



BAB 5

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis *Building Environment Management* (BEM)

Berdasarkan hasil wawancara dan kuisisioner yang telah dikumpulkan pada Proyek Gedung X (proyek *green building*) Jakarta Timur, dapat dianalisis pada tahap *Final Assessment* (FA) atau penilaian yang dilakukan secara menyeluruh dari desain hingga pelaksanaan konstruksi dan menentukan hasil akhir dari kinerja gedung tersebut. Hasil wawancara dan kuisisioner tersebut dapat diklasifikasikan berdasarkan kriteria-kriteria yang terdapat dalam kategori penilaian *Building Environment Management* (BEM). Kriteria *Building Environment Management* (BEM) terdiri dari satu kriteria prasyarat dan tujuh kriteria kredit yaitu terdiri dari:

- a. *Basic waste management* atau dasar pengelolaan sampah
- b. *GP as a member of project team* atau GP sebagai anggota tim proyek
- c. *Pollution of construction activity* atau polusi dari aktivitas konstruksi
- d. *Advanced waste management* atau pengelolaan sampah tingkat lanjut
- e. *Proper commissioning* atau sistem komisioning yang baik dan benar
- f. *Submission green building* atau penyerahan data *green building*
- g. *Fit out agreement* atau kesepakatan dalam melakukan aktivitas *fit out*
- h. *Occupant survey* atau survei pengguna gedung.

5.1.1 *Basic Waste Management*

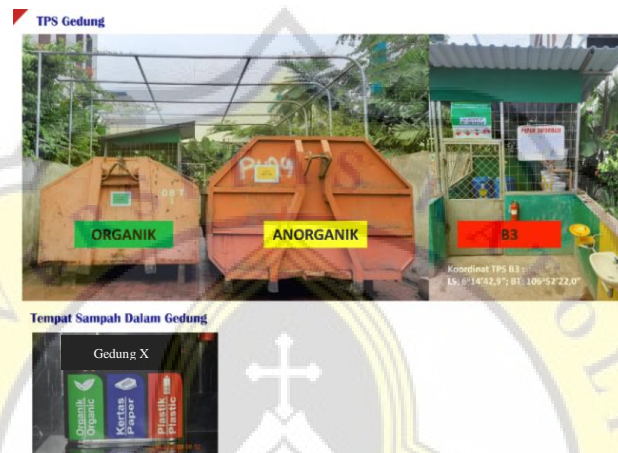
Berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan pada Proyek Gedung X (proyek *green building*) Jakarta Timur yang dianalisis berdasarkan tolok ukur dari kategori penilaian *basic waste management* atau pengelolaan sampah. Menurut UU No. 18 (2008) Sampah-sampah yang berada di sekitar lokasi konstruksi di atur dengan baik yang diawali dengan adanya instalasi atau fasilitas untuk memilah dan mengumpulkan sampah sejenis sampah rumah tangga berdasarkan jenis organik, anorganik dan B3. Hasil *final assessment* kategori penilaian *basic waste management* mempunyai surat pernyataan bahwa pemilik gedung melakukan pemisahan sampah berdasarkan organik, anorganik dan B3 dari



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

dalam gedung sampai keluar lahan gedung, mempunyai dokumen Standar Operasional Prosedur (SOP) yang menunjukkan mekanisme pemisahan dan pengangkutan sampah dari dalam gedung ke luar lahan gedung dan gambar *as built* yang menunjukkan peletakan fasilitas sampah terpisah dalam gedung dan di dalam lahan gedung. Tempat pembuangan sampah secara terpisah (organik, anorganik dan B3) dapat diperlihatkan pada Gambar 5.1



Gambar 5.1 Tempat Sampah Terpisah (Sumber: Data PT. Narama Mandiri)

Dalam proses evaluasi ada beberapa hal yang dinilai salah satunya adalah mendorong gerakan pemilahan sampah secara sederhana yang mempermudah proses daur ulang dan pada kriteria penilaian BEM prasyarat yaitu dasar pengelolaan sampah sampai mendapatkan hasil sudah tercapai pada *review result (point)* sehingga untuk melanjutkan proses penilaian pada enam kriteria penilaian kredit dapat dilanjutkan.

5.1.2 GP as a member of project

Berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan pada Proyek Gedung X (proyek *green building*) Jakarta Timur yang dianalisis berdasarkan tolok ukur dari kriteria penilaian GP as member of project atau GP sebagai anggota tim proyek. Sebelum proses penilaian pada tahap *final assessment*, adanya penunjukkan GP yang terlibat dan setelah itu membuat surat penunjukkan GP yang terlibat yang ditandatangani oleh pemilik proyek, fotokopi sertifikat GP yang terlibat dalam proyek dan laporan absensi GP dalam setiap rapat koordinasi proyek yang ditandatangani pemilik proyek karena hasil dari penilaian ini sangat berpengaruh pada hasil nya.



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

Dalam proses evaluasi pihak pemilik gedung melibatkan minimal seorang tenaga ahli yang sudah bersertifikat *Greenship Professional* (GP), yang bertugas untuk memandu proyek hingga mendapatkan sertifikat *greenship*. Kriteria penilaian BEM pertama yaitu GP sebagai anggota tim proyek yang mengarahkan langkah-langkah desain suatu *green building* sejak tahap awal sehingga memudahkan tercapainya suatu desain yang memenuhi rating mendapatkan hasil satu yang artinya poin tercapai dan dokumen sudah lengkap pada *review result* (*point*).

5.1.3 *Pollution of construction activity*

Berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan pada Proyek Gedung X (proyek *green building*) Jakarta Timur yang dianalisis berdasarkan tolok ukur dari kriteria penilaian *pollution of construction activity* atau polusi dari aktivitas konstruksi. Pada hasil wawancara yang didapat di dalam dokumen pendukung tahap *final assessment*, saat pengelolaan dilakukan oleh pihak ketiga dibuktikan dengan adanya, surat perjanjian kerja sama dengan pihak ketiga untuk melakukan pengolahan limbah organik, gambar *as built* menunjukkan instalasi pengomposan dan adanya bukti fotografis instalasi pengomposan semua sudah tercapai. Sampah di dalam gedung juga dipisahkan sesuai organik, anorganik dan B3. Sampah secara terpisah di dalam gedung dapat diperlihatkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Pemisahan Sampah Dalam Gedung (Sumber: Data PT. Narama Mandiri)



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

Hasil dari manajemen sampah yang terdiri dari limbah padat, dengan menyediakan area pengumpulan, pemisahan, dan sistem pencatatan dibedakan berdasarkan limbah padat yang dibuang ke TPA, digunakan kembali, dan didaur ulang oleh pihak ketiga dan yang terakhir limbah cair, dengan menjaga kualitas seluruh buangan air yang timbul dari aktivitas konstruksi agar tidak mencemari drainase kota semua sudah tercapai. Kriteria penilaian yang kedua yaitu polusi dari aktivitas konstruksi mendorong pengurangan sampah yang dibawa ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dan polusi dari proses konstruksi mendapatkan hasil tercapai pada *review result (point)*.

5.1.4 *Advanced waste management*

Berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan pada Proyek Gedung X (proyek *green building*) Jakarta Timur yang dianalisis berdasarkan tolok ukur dari kriteria penilaian *advanced waste management* atau pengelolaan sampah tingkat lanjut, dari hasil wawancara bahwa mengolah limbah organik dan limbah anorganik dari gedung yang dilakukan secara mandiri maupun bekerjasama dengan pihak ketiga sehingga menambah nilai manfaat dan dapat mengurangi dampak lingkungan.

Pengelolaan limbah B3 oleh PT. Arah Environmental Indonesia diawali dengan sampah di kumpulkan pada TPS gedung setelah itu pengangkutan menuju ke unit pengolahan limbah PT. Arah Environmental Indonesia, di *plant* oleh PT. Arah Environmental Indonesia lalu limbah dimasukkan ke dalam alat *insinerator* untuk proses pembakaran, kemudian abu hasil *insinerator* dikumpulkan dan ditangani oleh perusahaan penimunan limbah B3 berizin.

Pengelolaan limbah anorganik PT. Arah Environmental Indonesia sampah yang di ambil dari TPS gedung lalu diangkut menuju ke unit pengolahan limbah PT. Arah Environmental Indonesia, kemudian *upcycle* sampah menjadi kerajinan tangan maupun daur ulang kembali menjadi biji plastik atau logam dan terakhir melakukan penyortiran kembali limbah sesuai jenisnya. Kerajinan tangan yang di *upcycle* dari sampah anorganik dapat diperlihatkan pada Gambar 5.3.



Tugas Akhir
 Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
 Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya



Gambar 5.3 Hasil Kerajinan Tangan dari Sampah Anorganik (Sumber: PT. Narama Mandiri)

Pengolahan limbah organik sistem pengolahannya sama seperti limbah B3 dan anorganik diawali dari pengumpulan sampah pada TPS gedung kemudian diangkut menuju ke unit pengolahan limbah PT. Arah Environmental Indonesia, lalu kompos yang sudah diolah dimanfaatkan sebagai pupuk untuk tanaman dan setelah itu limbah organik basah (makanan) dimasukkan kedalam komposter sehingga dapat dihasilkan kompos. Kompos yang diolah dari sampah organik dapat diperlihatkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Kompos Hasil Olahan dari Sampah Organik (Sumber: PT. Narama Mandiri)

Hasil dari kriteria penilaian pengelolaan sampah tingkat lanjut untuk mendorong manajemen kebersihan dan sampah secara terpadu sehingga mengurangi beban tempat pembuangan akhir sudah tercapai pada *review result (point)*.



