangunan hijau dari lebih dari 700 gedung yang telah dibangun. Pemilik gedung sebenarnya dapat mengurangi biaya konsumsi air dan mendapatkan penghematan yang cukup besar apabila menggunakan konsep konservasi air pada konsep bangunan hijau. Konservasi air dirancang dengan menganalisa probabilitas curah hujan pada suatu daerah untuk menentukan proyeksi potensi volume yang dapat ditampung dan optimasi menggunakan metode algoritma stokastik untuk mendesain besar tangki penampungan air hujan yang optimum beserta daur ulang *grey water* yang dihasilkan. Setelah dilakukan optimasi, didapatkan hasil untuk volume tangki optimum sebesar 6,2 m^3. Dengan menggunakan tangki penampungan tersebut serta mendaur ulang *grey water*, diperlukan biaya investasi sebesar Rp. 139.982.100,00 untuk mendapatkan penghematan sebesar Rp. 347.382.568,10 dari biaya *baseline*. Didapatkan *return of investment* (ROI) maksimal sebesar 148,16% pada desain tersebut selama 10 tahun.

Kata Kunci: Algoritma Stokastik, Bangunan Hijau, Optimasi, *Return of Investment*

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMIZATION OF WATER CONSERVATION (WAC) USING THE STOCHASTIC ALGORITHM METHOD AT WASKITA KARYA JAKARTA BUILDING

Name	**:**	**Alkalanta Yusuf Bimahardji**
NRP	**:**	**02311640000162**
Department	**:**	**Engineering Physics FTIRS - ITS**
Supervisors	**:**	**Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.**

ABSTRACT

The need for building construction from year to year is increasing. Currently, the building owner still focuses a lot on interior, exterior and architectural design without looking at the water conservation aspects of the building. According to data from the Green Building Council Indonesia in Indonesia there are only 20 buildings that have been identifed as green buildings out of more than 700 buildings that have been built. Building owners can actually reduce the cost of water consumption and get substantial savings when using the concept of water conservation on the concept of green buildings. Water conservation is designed by analyzing the probability of rainfall in an area to determine the projected volume potential and optimizing it using the stochastic algorithm method to design the optimum size of the rainwater havesting tank along with the recycling of grey water produced. After optimization, the results for an optimum tank volume of 6,2 m^3 are obtained. By using the storage tank and grey water recycling, an investment cost of Rp. 139.982.100,00 to get savings of Rp. 347.382.568,10 of the baseline costs. A maximum return of investment (ROI) of 148,16% was obtained for the design for 10 years.

Keywords: Green Building, Optimization, Stochastic Algorithm, Return of Investment

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kepada Tuhan, karena rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini. Sehingga penulis mampu menyusun laporan tugas akhir yang berjudul:

"OPTIMASI *WATER CONSERVATION* (WAC) MENGGUNAKAN METODE *STOCHASTIC ALGORITHM* PADA GEDUNG WASKITA KARYA JAKARTA"

Tugas akhir merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FT-IRS ITS. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan petunjuk, ilmu, dan bimbingan selama menempuh pendidikan di Departemen Teknik Fisika.
2. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph. D. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, nasihat, ilmu, serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
3. Segenap Bapak dan Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika FT-IRS ITS.
4. Orang tua penulis yang selalu memberikan cinta dan kasih sayang baik secara moril dan materiil serta semangat yang tak ada habisnya.
5. Teman-teman angkatan 2016 dan adik-adik angkatan 2017, 2018, dan 2019.
6. Teman-teman asisten Laboraturium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol
7. Rekan-rekan seperjuangan Tugas Akhir yang telah mendukung secara mental-batin dan memberikan bantuan dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.
8. Erdiansyah Rizky P. P., Feriza Dimas A. S., Rama Sultan Y. H., Naura Nabila I. A. W. dan teman-teman di kota asal penulis yang telah mendukung, membantu, serta berdedikasi dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.
9. Teman-teman Home Story, No Choice, Pengabdi Jundul, Gerigi ITS 2017 dan 2018 yang selalu memberikan saran, semangat, dan dukungan tanpa kenal lelah.

10. Fandi Kurniawan Saputra S.T. dan Fuad Azhar Musiran yang telah selalu memberikan dukungan berupa inspirasi dan bantuan finansial kepada penulis.

Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Semoga laporan tugas akhir ini dapat dipergunakan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 10 Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL……i
COVER PAGE v
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI vii
LEMBAR PENGESAHAN ix
LEMBAR PENGESAHAN xi
ABSTRAK xiii
ABSTRACT xv
KATA PENGANTAR xvii
DAFTAR ISI xix
DAFTAR GAMBAR xxi
DAFTAR TABEL xxiii
DAFTAR NOTASI xxv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan 3
1.4 Lingkup Kajian 3
1.5 Sistematika Laporan 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI 5
2.1 Konsep Bangunan Hijau 5
2.2 *Greenship Rating Tools* 5
2.3 Konservasi Air 6
2.4 Manajemen Air 7
2.5 Pemanenan Air Hujan 10
2.6 Pola Hujan 10
2.7 Kebutuhan Air Domestik 11
2.8 Curah Hujan Rencana 12
2.9 Algoritma Genetika 16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 21
3.1 Perumusan Masalah 21
3.2 Studi Literatur 22

3.3 Pengumpulan Data 22
3.4 Perhitungan Data Curah Hujan 24
3.5 Perhitungan Kebutuhan Air Domestik 26
3.6 Optimasi Desain Tangki 28
3.7 Analisa Data dan Pembahasan 33
3.8 Penyusunan Laporan 33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 35
4.1 Perhitungan Data Curah Hujan 35
4.2 Perhitungan Curah Hujan Rencana 35
4.3 Perhitungan Kebutuhan Air Domestik 40
4.4 Perhitungan Sumber Air Alternatif 41
4.5 Simulasi dan Perhitungan Biaya 43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 51
5.1 Kesimpulan 51
5.2 Saran 51
DAFTAR PUSTAKA 53
LAMPIRAN 55
BIODATA PENULIS 73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram konservasi air 7
Gambar 2.2 Pola hujan di Indonesia 11
Gambar 2.3 Representasi gen pada kromosom 17
Gambar 2.4 Roda lotere 18
Gambar 2.5 Ilustrasi *crossover* 19
Gambar 2.6 Ilustrasi proses mutasi 20
Gambar 3.1 *Flowchart* penelitian 21
Gambar 3.2 Diagram *input-output* penelitian 29
Gambar 3.3 Diagram alir algoritma genetika 31
Gambar 4.1 Rata-rata curah hujan DKI Jakarta selama tahun 2009-2018 35
Gambar 4.2 Grafik hasil optimasi ROI menggunakan algoritma genetika 42
Gambar 4.3 Grafik perbandingan biaya konsumsi air *baseline* dan desain 1 44
Gambar 4.4 Grafik perbandingan penghematan desain 1 per tahun 45
Gambar 4.5 Grafik perbandingan biaya konsumsi air *baseline* dan desain 2 48
Gambar 4.6 Grafik perbandingan penghematan desain 2 per tahun 48

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik *Grey Water* 8
Tabel 2.2 Karakteristik *Black Water* 9
Tabel 2.3 Syarat-syarat Penentuan Sebaran Distribusi..... 13
Tabel 3.1 Data Curah Hujan Tahun 2009-2011 22
Tabel 3.2 Data curah hujan tahun 2012-2014 23
Tabel 3.3 Data Curah Hujan Tahun 2015-2017 23
Tabel 3.4 Data Curah Hujan Tahun 2018..... 24
Tabel 4.1 Perhitungan Statistik Curah Hujan Tahunan 36
Tabel 4.2 Perhitungan Parameter Statistik Distribusi Curah Hujan 36
Tabel 4.3 Perhitungan Statistik (Logaritma) Curah Hujan Tahunan..... 37
Tabel 4.4 Perhitungan Parameter Statistik Logaritma Distribusi Curah Hujan ... 37
Tabel 4.5 Hasil Uji Distribusi Statistik..... 38
Tabel 4.6 Parameter Perhitungan *Chi-square* 38
Tabel 4.7 Perhitungan *Chi-square*..... 39
Tabel 4.8 Uji Smirnov-Kolmogorov 39
Tabel 4.9 Curah Hujan Rencana Periode Ulang T Tahun 40
Tabel 4.10 Proyeksi Konsumsi *Grey Water* 41
Tabel 4.11 Proyeksi Konsumsi *Black Water* 41
Tabel 4.12 Parameter Optimasi 42
Tabel 4.13 Simulasi Volume dan Biaya *Supply* PAM JAYA pada Desain 1 43
Tabel 4.14 Estimasi Biaya Peralatan Desain 1 46
Tabel 4.15 Simulasi Volume dan Biaya *Supply* PAM JAYA pada Desain 2 47
Tabel 4.16 Estimasi Biaya Peralatan Desain 2 49

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

Variabel	Satuan	Deskripsi
S		Simpangan baku
X_i		Nilai varian ke i
$\bar{X}$		Nilai rata-rata varian
C_S		*Coefficient of Skewness*
C_K		*Coefficient of Kurtosis*
X_h^2		*Chi-square* terhitung
G		Jumlah sub kelompok
O_i		Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok i
E_i		Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i
DK		Derajat kebebasan
X_t	mm	Curah hujan rencana
K_T		Faktor frekuensi (nilai variabel reduksi Gauss)
K	tahun	Koefisien periode ulang
Y_T		*Reduced variable*
Y_n		*Reduced mean*
S_n		*Reduced standard deviation*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi sumber daya air sebesar 3,9 triliun m^3/tahun dan dapat dimanfaatkan sebesar 691,3 miliar m^3/tahun. Saat ini, potensi tersebut sudah dimanfaatkan sebesar 175,1 miliar m^3/tahun (25,3%) dan yang belum dimanfaatkan sebesar 516,2 miliar m^3/tahun (74,7%). Maka, dapat diartikan bahwa masih banyak potensi sumber daya air yang belum termanfaatkan. Pada sisi lain, air bisa menjadi sumber ancaman yang serius bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Sumber daya air tawar semakin tercemar secara global dan terus mengancam pembangunan berkelanjutan. (Furumai, 2008) Kelangkaan serta kerusakan kualitas air yang terjadi akibat degradasi lingkungan hidup telah menjadi penyebab munculnya berbagai bencana, seperti krisis pangan, mewabahnya aneka macam penyakit, banjir, dan sebagainya. Kekurangan air menjadi masalah terbesar di dunia hari ini. Seiring dengan jumlah penduduk Indonesia yang mencapai lebih dari 250 juta orang, kebutuhan air bersih menjadi semakin mendesak. Kecenderungan konsumsi air diperkirakan terus meningkat hingga 20%-35% per kapita per tahun, sedangkan ketersediaan air bersih cenderung berkurang akibat kerusakan alam dan pencemaran.

Kebutuhan pembangunan bertingkat dari tahun ke tahun semakin banyak. Perkembangan dalam bidang konstruksi bangunan semakin berkembang baik dari segi desain interior, eksterior serta kualitas bangunan tersebut, namun masih banyak pembangunan gedung bertingkat yang masih belum mengabaikan aspek konservasi air pada bangunan tersebut. Menurut data dari *Green Building Council Indonesia*, di Indonesia hanya terdapat 20 gedung yang telah tersertifikasi sebagai bangunan hijau dari lebih dari 700 gedung yang telah dibangun. Saat ini, perkembangan konstruksi bangunan di luar negara Indonesia mulai mengarah pada konsep bangunan hijau atau yang dikenal sebagai *green building*. Meskipun adanya biaya investasi yang relatif mahal untuk menjadikan bangunan tersebut *green building*, pemilik gedung mampu mengurangi biaya konsumsi air dan mendapatkan

mendapat penghematan yang cukup besar dengan menggunakan konsep konservasi air pada konsep bangunan hijau.

Green building hadir dengan memulai penghematan pada segala aspek pada bangunan, dengan melakukan investasi pada pergantian peralatan sesuai standar yang telah ditetapkan untuk mencapai konsep *green building* tersebut. Studi terbaru telah mendokumentasikan biaya dan manfaat bangunan hijau di sektor komersial dan kelembagaan, melaporkan bahwa bangunan hijau memiliki premi biaya awal yang sederhana, tetapi manfaat jangka panjangnya jauh melebihi biaya modal tambahan dan akan menghemat pengeluaran untuk biaya operasional selanjutnya (Bradshaw, 2005). *Water conservation* merupakan bagian yang tak terpisahkan dari *green building*, dengan mengelola air yang digunakan dapat melakukan penghematan energi air sebagai sumber kehidupan manusia. Salah satu strategi konservasi air dalam konsep bangunan hijau adalah melakukan pemanenan air hujan atau yang disebut *rainwater harvesting*. Pemanenan air hujan dapat dilakukan dengan menangkap air hujan yang berasal dari permukaan atas atap (Asdak, 2002). Pemanenan air hujan ini memerlukan peralatan yang berupa tangki yang harus menyesuaikan perhitungan air hujan yang dapat ditampung pada suatu wilayah tertentu dengan memperhatikan nilai curah hujan daerah tersebut (Kharisma, 2016). Namun dikarenakan nilai curah hujan adalah proses stokastik, sehingga untuk keperluan analisa dan menjelaskan proses stokastik tersebut digunakan teori probabilitas dan analisa frekuensi (Upomo, 2016). Analisa tersebut berguna untuk mendapatkan nilai proyeksi potensi volume air hujan yang dapat ditampung oeh tangka penampungan air hujan tersebut.

Namun, kurangnya penelitian terkait perhitungan biaya dan manfaat bangunan hijau ini menurunkan kemampuan untuk menentukan nilai investasi pada bangunan hijau (Geertman, 2014). Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan optimasi terhadap penentuan desain tangki penyimpanan air hujan. Dikarenakan variabel yang dioptimasi adalah volume tangki yang diperlukan yang termasuk dalam permasalahan *mixed integer linier programming*, permasalahan seperti ini sulit untuk menghasilkan solusi global optimum. Sehingga diperlukan suatu metode untuk menghasilkan solusi global optimum dengan menggunakan metode algoritma stokastik. Algoritma stokastik yang digunakan pada penelitian ini adalah algoritma

genetika. Pada dasarnya algoritma genetika merupakan tipe algoritma evolusi yang paling popular dan dapat menyelesaikan berbagai permasalahan kompleks dalam segala bidang (Santosa, 2011). Dengan metode algoritma genetika diharapkan akan didapatkan nilai desain volume tangki optimum sehingga dapat diberikan rekomendasi desain yang terbaik untuk menyelesaikan permasalahan pada gedung.

1.2 Rumusan Masalah

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

a) Bagaimana memodelkan pemanfaatan air hujan pada gedung secara optimum menggunakan metode *stochastic algorithm*?
b) Bagaimana menganalisa hasil dari manajemen air terhadap biaya investasi?

1.3 Tujuan

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

a) Untuk memodelkan pemanfaatan air hujan pada gedung secara optimum menggunakan metode *stochastic algorithm*.
b) Untuk menganalisa hasil dari manajemen air terhadap biaya investasi.

1.4 Lingkup Kajian

Lingkup kajian yang ditinjau pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a) Penelitian dilakukan hanya pada Gedung Waskita Karya Jakarta
b) Pengambilan data curah hujan hanya pada wilayah Jakarta

1.5 Sistematika Laporan

Adapun sistematika laporan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Menjelaskan mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, lingkup kajian, dan sistematika laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Menjelaskan mengenai konsep *green building*, *water conservation*, pemanenan air hujan dan algoritma stokastik.