5.1.5 *Proper commissioning*

Berdasarkan hasil wawancara pada Proyek Gedung X (proyek *green building*) Jakarta Timur yang dianalisis berdasarkan tolok ukur dari kriteria penilaian *proper commissioning* atau sistem komisioning yang baik dan benar. Proses yang dilakukan agar penilaian dapat tercapai diawali dengan melakukan prosedur *testing commissioning* sesuai dengan petunjuk *Green Building Council* Indonesia (GBCI). Proses selanjutnya dilakukan pelatihan terkait untuk optimalisasi kesesuaian fungsi dan kinerja peralatan atau sistem dengan perencanaan dan acuannya. Proses yang terakhir memastikan seluruh *measuring adjusting instrument* telah terpasang pada saat konstruksi dan memperhatikan kesesuaian antara desain dan spesifikasi teknis terkait komponen *proper commissioning*.

Proses dari *commissioning* pada tahap *final assessment* salinan laporan hasil pelaksanaan meliputi hasil uji kerja peralatan yang terpasang dibanding dengan yang direncanakan, termasuk *executive summary* bila terdapat perbedaan antara kapasitas AC dengan desain lalu salinan jadwal pelaksanaan pelatihan komisioning tersebut dilengkapi dengan nama penanggung jawab, pelaksana, dan pengawas komisioning. Oleh karena itu, manfaat dari melaksanakan komisioning yang baik dan benar pada bangunan agar kinerja yang dihasilkan sesuai dengan perencanaan awal, hasil yang di dapat pada kriteria penilaian sistem komisioning yang baik dan benar sudah tercapai pada *review result (point)*.

5.1.6 *Submission green building*

Berdasarkan hasil wawancara pada Proyek Gedung X (proyek *green building*) Jakarta Timur yang dianalisis berdasarkan tolok ukur dari kriteria penilaian *submission green building* atau penyerahan data *green building*, dari hasil wawancara yang didapat menyerahkan data implementasi *green building* sesuai dengan form dari *Green Building Council* Indonesia (GBCI).

Proses selanjutnya memberi pernyataan bahwa pemilik gedung akan menyerahkan data implementasi *green building* dari bangunan tersebut dalam waktu 12 bulan setelah tanggal sertifikasi kepada *Green Building Council* Indonesia (GBCI) dan akan ditentukan pusat data energi Indonesia, hasil *final assessment* adalah



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

perhitungan perbandingan presentase kenaikan investasi pembangunan *green building* terhadap pembangunan gedung konvensional dan surat pernyataan bahwa pemilik gedung menyerahkan data ke *Green Building Council* Indonesia (GBCI) setelah satu tahun dari tanggal penerimaan sertifikasi, yang meliputi data konsumsi energi, data konsumsi air, data volume sampah organik dan anorganik.

Hasil dari kriteria penilaian penyerahan data *green building*, melengkapi *database* implementasi *green building* di Indonesia untuk mempertajam standar-standar dan bahan penelitian sudah tercapai pada *review result (point)*.

5.1.7 Fit out agreement

Berdasarkan hasil wawancara pada Proyek Gedung X (proyek *green building*) Jakarta Timur yang dianalisis berdasarkan tolok ukur dari kriteria penilaian *fit out agreement* atau kesepakatan dalam melakukan aktivitas *fit out* sudah tercapai pada *review result (point)*. Narasumber menyampaikan bahwa penggunaan kayu telah bersertifikat untuk material *fit out*, sudah dilaksanakan pelatihan yang dilakukan oleh manajemen gedung dan pelaksanaan manajemen *Indoor Air Quality* (IAQ).

5.1.8 Occupant survei

Berdasarkan hasil wawancara pada Proyek Gedung X (proyek *green building*) Jakarta Timur yang dianalisis berdasarkan tolok ukur dari kriteria penilaian *occupant survei* atau survei pengguna gedung memberi pernyataan bahwa pemilik gedung telah mengadakan survei suhu dan kelembaban paling lambat 12 bulan setelah tanggal sertifikasi dan menyerahkan laporan hasil survei paling lambat 15 bulan setelah tanggal sertifikasi kepada *Green Building Council* Indonesia (GBCI). Pada hasil *final assessment* mendapatkan nilai sebesar 11 point.

Keseluruhan total *point achieved* 83 sehingga target *level achievement* pada Proyek Gedung X (proyek *green building*) Jakarta Timur, platinum.

5.2 Evaluasi Limbah

Berdasarkan analisis pengelolaan limbah yang dilakukan pada Proyek Gedung X (proyek *green building*) Jakarta Timur, dapat dinilai berdasarkan kategori penilaian *Building Environment Management* (BEM) yang terdapat dalam buku *green ship*



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

panduan teknis perangkat penilaian bangunan hijau untuk bangunan baru versi 1.2. Hasil penilaian BEM Proyek Gedung X (proyek *green building*) Jakarta Timur dapat diperlihatkan pada Tabel 5.1

Tabel 5.1 Hasil Penilaian BEM Proyek Gedung X (Proyek *Green Building*) Jakarta Timur

<i>Building Environment Management (BEM)</i>			
Code	<i>Rating</i>	Point	Keterangan
BEM P	<i>Basic Waste Management</i> (Dasar Pengelolaan Sampah)	P	1 kriteria prasyarat ; 7 kriteria kredit
	Adanya instalasi atau fasilitas untuk memilah dan mengumpulkan sampah jenis organik, anorganik, dan B3.		
BEM 1	<i>GP as a Member of Project Team</i> (GP Sebagai Anggota Tim Proyek)	1	
	Melibatkan minimal seorang tenaga ahli yang sudah bersertifikat <i>Greenship Professional</i> (GP), yang bertugas untuk memandu proyek hingga mendapatkan sertifikat <i>greenship</i> .		
BEM 2	<i>Pollution of Construction Activity</i> (Polusi dari Aktivitas Konstruksi)	0	
	Limbah padat, dengan menyediakan area pengumpulan, pemisahan, dan sistem pencatatan. Pencatatan dibedakan berdasarkan limbah padat yang dibuang ke TPA, digunakan kembali, dan didaur ulang oleh pihak ketiga.		
	Limbah cair, dengan menjaga kualitas seluruh buangan air yang timbul dari aktivitas konstruksi agar tidak mencemari drainase kota		
BEM 3	<i>Advance Waste Management</i> (Pengelolaan Sampah Tingkat Lanjut)	1	
	Mengolah limbah organik gedung yang dilakukan secara mandiri maupun bekerjasama dengan pihak ketiga sehingga menambah nilai manfaat dan dapat mengurangi dampak lingkungan.	0	
	Mengolah limbah anorganik gedung yang dilakukan secara mandiri maupun bekerjasama dengan pihak ketiga sehingga menambah nilai manfaat dan dapat mengurangi dampak lingkungan.	1	
BEM 4	<i>Proper Commissioning</i> (Sistem Komisioning yang Baik dan Benar)	2	
	Melakukan prosedur <i>testing-commissioning</i> sesuai dengan petunjuk GBC Indonesia, termasuk pelatihan terkait untuk optimalisasi kesesuaian fungsi dan kinerja peralatan/sistem dengan perencanaan dan acuannya.	1	
	Memastikan seluruh <i>measuring adjusting instrument</i> telah terpasang pada saat konstruksi dan memperhatikan kesesuaian antara desain dan spesifikasi teknis terkait komponen <i>proper commissioning</i> .		
BEM 5	<i>Submission Green Building Data</i> (Penyerahan Data <i>Green Building</i>)	1	
	Menyerahkan data implementasi <i>green building</i> sesuai dengan form dari GBC Indonesia.		



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

Tabel 5.1 Hasil Penilaian BEM Proyek Gedung X (Proyek *Green Building*) Jakarta Timur (lanjutan)

<i>Building Environment Management</i> (BEM)			
Code	Rating	Point	Keterangan
	Memberi pernyataan bahwa pemilik gedung akan menyerahkan data implementasi <i>green building</i> dari bangunannya dalam waktu 12 bulan setelah tanggal sertifikasi kepada GBC Indonesia dan suatu pusat data energi Indonesia yang akan ditentukan.	1	1 kriteria prasyarat ; 7 kriteria kredit
BEM 6	<i>Fit Out Agreement</i> (Kesepakatan Dalam Melakukan Aktivitas <i>Fit Out</i>)	1	
	Memiliki surat perjanjian dengan penyewa gedung (tenant) untuk gedung yang disewakan atau POS untuk gedung yang digunakan sendiri, yang terdiri atas:		
	a. Penggunaan kayu yang bersertifikat untuk material <i>fit-out</i>		
	b. Pelaksanaan pelatihan yang akan dilakukan oleh manajemen gedung		
	c. Pelaksanaan manajemen indoor <i>air quality</i> (IAQ) setelah konstruksi <i>fit-out</i> . Implementasi dalam bentuk Perjanjian Sewa (<i>lease agreement</i>) atau POS.		
BEM 7	<i>Occupant Survey</i> (Survei Pengguna Gedung)	2	
	Memberi pernyataan bahwa pemilik gedung akan mengadakan survei suhu dan kelembaban paling lambat 12 bulan setelah tanggal sertifikasi dan menyerahkan laporan hasil survei paling lambat 15 bulan setelah tanggal sertifikasi kepada GBC Indonesia.		
Total Nilai keseluruhan BEM		11	

Berdasarkan hasil penilaian dari kategori penilaian *Building Environment Management* (BEM) Proyek Gedung X (proyek *green building*), Jakarta Timur. Hasil dari manajemen sampah yang terdiri dari limbah padat, dengan menyediakan area pengumpulan, pemisahan, dan sistem pencatatan dibedakan berdasarkan limbah padat yang dibuang ke TPA, digunakan kembali, dan didaur ulang oleh pihak ketiga dan yang terakhir limbah cair, dengan menjaga kualitas seluruh buangan air yang timbul dari aktivitas konstruksi agar tidak mencemari drainase. Pengelolaan yang dilakukan oleh pihak ketiga dibuktikan dengan adanya surat perjanjian kerja sama dengan pihak ketiga untuk melakukan pengolahan limbah organik dan adanya bukti fotografis instalasi pengomposan semua sudah tercapai.

5.3 Analisis Data *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Berdasarkan kuisioner yang telah diisi oleh enam responden dari tim khusus penerapan *green building* yang terdiri satu orang yang memiliki sertifikat *GreenShip Profesional* (GP) dan lima orang memiliki sertifikasi *GreenShip*



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

Associate (GA). Hasil dari kuisioner dilakukan analisis menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Proses analisis dilakukan dengan menghitung menggunakan *Microsoft Excel*. Keenam data responden diberi kode responden A1, A2, A3, A4, A5 dan A6. Perhitungan analisis diperlihatkan dari tahap kriteria, subkriteria dan alternatif.

Perhitungan analisis data berikut merupakan perhitungan analisis pada tahap kriteria.

1. Perhitungan *geometric mean* (G)

Tabel 5.2 Kuisioner Perbandingan Kriteria

Perbandingan Kriteria	Skala Prioritas					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Biaya - Ekologi	7	7	1/7	7	7	7

Rumus *geometric mean* (G) menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{7 + 7 + \frac{1}{7} + 7 + 7 + 7} = 3,659$$

2. Hasil *geometric mean* dimasukkan ke dalam matriks perbandingan berpasangan dan dijumlahkan per kolom. Hasil perhitungan matriks perbandingan berpasangan tahap kriteria dapat diperlihatkan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Matriks Perbandingan Berpasangan Tahap Kriteria

Kriteria	Biaya	Ekologi
Biaya	1,000	3,659
Ekologi	0,273	1,000
Jumlah	1,273	4,659

Contoh perhitungan berikut merupakan nilai perbandingan berwarna abu – abu dari hasil resiprokal.

$$\text{Kolom biaya, ekologi} = \frac{1}{3,659} = 0,273$$

3. Hasil penjumlahan dari matriks perbandingan berpasangan dilanjutkan untuk menghitung bobot prioritas dengan matriks kenormalan. Contoh perhitungan berikut merupakan matriks kenormalan tahap kriteria

$$\text{Kolom biaya, biaya} = \frac{\text{nilai matriks}}{\text{jumlah per kolom}} = \frac{1}{1,27} = 0,785$$



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

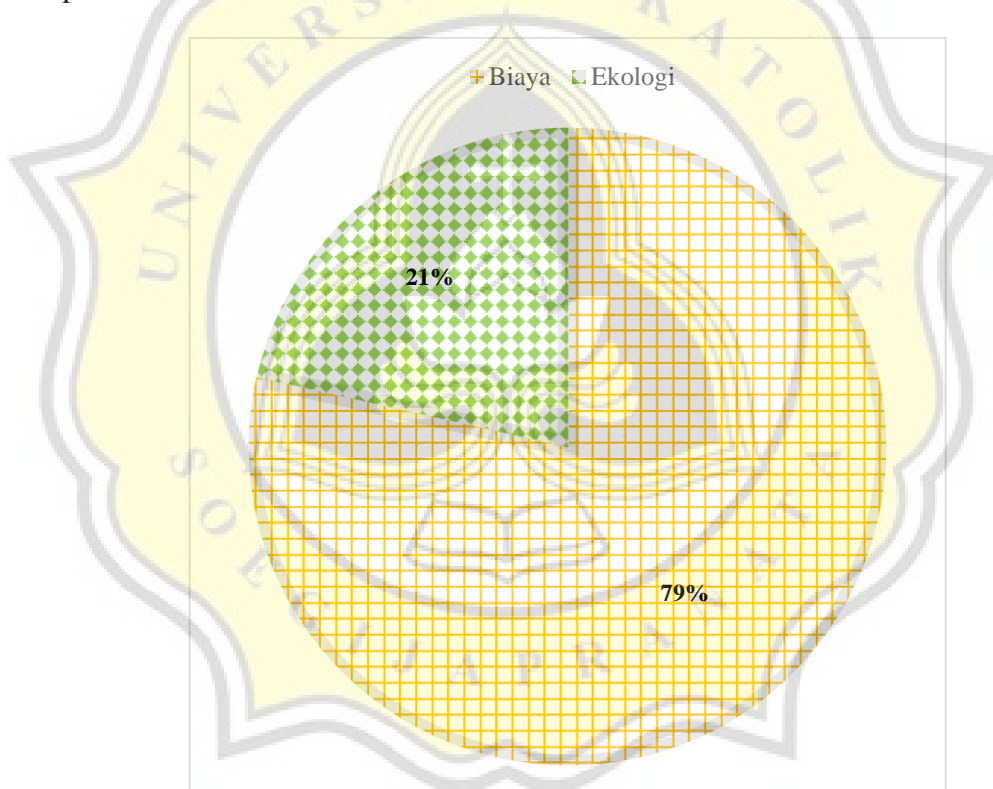
$$\text{Bobot prioritas baris biaya} = \frac{\text{jumlah per baris}}{\text{jumlah per kolom}} = \frac{1,571}{2,000} = 0,785$$

Hasil perhitungan matriks kenormalan tahap kriteria dapat diperlihatkan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Matriks Kenormalan Tahap Kriteria

Kriteria	Biaya	Ekologi	Jumlah	Bobot Prioritas
Biaya	0,785	0,785	1,571	0,785
Ekologi	0,215	0,215	0,429	0,215
Jumlah	1	1	2,000	1,000

Diagram dari hasil prioritas kepentingan pada tahap kriteria dapat diperlihatkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Hasil Prioritas Kepentingan Pada Tahap Kriteria

- Hasil dari prioritas kepentingan pada tahap kriteria perlu dibuktikan bahwa sudah konsisten dengan perhitungan nilai *Consistency Ratio* (CR). Syarat dinyatakan konsisten jika nilai *Consistency Ratio* (CR) $\leq 10\%$ atau 0,1. Jika hasil CR lebih dari 10% atau 0,1 maka hasil dinyatakan tidak konsisten. Contoh perhitungan berikut merupakan contoh perhitungan nilai CR.



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

a. Mencari nilai vektor [X]

$$\text{Vector [X]} = A \times W$$

Keterangan:

A = Matriks Awal

W = Bobot Prioritas

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} 1,000 & 3,659 \\ 0,273 & 1,000 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,785 \\ 0,215 \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} (1,000 \times 0,785) + (3,659 \times 0,215) \\ (0,273 \times 0,785) + (1,000 \times 0,215) \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} 1,571 \\ 0,429 \end{bmatrix}$$

b. Mencari nilai vektor [Y]

$$\text{Vektor [Y]} = \frac{V[x]}{W}$$

$$\text{Vektor [Y]} = \begin{bmatrix} 1,571 \\ 0,429 \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} 0,785 \\ 0,215 \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [Y]} = \begin{bmatrix} 2,000 \\ 2,000 \end{bmatrix}$$

c. Mencari nilai eigen (λ) max

$$\lambda_{\max} = \frac{2,000 + 2,000}{2,000} = 2,000$$

d. Menghitung CI

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1,000}$$

$$CI = \frac{2,000 - 2,000}{2,000 - 1,000}$$

$$CI = 0,000$$

e. Menghitung CR

$$IR = 0,000 \text{ (dari Tabel 2.9 Daftar Index Random Consistency)}$$

$$CR = \frac{CI}{IR}$$

$$CR = 0$$

Hasil CR yaitu $0 \leq 0,1$ sehingga hasil perhitungan dapat dinyatakan konsisten.



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

Perhitungan analisis data berikut merupakan perhitungan analisis pada tahap subkriteria (biaya).

1. Perhitungan *geometric mean* (G)

Tabel 5.5 Kuisisioner Perbandingan Subkriteria (Biaya)

Perbandingan subkriteria (biaya)	Skala Prioritas					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
TW - L	5	1/5	1/7	6	5	5

Rumus *geometric mean* (G) menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{5 + \frac{1}{5} + \frac{1}{7} + 6 + 5 + 5} = 0,667$$

2. Hasil *geometric mean* dimasukan ke dalam matriks perbandingan berpasangan dan dijumlahkan per kolom. Hasil perhitungan matriks perbandingan berpasangan tahap kriteria dapat diperlihatkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Matriks Perbandingan Berpasangan Tahap Subkriteria (biaya)

subkriteria	TW	L
TW	1,000	1,667
L	0,600	1,000
Jumlah	1,600	2,667

Contoh perhitungan berikut merupakan nilai perbandingan berwarna abu – abu dari hasil resiprokal

$$\text{Kolom TW, L} = \frac{1}{1,667} = 0,600$$

3. Hasil penjumlahan dari matriks perbandingan berpasangan dilanjutkan untuk menghitung bobot prioritas dengan matriks kenormalan. Contoh perhitungan berikut merupakan perhitungan matriks kenormalan tahap kriteria

$$\text{Kolom TW, TW} = \frac{\text{nilai matriks}}{\text{jumlah per kolom}} = \frac{1}{1,600} = 0,625$$

$$\text{Bobot prioritas baris biaya} = \frac{\text{jumlah per baris}}{\text{jumlah per kolom}} = \frac{1,250}{2,000} = 0,625$$

Hasil perhitungan matriks kenormalan tahap subkriteria (biaya) dapat diperlihatkan pada Tabel 5.7.