BAB III Metodologi Penelitian

Menjelaskan mengenai metode penelitian, parameter penelitan, rincian kerja prosedur penelitian.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Menjelaskan mengenai analisa dari data yang didapatkan dari hasil pengujian.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Menjelaskan mengenai kesimpulan akhir penelitian dan saran yang direkomendasikan untuk perbaikan proses pengujian selanjutnya.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Konsep Bangunan Hijau

Bangunan hijau dirancang untuk mengurangi dampaknya terhadap perubahan iklim dan melestarikan sumber daya alam melalui berbagai tahap desain, konstruksi, operasi, dan pemeliharaan, renovasi, dan dekonstruksi. Bangunan hijau adalah sebuah konsep yang menjanjikan untuk pengurangan konsumsi energi, pelestarian lingkungan, pemanfaatan bahan bangunan dari sumber daya ekonomi, dan penyetaraan sosial di antara penghuninya. Bangunan hijau memberikan manfaat yang menguntungkan bagi semua pemangku kepentingan dalam hal layanan yang efisien untuk kualitas hidup dan kehidupan yang lebih baik untuk generasi mendatang. Selain itu, bangunan hijau memiliki potensi besar dalam memainkan peran mereka untuk mendiversifikasi lingkungan binaan proyek di berbagai sudut pembangunan sosial, ekonomi, dan lingkungan. (Geertman, 2014)

2.2 *Greenship Rating Tools*

Greenship rating tools adalah suatu standard penilaian berisi butir-butir yang mempunyai nilai (*credit point*/poin nilai). Apabila suatu bangunan telah berhasil memenuhi butir-butir maka bangunan tersebut akan mendapat poin nilai dari butir tersebut dan apabia semua poin nilai yang berhasil di kumpulkan mencapai suatu jumlah tertentu, maka bangunan tersebut dapat disertifikasi untuk tingkatan sertifikasi tertentu. Namun sebelum mencapai tahap penilaian rating terlebih dahulu dilakukan pengkajian bangunan untuk pemenuhan persyaratan awal penilaian (eligibilitas). Adapun terdapat 6 (enam) aspek yang disusun oleh *Green Building Council* untuk *greenship rating* antara lain (Divisi Rating dan Teknologi, 2013) :

a. Tepat guna lahan (*Appropriate site development*)
b. Efisiensi dan konservasi energi (*Energy efficiency and conservation*)
c. Konservasi air (*Water conservation*)
d. Sumber dan siklus material (*Material resources and cycle*)
e. Kesehatan dan kenyamanan dalam ruang (*Indoor health and comfort*)

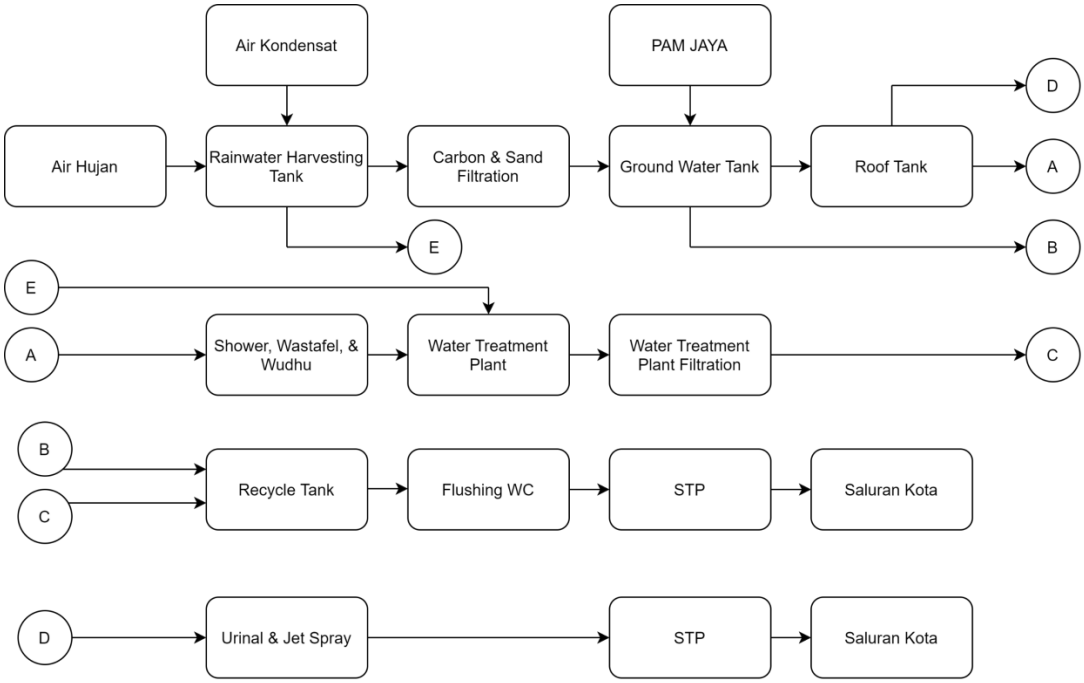
f. Manajemen lingkungan bangunan (*Building environment management*)

2.3 Konservasi Air

Permintaan air diproyeksikan akan semakin naik seiring waktu, sementara air bersih yang layak digunakan mendapat tantangan terkait ketersediannya. Pemanfaatan air harus dilakukan secara bijak salah satunya dengan cara melakukan konservasi air. Pada *greenship rating* aspek konservasi air (*water conservation*) memiliki bobot nilai sebesar 20,8% kedua tertinggi setelah aspek efisiensi dan konservasi energi (*energy efficiency and conservation*) (Divisi Rating dan Teknologi, 2013). Adapun tolok ukur dari konservasi air yang mengacu pada penilaian dengan standar yang telah ditetapkan oleh *Green Building Council Indonesia* adalah sebagai berikut:

a. Melakukan pemasangan alat meteran air yang ditempatkan di lokasi-lokasi tertentu pada sistem distribusi air.
b. Menggunakan seluruh bekas pakai (*grey water*) yang telah didaur ulang untuk kebutuhan sistem *flushing* atau *cooling tower*.
c. Menggunakan salah satu atau lebih dari tiga alternatif sebagai berikut: air kondensasi AC, air bekas wudhu, atau air hujan.
d. Menyediakan instalasi tangki penampungan air hujan.

Efisiensi air adalah rencana pengelolaan air untuk mencegah pemborosan, penggunaan berlebihan, dan eksploitasi sumber daya. Perencanaan efisiensi air yang efektif berupaya, melakukan lebih banyak dengan lebih sedikit, tanpa mengorbankan kinerja lingkungan. Bangunan hijau menghemat air di dalam dan di luar. Lansekap dapat mengurangi penggunaan air di luar ruangan dan mengurangi penggunaan energi di rumah (Zigenfus, 2008). Berikut adalah gambar 2.1 diagram konservasi air yang dapat dipasang untuk menghemat konsumsi air:



Gambar 2.1 Diagram konservasi air

2.4 Manajemen Air

Manajemen air pada konsep bangunan hijau meliputi pemanfaatan penggunaan 3 (tiga) jenis air untuk mengurangi pemakaian pasokan air dari perusahaan penyedia air. Adapun tiga jenis air limbah yang dapat dimanfaatkan adalah sebagai berikut:

a. Grey Water

Grey water adalah air yang mencakup semua limbah yang dihasilkan di rumah, kecuali air toilet, karena air toilet dianggap sebagai *black water* (Brain, 2015). *Grey water* berasal dari bekas air mandi dari *bathup*, *shower* atau bak mandi, air bekas mencuci pakaian baik dari mesin cuci atau ember-ember cucian, dan air bekas aktifitas dapur rumah tangga, gedung-gedung perkantoran maupun sekolah. (Eriksson, 2002). Adapun karakteristik pada *grey water* adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Karakteristik *Grey Water*

Parameter	Satuan	Nilai Minimum	Nilai Maksimum
pH	-	5	10
EC	µS/cm	82	627
Turbidity	NTU	5	462
SS	mg/L	7	361
COD	mg/L	39	1815
BOD	mg/L	26	670
Anionic surfactants	mg/L	0.3	16
TN	mg/L	0.6	40
TP	mg/L	0.1	101
Escherichia coli	NPP/100ml	0	$2x10^6$
Total coliforms	UFC/ml	$3x10^2$	$2x10^7$
Mesophilic flora (37°)	UFC/ml	$5x10^6$	$5x10^9$

b. Black Water

Black water adalah air yang dihasilkan dari aktifitas sehari-hari seperti *flushing toilets* dan *urinals*. *Black water* dikategorikan sebagai air limbah yang dihasilkan baik dari limbah rumah tangga maupun dari aktifitas mandi cuci kakus pada sebuah gedung. Dalam skema konservasi air, konsumsi kebutuhan untuk *black water* bisa direduksi dengan cara mengolah air hasil dari konsumsi seperti *wastafel*, wudhu, dan shower untuk dimanfaatkan sebagai *supply* dari kebutuhan *black water*. Adapun karakteristik pada *black water* adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Karakteristik *Black Water*

Parameter	Satuan	Nilai Minimum	Nilai Maksimum
pH	-	7,16	8,1
Temperatur	^{o}C	10	35
Turbidity	NTU	80	205
TSS	mg/L	212	486
TDS	mg/L	716	983
COD	mg/L	835	1680
BOD	mg/L	420	1420
Oil and Grease	mg/L	51,5	75,3
TKN	mg/L	117	178
Ammonia	mg/L	3.7	9.3
Nitrates (NO_3)	mg/L	0,1	0,22
Nitrites (NO_2)	mg/L	0,01	0,06
Organic Nitrogen	mg/L	109,30	171,48
Total Nitrogen	mg/L	117,2	178,4
Total Phosphorus	mg/L	17,9	35,4
Fecal coliform	MPN/100mL	$2,1x10^9$	$1,7x10^{10}$

c. Air Kondensat

Air Kondensat digunakan untuk membuat kenyamanan suhu ruangan maupun pengawetan bahan makanan. Hasil dari penggunaannya menghasilkan kondensat berupa air. Air kondensat pada dasarnya memiliki kandungan mineral yang rendah, akan tetapi dimungkinkan memiliki kandungan bakteri.

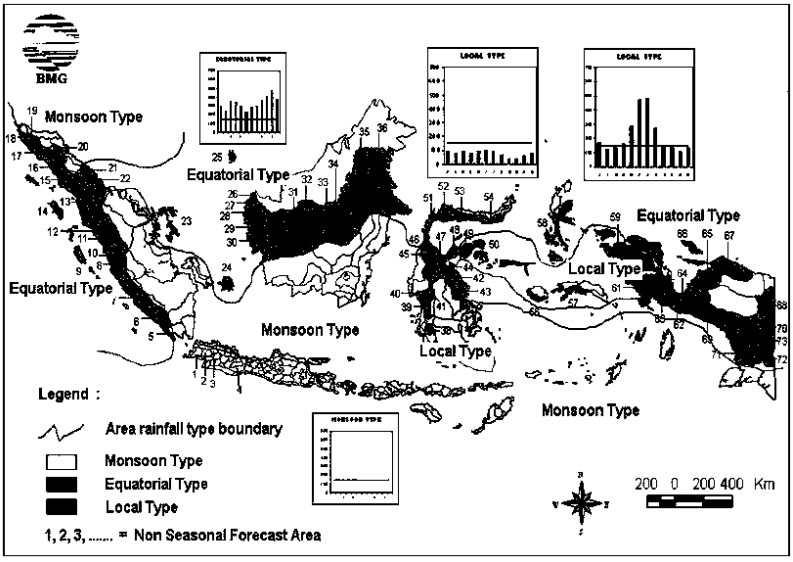
Umumnya air hasil kondensat dibuah begitu saja ke saluran irigasi, potensi tersebut dapat dilakukan *treatment* terlebih dahulu seperti menggunakan sinar UV, tablet klorin, injeksi ozon, atau dengan pemanasan hingga 140°F. Air kondensat yang berkualitas tinggi dengan kandungan mineral dan kimia rendah memiliki potensi lain seperti *flushing toilet*, *urinals*, dan sebagainya.

2.5 Pemanenan Air Hujan

Penggunaan pemanenan air hujan domestik dan sistem konservasi perawatan dapat mengurangi kebutuhan pasokan air. Sebagai contoh, sistem ini sudah mulai diterapkan sebagai bagian dari solusi untuk mengatasi kekurangan air di Irlandia. (Li, 2010). Air hujan merupakan sumber air yang berkualitas tinggi dimana tersedia setiap musim hujan dan berpotensi untuk mengurangi tekanan terhadap pemakaian sumber air bersih (*fresh water sources*). Penampungan air hujan yang berasal dari atap rumah biasanya merupakan alternatif air terbersih yang dapat digunakan sebagai sumber air bersih dan hanya membutuhkan pengolahan yang sederhana sebelum air digunakan. (Beza, 2016). Air hujan yang dipanen dari atap mengalami beberapa perawatan kecil sebelum digunakan dan menjadi sumber daya air alternatif terbersih dengan berbagai kegunaan. Air hujan yang dikumpulkan dari bangunan dengan luas atap yang cukup dan mengalami pengolahan air kecil adalah salah satu strategi konservasi air yang paling penting dalam bangunan (Sahin & Manioglu, 2018). Pemanenan air hujan didefinisikan sebagai suatu cara pengumpulan atau penampungan air hujan atau aliran permukaan pada saat curah hujan tinggi untuk selanjutnya digunakan pada waktu air hujan rendah. Dilihat dari ruang lingkup implementasinya, teknik ini dapat digolongkan dalam 2 (dua) kategori, yaitu teknik pemanenan air hujan dengan atap bangunan dan teknik pemanenan air hujan dengan bangunan *reservoir*.

2.6 Pola Hujan

Indonesia secara umum dapat dibagi menjadi 3 pola iklim utama dengan melihat pola curah hujan selama setahun. Adapun pola hujan tersebut adalah pola hujan monsoonal, pola hujan ekuatorial, dan pola hujan lokal. (Tjasyono, 2004).



Gambar 2.2 Pola hujan di Indonesia

Pola hujan monsoonal dicirikan oleh tipe curah hujan yang bersifat unimodial (satu puncak musim) dimana pada bulan Juni, Juli, dan Agustus terjadi musim kering, sedangkan untuk bulan Desember, Januari dan Februari merupakan bulan basah. Sedangkan enam bulan sisanya merupakan periode peralihan atau pancaroba (tiga bulan peralihan musim kemarau ke musim hujan dan tiga bulan peralihan musim hujan ke musim kemarau). Daerah yang didominasi oleh pola hujan monsoonal ini berada di daerah Sumatera bagian Selatan, Kalimantan Tengah dan Selatan, Jawa, Bali, Nusa Tenggara dan sebagian Papua.

Pola ekuatorial dicirikan oleh tipe curah hujan dengan bentuk bimodial (dua puncak hujan) yang biasanya terjadi sekitar bulan Maret dan Oktober atau pada saat terjadi ekinoks. Daerahnya meliputi pulau Sumatera bagian tengah dan Utara serta pulau Kalimantan bagian Utara.

Pola hujan local dicirikan oleh bentuk pola hujan unimodial (satu puncak hujan), tetapi bentuknya berlawanan dengan tipe hujan monsoonal. Daerahnya hanya meliputi daerah Maluku, Sulawesi dan Sebagian Papua.

2.7 Kebutuhan Air Domestik

Kebutuhan air domestik gedung merupakan kebutuhan air secara total yang dipakai setiap hari dan menghasilkan *grey water* dan *black water*. *Grey water* terdiri dari hasil penggunaan wastafel, shower dan berbagai penggunaan kebutuhannya

lainnya yang telah terkontaminasi. Sedangkan kandungan *black water* terdapat bahan organik yang dihasilkan dari toilet dan urinal.

2.8 Curah Hujan Rencana

Perencanaan konservasi air memerlukan analisis curah hujan rencana yang digunakan untuk menentukan berapa banyak volume potensi proyeksi hujan yang dapat ditampung pada suatu daerah. Analisis curah hujan memerlukan data curah hujan selama 10 tahun pengamatan pada suatu daerah dan dikarenakan kejadian hujan merupakan proses stokastik, sehingga untuk keperluan analisis dan menjelaskan proses stokastik tersebut digunakan teori probabilitas dan analisa frekuensi. Adapun analisa curah hujan rencana meliputi:

2.8.1 Frekuensi Curah Hujan

Analisa frekuensi curah hujan memerlukan nilai simpangan baku (standar deviasi), Koefisien Kemencengan (*Coefficient of Skewness*), dan Koefisien Kurtosis (*Coefficient of Kurtosis*).

a. Simpangan baku adalah besar perbedaan dari nilai sampel terhadap nilai rata-rata. Adapun simpangan baku diformulasikan melalui persamaan (2.1) berikut:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \tag{2.1}$$

dengan:

S = simpangan baku

X_i = nilai varian ke i

$\bar{X}$ = nilai rata-rata varian

n = jumlah data

b. Koefisien kemencengan adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi, selanjutnya koefisien kemencengan diformulasikan sebagaimana persamaan (2.2) berikut:

$$C_S = \frac{n\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \tag{2.2}$$

dengan:

C_S = *coefficient of Skewness*

X_i = nilai varian ke i

$\bar{X}$ = nilai rata-rata varian

n = jumlah data

S = simpangan Baku

c. Koefisien Kurtosis adalah pengukuran yang dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal, selanjutnya Koefisien Kurtosis diformulasikan sebagaimana persamaan (2.3) berikut:

$$C_K = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^4}{S^4} \tag{2.3}$$

dengan:

C_K = *coefficient of Kurtosis*

X_i = nilai varian ke i

$\bar{X}$ = nilai rata-rata varian

n = jumlah data

S = simpangan Baku

Berikut ini adalah tabel 2.1 syarat-syarat penentuan sebaran distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson III:

Tabel 2.3 Syarat-syarat Penentuan Sebaran Distribusi

No.	Jenis Distribusi	Syarat
1	Normal	$C_S \approx 0$ dan $C_K = 3$
2	Log Normal	$C_S \approx 3C_V + C_V^2 = 3$ dan $C_K = 5{,}383$
3	Gumbel	$C_S \leq 1{,}1396$ dan $C_K \leq 5{,}4002$
4	Log Pearson III	$C_S \neq 0$

2.8.2 Pengujian Kecocokan Sebaran

Analisa pengujian kecocokan sebaran dilakukan untuk menguji kecocokan (*the goodness of fittest test*) distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi

distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut. Pengujian parameter yang umumnya dipakai adalah pengujian *chi-square* dan Smirnov-Kolmogorov.

a. Pengujian *chi-square* dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang akan dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Analisa dapat diterima jika nilai *chi-square* terhitung kurang dari *chi-square* kritis. Adapun persamaan (2.4) untuk pengujian *chi-square* adalah sebagai berikut:

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^{G} \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i} \tag{2.4}$$

Sedangkan untuk mencari nilai G dapat menggunakan persamaan (2.5) sebagai berikut:

$$G = 1 + 3{,}322 \log n \tag{2.5}$$

Adapun untuk mencari nilai derajat kebebasan dapat menggunakan persamaan (2.6) sebagai berikut:

$$DK = G - (P + 1) \tag{2.6}$$

Selanjutnya untuk mencari nilai teoritis dapat digunakan persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$E_i = \frac{n}{G} \tag{2.7}$$

Adapun persamaan (2.8), (2.9), dan (2.10) digunakan untuk mencari interval kelas adalah sebagai berikut:

$$\Delta X = \frac{X_{max} - X_{min}}{G - 1} \tag{2.8}$$

$$X_{awal} = X_{min} - 0{,}5\Delta X \tag{2.9}$$

$$X_{akhir} = X_{max} + 0{,}5\Delta X \tag{2.10}$$

dengan:

X_h^2 = parameter *chi-square* terhitung

G = jumlah sub kelompok

O_i = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok i

E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i

b. Uji kecocokan Smirnov-Kolgomorov sering disebut juga uji kecocokan non parametrik, dikarenakan pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Adapun persamaan dari uji kecocokan Smirnov-Kolgomorov adalah sebagai berikut:

$$D = (P(Xn) - P'(Xn)) \quad (2.11)$$

2.8.3 Distribusi Curah Hujan Rencana

Distribusi curah hujan rencana dilakukan dengan menggunakan data curah hujan dengan periode ulang tertentu yang dihitung dengan 4 metode distribusi frekuensi yaitu distribusi Normal, Log Normal, distribusi Log Pearson III, dan distribusi Gumbel.

a. Distribusi Normal merupakan salah satu jenis distribusi dengan variabel acak yang kontinu. Adapun persamaan (2.12) untuk mencari nilai distribusi normal adalah sebagai berikut:

$$X_t = \bar{X} + K_T\, S \quad (2.12)$$

dengan:

X_t = curah hujan rencana (mm/hari)

$\bar{X}$ = curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

K_T = faktor frekuensi (nilai variabel reduksi Gauss)

S = simpangan baku

b. Distribusi Log Normal merupakan distribusi probabilitas kontinu dari variabel acak yang logaritma terdistribusi normal. Adapun persamaan (2.13) untuk mencari nilai distribusi Log Normal adalah sebagai beriikut:

$$X_t = 10^{\overline{logX} + K_T\, S} \quad (2.13)$$

dengan:

X_t = curah hujan rencana (mm/hari)

$\bar{X}$ = curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

K_T = faktor frekuensi (nilai variabel reduksi Gauss)

S = simpangan baku

c. Distribusi Log Pearson III merupakan distribusi yang digunakan untuk analisis variabel hidrologi dengan nilai varian minimum misalnya analisis

frekuensi distribusi dari debit minimum (*low flows*). Adapun persamaan (2.14) untuk mencari nilai distribusi Log Pearson III adalah sebagai berikut:

$$X_t = 10^{\overline{logX} + K\,S} \tag{2.14}$$

dengan:

X_t = curah hujan rencana (mm/hari)

$\bar{X}$ = curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

K = koefisien periode ulang (tahun)

S = simpangan baku

d. Distribusi Gumbel (distribusi nilai ekstrim eksternal tipe-I) dalam teori probabilitas dan statistik digunakan untuk memodelkan distribusi maksimum (atau minimum) dari sejumlah sampel dari berbagai distribusi. Adapun persamaan (2.15) dan (2.16) untuk mencari nilai distribusi Gumbel adalah sebagai berikut:

$$X_t = \bar{X} + \frac{(Y_T - Y_n)}{S_n} S \tag{2.15}$$

$$Y_T = -ln\,\frac{T-1}{T} \tag{2.16}$$

dengan:

X_t = curah hujan rencana dalam periode ulang T tahun(mm/hari)

$\bar{X}$ = curah hujan rata-rata (mm/hari)

Y_T = *reduced variable*, parameter Gumbel untuk periode T tahun

Y_n = *reduced mean*, fungsi dari banyak data n

S_n = *reduced standard deviation*

S = simpangan baku

2.9 Algoritma Genetika

Optimisasi adalah proses membuat sesuatu menjadi lebih baik. Dalam ilmu rekayasa, algoritma optimisasi telah banyak dilakukan pengembangan dan digunakan dengan baik dalam segala hal untuk waktu yang lama. Banyak masalah optimasi dari dunia teknik, industri, sistem manufaktur bersifat sangat kompleks dan sulit bila dipecahkan dengan teknik optimisasi konvensional. Algoritma

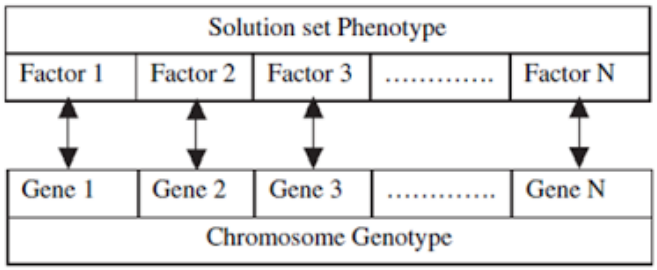
genetika adalah salah satu algoritma optimisasi yang diciptakan untuk meniru beberapa proses yang diamati di evolusi alami (Guo, 2010). Pada teori evolusi terdapat individu dalam suatu populasi, yang mana terdapat orang tua (*parent*) yang beregenerasi menghasilkan anak (*offspring*). Setiap generasi individu yang dapat menyesuaikan akan dapat bertahan dalam proses seleksi. Adapun langkah-langkah pada metode algoritma genetika adalah sebagai berikut:

2.9.1 Inisialisasi Populasi

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

2.9.2 Pengkodean Kromosom

Dalam algoritma genetika, kromosom merupakan bagian penting dalam algoritma. Kromosom pada algoritma genetika 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 2.3 Representasi gen pada kromosom

Pada gambar 2.3 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.

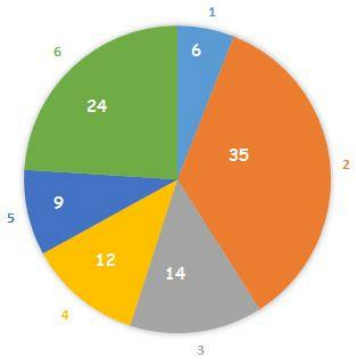
2.9.3 *Fitness*

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 $F(x) = f(x)$.

2.9.4 Seleksi

Setelah setiap solusi dievaluasi terhadap fungsi fitness, maka perlu dilakukan proses seleksi terhadap kromosom. Seleksi pada algoritma genetika bertujuan untuk memberikan kesempatan 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 2.4 berikut ini.



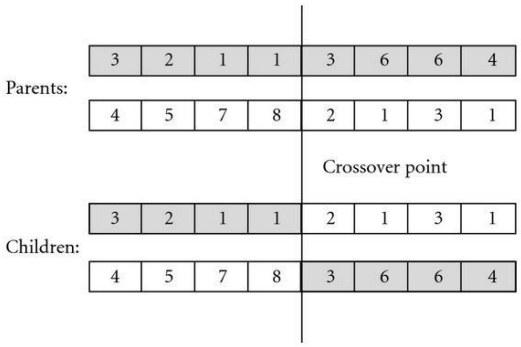
Gambar 2.4 Roda lotere

Gambar 2.4 menunjukkan 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.

2.9.5 *Crossover* (Kawin Silang)

Kekuatan dari algoritma genetika 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 2.5 Ilustrasi *crossover*

Pada gambar 2.5 terlihat bahwa dalam satu kromosom, setengah dari jumlah gen pada setiap kromosom akan dikawin silangkan untuk menghasilkan generasi atau anak yang baru. Pada Gambar 2.5 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. 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.

2.9.6 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..

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

Gambar 2.6 Ilustrasi proses mutasi

Pada gambar 2.6, 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*.

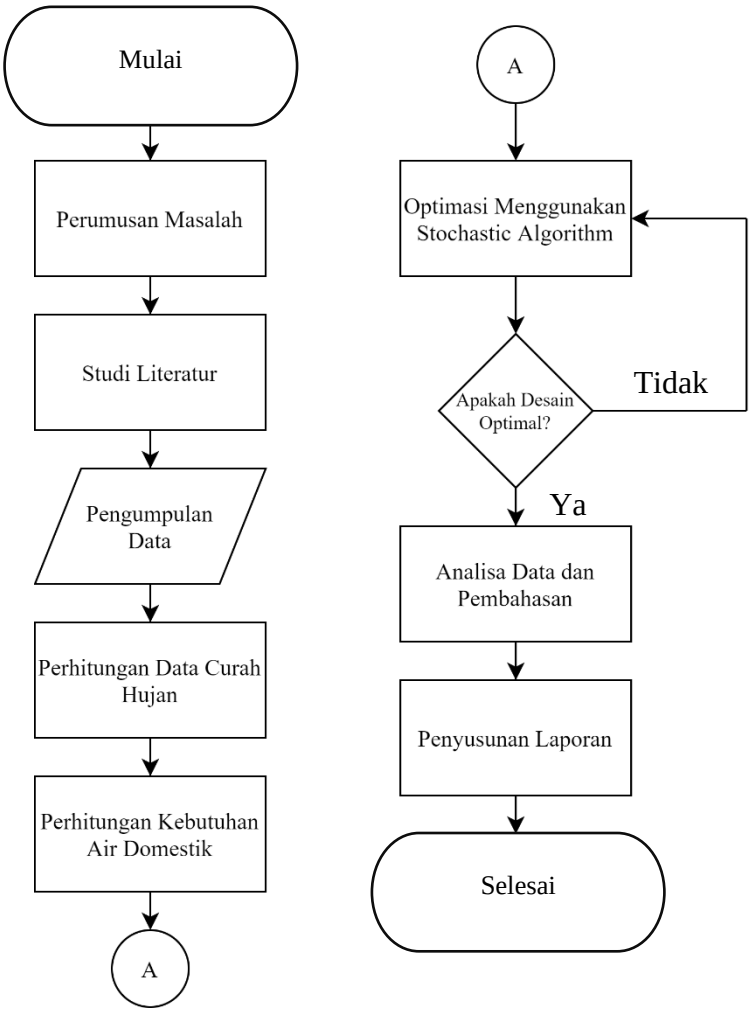
2.9.7 Elitisme

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.

2.9.8 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 (Suyanto, 2005).

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1 *Flowchart* penelitian

3.1 Perumusan Masalah

Perumusan Masalah merupakan suatu kegiatan untuk mengobservasi masalah dan potensi yang ada pada suatu objek. Pada objek yang dipilih yaitu Gedung Waskita Karya Jakarta terdapat permasalahan dalam penggunaan air yang seharusnya bisa dilakukan efisiensi menggunakan konsep bangunan hijau pada aspek perhitungan *water conservation*, mengacu pada standar penilaian *Green Building Council Indonesia* yaitu *greenship rating tools*.

3.2 Studi Literatur

Sebelum dilakukan sebuah penelitian perlu dilakukan pencarian informasi dan fakta-fakta terkait yang menunjang bahwa sebuah penelitian dapat dilakukan. Studi literature yang dilakukan pada penelitian "Optimasi *Water Conservation* (WAC) Menggunakan Metode *Stochastic Algorithm* pada Gedung Waskita Karya Jakarta" berupa jurnal, buku, dan informasi lainnya mengenai penelitian serupa.

3.3 Pengumpulan Data

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data pada Gedung Waskita Karya Jakarta berupa data *baseline* seluruh konsumsi air pada gedung tersebut dan data curah hujan DKI Jakarta melalui *website* BMKG. Untuk data *baseline* konsumsi air pada objek yang diambil mulai dari penggunaan air untuk kebutuhan *wastafel*, wudhu, *shower*, *flushing toilets*, dan *urinoar*. Adapun data curah hujan tahun 2009-2011 dilampirkan pada tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1 Data Curah Hujan Tahun 2009-2011

Bulan	2009		2010		2011	
	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan
Januari	24.9	22	17.14	22	6.93	21
Februari	11.39	21	11.75	19	12.82	18
Maret	14.14	10	20.21	12	8.69	17
April	11.59	8	3.81	7	8.22	13
Mei	17.18	13	5.85	15	18.08	11
Juni	18.60	4	8.92	15	8.81	8
Juli	3.47	3	16.64	15	3.62	5
Agustus	3.25	2	13.69	11	1.50	1
September	29.43	3	16.01	16	26.30	2
Oktober	12.66	5	22.41	17	8.90	9
November	18.98	16	10.20	14	3.43	13
Desember	11.82	16	6.20	20	12.64	14

Adapun data curah hujan selama tahun 2012-2014 dilampirkan pada tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Data curah hujan tahun 2012-2014

Bulan	2012		2013		2014	
	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan
Januari	11.27	23	28.66	21	35.60	26
Februari	7.37	15	8.14	18	35.41	21
Maret	11.09	16	13.17	14	10.58	17
April	15.05	13	12.77	16	13.79	12
Mei	11.27	7	11.22	9	4.73	11
Juni	16.73	4	15.10	17	15.16	11
Juli	21.00	1	15.22	16	17.84	12
Agustus	0	0	7.68	8	12.70	3
September	9.75	2	9.90	5	0.10	1
Oktober	3.37	6	13.76	8	12.70	4
November	17.48	18	16.38	12	6.51	10
Desember	13.18	17	14.73	23	18.12	13

Adapun data curah hujan selama tahun 2015-2017 dilampirkan pada tabel 3.3 sebagai berikut:

Tabel 3.3 Data Curah Hujan Tahun 2015-2017

Bulan	2015		2016		2017	
	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan
Januari	23.63	20	10.24	16	14.19	17
Februari	42.70	22	23.48	22	22.64	23
Maret	12.18	17	17.51	20	9.25	15
April	4.61	18	22.67	9	11.18	14
Mei	16.60	1	9.77	16	15.00	9

Tabel 3.3 Lanjutan

Bulan	2015		2016		2017	
	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan
Juni	2.53	4	18.37	11	17.31	8
Juli	0	0	22.85	11	23.98	5
Agustus	5.20	1	16.23	14	0.80	1
September	0	0	19.28	12	23.69	7
Oktober	0	0	6.84	20	13.30	8
November	9.94	8	12.49	16	13.96	14
Desember	16.07	17	4.84	12	25.41	10

Adapun data curah hujan selama tahun 2018 dilampirkan pada tabel 3.4 sebagai berikut:

Tabel 3.4 Data Curah Hujan Tahun 2018

Bulan	2018		Bulan	2018	
	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan		Curah Hujan (mm)	Hari Hujan
Januari	11.97	18	Juli	14.50	1
Februari	18.75	23	Agustus	32.80	1
Maret	10.63	19	September	21.60	3
April	11.36	13	Oktober	22.80	7
Mei	3.30	5	November	14.09	10
Juni	2.50	5	Desember	5.81	9

3.4 Perhitungan Data Curah Hujan

Pada tahap ini, dilakukan perhitungan data curah hujan pada wilayah DKI Jakarta mengacu pada rata-rata curah hujan mengikuti pola hujan monsoonal selama 10 tahun. Adapun persamaan (3.1) tersebut adalah sebagai berikut:

$$\overline{RRM} = \frac{\sum RRdec + \sum RRjan + \sum RRfeb + \sum RRjun + \sum RRjul + \sum RRaug}{ndec + njan + nfeb + njun + njul + naug} \quad (3.1)$$

dengan:

$\overline{RRM}$ = rata-rata curah hujan mengikuti pola hujan monsoonal selama tahun 2009-2018

$\sum RRdec$ = total curah hujan Bulan Desember selama tahun 2009-2018

$\sum RRjan$ = total curah hujan Bulan Januari selama tahun 2009-2018

$\sum RRfeb$ = total curah hujan Bulan Februari selama tahun 2009-2018

$\sum RRjun$ = total curah hujan Bulan Juni selama tahun 2009-2018

$\sum RRjul$ = total curah hujan Bulan Juli selama tahun 2009-2018

$\sum RRaug$ = total curah hujan Bulan Agustus selama tahun 2009-2018

$ndec$ = jumlah hari hujan Bulan Desember selama tahun 2009-2018

$njan$ = jumlah hari hujan Bulan Januari selama tahun 2009-2018

$nfeb$ = jumlah hari hujan Bulan Februari selama tahun 2009-2018

$njun$ = jumlah hari hujan Bulan Juni selama tahun 2009-2018

$njul$ = jumlah hari hujan Bulan Juli selama tahun 2009-2018

$naug$ = jumlah hari hujan Bulan Agustus selama tahun 2009-2018

Selanjutnya dilakukan analisa frekuensi curah hujan yang memerlukan nilai simpangan baku (standar deviasi), Koefisien Kemencengan (*Coefficient of Skewness*), dan Koefisien Kurtosis (*Coefficient of Kurtosis*). Simpangan baku dihitung menggunakan persamaan (2.1), Koefisien Kemencengan dihitung menggunakan persamaan (2.2), dan untuk mencari nilai Koefisien Kurtosis digunakan persamaan (2.3). Setelah mendapatkan nilai S_x, CS, dan CK, dilakukan pencocokan dengan syarat-syarat penentuan sebaran distribusi sesuai pada tabel 2.3.

Setelah itu dilakukan pengujian *chi-square* dan Smirnov-Kolmogorov menggunakan persamaan (2.4) dan (2.11). Pengujian ini dilakukan untuk menguji kecocokan (*the goodness of fittest test*) distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut. Setelah dilakukan pengujian, maka nilai curah hujan rencana tahunan dapat diperoleh menggunakan salah satu distribusi yang telah terpilih.