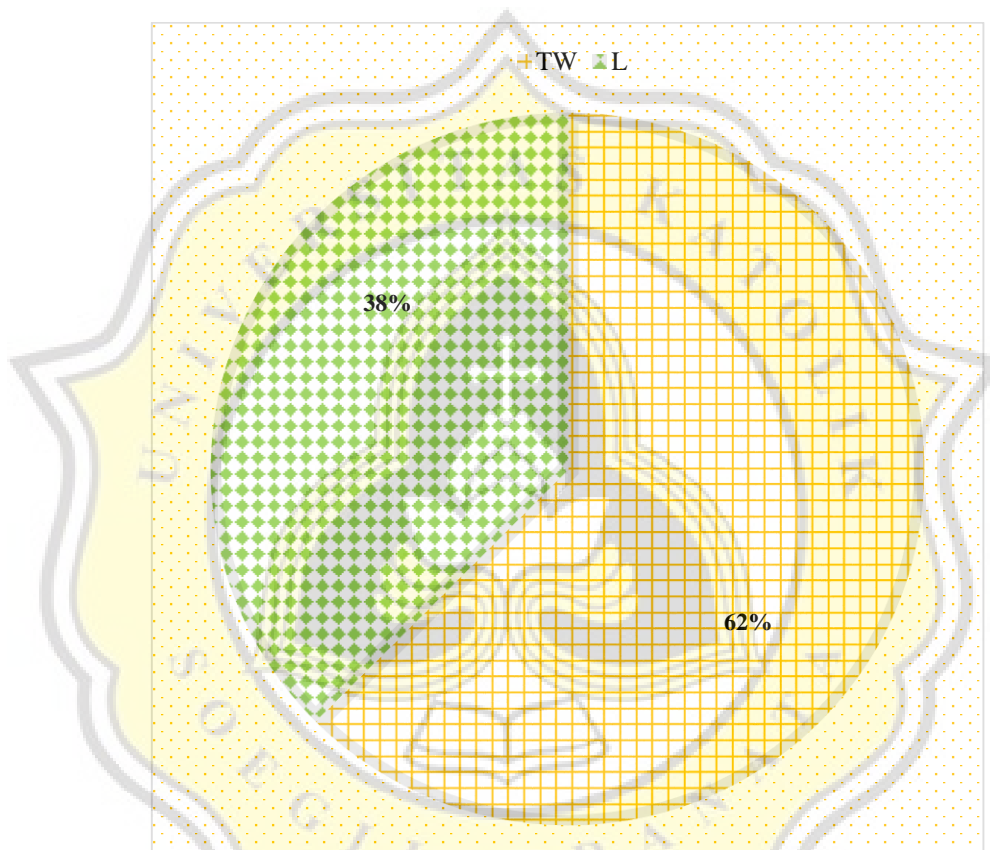


Tugas Akhir
 Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
 Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Matriks Kenormalan Tahap Subkriteria (biaya)

subkriteria	TW	L	Jumlah	Bobot Prioritas
TW	0,625	0,625	1,250	0,625
L	0,375	0,375	0,750	0,375
Jumlah	1,000	1,000	2,000	1,000

Diagram dari hasil prioritas kepentingan pada tahap subkriteria (biaya) dapat diperlihatkan pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Hasil Prioritas Kepentingan Pada Tahap Subkriteria (Biaya)

4. Hasil dari prioritas kepentingan pada tahap subkriteria (biaya) perlu dibuktikan bahwa sudah konsisten dengan perhitungan nilai *Consistency Ratio* (CR). Syarat dinyatakan konsisten jika nilai *Consistency Ratio* (CR) $\leq 10\%$ atau 0,1. Jika hasil CR lebih dari 10% atau 0,1 maka hasil dinyatakan tidak konsisten. Contoh perhitungan berikut merupakan contoh perhitungan nilai CR.

- a. Mencari nilai vektor [X]

$$\text{Vector [X]} = A \times W$$



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

Keterangan:

A = Matriks Awal

W = Bobot Prioritas

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} 1,000 & 1,667 \\ 6,000 & 1,000 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,625 \\ 0,375 \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} (1,000 \times 0,625) + (1,667 \times 0,375) \\ (6,000 \times 0,625) + (1,000 \times 0,375) \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} 1,250 \\ 0,750 \end{bmatrix}$$

b. Mencari nilai vektor [Y]

$$\text{Vektor [Y]} = \frac{V[x]}{W}$$

$$\text{Vektor [Y]} = \begin{bmatrix} 1,250 \\ 0,750 \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} 0,625 \\ 0,375 \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [Y]} = \begin{bmatrix} 2,000 \\ 2,000 \end{bmatrix}$$

c. Mencari nilai eigen (λ) max

$$\lambda_{\max} = \frac{2,000 + 2,000}{2,000} = 2,000$$

d. Menghitung CI

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1,000}$$

$$CI = \frac{2,000 - 2,000}{2,000 - 1,000}$$

$$CI = 0,000$$

e. Menghitung CR

$$IR = 0,000 \text{ (dari Tabel 2.9 Daftar Index Random Consistency)}$$

$$CR = \frac{CI}{IR}$$

$$CR = 0$$

Hasil CR yaitu $0 \leq 0,1$ sehingga hasil perhitungan dapat dinyatakan konsisten.

Perhitungan analisis data berikut merupakan perhitungan analisis pada tahap subkriteria (ekologi).



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

1. Perhitungan *geometric mean* (G)

Tabel 5.8 Kuisisioner Perbandingan Subkriteria (Ekologi)

Perbandingan subkriteria (biaya)	Skala Prioritas					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Re – Rc	1/7	7	1/7	1/6	1/7	1/7

Rumus *geometric mean* (G) menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{7} + 7 + \frac{1}{7} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7}} = 0,280$$

2. Hasil *geometric mean* dimasukkan ke dalam matriks perbandingan berpasangan dan dijumlahkan per kolom. Hasil perhitungan matriks perbandingan berpasangan tahap kriteria dapat diperlihatkan pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Matriks Perbandingan Berpasangan Tahap Subkriteria (ekologi)

Subkriteria	TW	L
TW	1,000	0,280
L	3,599	1,000
Jumlah	4,566	1,280

Nilai perbandingan berwarna abu – abu merupakan hasil dari resiprokal, contoh perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Kolom TW, L} = \frac{1}{0,280} = 3,599$$

3. Hasil penjumlahan dari matriks perbandingan berpasangan dilanjutkan untuk menghitung bobot prioritas dengan matriks kenormalan.

Contoh perhitungan berikut merupakan perhitungan matriks kenormalan tahap kriteria.

$$\text{Kolom TW, TW} = \frac{\text{nilai matriks}}{\text{jumlah per kolom}} = \frac{1}{4,566} = 0,219$$

$$\text{Bobot prioritas baris biaya} = \frac{\text{jumlah per baris}}{\text{jumlah per kolom}} = \frac{0,438}{2,000} = 0,219$$

Hasil perhitungan matriks kenormalan tahap subkriteria (ekologi) dapat diperlihatkan pada Tabel 5.10.

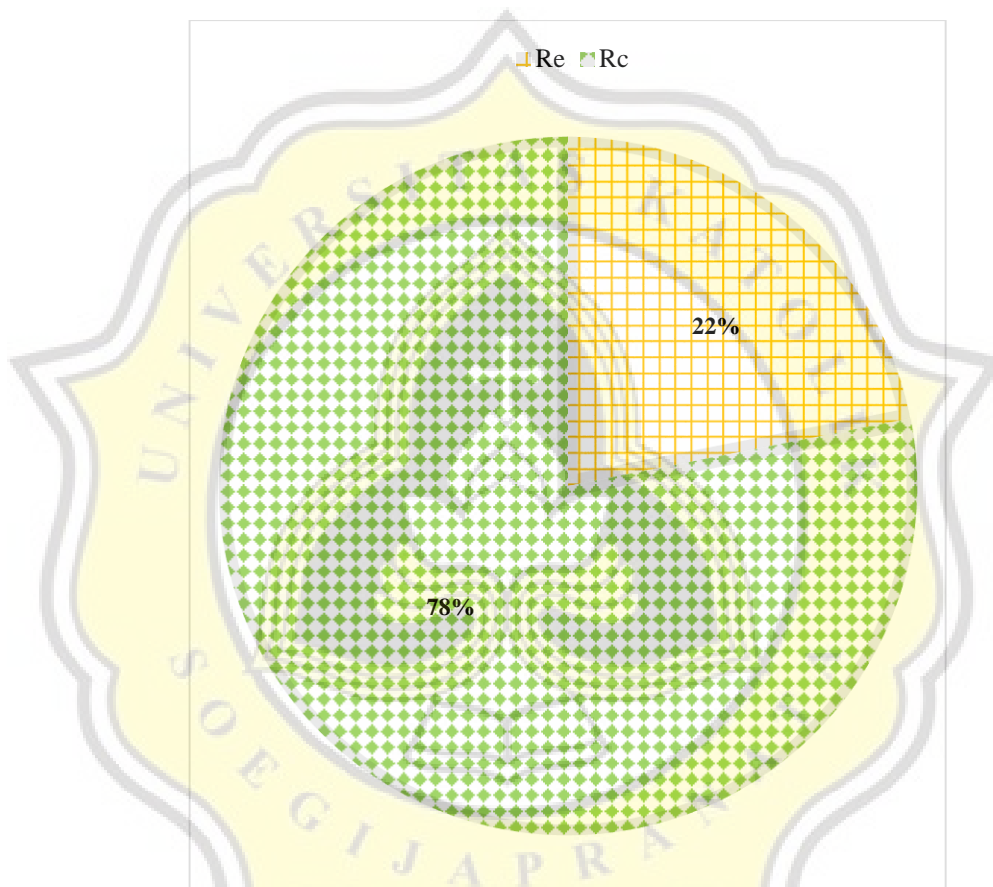


Tugas Akhir
 Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
 Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Matriks Kenormalan Tahap Subkriteria (ekologi)