3.5 Perhitungan Kebutuhan Air Domestik

Pada tahap ini, dilakukan perhitungan kebutuhan air domestik pada Gedung Waskita Karya Jakarta. Adapun perhitungan tersebut antara lain:

3.5.1 Perhitungan Konsumsi Wastafel

Perhitungan hasil konsumsi pemakaian wastafel masuk dalam kategori *grey water* sehingga dapat dihitung dengan persamaan (3.2) dengan pembagian nilai 1000 untuk mengubah dimensi satuan air menjadi (m^3) sebagai berikut:

$$WSD = \frac{F\%\ x\ T\ x\ I\ x\ WF}{1000} = (m^3/hari) \tag{3.2}$$

dengan:

WSD = banyaknya air yang digunakan untuk wastafel (m^3/hari)

$F\%$ = jumlah pengguna

T = waktu

I = interval

WF = water flowrate (L/menit)

3.5.2 Perhitungan Konsumsi Wudhu

Perhitungan hasil konsumsi pemakaian wudhu masuk dalam kategori *grey water* sehingga dapat dihitung dengan persamaan (3.3) dengan pembagian nilai 1000 untuk mengubah dimensi satuan air menjadi (m^3) sebagai berikut:

$$WCD = \frac{F\%\ x\ T\ x\ I\ x\ CW}{1000} = (m^3/hari) \tag{3.3}$$

dengan:

WCD = banyaknya air yang digunakan untuk wudhu (m^3/hari)

$F\%$ = jumlah pengguna

T = waktu

I = interval

WF = water flowrate (L/menit)

3.5.3 Perhitungan Konsumsi *Shower*

Perhitungan hasil konsumsi pemakaian *shower* masuk dalam kategori *grey water* sehingga dapat dihitung dengan persamaan (3.4) dengan pembagian nilai 1000 untuk mengubah dimensi satuan air menjadi (m^3) sebagai berikut:

$$SCD = \frac{F\%\ x\ T\ x\ WF}{1000} = (m^3/hari) \quad (3.4)$$

dengan:

SCD = banyaknya air yang digunakan untuk shower (m^3/hari)

F% = jumlah pengguna

T = waktu

I = interval

WF = water flowrate (L/menit)

3.5.4 Perhitungan Konsumsi *Flushing Toilets*

Perhitungan hasil konsumsi pemakaian *flushing toilets* masuk dalam kategori *black water* sehingga dapat dihitung dengan persamaan (3.5) dengan pembagian nilai 1000 untuk mengubah dimensi satuan air menjadi (m^3) sebagai berikut:

$$FTD = \frac{F\%\ x\ WF\ x\ I}{1000} = (m^3/hari) \quad (3.5)$$

dengan:

FTD = banyaknya air yang digunakan untuk *flushing toilets* (m^3/hari)

F% = jumlah pengguna

I = interval

WF = water flowrate (L/menit)

3.5.5 Perhitungan Konsumsi *Urinoar*

Perhitungan hasil konsumsi pemakaian *urinoar* masuk dalam kategori *black water* sehingga dapat dihitung dengan persamaan (3.6) dengan pembagian nilai 1000 untuk mengubah dimensi satuan air menjadi (m^3) sebagai berikut:

$$UFD = \frac{F\%\ x\ WFx\ I}{1000} = (m^3/hari) \quad (3.6)$$

dengan:

UFD = banyaknya air yang digunakan untuk *urinoars* (m^3/hari)

F% = jumlah pengguna

I = interval

WF = water flowrate (L/menit)

3.5.6 Perhitungan Volume Air Hujan

Untuk menghitung potensi volume air hujan yang terkumpul (m^3/hari) menggunakan persamaan (3.7) dengan pembagian nilai 1000 mengubah dimensi satuan air menjadi m^3:

$$Vr = \frac{RR\ x\ A}{1000} = (m^3/hari) \tag{3.7}$$

dengan:

Vr = potensi volume air hujan yang terkumpul

A = luas area (m^2)

RR = curah hujan (mm)

3.5.7 Perhitungan Kebutuhan Air Domestik

Untuk menghitung kebutuhan air domestik (*Vd*) yang diperlukan dapat dihitung dengan akumulasi dari konsumsi wastafel (*WSD*), wudhu (*WCD*), shower (*SCD*), *flushing toilets* (*FTD*), dan urinoar (*UCD*).

$$Vd = WSD + WCD + SCD + FTD + UCD \tag{3.8}$$

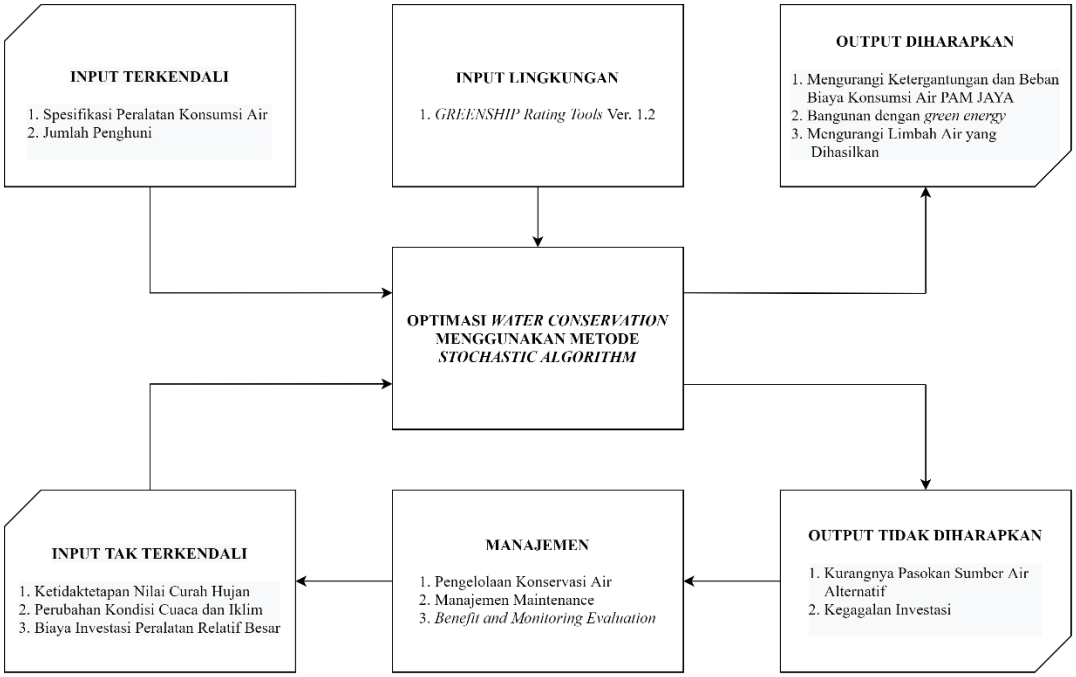
3.5.8 Perhitungan Pembelian Air

Untuk menghitung air yang dibeli (*Vb*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Vb = Vd - Vt \tag{3.9}$$

3.6 Optimasi Desain Tangki

Pada tahap ini, dilakukan optimasi menggunakan *software* MATLAB dengan metode *stochastic algorithm*. Adapun diagram *input-output* pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram *input-output* penelitian

3.6.1 Parameter Penelitian

Untuk mendesain tangki penyimpanan air hujan yang optimum dipengaruhi beberapa parameter. Dengan metode algoritma genetika diperlukan parameter yang dijadikan sebagai batasan (*constraint*) dan sel untuk menempatkan hasil akhir perhitungan (*objective function*). Fungsi objektif dari optimasi disesuaikan dengan tujuan yang akan dicapai yaitu memaksimalkan nilai *return of investment* dengan biaya *capex* dan *opex* yang optimum selama selama kurun waktu 10 tahun. Dengan tujuan tersebut maka perlu dicapai nilai volume tangki (*Vt*), harga tangki (*Ct*) dan biaya investasi penunjang (*Bt*) yang optimum dan meminimalkan nilai *opex* dari desain. Maka dari itu fungsi obyektif dari optimasi dapat diformulasikan pada persamaan (3.10) sebagai berikut:

$$Capex = Vt\ Ct + Bt \tag{3.10}$$

selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari total biaya konsumsi air dengan kondisi gedung *baseline* menggunakan persamaan (3.11) berikut:

$$Baseline\ Cost = Cw\ Vd\ T \tag{3.11}$$

dengan:

Cw = biaya air PAM Jaya per m^3

Vd = volume kebutuhan air domestik gedung (m^3/hari)

T = jumlah hari dalam tahun 2009-2018

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari biaya dengan persamaan (3.12) sebagai berikut

$$Cost\ Saving = Baseline\ Cost - Opex\ Design - Maintenance\ Cost \quad (3.12)$$

setelah mendapatkan besar penghematan maka dapat dilakukan perhitungan untuk mencari besar *return of investment* menggunakan persamaan (3.13) berikut:

$$ROI = \frac{Cost\ Saving - Capex}{Capex}\ 100\% \quad (3.13)$$

dengan persamaan (3.14) fungsi objektif sebagai berikut:

$$Obj.Function = ROI \quad (3.14)$$

Dengan *constraint* yang digunakan adalah jumlah air hujan yang tersedia (*Vr*) dapat lebih kecil dari air hujan yang dapat ditampung, yang diformulasikan dengan persamaan (3.15) dan (3.16) sebagai berikut:

$$Vr \leq Vt \quad (3.15)$$

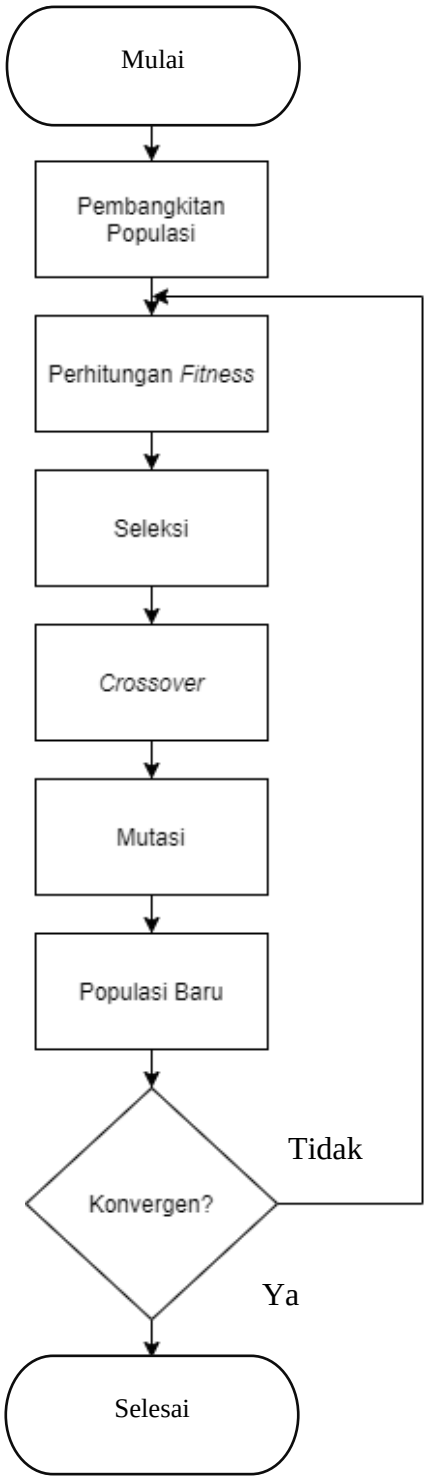
dan

$$0 < Vt \leq Vd \quad (3.16)$$

Dimana nilai volume tangki (*Vt*) harus berada di atas 0 dan dapat berada kurang atau sama dengan kebutuhan domestik air pada gedung (*Vd*).

3.6.2 Optimasi Menggunakan *Stochastic Algorithm*

Optimasi pada penelitian ini dirancang agar mendapatkan desain volume tangki penampung air hujan yang optimum. Fungsi obyektif optimasi adalah biaya *capex* + *opex* yang minimal dan *return of investment* yang maksimal mengacu dari volume desain tangki yang didesain. Variabel yang dioptimasi adalah volume tangki, dengan *constraint* jumlah air hujan yang tersedia dan jumlah kebutuhan air domestik. Teknik optimisasi dilakukan dengan menggunakan metode *stochastic algorithm* yakni algoritma genetika. Adapun diagram alir untuk metode algoritma genetika adalah sebagai berikut:



Gambar 3.3 Diagram alir algoritma genetika

Tahapan dari metode optimisasi menggunakan algoritma genetika adalah sebagai berikut:

1. Mulai
2. Menentukan jumlah populasi sebesar 200
3. Melakukan pembangkitan populasi dan parameter
4. Melakukan seleksi *parent selection*
5. Melakukan persilangan masing-masing *parent* dengan probabilitas *crossover* (Pc) 0.8 untuk menentukan keturunan yang baru
6. Melakukan mutasi pada masing-masing generasi baru dengan probabilitas mutasi (Pm) 0.02
7. Menggantikan populasi saat ini dengan populasi yang baru
8. Melakukan pembangkitan pada masing-masing kromosom pada populasi yang baru
9. Mekanisme *elitism* pada algoritma genetika yaitu mengambil 95% dari individu yang menang dari populasi saat ini. Populasi yang baru akan diisi oleh keturunan yang baru
10. Kembali ke tahap 4 hingga hasilnya konvergen
11. Selesai

Dalam optimisasi dengan menggunakan metode stokastik diperlukan beberapa *properties* antara lain:

a. Jumlah variabel yang dioptimisasi

   Variabel yang mempengaruhi fungsi tujuan yakni volume tangki (*Vt*) maka jumlah variable yang dioptimisasi adalah 1.

b. Batas atas dan batas bawah

   Batas atas dan batas bawah optimisasi digunakan sebagai jangkauan untuk mengacak nilai-nilai variable optimisasi agar memenuhi fungsi tujuan. Batas atas dari variable yang dioptimisasi adalah volume air hujan rata rata dan batas bawah adalah 0

c. Iterasi

   Iterasi digunakan untuk menentukan jumlah perputaran proses optimisasi. Pada tugas akhir ini digunakan 100 kali iterasi. Hal ini ditentukan berdasarkan grafik hasil optimisasi pada *software* MATLAB yang telah menunjukkan nilai yang konstan pada iterasi ke 100. Apabila grafik telah konstan dan hasil optimisasi tidak berubah, maka iterasi telah selesai.

3.7 Analisa Data dan Pembahasan

Berdasarkan data curah hujan yang telah diperoleh dan perhitungan kebutuhan air domestik gedung, diperlukan analisa untuk mengetahui pemodelan yang optimum di antara dua kondisi yang berupa penggunaan tangki penampungan air hujan dan menggunakan kombinasi berupa tangki penampungan air hujan dengan daur ulang *grey water*.

3.8 Penyusunan Laporan

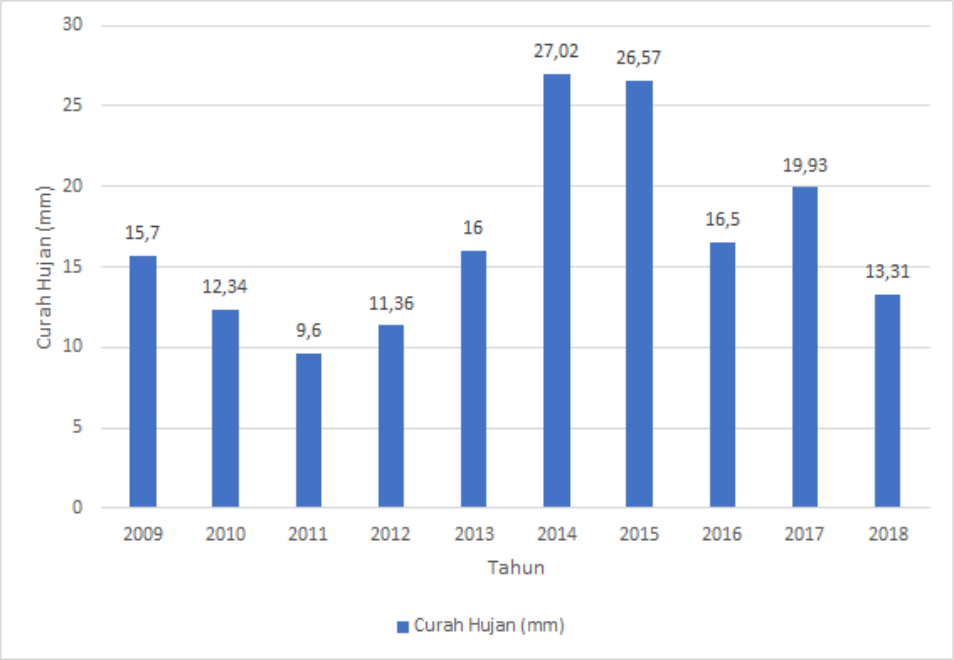
Langkah terakhir dalam melakukan penelitian tugas akhir ini adalah penyusunan laporan. Pembuatan kesimpulan dan saran dilakukan berdasarkan hasil analisis dan pembahasan. Kesimpulan ini disusun sesuai dengan tujuan penelitian untuk menjawab permasalah pada penelitian.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Data Curah Hujan

Perhitungan data curah hujan pada suatu daerah dibutuhkan untuk proses mendesain tangki dengan volume yang optimum. Perhitungan yang dilakukan adalah mencari nilai curah hujan berdasarkan pola hujan monsoonal selama tahun 2009-2018. Adapun kondisi-kondisi tersebut dibandingkan dan dicari hasil yang optimum dalam perhitungan simulasi biaya investasi. Nilai perhitungan rata-rata curah hujan DKI Jakarta mengikuti pola hujan monsoonal selama 10 tahun dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Rata-rata curah hujan DKI Jakarta selama tahun 2009-2018

4.2 Perhitungan Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana dilakukan untuk mencari probabilitas potensi proyeksi maksimal curah hujan pada suatu daerah. Tahapan yang dilakukan

adalah analisa frekuensi curah hujan, analisa distribusi curah hujan rencana, dan analisa pengujian kecocokan sebaran.

4.2.1 Analisa Frekuensi Curah Hujan

Pada tahap ini, dilakukan analisa frekuensi curah hujan dan berikut adalah perhitungan yang didapat sebagai deskripsi data pada gambar 4.1 yang diperoleh antara lain:

Tabel 4.1 Perhitungan Statistik Curah Hujan Tahunan

Tahun	X_i	(X_i-X)	$(X_i-X)^2$	$(X_i-X)^3$	$(X_i-X)^4$
2009	15,7	-1,13	1,28	-1,45	1,65
2010	12,34	-4,49	20,19	-90,70	407,52
2011	9,6	-7,23	52,32	-378,40	2.736,99
2012	11,36	-5,47	29,95	-163,94	897,23
2013	16	-0,83	0,69	-0,58	0,48
2014	27,02	10,19	103,77	1.057,16	10.769,24
2015	26,57	9,74	94,81	923,16	8.988,78
2016	16,5	-0,33	0,11	-0,04	0,01
2017	19,93	3,10	9,59	29,70	92,00
2018	13,31	-3,52	12,41	-43,73	154,05
Jumlah	168,33	-1,954E-14	325,13	1.331,18	24.047,94

Hasil perhitungan parameter statistik distribusi curah hujan dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Perhitungan Parameter Statistik Distribusi Curah Hujan

Deskripsi	**Nilai**
Mean	16,833
Simpangan Baku	6,01
Coefficient of Skewness (CS)	0,8515
Coefficient of Kurtosis (CK)	-0,3176
Coefficient of Variation	0,3571

Sedangkan untuk perhitungan statistik logaritma curah hujan disajikan dalam tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Perhitungan Statistik (Logaritma) Curah Hujan Tahunan

Tahun	**X_i**	**$logX_i$**	**logX**	**($logX_i$-logX)**	**$(logX_i-logX)^2$**	**$(logX_i-logX)^3$**	**$(logX_i-logX)^4$**
2009	15,7	1,196	1,203	-0,007	4,52E-05	-3,04E-07	2,04E-09
2010	12,34	1,091	1,203	-0,111	1,24E-02	-1,38E-03	0,000153
2011	9,6	0,982	1,203	-0,220	4,86E-02	-1,07E-02	0,002358
2012	11,36	1,055	1,203	-0,147	2,17E-02	-3,19E-03	0,00047
2013	16	1,204	1,203	0,001	2,24E-06	3,35E-09	5,02E-12
2014	27,02	1,432	1,203	0,229	5,25E-02	1,20E-02	0,002753
2015	26,57	1,424	1,203	0,222	4,92E-02	1,09E-02	0,002419
2016	16,5	1,217	1,203	0,015	2,21E-04	3,28E-06	4,88E-08
2017	19,93	1,300	1,203	0,097	9,39E-03	9,09E-04	8,81E-05
2018	13,31	1,124	1,203	-0,078	6,15E-03	-4,83E-04	3,79E-05
Jumlah	168,33	1,203		-1,33E-15	0,200085	0,008085	0,008279

Hasil perhitungan parameter statistik (logaritma) distribusi curah hujan dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Perhitungan Parameter Statistik Logaritma Distribusi Curah Hujan

Deskripsi	**Nilai**
Mean	1,203
Simpangan Baku	0,1491
Coefficient of Skewness (CS)	0,33875
Coefficient of Kurtosis (CK)	-0,6834
Coefficient of Variation	0,12398

Setelah diketahui nilai dari faktor – faktor dari perhitungan di atas dapat ditentukan metode distribusi mana yang dapat dipakai, seperti disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.5 Hasil Uji Distribusi Statistik

Jenis Distribusi	Syarat	Perhitungan	Kesimpulan
Normal	CS ≈ 0 CK = 3	CS = 0,8515 CK = -0,3176	Tidak Memenuhi
Log Normal	CS ≈ 3CV + CV^2 = 3 CK = 5,383	CS = 0,33875 CK = -0,6834	Tidak Memenuhi
Gumbel	CS ≤ 1,1396 CK ≤ 5,4002	CS = 0,8515 CK = -0,3176	Memenuhi
Log Pearson III	CS ≠ 0	CS = 0,33875	Memenuhi

Dari perhitungan yang telah dilakukan dengan syarat-syarat tersebut di atas, maka distribusi yang dapat dipilih adalah distribusi Log Pearson III dan Gumbel, namun dikarenakan lokasi wilayah pengukuran data terletak di Pulau Jawa maka distribusi yang akan digunakan adalah distribusi Log Pearson III. Untuk memastikan pemilihan distribusi tersebut perlu dilakukan perbandingan hasil perhitungan statistik dengan uji Smirnov-Kolmogorov dan uji *chi-square*.