Subkriteria	TW	L	Jumlah	Bobot Prioritas
TW	0,219	0,219	0,438	0,219
L	0,781	0,781	1,562	0,781
Jumlah	1,000	1,000	2,000	1,000

Diagram dari hasil prioritas kepentingan pada tahap subkriteria (ekologi) dapat diperlihatkan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Hasil Prioritas Kepentingan Pada Tahap Subkriteria (Ekologi)

4. Hasil dari prioritas kepentingan pada tahap subkriteria (ekologi) perlu dibuktikan bahwa sudah konsisten dengan perhitungan nilai *Consistency Ratio* (CR). Syarat dinyatakan konsisten jika nilai *Consistency Ratio* (CR) $\leq 10\%$ atau 0,1. Jika hasil CR lebih dari 10% atau 0,1 maka hasil dinyatakan tidak konsisten. Contoh perhitungan berikut merupakan perhitungan nilai CR.

- a. Mencari nilai vektor [X]

$$\text{Vector [X]} = A \times W$$



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

Keterangan:

A = Matriks Awal

W = Bobot Prioritas

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} 1,000 & 0,280 \\ 3,566 & 1,000 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,219 \\ 0,781 \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} (1,000 \times 0,219) + (0,280 \times 0,781) \\ (3,566 \times 0,219) + (1,000 \times 0,781) \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} 0,438 \\ 1,562 \end{bmatrix}$$

b. Mencari nilai vektor [Y]

$$\text{Vektor [Y]} = \frac{V[x]}{W}$$

$$\text{Vektor [Y]} = \begin{bmatrix} 0,438 \\ 1,562 \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} 0,219 \\ 0,781 \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [Y]} = \begin{bmatrix} 2,000 \\ 2,000 \end{bmatrix}$$

c. Mencari nilai eigen (λ) max

$$\lambda_{\max} = \frac{2,000 + 2,000}{2,000} = 2,000$$

d. Menghitung CI

$$\text{CI} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1,000}$$

$$\text{CI} = \frac{2,000 - 2,000}{2,000 - 1,000}$$

$$\text{CI} = 0,000$$

e. Menghitung CR

$$\text{IR} = 0,000 \text{ (dari Tabel 2.9 Daftar Index Random Consistency)}$$

$$\text{CR} = \frac{\text{CI}}{\text{IR}}$$

$$\text{CR} = 0$$

Hasil CR yaitu $0 \leq 0,1$ sehingga hasil perhitungan dapat dinyatakan konsisten.

Perhitungan analisis data berikut merupakan perhitungan analisis pada tahap alternatif terhadap *Type of Waste* (TW).



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

1. Perhitungan *geometric mean* (G)Tabel 5.11 Kuisioner Perbandingan Alternatif Terhadap *Type of Waste* (TW)

Perbandingan Alternatif Terhadap TW	Skala Prioritas					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
BWM - GMP	6	6	1/7	6	6	5
BWM - PCA	1/3	1/3	3	1/3	1/4	1/2
BWM - AWM	1/5	1/5	1/8	1/5	1/4	1/3
GMP - PCA	1/3	1/3	7	1/3	1/3	1/3
GMP - AWM	1/3	1/3	1/7	1/3	1/3	1/3
PCA - AWM	1/6	1/6	1/8	1/6	7	7

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan BWM – GMP menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{6 + 6 + \frac{1}{7} + 6 + 6 + 5} = 3,122$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan BWM – PCA menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{3} + \frac{1}{3} + 3 + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2}} = 0,490$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan BWM – AWM menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{8} + \frac{1}{5} + \frac{1}{4} + \frac{1}{3}} = 0,209$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan GMP – PCA menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{3} + \frac{1}{3} + 7 + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3}} = 0,554$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan GMP – AWM menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{7} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3}} = 0,289$$



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan PCA – AWM menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{8} + \frac{1}{6} + 7 + 7} = 0,552$$

2. Hasil *geometric mean* dimasukkan ke dalam matriks perbandingan berpasangan dan dijumlahkan per kolom. Hasil perhitungan matriks perbandingan berpasangan tahap alternatif terhadap *Type of Waste* (TW) dapat diperlihatkan pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Matriks Perbandingan Berpasangan Tahap Alternatif Terhadap *Type of Waste* (TW)

Alternatif	BWM	GMP	PCA	AWM
BWM	1,000	3,122	0,490	0,209
GMP	0,320	1,000	0,554	0,289
PCA	0,490	1,806	1,000	0,552
AWM	4,785	3,455	1,811	1,000
Jumlah	6,595	9,383	3,855	2,051

Perhitungan berikut merupakan nilai perbandingan berwarna abu – abu hasil dari resiprokal

$$\text{Kolom BWM, GMP} = \frac{1}{3,122} = 0,320$$

3. Hasil penjumlahan dari matriks perbandingan berpasangan dilanjutkan untuk menghitung bobot prioritas dengan matriks kenormalan. Contoh perhitungan berikut merupakan matriks kenormalan pada tahap kriteria

$$\text{Kolom BWM, GMP} = \frac{\text{nilai matriks}}{\text{jumlah per kolom}} = \frac{1}{6,595} = 0,152$$

$$\text{Bobot prioritas baris BWM} = \frac{\text{jumlah per baris}}{\text{jumlah per kolom}} = \frac{0,713}{4,000} = 0,178$$

Hasil perhitungan matriks kenormalan tahap alternatif terhadap *Type of Waste* (TW) dapat diperlihatkan pada Tabel 5.13.



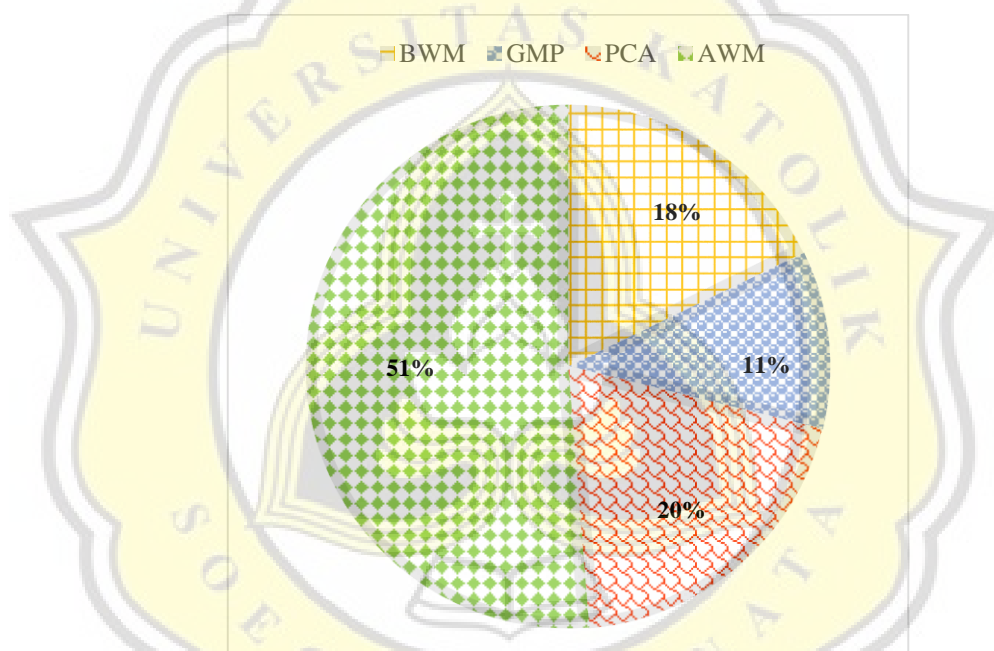
Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

Tabel 5.13 Hasil Perhitungan Matriks Kenormalan Tahap Alternatif Terhadap
Type of Waste (TW)

Alternatif	BWM	GMP	PCA	AWM	Jumlah	Bobot Prioritas
BWM	0,152	0,333	0,127	0,102	0,713	0,178
GMP	0,049	0,107	0,144	0,141	0,440	0,110
PCA	0,074	0,192	0,259	0,269	0,796	0,199
AWM	0,725	0,368	0,470	0,488	2,051	0,513
Jumlah	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	1,000

Diagram dari hasil prioritas kepentingan pada tahap alternatif terhadap *Type of Waste* (TW) dapat diperlihatkan pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8. Hasil Prioritas Kepentingan Pada Tahap Alternatif Terhadap *Type of Waste* (TW)

4. Hasil dari prioritas kepentingan pada tahap alternatif terhadap *Type of Waste* (TW) perlu dibuktikan bahwa sudah konsisten dengan perhitungan nilai *Consistency Ratio* (CR). Syarat dinyatakan konsisten jika nilai *Consistency Ratio* (CR) $\leq 10\%$ atau 0,1. Jika hasil CR lebih dari 10% atau 0,1 maka hasil dinyatakan tidak konsisten. Contoh perhitungan berikut merupakan contoh perhitungan nilai CR.