4.2.2 Analisa Pengujian Kecocokan Sebaran

Pengujian *chi square* dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Tabel 4.6 dan 4.7 berikut adalah hasil perhitungan untuk pengujian *chi-square*:

Tabel 4.6 Parameter Perhitungan *Chi-square*

Deskripsi	Nilai
G (Sub-Kelompok)	5
DK (Derajat Kebebasan)	2
E_i (Nilai Teoritis)	2
ΔX (Range)	4,355
X_{awal}	7,4225

Tabel 4.7 Perhitungan *Chi-square*

Sub Kelompok	O_i	E_i	E_i - O_i	$(E_i - O_i)^2$	$(E_i - O_i)^2 / E_i$
7,4225 - 11,7775	2	2	0	0	0
11,7775 - 16,1325	4	2	-2	4	2
16,1325 - 20,4875	2	2	0	0	0
20,4875 - 24,8425	0	2	2	4	2
24,8425 - 29,1975	2	2	0	0	0
Total *Chi-Square* Terhitung					4

Berdasarkan tabel *chi-square* kritis yang terlampir diketahui bahwa *chi-square* kritis menunjukkan angka 5,991 yang berarti lebih besar dari *chi-square* terhitung maka analisa distribusi dapat diterima.

Selanjutnya dilakukan uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov, untuk memperoleh nilai probabilitas dari data yang bersangkutan. Dari hasil pengujian ini dapat diketahui peyimpangan terbesar (Δ maksimum). Penyimpangan tersebut kemudian dibandingkan dengan penyimpangan kritis yang masih diizinkan (Δ cr), pada penelitian ini digunakan nilai kritis α = 5%. Nilai kritis untuk pengujian ini tergantung pada jumlah data Δ dan α. Adapun pengujian Smirnov-Kolmogorov dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.8 Uji Smirnov-Kolmogorov

Data	m	P(x)	1 – P(x)	P'(x)	1 – P'(x)	Δ
27,02	1	0,09091	0,90909	0,11111	0,88889	0,0202
26,57	2	0,18182	0,81818	0,22222	0,77778	0,0404
19,92	3	0,27273	0,72727	0,33333	0,66667	0,06061
16,5	4	0,36364	0,63636	0,44444	0,55556	0,08081
16	5	0,45455	0,54545	0,55556	0,44444	0,10101
15,7	6	0,54545	0,45455	0,66667	0,33333	0,12121
13,31	7	0,63636	0,36364	0,77778	0,22222	0,14141
12,34	8	0,72727	0,27273	0,88889	0,11111	0,16162
11,36	9	0,81818	0,18182	1	0	0,18182
9,6	10	0,90909	0,09091	1,11111	-0,11111	0,20202

Didapatkan hasil Δ maksimum sebesar 0,20202 dan apabila dibandingkan dengan Δ kritis pada tabel nilai Δ kritis yang telah dilampirkan untuk uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov yang sebesar 0,41 maka distribusi dapat diterima dikarenakan sesuai syarat bahwa Δ maksimum kurang dari atau sama dengan Δ kritis.

4.2.3 Analisa Dsitribusi Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana dengan metode Log Pearson III menggunakan parameter-parameter statistik yang diambil dari perhitungan di atas. Logaritma data pada interval pengulangan atau kemungkinan prosentase yang terpilih. Curah hujan rencana tiap T tahun dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.9 Curah Hujan Rencana Periode Ulang T Tahun

T tahun	logX	K	S	$\log X_T$	X_T (mm)
2	1,203	-0,056	0,1491	1,194	15,64
5	1,203	0,821	0,1491	1,325	21,14
10	1,203	1,312	0,1491	1,398	25,02

Sehingga didapatkan nilai proyeksi curah hujan rencana selama 10 tahun adalah sebesar 25,02 mm yang dapat digunakan untuk batasan potensi volume hujan yang dapat ditampung pada tahap optimisasi.

4.3 Perhitungan Kebutuhan Air Domestik

Kebutuhan air domestik adalah kebutuhan air pada Gedung Waskita Karya Jakarta. Adapun kebutuhan air domestik terbagi menjadi dua, yakni untuk menyuplai kebutuhan yang menghasilkan *black water* dan *grey water*.

4.3.1 Kebutuhan *Grey Water*

Konsumsi kebutuhan yang menghasilkan *grey water* harian dapat dihitung untuk mengetahui besaran jumlah air yang dibutuhkan untuk disediakan setiap hari. Perhitungan *grey water* ini juga diperlukan untuk menentukan potensi air yang dapat diolah sebagai air daur ulang dari *grey water*. Tabel 4.1 berikut adalah proyeksi konsumsi kebutuhan yang menghasilkan *grey water* dari Gedung Waskita Karya Jakarta:

Tabel 4.10 Proyeksi Konsumsi *Grey Water*

Deskripsi	Jumlah Pemakai	Spesifikasi (L/menit)	Interval	Waktu	Konsumsi (L)
Wastafel	846	6	1	0,5	2.538
Wudhu	423	6	1	1	2.538
Shower	43	9	1	5	1.935
Total					7.011

4.3.2 Kebutuhan *Black Water*

Konsumsi kebutuhan yang menghasilkan *black water* harian dapat dihitung untuk mengetahui besaran jumlah air yang dibutuhkan untuk disediakan setiap hari. Tabel 4.2 berikut adalah proyeksi konsumsi kebutuhan yang menghasilkan *black water* dari Gedung Waskita Karya Jakarta:

Tabel 4.11 Proyeksi Konsumsi *Black Water*

Deskripsi	Jumlah Pemakai	Spesifikasi (L/menit)	Interval	Waktu	Konsumsi (L)
Flushing Toilets	846	4.5	1	0,5	3.807
Urinoar	423	4	1	2	3.384
Total					7.191

Data yang diperoleh menunjukkan konsumsi air secara keseluruhan adalah 14,202 m^3/hari dengan asumsi pengguna wastafel merupakan seluruh karyawan yang berjumlah 846 orang, wudhu sebesar 50% dari total karyawan yaitu sebanyak 423 orang, shower sebesar 5% dari total karyawan yaitu sebanyak 43 orang, *flushing toilet* sebanyak 846 orang dan pengguna *urinoar* sebesar 50% dari total karyawan yaitu sebanyak 423 orang.

4.4 Perhitungan Sumber Air Alternatif

4.4.1 Optimasi Desain Tangki Menggunakan *Genetic Algorithm*

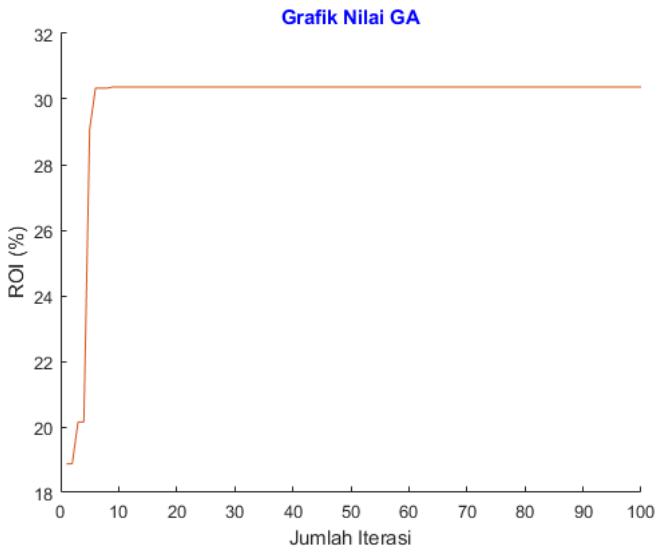
Perhitungan curah hujan rencana digunakan untuk memproyeksikan potensi air hujan yang dapat digunakan sebagai sumber alternatif pada Gedung Waskita

Karya Jakarta. Adapun parameter dalam optimasi desain tangki ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4.12 Parameter Optimasi

Deskripsi	Satuan	Nilai
V_d	m^3/hari	14,202
$V_{r\ max}$	m^3	24,79
C_w	Rp.	12.550
T	hari	3652
B_t	Rp.	50.812.550
C_t	Rp.	1.300.000
M_tCost	Rp./tahun	5% *Capex*

Didapatkan nilai optimum untuk desain tangki adalah sebesar 6,2 m^3 dan nilai *fitness* pada fungsi objektif berupa ROI pada desain menggunakan volume tangki sebesar 6,2 m^3 yang ditunjukkan pada gambar 4.2 berikut:



Gambar 4.2 Grafik hasil optimasi ROI menggunakan algoritma genetika

Didapatkan hasil ROI untuk penggunaan desain tersebut sebesar 30,17%.

4.4.2 Daur Ulang *Grey Water*

Grey water yang telah dihasilkan dari penggunaan *wastafel*, wudhu, dan *shower* dapat dilakukan daur ulang untuk mengurangi penggunaan air yang di supply oleh PAM JAYA. Hasil dari penggunaan *wastafel*, wudhu, dan *shower* dialihkan untuk penggunaan *flushing toilets* dan *urinoar*. Selain itu penggunaan *plant* daur ulang *grey water* juga dapat digunakan untuk meminimalkan pembelian air dari PAM JAYA ketika tidak terdapat hari hujan selama tempo waktu tertentu.

4.5 Simulasi dan Perhitungan Biaya

Secara umum, perhitungan volume penggunaan air diproyeksikan selama 10 tahun dengan kombinasi penggunaan volume air serta sebelum menggunakan sumber air hujan, sesudah menggunakan sumber air hujan, *supply* dari daur ulang *grey water*. Setelah dilakukan perhitungan volume penggunaan air maka dapat dilakukan perhitungan biaya penggunaan air dari PAM JAYA.

4.5.1 Penggunaan Tangki Penampungan Air Hujan Berdasarkan Nilai Rata Rata Curah Hujan Mengikuti Pola Hujan Monsoonal Tahun 2009-2018

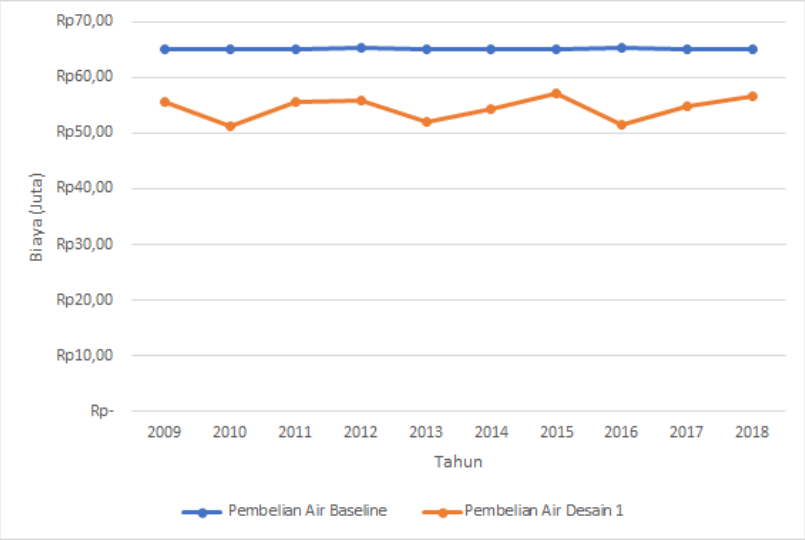
Pada perhitungan optimasi menggunakan metode *genetic algorithm*, telah didapatkan hasil untuk desain tangki optimum dengan menggunakan nilai rata rata curah hujan mengikuti pola hujan monsoonal selama tahun 2009-2018 sebesar 6,2 m^3. Sehingga dapat dilakukan simulasi pehitungan jumlah air yang disediakan oleh PAM JAYA dengan menggunakan persamaan 3.9 di atas, dan didapatkan hasil seperti pada tabel 4.13 berikut:

Tabel 4.13 Simulasi Volume dan Biaya *Supply* PAM JAYA pada Desain 1

Tahun	Total Volume Sumber Air Alternatif ($m^{3)}$	Total Volume *Supply* Air oleh PAM JAYA (m^3)	Biaya Pembelian Air PAM JAYA
2009	748,6	4.435,1	Rp. 55.660.931,70
2010	1.110,7	4.073,0	Rp. 51.115.999,40
2011	764,5	4.419,3	Rp. 55.461.763,20
2012	739,5	4.458,5	Rp. 55.953.673,00
2013	1.035,7	4.148,0	Rp. 52.057.349,80

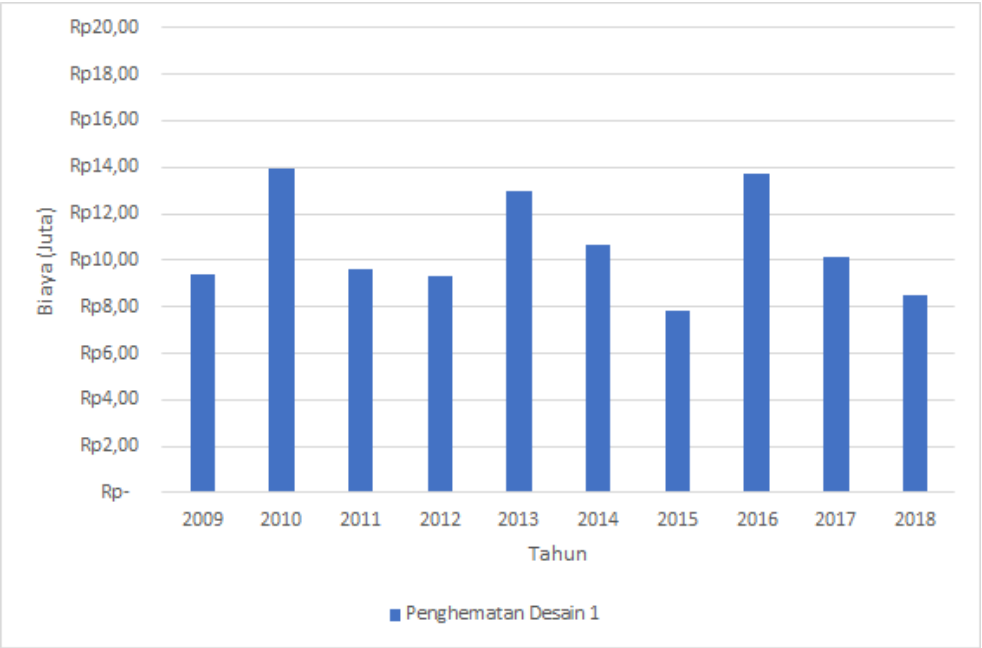
Tahun	Total Volume Sumber Air Alternatif ($m^{3)}$	Total Volume *Supply* Air oleh PAM JAYA (m^3)	Biaya Pembelian Air PAM JAYA
2014	851,8	4.331,0	Rp. 54.366.374,10
2015	624,6	4.559,1	Rp. 57.216.830,50
2016	1.093,3	4.104,6	Rp. 51.512.704,90
2017	807,1	4.376,7	Rp. 54.927.334,00
2018	676,0	4.507,8	Rp. 56.572.237,40
Total	8.451,7	43.414,0	Rp. 544.845.198,00

Adapun simulasi perhitungan biaya *baseline* selama 10 tahun selanjutnya diproyeksikan dengan kebutuhan air domestik konstan dan dibandingkan ketika menggunakan sumber air alternatif. Untuk simulasi perhitungan biaya menggunakan sumber air alternatif, maka jumlah *Supply* Air oleh PAM Jaya dikalikan dengan biaya air per m^3 yaitu sebesar Rp. 12.550,00. Proyeksi penggunaan harga tidak memperhitungkan kenaikan akibat inflasi setiap tahunnya serta kenaikan biaya operasi dan distribusi yang diatur oleh PAM JAYA selaku penyedia jasa air bersih untuk wilayah DKI Jakarta. Berikut adalah gambar 4.3 perbandingan konsumsi air *baseline* berbanding dengan konsumsi air desain 1:



Gambar 4.3 Grafik perbandingan biaya konsumsi air *baseline* dan desain 1

Berikut ini adalah gambar 4.4 berupa penghematan pada desain 1 per tahun selama tahun 2009-2018:



Gambar 4.4 Grafik perbandingan penghematan desain 1 per tahun

Berdasarkan perhitungan simulasi biaya pada tabel 4.13 dapat dilihat pada tahun 2010 untuk konsumsi volume air dari PAM JAYA berada di titik terendah sebesar 4.073,0 m^3 dan Rp. 51.115.999,40 dikarenakan jumlah hari hujan pada 2010 sebanyak 183 hari mampu menekan angka pembelian air dengan mendapat *supply* dari sumber air alternatif sebesar 1.110,7 m^3. Apabila dilihat pada tabel 3.1, dengan tangki penampungan air hujan sebesar 6,2 m^3 dapat menampung dengan maksimal sepanjang tahun 2010 kecuali pada bulan April, Mei, dan Desember. Akumulasi hari hujan pada 3 bulan tersebut terdapat 44 hari, kemudian nilai curah hujan tersebut dan proyeksi volume air yang dapat di tampung jauh dibawah volume tangki.

Biaya yang digunakan untuk operasional pembelian air menjadi berkurang dimana sebelumnya biaya yang dibutuhkan dalam 10 tahun adalah Rp. 650.914.585,20 dan setelah menggunakan simulasi pada desain 1 biaya yang diperlukan untuk pembelian air dari PAM JAYA adalah sebesar Rp.

544.845.198,00. Hal ini tidak mempertimbangkan biaya investasi peralatan dan penunjang yang diperlukan dan biaya pemeliharaan peralatan. Adapun untuk rincian biaya peralatan yang dibutuhkan dijelaskan pada tabel 4.14 berikut:

Tabel 4.14 Estimasi Biaya Peralatan Desain 1

Nama	Qty	Satuan	Harga Satuan	Harga Total
Rainwater Tank	6,2	m^3	Rp. 1.300.000,00	Rp. 8.062.600,00
Centrifugal Pump	13	buah	Rp. 2.000.000,00	Rp. 26.000.000,00
Pipa PVC 1 ½”	275	m^2	Rp. 46.000,00	Rp 12.650.000,00
Pipa PVC 3”	50	m^2	Rp. 105.800,00	Rp. 5.290.000,00
Valve	13	buah	Rp. 150.000,00	Rp. 1.950.000,00
Coagulant PAC	8.451	m3	Rp. 50,00	Rp. 422.550,00
Water Meter	3	buah	Rp. 1.500.000,00	Rp. 4.500.000,00
Total				Rp. 58.872.550,00

Dari hasil estimasi perhitungan biaya peralatan didapatkan biaya sebesar Rp. 58.872.550,00 dan biaya pemeliharaan sebesar Rp. 29.436.275,00. Sehingga didapatkan penghematan sebesar Rp. 76.633.112,20 dari biaya *baseline*. maka dapat dilakukan perhitungan *return of investment* (ROI) untuk menentukan profitabilitas penggunaan desain 1. Berdasarkan persamaan 3.13 didapatkan nilai *return of investment* (ROI) pada desain 1 yaitu sebesar 30,17% selama 10 tahun.

4.5.2 Penggunaan Tangki Penampungan Berdasarkan Nilai Rata Rata Curah Hujan Mengikuti Pola Hujan Monsoonal Tahun 2009-2018 dan Daur Ulang *Grey Water*

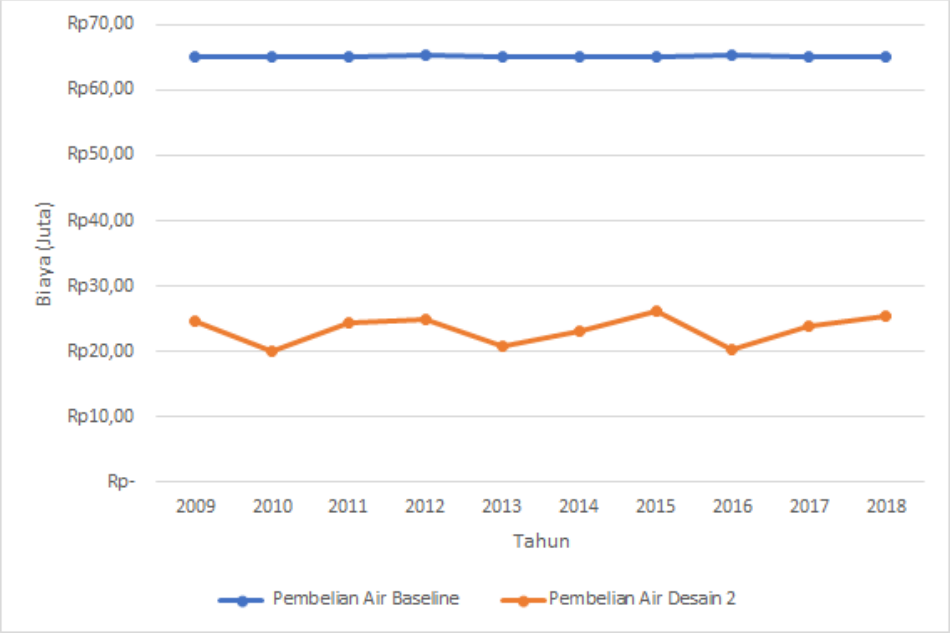
Simulasi pada proses yang dilakukan selanjutnya adalah penggunaan tangki penampungan air hujan dan daur ulang *grey* water yang telah digunakan hari sebelumnya untuk digunakan pada keesokan harinya. Penggunaan daur ulang dimaksudkan untuk mengurangi *supply* air dari PAM JAYA sepanjang tahun baik

ketika musim hujan maupun kemarau. Daur ulang yang dilakukan untuk desain ini adalah menggunakan *grey water* yang dihasilkan dari penggunaan sehari-hari untuk *supply* konsumsi *black water*. Sehingga dapat dilakukan simulasi pehitungan jumlah air yang disediakan oleh PAM JAYA dan didapatkan hasil seperti pada tabel 4.15 berikut:

Tabel 4.15 Simulasi Volume dan Biaya *Supply* PAM JAYA pada Desain 2

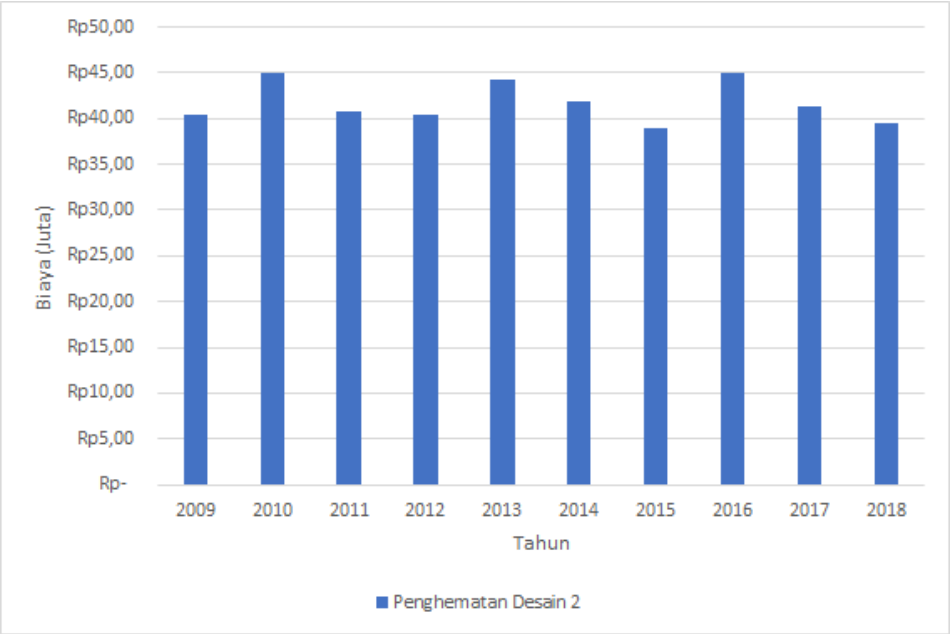
Tahun	**Total Volume Sumber Air Alternatif (m^3)**	**Total Volume *Supply* Air oleh PAM JAYA (m^3)**	**Biaya Pembelian Air PAM JAYA**
2009	3.223,5	1.960,3	Rp. 24.601.150,05
2010	3.585,6	1.598,1	Rp. 20.056.217,75
2011	3.239,4	1.939,3	Rp. 24.338.553,85
2012	3.221,4	1.976,6	Rp. 24.805.903,30
2013	3.523,0	1.660,7	Rp. 20.841.897,95
2014	3.332,8	1.850,9	Rp. 23.228.757,35
2015	3.099,5	2.084,2	Rp. 26.157.048,85
2016	3.587,6	1.610,3	Rp. 20.209.265,00
2017	3.288,1	1.895,6	Rp. 23.789.717,25
2018	3.150,9	2.032,9	Rp. 25.512.455,75
Total	33.251,8	18.608,8	Rp. 233.540.967,10

Adapun proyeksi sumber air alternatif yang dapat tersedia dihitung berdasarkan volume air yang dapat ditampung oleh tangki sebesar 6,202 m^3 dan tambahan sebesar 7,011 m^3 yang merupakan hasil dari daur ulang *grey water* di hari sebelumnya. Sehingga potensi maksimal sumber air alternatif yang dapat ditampung adalah sebesar 13,213 m^3 ketika terdapat hari hujan. Sedangkan ketika terdapat hari tidak hujan maka potensi sumber air alternatif hanya sebesar 7,011 m^3/hari. Kelebihan pada kombinasi desain ini adalah mampu menekan pengeluaran biaya untuk membeli air dari PAM JAYA saat musim hujan dan kemarau. Berikut gambar 4.5 adalah grafik perbandingan konsumsi air *baseline* berbanding dengan konsumsi air desain 2:



Gambar 4.5 Grafik perbandingan biaya konsumsi air *baseline* dan desain 2

Berikut ini adalah gambar 4.6 berupa penghematan pada desain 2 per tahun selama tahun 2009-2018:



Gambar 4.6 Grafik perbandingan penghematan desain 2 per tahun

Biaya yang digunakan untuk operasional pembelian air menjadi berkurang dimana sebelumnya biaya yang dibutuhkan dalam 10 tahun adalah Rp. 650.914.585,20 dan setelah menggunakan simulasi pada desain 2 biaya yang diperlukan untuk pembelian air dari PAM JAYA adalah sebesar Rp. 233.540.967,10. Adapun untuk rincian biaya peralatan yang dibutuhkan dijelaskan pada tabel 4.16 berikut:

Tabel 4.16 Estimasi Biaya Peralatan Desain 2

Nama	Qty	Satuan	Harga Satuan	Harga Total
Rain Water Tank	6,2	m^3	Rp. 1.300.000,00	Rp. 8.062.600,00
Purification Tank	13,213	m^3	Rp. 1.300.000,00	Rp. 17.176.900,00
Centrifugal Pump	13	buah	Rp. 2.000.000,00	Rp. 26.000.000,00
Pipa PVC 1 ½”	550	m^2	Rp. 46.000,00	Rp. 25.300.000,00
Pipa PVC 3”	100	m^2	Rp. 105.800,00	Rp. 10.580.000,00
Valve	13	buah	Rp. 150.000,00	Rp. 1.950.000,00
Coagulant PAC	33.252	m^3	Rp. 50,00	Rp. 1.662.600,00
Water Meter	3	buah	Rp. 1.500.000,00	Rp. 4.500.000,00
Sand & Carbon Filtration	1	buah	Rp. 44.750.000,00	Rp. 44.750.000,00
Total				Rp. 139.982.100,00

Dari hasil estimasi perhitungan biaya peralatan didapatkan biaya sebesar Rp. 139.982.100,00 dan biaya pemeliharaan sebesar Rp. 69.991.050,00. Sehingga didapatkan penghematan sebesar Rp. 347.382.568,10 dari biaya *baseline*. Maka kemudian dapat dilakukan perhitungan *return of investment* (ROI) untuk menentukan profitabilitas penggunaan desain 2. Berdasarkan persamaan 3.13

didapatkan nilai *return of investment* (ROI) pada desain 2 yaitu sebesar 148,16% selama 10 tahun. Pemanfaatan konservasi air terbukti lebih optimum apabila menggunakan tangki penampungan air hujan berdasarkan nilai rata-rata curah hujan mengikuti pola hujan moonsonal selama tahun 2009-2018 dan skema daur ulang *grey water*. Meskipun biaya investasi menggunakan desain 2 sedikit lebih mahal, dengan hasil *return of investment* yang tertinggi dibandingkan desain 1 maka dapat dilihat bahwa desain 2 tersebut memiliki profitabilitas tertinggi ketika diimplementasikan dalam investasi jangka panjang (*long term investment*).

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- Dari hasil analisa probabilitas curah hujan rencana yang meninjau dari lokasi gedung yang terletak di Pulau Jawa dan optimasi menggunakan metode *stochastic algorithm* didapatkan hasil untuk desain tangki penampungan air hujan optimum adalah sebesar 6,2 m^3.
- Dari hasil simulasi perhitungan biaya investasi dan operasional, didapatkan hasil rekomendasi terbaik untuk sistem konservasi air menggunakan desain tangki penampungan air hujan dan skema daur ulang *grey water*. Dengan menambahkan biaya investasi sebesar Rp. 139.982.100,00, didapatkan biaya operasional sebesar Rp. 303.532.017,10 pada tahun 2009-2018 yang merupakan penghematan biaya operasional sebesar Rp. 347.382.568,10 dari biaya *baseline*, sehingga didapatkan nilai *return of investment* (ROI) maksimal pada desain tersebut sebesar 148,16% selama 10 tahun.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait sistem konservasi air yang lebih optimum pada bangunan yang membutuhkan banyak konsumsi air dan bangunan berskala kecil seperti perumahan untuk penghematan konsumsi air bersih yang terintegrasi dengan konsep bangunan hijau.
- Perlu dilakukan penelitian dan perbandingan dalam penggunaan metode stokastik lain dan untuk mencari nilai dari suatu fungsi objektif yang lebih optimum.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Asdak, C. (2002). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai.* Yogyakarta: UGM Press.

Beza, I. A. (2016). Kajian Pemanfaatan Air Hujan Sebagai Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih di Pulau Kecil. *Journal F. Teknik*, 2.

Bradshaw, W. (2005). The Costs & Benefits of Green Affordable Housing. *New Ecology*, 200.

Brain, R. (2015). *Grey Water System.* Utah: Utah State University.

Divisi Rating dan Teknologi. (2013). *GREENSHIP untuk BANGUNAN BARU Versi 1.2.* Jakarta: Green Building Council Indonesia.

Eriksson, E. (2002). Characteristics of Grey Wastewater. *Urban Water 4*, 85-104.

Furumai, H. (2008). Rainwater and Reclaimed Wastewater for Sustainable Urban Water Use. *Physics and Chemistry of the Earth*, 340-346.

Geertman, S. (2014). The willingness to pay for green apartments: The case of Nanjing, China. *Urban Studies*, 3459-3478.

Guo, P. (2010). The Enhanced Genetic Algorithms for The Optimization Design. *3rd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics* (pp. 2990-2994). Yantai: IEEE.

Harsoyo, B. (2010). Teknik Pemanenan Air Hujan (Rain Water Harvesting) Sebagai Alternatif Upaya Penyelamatan Sumberdaya Air di Wilayah DKI Jakarta. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 29-39.

Kharisma, R. (2016). *Pemanfaatan Rainwater Harvesting (Pemanenan Air Hujan) Berbasis Low Impact Development (Studi Kasus: Kawasan Pendidikan FT-UH Gowa).* Makassar: IPLBI.

Li, Z. (2010). Rainwater Harvesting and Greywater Treatment Systems for Domestic Application in Ireland. *Desalination*, 1-8.

Qomariyah, S., Koosdaryani, & Fritriani, R. K. (2016). Perencanaan Bangunan Pengolahan Grey Water Rumah Tangga Dengan Lahan Basah Buatan dan Proses Pengolahannya. *e-Jurnal MATRIKS Teknik Sipil*, 939-945.

Sahin, N. I., & Manioglu, G. (2018). Water Conservation Through Rainwater Harvesting Using Different Building Forms in Different Climatic Regions. *Sustainable Cities and Society*.

Samekto, C., & Winata, E. S. (2004). Potensi Sumber Daya Air di Indonesia., (pp. 1-20).

Santosa, B. (2011). *Metoda Heuristik, Konsep dan Implementasi*. Surabaya: Penerbit Guna Widya.

Suyanto. (2005). *Algoritma Genetika dalam MATLAB.* Yogyakarta: Penerbit Andi.

Tjasyono, B. (2004). *Klimatologi Umum.* Bandung: Penerbit ITB.

Zigenfus, R. E. (2008). *Element Analysis of The Green Building Process.* New York: Rochester Institute of Technology.