- a. Mencari nilai vektor [X]

$$\text{Vector [X]} = A \times W$$



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

Keterangan:

A = Matriks Awal

W = Bobot Prioritas

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} 1,000 & 3,122 & 0,490 & 0,209 \\ 0,320 & 1,000 & 0,554 & 0,289 \\ 0,490 & 1,806 & 1,000 & 0,552 \\ 4,785 & 3,455 & 1,811 & 1,000 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,178 \\ 0,110 \\ 0,199 \\ 0,513 \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} 0,726 \\ 0,426 \\ 0,768 \\ 2,106 \end{bmatrix}$$

b. Mencari nilai vektor [Y]

$$\text{Vektor [Y]} = \frac{V[X]}{W}$$

$$\text{Vektor [Y]} = \begin{bmatrix} 0,726 \\ 0,426 \\ 0,768 \\ 2,106 \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} 0,178 \\ 0,110 \\ 0,199 \\ 0,513 \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [Y]} = \begin{bmatrix} 4,073 \\ 3,870 \\ 3,862 \\ 4,108 \end{bmatrix}$$

c. Mencari nilai eigen (λ) max

$$\lambda_{\max} = \frac{4,073 + 3,870 + 3,862 + 4,108}{4,000} = 3,978$$

d. Menghitung CI

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1,000}$$

$$CI = \frac{3,978 - 4,000}{4,000 - 1,000}$$

$$CI = -0,007$$

e. Menghitung CR

$$IR = 0,900 \text{ (dari Tabel 2.9 Daftar Index Random Consistency)}$$

$$CR = \frac{CI}{IR}$$



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

$$CR = \frac{-0,007}{0,900}$$

$$CR = -0,008$$

Hasil CR yaitu $-0,008 \leq 0,1$ sehingga hasil perhitungan dapat dinyatakan konsisten.

Perhitungan analisis data berikut merupakan perhitungan analisis pada tahap alternatif terhadap *Landfill* (L).

1. Perhitungan *geometric mean* (G)Tabel 5.14 Kuisisioner Perbandingan Alternatif Terhadap *Landfill* (L)

Perbandingan Alternatif Terhadap L	Skala Prioritas					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
BWM - GMP	3	3	7	3	3	5
BWM - PCA	1/5	1/5	7	1/5	1/5	1/5
BWM - AWM	1/6	1/6	1/8	1/6	1/5	1/5
GMP - PCA	1/7	1/7	7	1/7	1/5	1/7
GMP - AWM	1/5	5	1/8	1/5	1/5	1/5
PCA - AWM	7	7	1/8	5	7	1/5

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan BWM – GMP menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{3 + 3 + 7 + 3 + 3 + 5} = 3,762$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan BWM – PCA menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{5} + \frac{1}{5} + 7 + \frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5}} = 0,362$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan BWM – AWM menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{8} + \frac{1}{6} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5}} = 0,169$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan GMP – PCA menggunakan Persamaan 3.1.



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{7} + \frac{1}{7} + 7 + \frac{1}{7} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7}} = 0,289$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan GMP – AWM menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{5} + 5 + \frac{1}{8} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5}} = 0,316$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan PCA – AWM menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{7 + 7 + \frac{1}{8} + 5 + 7 + \frac{1}{5}} = 1,871$$

2. Hasil *geometric mean* dimasukkan ke dalam matriks perbandingan berpasangan dan dijumlahkan per kolom. Hasil perhitungan matriks perbandingan berpasangan tahap alternatif terhadap *Landfill* (L) dapat diperlihatkan pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Matriks Perbandingan Berpasangan Tahap Alternatif Terhadap *Landfill* (L)

Alternatif	BWM	GMP	PCA	AWM
BWM	1,000	3,762	0,362	0,169
GMP	0,266	1,000	0,289	0,316
PCA	0,362	3,460	1,000	1,871
AWM	5,924	3,162	0,535	1,000
Jumlah	7,551	11,384	2,185	3,356

Perhitungan berikut merupakan nilai perbandingan berwarna abu – abu dari hasil resiprokal

$$\text{Kolom BWM, GMP} = \frac{1}{3,762} = 0,266$$

3. Hasil penjumlahan dari matriks perbandingan berpasangan dilanjutkan untuk menghitung bobot prioritas dengan matriks kenormalan. matriks kenormalan tahap kriteria dengan contoh perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Kolom BWM, GMP} = \frac{\text{nilai matriks}}{\text{jumlah per kolom}} = \frac{1}{7,551} = 0,132$$



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

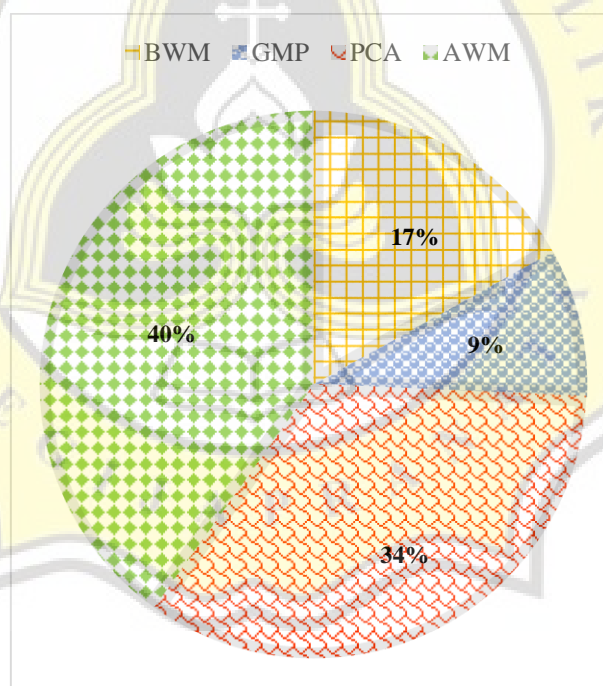
$$\text{Bobot prioritas baris BWM} = \frac{\text{jumlah per baris}}{\text{jumlah per kolom}} = \frac{0,679}{4,000} = 0,170$$

Hasil perhitungan matriks kenormalan tahap alternatif terhadap *Landfill* (L) dapat diperlihatkan pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Hasil Perhitungan Matriks Kenormalan Tahap Alternatif Terhadap *Landfill* (L)

Alternatif	BWM	GMP	PCA	AWM	Jumlah	Bobot Prioritas
BWM	0,132	0,330	0,166	0,050	0,679	0,170
GMP	0,035	0,088	0,132	0,094	0,350	0,087
PCA	0,048	0,304	0,458	0,557	1,367	0,342
AWM	0,784	0,278	0,245	0,298	1,605	0,401
Jumlah	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	1,000

Diagram dari hasil prioritas kepentingan pada tahap alternatif terhadap *Landfill* (L) dapat diperlihatkan pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Hasil Prioritas Kepentingan Pada Tahap Alternatif Terhadap *Landfill* (L).

- Hasil dari prioritas kepentingan pada tahap alternatif terhadap *Landfill* (L) perlu dibuktikan bahwa sudah konsisten dengan perhitungan nilai *Consistency Ratio* (CR). Syarat dinyatakan konsisten jika nilai *Consistency Ratio* (CR) $\leq 10\%$ atau



Tugas Akhir
 Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
 Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

0,1. Jika hasil CR lebih dari 10% atau 0,1 maka hasil dinyatakan tidak konsisten.

Contoh perhitungan berikut merupakan contoh perhitungan nilai CR.

a. Mencari nilai vektor [X]

$$\text{Vector [X]} = A \times W$$

Keterangan:

A = Matriks Awal

W = Bobot Prioritas

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} 1,000 & 3,762 & 0,362 & 0,169 \\ 0,266 & 1,000 & 0,289 & 0,316 \\ 0,362 & 3,460 & 1,000 & 1,871 \\ 5,924 & 3,162 & 0,535 & 1,000 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,170 \\ 0,087 \\ 0,342 \\ 0,401 \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} 0,690 \\ 0,358 \\ 1,456 \\ 1,865 \end{bmatrix}$$

b. Mencari nilai vektor [Y]

$$\text{Vektor [Y]} = \frac{V[x]}{W}$$

$$\text{Vektor [Y]} = \begin{bmatrix} 0,690 \\ 0,358 \\ 1,456 \\ 1,865 \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} 0,170 \\ 0,087 \\ 0,342 \\ 0,401 \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [Y]} = \begin{bmatrix} 4,065 \\ 4,098 \\ 4,261 \\ 4,649 \end{bmatrix}$$

c. Mencari nilai eigen (λ) max

$$\lambda_{\max} = \frac{4,065 + 4,098 + 4,261 + 4,649}{4,000} = 4,268$$

d. Menghitung CI

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1,000}$$

$$CI = \frac{4,268 - 4,000}{4,000 - 1,000}$$

$$CI = 0,089$$



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

e. Menghitung CR

$$IR = 0,900 \text{ (dari Tabel 2.9 Daftar } Index \text{ Random Consistency)}$$

$$CR = \frac{CI}{IR}$$

$$CR = \frac{0,089}{0,900}$$

$$CR = 0,099$$

Hasil CR yaitu $0,099 \leq 0,1$ sehingga hasil perhitungan dapat dinyatakan konsisten.