LAMPIRAN

A. Script Kode Matlab Algoritma Stokastik

```
%GENETIC ALGORITHM%
%% Pembangkitan Populasi dan Parameter

clear all;
clc;

Dimension = 1;              %Jumlah Variabel yang di optimasi
UB = [24.79];       %Batas atas Constraint pada Objective Function
LB = [0];                 %Batas bawah Constraint pada Objective
Function

Npop    = 200;                %populasi
Maxit   = 100;                %iterasi
el      = 0.95;               %elatism
Pc      = 0.8;                %probabilitas crossover
Pm      = 0.02;               %probabilitas mutasi
Nbit    = 20;                 %jumlah bit

%Constrain

eBangkit     = [];
Individu     = [];
eIndividu    = [];
david        = [];
Dadatfit     = [];
Datfit       = [];
summary      = [];
eDadatfit    = [];
efitnessmax  = [];
eIndividuMax = [];

Bangkit = round(rand(Npop,Nbit*Dimension));
popsize = size(Bangkit,1);

%% Pembangkitan populasi secara acak dengan bilangan bulat

for i = 1:Dimension %Inisialisasi Nilai Constraint
    batas(i) = UB(i)-LB(i); %Jika memenuhi syarat berarti selesai
end
for i =1:Npop
    for j = 1:Dimension
        Desimal(i,j) = bi2de(Bangkit(i,((j*Nbit)-(Nbit-
1)):(j*Nbit)),'left-msb');
        Individu(i,j) = (Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+LB(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
    end
end

%% Inisialisasi fitness yang dituju
Datfit = [];
```

```
variabel = [];
for i = 1:size(Individu,1)
    fitness = objfunc(Individu(i,:));
    Datfit = [Datfit;fitness];
    [fitemax,nmax]=max(Datfit);
end
%% Pembentukan Generasi
Dadatfit = [];                %Proses pembentukan generasi
for generasi=1:Maxit
    disp('GA processing')
    clear command windows
    clear command history
    clear memory

    if generasi > 1
        sort_fit = sortrows(sort,Nbit*Dimension+1);
        Individu1 = sort_fit(round((1-el)*Npop+1):Npop,:);
        remain = sort_fit(round(el*Npop)+1:Npop,:);

        X = Individu1;
        M = size(X,1);

        sumfitness = sum(Datfit);
        for i=1:M
            Prob(i) = Datfit(i)/sumfitness;
        end
        for i=2:M
            Prob(i) = Prob(i)+Prob(i-1);
        end
        for i=1:M
            n=rand;
            k=1;
            for j=1:M-1
                if (n>Prob(j))
                    k=j+1;
                end
            end
            Xparents(i,:) = X(k,:);
        end

%% Crossover
        [M,d] = size(Xparents);
        Xcrossed = Xparents; %Crossover antar kromosom
        for i=1:2:M-1
            c=rand;
            if (c<=Pc)
                p=ceil((d-1)*rand);
                Xcrossed(i,:) = [Xparents(i,1:p)
Xparents(i+1,p+1:d)];
                Xcrossed(i+1,:) = [Xparents(i+1,1:p)
Xparents(i,p+1:d)];
            end
        end
        if (M/2~=floor(M/2))
            c=rand;
            if (c<=Pc)       %Crossover antar individu
                p=ceil((d-1)*rand);
```

```
                str=ceil((M-1)*rand);
                Xcrossed(M,:) = [Xparents(M,1:p)
Xparents(str,p+1:d)]; %Anak pertama yang dipilih
            end
        end

%% Mutasi
        [M,d] = size(Xcrossed); %Mutasi kromosom
        Xnew=Xcrossed;
        for i=1:M
            for j=1:d
                p=rand;
                if (p<=Pm)
                    Xnew(i,j)=1-Xcrossed(i,j);
                end
            end
        end

        disp('New fitness calculation');

        Bangkit =
[Xnew(:,1:Nbit*Dimension);remain(:,1:Nbit*Dimension)];
    end
    eBangkit = [eBangkit; Bangkit];

    for i =1:Npop
        for j = 1:Dimension;
            Desimal(i,j) = bi2de(Bangkit(i,((j*Nbit)-(Nbit-
1)):(j*Nbit)),'left-msb');
            Individu(i,j) = (Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+LB(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
        end
    end

    Datfit = [];
    for i = 1:Npop
        fitness = objfunc(Individu(i,:));
        Datfit = [Datfit;fitness];
        [fitemax,nmax] = max(Datfit);
    end

    Dadatfit = Datfit;
    eDadatfit = [eDadatfit;Dadatfit];
    eIndividu = [eIndividu;Individu];
    [fitnessmax,nmax] = max(eDadatfit);
    efitnessmax = [efitnessmax;fitnessmax];
    BangkitMax = eBangkit(nmax,:);
    IndividuMax = eIndividu(nmax,:);
    eIndividuMax = [eIndividuMax;IndividuMax];
    BangkitMaxlast = BangkitMax;
    schedmax = BangkitMax;
    sort = [Bangkit Dadatfit];
    summary = [summary; sort];
    david = [david; Dadatfit];
%% PLOT DATA
clc
```

```
max_variable_design=IndividuMax(1,:)
max_objective_function=fitness(1,:)
figure(gcf)
title('Grafik Nilai GA','color','b')
xlabel('Jumlah Iterasi')
ylabel('Volume Desain Optimum')
hold on
plot(eIndividuMax, 'DisplayName', 'eIndividuMax', 'YDataSource',
'eIndividuMax');
hold on
end
```

B. Script Kode Matlab Fungsi Objektif

```
%Objective Function
function [of] = objfunc(x)
vt = x(1); %Rainwater Tank Volume (m3)

%% Genetic Algorithm Constraints

%Monsoonal Rainfall = 16.685

%% Periods Parameter
t = 3652;
ta = 1400; %Average Rainy Days (10 years)
tm = 757; %Monsoonal Rainy Days (10 years)
pjw = 12550; %PAM Jaya Water Cost per m3
%% Domestic Data
int = 1;  %interval
tw = 0.5; %wastafel usage time (minutes)
tww= 1;   %wudhu usagetime (minutes)
ts = 5;   %shower usage time (minutes)
tf = 1;   %flushing toilet usage
tu = 2;   %urinoar usage
te = 846; %total employee
sw = 6;   %wastafel spec
sww = 6;  %wudhu spec
ss = 9;   %shower spec
sf = 4.5; %flushing spec
su = 4;   %urinoar spec

%% Baseline Data
bd = 14.202;
cb = bd*t*pjw;
%% Grey Water Consumption Calculation
wsd = te*int*tw*sw/1000;       %wastafel
wcd = 0.5*te*int*tww*sww/1000; %wudhu
scd = 43*int*ts*ss/1000;       %shower
%% Black Water Consumption Calculation
ftd = te*tf*sf/1000;           %flushing toilet
utd = 0.5*te*tu*su/1000;       %urinoar

%% Price of Utility
rwt = 1300000; %Rainwater Tank
prt = 1300000; %Purification Tank
cap = 50; %Coagulant PAC
```

```
pvc = 46000; %PVC 1"
pvcc = 105800; %PVC 3"
valve = 150000; %Valve
wm = 1500000; %Water Meter
capv = 8850;
scf = 44750000; %Sand & Filter Carbon
pump = 2000000;
%% PAM JAYA COST CALC
%2009
wjan9 = ((14.202-vt)*pjw*22)+(14.202*pjw*9);
wfeb9 = ((14.202-vt)*pjw*21)+(14.202*pjw*7);
wmar9 = ((14.202-vt)*pjw*10)+(14.202*pjw*21);
wapr9 = ((14.202-vt)*pjw*8)+(14.202*pjw*22);
wmay9 = ((14.202-vt)*pjw*13)+(14.202*pjw*18);
wjun9 = ((14.202-vt)*pjw*4)+(14.202*pjw*26);
%
wjul9 =(10.762*pjw*3)+(14.202*pjw*28);
waug9 = (10.982*pjw*2)+(14.202*pjw*29);
wsep9 = ((14.202-vt)*pjw*3)+(14.202*pjw*27);
woct9 = ((14.202-vt)*pjw*5)+(14.202*pjw*26);
wnov9 = ((14.202-vt)*pjw*16)+(14.202*pjw*14);
wdes9 = ((14.202-vt)*pjw*16)+(14.202*pjw*15);
wx9=wjan9+wfeb9+wmar9+wapr9+wmay9+wjun9+wjul9+waug9+wsep9+woct9+wn
ov9+wdes9;

%2010
wjan10 = ((14.202-vt)*pjw*22)+(14.202*pjw*9);
wfeb10 = ((14.202-vt)*pjw*19)+(14.202*pjw*9);
wmar10 = ((14.202-vt)*pjw*12)+(14.202*pjw*19);
wapr10 = (10.422*pjw*7)+(14.202*pjw*23);
wmay10 = (8.402*pjw*15)+(14.202*pjw*16);
wjun10 = ((14.202-vt)*pjw*15)+(14.202*pjw*15);
wjul10 =((14.202-vt)*pjw*15)+(14.202*pjw*15);
waug10 = ((14.202-vt)*pjw*11)+(14.202*pjw*20);
wsep10 = ((14.202-vt)*pjw*16)+(14.202*pjw*14);
woct10 = ((14.202-vt)*pjw*17)+(14.202*pjw*14);
wnov10 = ((14.202-vt)*pjw*14)+(14.202*pjw*16);

wdes10 = (8.062*pjw*20)+(14.202*pjw*11);
wx10=wjan10+wfeb10+wmar10+wapr10+wmay10+wjun10+wjul10+waug10+wsep1
0+woct10+wnov10+wdes10;

%2011
wjan11 = ((14.202-vt)*pjw*21)+(14.202*pjw*10);
wfeb11 = ((14.202-vt)*pjw*18)+(14.202*pjw*10);
wmar11 = ((14.202-vt)*pjw*17)+(14.202*pjw*14);
wapr11 = ((14.202-vt)*pjw*13)+(14.202*pjw*17);
wmay11 = ((14.202-vt)*pjw*11)+(14.202*pjw*20);
wjun11 = ((14.202-vt)*pjw*8)+(14.202*pjw*22);
wjul11 = (10.612*pjw*5)+(14.202*pjw*26);
waug11 = (12.712*pjw*1)+(14.202*pjw*30);
wsep11 = ((14.202-vt)*pjw*2)+(14.202*pjw*28);
woct11 = ((14.202-vt)*pjw*9)+(14.202*pjw*22);
wnov11 = (10.802*pjw*13)+(14.202*pjw*17);
wdes11 = ((14.202-vt)*pjw*14)+(14.202*pjw*17);
wx11=wjan11+wfeb11+wmar11+wapr11+wmay11+wjun11+wjul11+waug11+wsep1
1+woct11+wnov11+wdes11;
```

```
%2012
wjan12 = ((14.202-vt)*pjw*23)+(14.202*pjw*8);
wfeb12 = ((14.202-vt)*pjw*15)+(14.202*pjw*14);
wmar12 = ((14.202-vt)*pjw*16)+(14.202*pjw*15);
wapr12 = ((14.202-vt)*pjw*13)+(14.202*pjw*17);
wmay12 = ((14.202-vt)*pjw*7)+(14.202*pjw*24);
wjun12 = ((14.202-vt)*pjw*4)+(14.202*pjw*26);
wjul12 = ((14.202-vt)*pjw*1)+(14.202*pjw*30);
waug12 = (14.202*pjw*0)+(14.202*pjw*31);
wsep12 = ((14.202-vt)*pjw*2)+(14.202*pjw*28);
woct12 = (10.862*pjw*6)+(14.202*pjw*25);
wnov12 = ((14.202-vt)*pjw*18)+(14.202*pjw*12);
wdes12 = ((14.202-vt)*pjw*17)+(14.202*pjw*14);
wx12=wjan12+wfeb12+wmar12+wapr12+wmay12+wjun12+wjul12+waug12+wsep1
2+woct12+wnov12+wdes12;

%2013
wjan13 = ((14.202-vt)*pjw*21)+(14.202*pjw*10);
wfeb13 = ((14.202-vt)*pjw*18)+(14.202*pjw*10);
wmar13 = ((14.202-vt)*pjw*14)+(14.202*pjw*17);
wapr13 = ((14.202-vt)*pjw*16)+(14.202*pjw*14);
wmay13 = ((14.202-vt)*pjw*9)+(14.202*pjw*22);
wjun13 = ((14.202-vt)*pjw*17)+(14.202*pjw*13);
wjul13 = ((14.202-vt)*pjw*16)+(14.202*pjw*15);
waug13 = ((14.202-vt)*pjw*8)+(14.202*pjw*23);
wsep13 = ((14.202-vt)*pjw*5)+(14.202*pjw*25);
woct13 = ((14.202-vt)*pjw*8)+(14.202*pjw*23);
wnov13 = ((14.202-vt)*pjw*12)+(14.202*pjw*18);
wdes13 = ((14.202-vt)*pjw*23)+(14.202*pjw*8);
wx13=wjan13+wfeb13+wmar13+wapr13+wmay13+wjun13+wjul13+waug13+wsep1
3+woct13+wnov13+wdes13;

%2014
wjan14 = ((14.202-vt)*pjw*26)+(14.202*pjw*5);
wfeb14 = ((14.202-vt)*pjw*21)+(14.202*pjw*7);
wmar14 = ((14.202-vt)*pjw*17)+(14.202*pjw*14);
wapr14 = ((14.202-vt)*pjw*12)+(14.202*pjw*18);
wjun14 = ((14.202-vt)*pjw*11)+(14.202*pjw*19);
wjul14 = ((14.202-vt)*pjw*12)+(14.202*pjw*19);
waug14 = ((14.202-vt)*pjw*3)+(14.202*pjw*28);
woct14 = ((14.202-vt)*pjw*4)+(14.202*pjw*27);
wnov14 = ((14.202-vt)*pjw*10)+(14.202*pjw*20);
wdes14 = ((14.202-vt)*pjw*13)+(14.202*pjw*18);
wmay14 = (9.512*pjw*11)+(14.202*pjw*20);
wsep14 = (14.102*pjw*1)+(14.202*pjw*29);
wx14
=wjan14+wfeb14+wmar14+wapr14+wmay14+wjun14+wjul14+waug14+wsep14+wo
ct14+wnov14+wdes14;

%2015
wjan15 = ((14.202-vt)*pjw*20)+(14.202*pjw*11);
wfeb15 = ((14.202-vt)*pjw*22)+(14.202*pjw*6);
wmar15 = ((14.202-vt)*pjw*17)+(14.202*pjw*14);
wmay15 = ((14.202-vt)*pjw*1)+(14.202*pjw*30);
wnov15 = ((14.202-vt)*pjw*8)+(14.202*pjw*22);
wdes15 = ((14.202-vt)*pjw*17)+(14.202*pjw*14);
```

```
wapr15 = (9.632*pjw*18)+(14.202*pjw*12);
wjun15 = (11.692*pjw*4)+(14.202*pjw*26);
wjul15 = (14.202*pjw*0)+(14.202*pjw*31);
waug15 = (9.052*pjw*1)+(14.202*pjw*30);
wsep15 = (14.202*pjw*0)+(14.202*pjw*30);
woct15 = (14.202*pjw*0)+(14.202*pjw*31);
wx15
=wjan15+wfeb15+wmar15+wapr15+wmay15+wjun15+wjul15+waug15+wsep15+wo
ct15+wnov15+wdes15;

%2016
wjan16 = ((14.202-vt)*pjw*16)+(14.202*pjw*15);
wfeb16 = ((14.202-vt)*pjw*22)+(14.202*pjw*7);
wmar16 = ((14.202-vt)*pjw*20)+(14.202*pjw*11);
wapr16 = ((14.202-vt)*pjw*9)+(14.202*pjw*21);
wmay16 = ((14.202-vt)*pjw*16)+(14.202*pjw*15);
wjun16 = ((14.202-vt)*pjw*11)+(14.202*pjw*19);
wjul16 = ((14.202-vt)*pjw*11)+(14.202*pjw*20);
waug16 = ((14.202-vt)*pjw*14)+(14.202*pjw*17);
wsep16 = ((14.202-vt)*pjw*12)+(14.202*pjw*18);
woct16 = ((14.202-vt)*pjw*20)+(14.202*pjw*11);
wnov16 = ((14.202-vt)*pjw*16)+(14.202*pjw*14);
wdes16 = (9.402*pjw*12)+(14.202*pjw*19);
wx16
=wjan16+wfeb16+wmar16+wapr16+wmay16+wjun16+wjul16+waug16+wsep16+wo
ct16+wnov16+wdes16;

%2017
wjan17 = ((14.202-vt)*pjw*17)+(14.202*pjw*14);
wfeb17 = ((14.202-vt)*pjw*23)+(14.202*pjw*5);
wmar17 = ((14.202-vt)*pjw*15)+(14.202*pjw*16);
wapr17 = ((14.202-vt)*pjw*14)+(14.202*pjw*16);
wmay17 = ((14.202-vt)*pjw*9)+(14.202*pjw*22);
wjun17 = ((14.202-vt)*pjw*8)+(14.202*pjw*22);
wjul17 = ((14.202-vt)*pjw*5)+(14.202*pjw*26);
waug17 = (13.412*pjw*1)+(14.202*pjw*30);
wsep17 = ((14.202-vt)*pjw*7)+(14.202*pjw*23);
woct17 = ((14.202-vt)*pjw*8)+(14.202*pjw*23);
wnov17 = ((14.202-vt)*pjw*14)+(14.202*pjw*16);
wdes17 = ((14.202-vt)*pjw*10)+(14.202*pjw*21);
wx17
=wjan17+wfeb17+wmar17+wapr17+wmay17+wjun17+wjul17+waug17+wsep17+wo
ct17+wnov17+wdes17;

%2018
wjan18 = ((14.202-vt)*pjw*18)+(14.202*pjw*13);
wfeb18 = ((14.202-vt)*pjw*23)+(14.202*pjw*5);
wmar18 = ((14.202-vt)*pjw*19)+(14.202*pjw*12);
wapr18 = ((14.202-vt)*pjw*14)+(14.202*pjw*16);
wmay18 = (10.932*pjw*5)+(14.202*pjw*26);
wjun18 = (11.722*pjw*5)+(14.202*pjw*25);
wjul18 = ((14.202-vt)*pjw*1)+(14.202*pjw*30);
waug18 = ((14.202-vt)*pjw*1)+(14.202*pjw*30);
wsep18 = ((14.202-vt)*pjw*3)+(14.202*pjw*27);
woct18 = ((14.202-vt)*pjw*7)+(14.202*pjw*24);
wnov18 = ((14.202-vt)*pjw*10)+(14.202*pjw*20);
```

```
wdes18 = (8.442*pjw*9)+(14.202*pjw*22);
wx18=
wjan18+wfeb18+wmar18+wapr18+wmay18+wjun18+wjul18+waug18+wsep18+woc
t18+wnov18+wdes18;
cda = ta*14.202*pjw;
vtot = wsd+wcd+scd+ftd+utd;

vw  = vtot-vt;
vtot= vt+vw;
if vtot>=14.202
    of = 0;
else
capex =
(vt*rwt)+(275*pvc)+(50*pvcc)+(13*valve)+(3*wm)+scf+(pump*13)+(capv
*cap);
opex =
wx9+wx10+wx11+wx12+wx13+wx14+wx15+wx16+wx17+wx18+(5/100*100*capex)
;;
roi = ((cb-opex)-capex)/capex*100;
of = roi;
end
end
```

C. Perhitungan Biaya Konsumsi Air

Tabel C.1 Perhitungan Biaya Konsumsi Air Tahun 2009

Tahun	Bulan	Max	Volume Tangki	Selisih	Supply PAM	Hujan	Tidak	Volume Hujan	Volume Tidak	Hari Hujan Beli (Rp)	Hari Tidak Hujan (Rp)
2009	Januari	24,68	6,202	-18,478	8	22	9	176	127,818	2.208.800,00	1.604.115,90
	Februari	11,29	6,202	-5,088	8	21	7	168	99,414	2.108.400,00	1.247.645,70
	Maret	14,01	6,202	-7,808	8	10	21	80	298,242	1.004.000,00	3.742.937,10
	April	11,49	6,202	-5,288	8	8	22	64	312,444	803.200,00	3.921.172,20
	Mei	17,03	6,202	-10,828	8	13	18	104	255,636	1.305.200,00	3.208.231,80
	Juni	18,43	6,202	-12,228	8	4	26	32	369,252	401.600,00	4.634.112,60
	Juli	3,44	6,202	2,762	10,762	3	28	32,286	397,656	405.189,30	4.990.582,80
	Agustus	3,22	6,202	2,982	10,982	2	29	21,964	411,858	275.648,20	5.168.817,90
	September	29,17	6,202	-22,968	8	3	27	24	383,454	301.200,00	4.812.347,70
	Oktober	12,55	6,202	-6,348	8	5	26	40	369,252	502.000,00	4.634.112,60
	November	18,81	6,202	-12,608	8	16	14	128	198,828	1.606.400,00	2.495.291,40
	Desember	11,72	6,202	-5,518	8	16	15	128	213,03	1.606.400,00	2.673.526,50
Total										12.528.037,50	43.132.894,20

Tabel C.2 Perhitungan Biaya Konsumsi Air Tahun 2010

Tahun	Bulan	Max	Volume Tangki	Selisih	Supply PAM	Hujan	Tidak	Volume Hujan	Volume Tidak	Hari Hujan Beli (Rp)	Hari Tidak Hujan (Rp)
2010	Januari	16,99	6,202	-10,788	8	22	9	176	127,818	2.208.800,00	1.604.115,90
	Februari	11,65	6,202	-5,448	8	19	9	152	127,818	1.907.600,00	1.604.115,90
	Maret	20,03	6,202	-13,828	8	12	19	96	269,838	1.204.800,00	3.386.466,90
	April	3,78	6,202	2,422	10,422	7	23	72,954	326,646	915.572,70	4.099.407,30
	Mei	5,80	6,202	0,402	8,402	15	16	126,03	227,232	1.581.676,50	2.851.761,60
	Juni	8,84	6,202	-2,638	8	15	15	120	213,03	1.506.000,00	2.673.526,50
	Juli	16,49	6,202	-10,288	8	15	16	120	227,232	1.506.000,00	2.851.761,60
	Agustus	13,57	6,202	-7,368	8	11	20	88	284,04	1.104.400,00	3.564.702,00
	September	15,87	6,202	-9,668	8	16	14	128	198,828	1.606.400,00	2.495.291,40
	Oktober	22,21	6,202	-16,008	8	17	14	136	198,828	1.706.800,00	2.495.291,40
	November	10,11	6,202	-3,908	8	14	16	112	227,232	1.405.600,00	2.851.761,60
	Desember	6,14	6,202	0,062	8,062	20	11	161,24	156,222	2.023.562,00	1.960.586,10
Total										18.677.211,20	32.438.788,20

Tabel C.3 Perhitungan Biaya Konsumsi Air Tahun 2011

Tahun	Bulan	Max	Volume Tangki	Selisih	Supply PAM	Hujan	Tidak	Volume Hujan	Volume Tidak	Hari Hujan Beli (Rp)	Hari Tidak Hujan (Rp)
2011	Januari	6,87	6,202	-0,668	8	21	10	168	142,02	2.108.400,00	1.782.351,00
	Februari	12,71	6,202	-6,508	8	18	10	144	142,02	1.807.200,00	1.782.351,00
	Maret	8,61	6,202	-2,408	8	17	14	136	198,828	1.706.800,00	2.495.291,40
	April	8,15	6,202	-1,948	8	13	17	104	241,434	1.305.200,00	3.029.996,70
	Mei	17,92	6,202	-11,718	8	11	20	88	284,04	1.104.400,00	3.564.702,00
	Juni	8,73	6,202	-2,528	8	8	22	64	312,444	803.200,00	3.921.172,20
	Juli	3,59	6,202	2,612	10,612	5	26	53,06	369,252	665.903,00	4.634.112,60
	Agustus	1,49	6,202	4,712	12,712	1	30	12,712	426,06	159.535,60	5.347.053,00
	September	26,07	6,202	-19,868	8	2	28	16	397,656	200.800,00	4.990.582,80
	Oktober	8,82	6,202	-2,618	8	9	22	72	312,444	903.600,00	3.921.172,20
	November	3,40	6,202	2,802	10,802	13	17	140,426	241,434	1.762.346,30	3.029.996,70
	Desember	12,53	6,202	-6,328	8	14	17	112	241,434	1.405.600,00	3.029.996,70
Total										13.932.984,90	41.528.778,30

Tabel C.4 Perhitungan Biaya Konsumsi Air Tahun 2012

Tahun	Bulan	Max	Volume Tangki	Selisih	Supply PAM	Hujan	Tidak	Volume Hujan	Volume Tidak	Hari Hujan Beli (Rp)	Hari Tidak Hujan (Rp)
2012	Januari	11,17	6,202	-4,968	8	23	8	184	113,616	2.309.200,00	1.425.880,80
	Februari	7,30	6,202	-1,098	8	15	14	120	198,828	1.506.000,00	2.495.291,40
	Maret	10,99	6,202	-4,788	8	16	15	128	213,03	1.606.400,00	2.673.526,50
	April	14,92	6,202	-8,718	8	13	17	104	241,434	1.305.200,00	3.029.996,70
	Mei	11,17	6,202	-4,968	8	7	24	56	340,848	702.800,00	4.277.642,40
	Juni	16,58	6,202	-10,378	8	4	26	32	369,252	401.600,00	4.634.112,60
	Juli	20,81	6,202	-14,608	8	1	30	8	426,06	100.400,00	5.347.053,00
	Agustus	0,00	6,202	6,202	14,202	0	31	0	440,262	-	5.525.288,10
	September	9,66	6,202	-3,458	8	2	28	16	397,656	200.800,00	4.990.582,80
	Oktober	3,34	6,202	2,862	10,862	6	25	65,172	355,05	817.908,60	4.455.877,50
	November	17,32	6,202	-11,118	8	18	12	144	170,424	1.807.200,00	2.138.821,20
	Desember	13,06	6,202	-6,858	8	17	14	136	198,828	1.706.800,00	2.495.291,40
Total										12.464.308,60	43.489.364,40

Tabel C.5 Perhitungan Biaya Konsumsi Air Tahun 2013

Tahun	Bulan	Max	Volume Tangki	Selisih	Supply PAM	Hujan	Tidak	Volume Hujan	Volume Tidak	Hari Hujan Beli (Rp)	Hari Tidak Hujan (Rp)
2013	Januari	28,41	6,202	-22,208	8	21	10	168	142,02	2.108.400,00	1.782.351,00
	Februari	8,07	6,202	-1,868	8	18	10	144	142,02	1.807.200,00	1.782.351,00
	Maret	13,05	6,202	-6,848	8	14	17	112	241,434	1.405.600,00	3.029.996,70
	April	12,66	6,202	-6,458	8	16	14	128	198,828	1.606.400,00	2.495.291,40
	Mei	11,12	6,202	-4,918	8	9	22	72	312,444	903.600,00	3.921.172,20
	Juni	14,97	6,202	-8,768	8	17	13	136	184,626	1.706.800,00	2.317.056,30
	Juli	15,08	6,202	-8,878	8	16	15	128	213,03	1.606.400,00	2.673.526,50
	Agustus	7,61	6,202	-1,408	8	8	23	64	326,646	803.200,00	4.099.407,30
	September	9,81	6,202	-3,608	8	5	25	40	355,05	502.000,00	4.455.877,50
	Oktober	13,64	6,202	-7,438	8	8	23	64	326,646	803.200,00	4.099.407,30
	November	16,23	6,202	-10,028	8	12	18	96	255,636	1.204.800,00	3.208.231,80
	Desember	14,60	6,202	-8,398	8	23	8	184	113,616	2.309.200,00	1.425.880,80
Total										16.766.800,00	35.290.549,80

Tabel C.6 Perhitungan Biaya Konsumsi Air Tahun 2014

Tahun	Bulan	Max	Volume Tangki	Selisih	Supply PAM	Hujan	Tidak	Volume Hujan	Volume Tidak	Hari Hujan Beli (Rp)	Hari Tidak Hujan (Rp)
2014	Januari	35,28	6,202	-29,078	8	26	5	208	71,01	2.610.400,00	891.175,50
	Februari	34,10	6,202	-27,898	8	21	7	168	99,414	2.108.400,00	1.247.645,70
	Maret	10,49	6,202	-4,288	8	17	14	136	198,828	1.706.800,00	2.495.291,40
	April	13,67	6,202	-7,468	8	12	18	96	255,636	1.204.800,00	3.208.231,80
	Mei	4,69	6,202	1,512	9,512	11	20	104,632	284,04	1.313.131,60	3.564.702,00
	Juni	15,03	6,202	-8,828	8	11	19	88	269,838	1.104.400,00	3.386.466,90
	Juli	17,68	6,202	-11,478	8	12	19	96	269,838	1.204.800,00	3.386.466,90
	Agustus	12,59	6,202	-6,388	8	3	28	24	397,656	301.200,00	4.990.582,80
	September	0,10	6,202	6,102	14,102	1	29	14,102	411,858	176.980,10	5.168.817,90
	Oktober	12,59	6,202	-6,388	8	4	27	32	383,454	401.600,00	4.812.347,70
	November	6,45	6,202	-0,248	8	10	20	80	284,04	1.004.000,00	3.564.702,00
	Desember	17,96	6,202	-11,758	8	13	18	104	255,636	1.305.200,00	3.208.231,80
Total										14.441.711,70	39.924.662,40

Tabel C.7 Perhitungan Biaya Konsumsi Air Tahun 2015

Tahun	Bulan	Max	Volume Tangki	Selisih	Supply PAM	Hujan	Tidak	Volume Hujan	Volume Tidak	Hari Hujan Beli (Rp)	Hari Tidak Hujan (Rp)
2015	Januari	23,42	6,202	-17,218	8	20	11	160	156,222	2.008.000,00	1.960.586,10
	Februari	42,32	6,202	-36,118	8	22	6	176	85,212	2.208.800,00	1.069.410,60
	Maret	12,07	6,202	-5,868	8	17	14	136	198,828	1.706.800,00	2.495.291,40
	April	4,57	6,202	1,632	9,632	18	12	173,376	170,424	2.175.868,80	2.138.821,20
	Mei	16,45	6,202	-10,248	8	1	30	8	426,06	100.400,00	5.347.053,00
	Juni	2,51	6,202	3,692	11,692	4	26	46,768	369,252	586.938,40	4.634.112,60
	Juli	0,00	6,202	6,202	14,202	0	31	0	440,262	-	5.525.288,10
	Agustus	5,15	6,202	1,052	9,052	1	30	9,052	426,06	113.602,60	5.347.053,00
	September	0,00	6,202	6,202	14,202	0	30	0	426,06	-	5.347.053,00
	Oktober	0,00	6,202	6,202	14,202	0	31	0	440,262	-	5.525.288,10
	November	9,85	6,202	-3,648	8	8	22	64	312,444	803.200,00	3.921.172,20
	Desember	15,93	6,202	-9,728	8	17	14	136	198,828	1.706.800,00	2.495.291,40
Total										11.410.409,80	45.806.420,70

Tabel C.8 Perhitungan Biaya Konsumsi Air Tahun 2016

Tahun	Bulan	Max	Volume Tangki	Selisih	Supply PAM	Hujan	Tidak	Volume Hujan	Volume Tidak	Hari Hujan Beli (Rp)	Hari Tidak Hujan (Rp)
2016	Januari	10,15	6,202	-3,948	8	16	15	128	213,03	1.606.400,00	2.673.526,50
	Februari	23,27	6,202	-17,068	8	22	7	176	99,414	2.208.800,00	1.247.645,70
	Maret	17,35	6,202	-11,148	8	20	11	160	156,222	2.008.000,00	1.960.586,10
	April	22,47	6,202	-16,268	8	9	21	72	298,242	903.600,00	3.742.937,10
	Mei	9,68	6,202	-3,478	8	16	15	128	213,03	1.606.400,00	2.673.526,50
	Juni	18,21	6,202	-12,008	8	11	19	88	269,838	1.104.400,00	3.386.466,90
	Juli	22,65	6,202	-16,448	8	11	20	88	284,04	1.104.400,00	3.564.702,00
	Agustus	16,09	6,202	-9,888	8	14	17	112	241,434	1.405.600,00	3.029.996,70
	September	19,11	6,202	-12,908	8	12	18	96	255,636	1.204.800,00	3.208.231,80
	Oktober	6,78	6,202	-0,578	8	20	11	160	156,222	2.008.000,00	1.960.586,10
	November	12,38	6,202	-6,178	8	16	14	128	198,828	1.606.400,00	2.495.291,40
	Desember	4,80	6,202	1,402	9,402	12	19	112,824	269,838	1.415.941,20	3.386.466,90
Total										18.182.741,20	33.329.963,70

Tabel C.9 Perhitungan Biaya Konsumsi Air Tahun 2017

Tahun	Bulan	Max	Volume Tangki	Selisih	Supply PAM	Hujan	Tidak	Volume Hujan	Volume Tidak	Hari Hujan Beli (Rp)	Hari Tidak Hujan (Rp)
2017	Januari	14,06	6,202	-7,858	8	17	14	136	198,828	1.706.800,00	2.495.291,40
	Februari	22,44	6,202	-16,238	8	23	5	184	71,01	2.309.200,00	891.175,50
	Maret	9,17	6,202	-2,968	8	15	16	120	227,232	1.506.000,00	2.851.761,60
	April	11,08	6,202	-4,878	8	14	16	112	227,232	1.405.600,00	2.851.761,60
	Mei	14,87	6,202	-8,668	8	9	22	72	312,444	903.600,00	3.921.172,20
	Juni	17,16	6,202	-10,958	8	8	22	64	312,444	803.200,00	3.921.172,20
	Juli	23,77	6,202	-17,568	8	5	26	40	369,252	502.000,00	4.634.112,60
	Agustus	0,79	6,202	5,412	13,412	1	30	13,412	426,06	168.320,60	5.347.053,00
	September	23,48	6,202	-17,278	8	7	23	56	326,646	702.800,00	4.099.407,30
	Oktober	13,18	6,202	-6,978	8	8	23	64	326,646	803.200,00	4.099.407,30
	November	13,84	6,202	-7,638	8	14	16	112	227,232	1.405.600,00	2.851.761,60
	Desember	25,18	6,202	-18,978	8	10	21	80	298,242	1.004.000,00	3.742.937,10
Total										13.220.320,60	41.707.013,40

Tabel C.10 Perhitungan Biaya Konsumsi Air Tahun 2018

Tahun	Bulan	Max	Volume Tangki	Selisih	Supply PAM	Hujan	Tidak	Volume Hujan	Volume Tidak	Hari Hujan Beli (Rp)	Hari Tidak Hujan (Rp)
2018	Januari	11,86	6,202	-5,658	8	18	13	144	184,626	1.807.200,00	2.317.056,30
	Februari	18,58	6,202	-12,378	8	23	5	184	71,01	2.309.200,00	891.175,50
	Maret	10,54	6,202	-4,338	8	19	12	152	170,424	1.907.600,00	2.138.821,20
	April	11,26	6,202	-5,058	8	14	16	112	227,232	1.405.600,00	2.851.761,60
	Mei	3,27	6,202	2,932	10,932	5	26	54,66	369,252	685.983,00	4.634.112,60
	Juni	2,48	6,202	3,722	11,722	5	25	58,61	355,05	735.555,50	4.455.877,50
	Juli	14,37	6,202	-8,168	8	1	30	8	426,06	100.400,00	5.347.053,00
	Agustus	32,51	6,202	-26,308	8	1	30	8	426,06	100.400,00	5.347.053,00
	September	21,41	6,202	-15,208	8	3	27	24	383,454	301.200,00	4.812.347,70
	Oktober	22,60	6,202	-16,398	8	7	24	56	340,848	702.800,00	4.277.642,40
	November	13,96	6,202	-7,758	8	10	20	80	284,04	1.004.000,00	3.564.702,00
	Desember	5,76	6,202	0,442	8,442	9	22	75,978	312,444	953.523,90	3.921.172,20
Total										12.013.462,40	44.558.775,00

BIODATA PENULIS

Penulis memiliki nama lengkap Alkalanta Yusuf Bimahardji. Penulis lahir di Kediri, pada tanggal 13 Maret 1999. Jenjang pendidikan yang telah ditempuh penulis adalah Sekolah Dasar Negeri Blimbing 3 Malang pada tahun 2005-2011. Melanjutkan Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Malang pada tahun 2011-2014 dan Sekolah Menengah Atas Negeri 8 Malang pada tahun 2014-2016. Kemudian penulis melanjutkan kuliah di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) untuk jenjang Strata 1. Selama menempuh pendidikan di ITS, penulis aktif dalam kegiatan non akademik seperti di salah satu kegiatan yang diselenggarakan BEM ITS, bernama Gerigi ITS 2017 sebagai koordinator sub divisi dan Gerigi ITS 2018 sebagai koordinator divisi. Selain itu penulis juga sempat aktif sebagai staff Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika, dan menjadi Koordinator *Instructure Committee* pada Kaderisasi HMTF-ITS 2019.

Konsentrasi Tugas Akhir yang dipilih oleh penulis adalah Rekayasa Instrumentasi, Kontrol dan Optimisasi. Adapun saran dan kritik yang membangun untuk penulis dapat dikirim melalui email alkalanta69@gmail.com