Perhitungan analisis data berikut merupakan perhitungan analisis pada tahap alternatif terhadap *Regenerative* (Re).

1. Perhitungan *geometric mean* (G)Tabel 5.17 Kuisisioner Perbandingan Alternatif Terhadap *Regenerative* (Re)

Perbandingan Alternatif Terhadap Re	Skala Prioritas					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
BWM - GMP	7	7	7	7	7	7
BWM - PCA	1/5	1/5	7	1/5	1/5	1/5
BWM - AWM	1/5	1/5	1/7	1/5	1/5	1/5
GMP - PCA	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7
GMP - AWM	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7
PCA - AWM	1/5	1/5	1/7	1/7	5	1/5

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan BWM – GMP menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{7+7+7+7+7+7} = 7$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan BWM – PCA menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{5} + \frac{1}{5} + 7 + \frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5}} = 0,362$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan BWM – AWM menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5}} = 0,189$$



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan GMP – PCA menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{7} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7}} = 0,143$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan GMP – AWM menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{7} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7}} = 0,143$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan PCA – AWM menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7} + 5 + \frac{1}{5}} = 0,306$$

2. Hasil *geometric mean* dimasukkan ke dalam matriks perbandingan berpasangan dan dijumlahkan per kolom. Hasil perhitungan matriks perbandingan berpasangan tahap alternatif terhadap *Regenerative* (Re) dapat diperlihatkan pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Hasil Perhitungan Matriks Perbandingan Berpasangan Tahap Alternatif Terhadap *Regenerative* (Re)

Alternatif	BWM	GMP	PCA	AWM
BWM	1,000	7,000	0,362	0,189
GMP	0,143	1,000	0,143	0,143
PCA	0,362	7,000	1,000	0,306
AWM	5,288	7,000	3,271	1,000
Jumlah	6,793	22,000	4,776	1,638

Nilai perbandingan berwarna abu – abu merupakan hasil dari resiprok, contoh perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Kolom BWM, GMP} = \frac{1}{7,000} = 0,143$$

3. Hasil penjumlahan dari matriks perbandingan berpasangan dilanjutkan untuk menghitung bobot prioritas dengan matriks kenormalan. Perhitungan berikut merupakan matriks kenormalan tahap kriteria.



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

$$\text{Kolom BWM, GMP} = \frac{\text{nilai matriks}}{\text{jumlah per kolom}} = \frac{1}{6,793} = 0,147$$

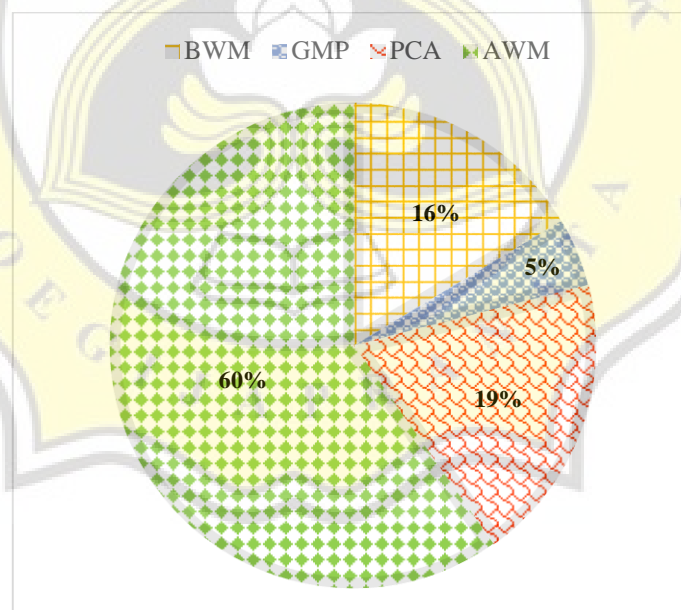
$$\text{Bobot prioritas baris BWM} = \frac{\text{jumlah per baris}}{\text{jumlah per kolom}} = \frac{0,657}{4,000} = 0,164$$

Hasil perhitungan matriks kenormalan tahap alternatif terhadap *Regenerative* (Re) dapat diperlihatkan pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Hasil Perhitungan Matriks Kenormalan Tahap Alternatif Terhadap *Regenerative* (Re)

Alternatif	BWM	GMP	PCA	AWM	Jumlah	Bobot Prioritas
BWM	0,147	0,318	0,076	0,115	0,657	0,164
GMP	0,021	0,045	0,030	0,087	0,184	0,046
PCA	0,053	0,318	0,209	0,187	0,768	0,192
AWM	0,779	0,318	0,685	0,611	2,392	0,598
Jumlah	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	1,000

Diagram dari hasil prioritas kepentingan pada tahap alternatif terhadap *Regenerative* (Re) dapat diperlihatkan pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Hasil Prioritas Kepentingan Pada Tahap Alternatif Terhadap *Regenerative* (Re)

- Hasil dari prioritas kepentingan pada tahap alternatif terhadap *Regenerative* (Re) perlu dibuktikan bahwa sudah konsisten dengan perhitungan nilai *Consistency Ratio* (CR). Syarat dinyatakan konsisten jika nilai *Consistency*



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

Ratio (CR) \leq 10% atau 0,1. Jika hasil CR lebih dari 10% atau 0,1 maka hasil dinyatakan tidak konsisten.

a. Mencari nilai vektor [X]

$$\text{Vector [X]} = A \times W$$

Keterangan:

A = Matriks Awal

W = Bobot Prioritas

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} 1,000 & 7,000 & 0,362 & 0,189 \\ 0,143 & 1,000 & 0,143 & 0,143 \\ 0,362 & 7,000 & 1,000 & 0,306 \\ 5,288 & 7,000 & 3,271 & 1,000 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,164 \\ 0,046 \\ 0,192 \\ 0,598 \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} 0,668 \\ 0,182 \\ 0,755 \\ 2,415 \end{bmatrix}$$

b. Mencari nilai vektor [Y]

$$\text{Vektor [Y]} = \frac{V[x]}{W}$$

$$\text{Vektor [Y]} = \begin{bmatrix} 0,668 \\ 0,182 \\ 0,755 \\ 2,415 \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} 0,164 \\ 0,046 \\ 0,192 \\ 0,598 \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [Y]} = \begin{bmatrix} 4,069 \\ 3,969 \\ 3,937 \\ 4,038 \end{bmatrix}$$

c. Mencari nilai eigen (λ) max

$$\lambda_{\max} = \frac{4,069 + 3,969 + 3,937 + 4,038}{4,000} = 4,003$$

d. Menghitung CI

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1,000}$$

$$CI = \frac{4,003 - 4,000}{4,000 - 1,000}$$

$$CI = 0,001$$



Tugas Akhir
Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

e. Menghitung CR

$$IR = 0,900 \text{ (dari Tabel 2.9 Daftar } Index \text{ Random Consistency)}$$

$$CR = \frac{CI}{IR}$$

$$CR = \frac{0,001}{0,900}$$

$$CR = 0,001$$

Hasil CR yaitu $0,001 \leq 0,1$ sehingga hasil perhitungan dapat dinyatakan konsisten.

Perhitungan analisis data berikut merupakan perhitungan analisis pada tahap alternatif terhadap *Recycling* (Rc).

1. Perhitungan *geometric mean* (G)

Tabel 5.20 Kuisioner Perbandingan Alternatif Terhadap *Recycling* (Rc)

Perbandingan Alternatif Terhadap Rc	Skala Prioritas					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
BWM - GMP	7	7	7	1/5	5	7
BWM - PCA	1/5	1/5	7	1/5	1/5	1/5
BWM - AWM	1/5	1/5	1/7	1/5	1/5	1/5
GMP - PCA	1/5	1/5	1/7	1/5	1/5	1/5
GMP - AWM	1/5	1/5	1/7	1/5	1/5	1/5
PCA - AWM	1/5	1/5	1/7	1/7	1/7	1/5

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan BWM – GMP menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{7 + 7 + 7 + \frac{1}{5} + 5 + 7} = 3,659$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan BWM – PCA menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{5} + \frac{1}{5} + 7 + \frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5}} = 0,362$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan BWM – AWM menggunakan Persamaan 3.1.



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5}} = 0,189$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan GMP – PCA menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5}} = 0,189$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan GMP – AWM menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5}} = 0,189$$

Rumus *geometric mean* yang digunakan dalam perbandingan PCA – AWM menggunakan Persamaan 3.1.

$$G = \sqrt[6]{\frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7} + \frac{1}{5}} = 0,169$$

2. Hasil *geometric mean* dimasukkan ke dalam matriks perbandingan berpasangan dan dijumlahkan per kolom. Hasil perhitungan matriks perbandingan berpasangan tahap alternatif terhadap *Recycling* (Rc) dapat diperlihatkan pada Tabel 5.21.

Tabel 5.21 Hasil Perhitungan Matriks Perbandingan Berpasangan Tahap Alternatif Terhadap *Recycling* (Rc)

Alternatif	BWM	GMP	PCA	AWM
BWM	1,000	3,659	0,362	0,189
GMP	0,273	1,000	0,189	0,189
PCA	0,362	5,288	1,000	0,169
AWM	5,288	5,288	5,916	1,000
Jumlah	6,923	15,236	7,467	1,547

contoh perhitungan nilai perbandingan berwarna abu – abu merupakan hasil dari resiprokal

$$\text{Kolom BWM, GMP} = \frac{1}{3,659} = 0,273$$



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

3. Hasil penjumlahan dari matriks perbandingan berpasangan dilanjutkan untuk menghitung bobot prioritas dengan matriks kenormalan. matriks kenormalan tahap kriteria dengan contoh perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Kolom BWM, GMP} = \frac{\text{nilai matriks}}{\text{jumlah per kolom}} = \frac{1}{6,923} = 0,144$$

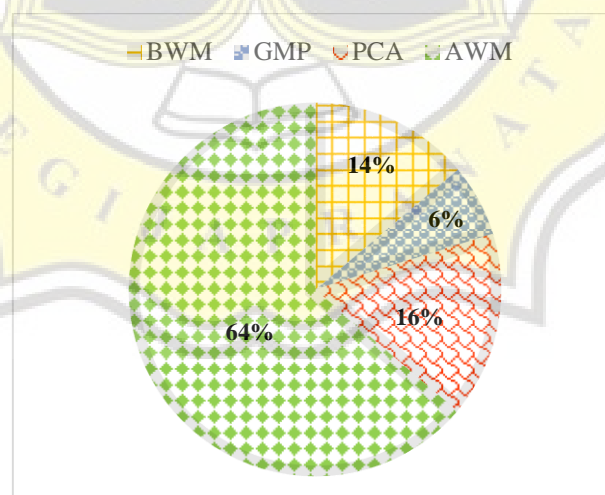
$$\text{Bobot prioritas baris BWM} = \frac{\text{jumlah per baris}}{\text{jumlah per kolom}} = \frac{0,555}{4,000} = 0,139$$

Hasil perhitungan matriks kenormalan tahap alternatif terhadap *Recycling* (Rc) dapat diperlihatkan pada Tabel 5.22.

Tabel 5.22 Hasil Perhitungan Matriks Kenormalan Tahap Alternatif Terhadap *Recycling* (Rc)

Alternatif	BWM	GMP	PCA	AWM	Jumlah	Bobot Prioritas
BWM	0,144	0,240	0,048	0,122	0,555	0,139
GMP	0,039	0,066	0,025	0,122	0,253	0,063
PCA	0,052	0,347	0,134	0,109	0,643	0,161
AWM	0,764	0,347	0,792	0,646	2,550	0,637
Jumlah	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	1,000

Diagram dari hasil prioritas kepentingan pada tahap alternatif terhadap *Recycling* (Rc) dapat diperlihatkan pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Hasil Prioritas Kepentingan Pada Tahap Alternatif Terhadap *Recycling* (Rc)

4. Hasil dari prioritas kepentingan pada tahap alternatif terhadap *Recycling* (Rc) perlu dibuktikan bahwa sudah konsisten dengan perhitungan nilai *Consistency*



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

Ratio (CR). Syarat dinyatakan konsisten jika nilai *Consistency Ratio* (CR) \leq 10% atau 0,1. Jika hasil CR lebih dari 10% atau 0,1 maka hasil dinyatakan tidak konsisten. Contoh perhitungan berikut merupakan perhitungan nilai CR.

- a. Mencari nilai vektor [X]

$$\text{Vector [X]} = A \times W$$

Keterangan:

A = Matriks Awal

W = Bobot Prioritas

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} 1,000 & 3,659 & 0,362 & 0,189 \\ 0,273 & 1,000 & 0,189 & 0,189 \\ 0,362 & 5,288 & 1,000 & 0,169 \\ 5,288 & 5,288 & 5,916 & 1,000 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,139 \\ 0,063 \\ 0,161 \\ 0,637 \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [X]} = \begin{bmatrix} 0,549 \\ 0,252 \\ 0,653 \\ 2,656 \end{bmatrix}$$

- b. Mencari nilai vektor [Y]

$$\text{Vektor [Y]} = \frac{V[x]}{W}$$

$$\text{Vektor [Y]} = \begin{bmatrix} 0,549 \\ 0,252 \\ 0,653 \\ 2,656 \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} 0,139 \\ 0,063 \\ 0,161 \\ 0,637 \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor [Y]} = \begin{bmatrix} 3,952 \\ 3,990 \\ 4,063 \\ 4,167 \end{bmatrix}$$

- c. Mencari nilai eigen (λ) max

$$\lambda_{\max} = \frac{3,952 + 3,990 + 4,063 + 4,167}{4,000} = 4,043$$

- d. Menghitung CI

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1,000}$$

$$CI = \frac{4,043 - 4,000}{4,000 - 1,000}$$



Tugas Akhir
Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada
Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

$$CI = 0,014$$

e. Menghitung CR

$$IR = 0,900 \text{ (dari Tabel 2.9 Daftar Index Random Consistency)}$$

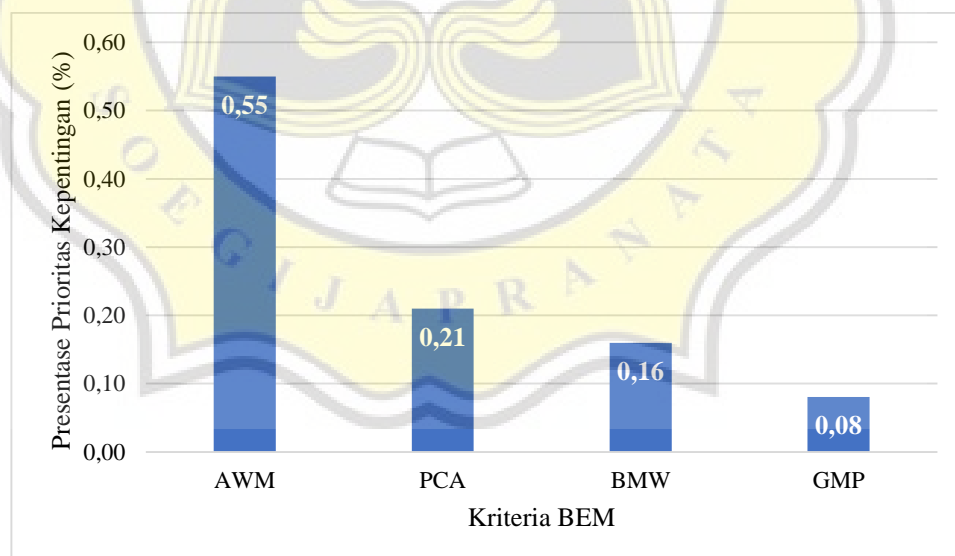
$$CR = \frac{CI}{IR}$$

$$CR = \frac{0,014}{0,900}$$

$$CR = 0,016$$

Hasil CR yaitu $0,016 \leq 0,1$ sehingga hasil perhitungan dapat dinyatakan konsisten.

Berdasarkan analisis *Analytical Hierarchy Process* (AHP) yang telah dilakukan, dapat disusun pemeringkatan dari alternatif yang sudah ditentukan. Pemeringkatan ini menunjukkan prioritas kepentingan proyek dalam menentukan pengelolaan limbah berdasarkan kategori BEM yang dilaksanakan. Prioritas kepentingan pengelolaan limbah berdasarkan kategori BEM dapat diperlihatkan pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Prioritas Kepentingan Pengelolaan Limbah Berdasarkan Kategori BEM.

Hasil yang diperlihatkan pada Gambar 5.12 dapat disimpulkan bahwa kriteria *Advanced Waste Management* (AWM) menjadi prioritas kepentingan utama dalam pengelolaan limbah sehingga, mengurangi dampak lingkungan.



Tugas Akhir

Analisis Pelaksanaan *Building Environment Management* (BEM) Pada Proyek *Green Building* Berdasarkan Faktor Ekologi dan Biaya

5.4 Analisis Kebaruan Penelitian Terbaru

Pengembangan penelitian mengenai *Building Environment Management* (BEM) dilakukan untuk mengetahui tingkat pencapaian dalam pengelolaan limbah konstruksi *green building*. Penelitian yang terdahulu yang sudah diperlihatkan pada Tabel 2.10 hanya membahas pada poin penilaian yang didapat pada kategori BEM. Berdasarkan skala indeks menggunakan *GreenShip* Versi 1.2 Proyek Gedung X (proyek *green building*) Jakarta Timur memperoleh hasil penelitian yaitu presentase penilaian gedung *green building* dengan peringkat *platinum*.

Menurut Ardhianzyah dkk., (2020) Penelitian *GreenShip New Building* Versi 1.2 pada Bangunan Baru Rumah Atsiri Indonesia (*Final Assessment*) mendapatkan 2 poin pada kategori BEM sedangkan pada penelitian ini mendapatkan hasil 13 poin pada kategori BEM. Oleh karena itu, penelitian Bangunan Baru Rumah Atsiri Indonesia diupayakan untuk meningkatkan poin terhadap tolok ukur BEM yaitu dengan cara mengolah secara mandiri limbah organik dan anorganik sehingga dapat mengurangi dampak lingkungan.

Penelitian ini telah melakukan perkembangan dari penelitian terdahulu. Perkembangan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan menambahkan penentuan prioritas kepentingan dalam pengelolaan limbah konstruksi menggunakan metode AHP. Analisis BEM yang dilakukan pada Proyek Gedung X (proyek *green building*), Jakarta Timur pada tolok ukur *basic waste management, GP as a member of project, pollution of construction acitivity, advanced waste management, proper commissioning, submission green building, fit our agreement, and occupant survei*.