



**TESIS**

**TESIS – TI185471**

**IMPLEMENTASI MODEL *FUZZY* AHP UNTUK  
ALAT BANTU KEPUTUSAN PEMILIHAN  
PROYEK PEMBANGKIT LISTRIK TERBAIK  
DI SOROWAKO RKEF PT VALE INDONESIA**

**MUHAMMAD RIDWAN  
NRP. 02411850077037**

**Dosen Pembimbing  
Prof. DR. Ir. UDISUBAKTI CIPTOMULYONO, M.Eng.Sc.**

**Departemen Teknik Sistem dan Industri  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**



# LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Teknik (M.T)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**MUHAMMAD RIDWAN**

**NRP. 02411850077037**

Tanggal Ujian : 7 Agustus 2020

Periode Wisuda : September 2020

Disetujui Oleh:

**Pembimbing :**

1. Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng. Sc

NIP. 19590318 198701 1 001

**Penguji :**

1. Prof. Dr. Ir. Moses L. Singgih, M.Sc., M.Reg.Sc

NIP. 19590817 198703 1 002

2. Erwin Widodo, S.T., M.Eng., Dr. Eng.

NIP. 19740517 199903 1 002



Kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri

**Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph. D.**

NIP: 1970052 319960 1 100 1



## KATA PENGANTAR

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang keahlian Rekayasa Industri pada program studi Pascasarjana Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Puji dan Syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena dengan rahmat dan hidayahNya sehingga tesis yang berjudul “Implementasi Model *Fuzzy* AHP Untuk Alat Bantu Keputusan Pemilihan Proyek Pembangkit Listrik Terbaik di Sorowako PT. Vale Indonesia” dapat diselesaikan oleh penulis.

Tesis ini dapat tersusun oleh karena ilmu yang diberikan oleh para dosen pengajar saya selama kuliah di Teknik Industri ITS. Saya mengucapkan terima kasih untuk semua staf pengajar terlebih kepada dosen pembimbing saya, Bapak Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng. Sc. Melalui bimbingan Bapak Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng. Sc. saya mendapatkan sasaran dan target studi yang jelas, diskusi teknis yang membangun serta saran penerapan konsep teknis yang tepat.

Saya juga berterima kasih kepada teman seangkatan dari kerjasama industri PTVI dan SMI sebagai teman bertukar pendapat untuk menggali kedalaman materi serta memberikan saran penyempurnaan studi sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan layak.

Terima kasih saya sampaikan pula kepada para responden yang telah meluangkan waktu dan pikirannya untuk mengisi 7 kuisioner yang penulis sebar, bahkan para responden lebih meluangkan waktunya untuk berdiskusi dalam memperbaiki kualitas pengisian kuisioner sehingga kuisioner yang diisi dapat lolos uji konsistensi. Kuisioner tersebut adalah salah satu hal terpenting dalam tahap menyelesaikan tesis ini.

Terima kasih buat istri saya, Kiki Risky Puspita dan anak tercinta Shofiyyah Az Zahrah Tandiara dan Sarah Al Izzah Tandiara, atas dorongan dan cinta kasih mereka. Saya merasa sangat bersyukur akan kebahagiaan dan doa yang setiap saat mereka berikan sehingga segala tantangan dan kesulitan dalam menyelesaikan tesis ini dapat dilalui dengan semangat dan penuh inspirasi.

Saya juga berterima kasih kepada semua rekan kuliah, staf Teknik Industri, staf administrasi ITS, rekan kerja dan rekan diskusi ilmiah yang telah membantu saya melalui proses penyelesaian tesis dan perkuliahan magister di ITS.

Saya memohon maaf dan pengertian apabila ada kesalahan penulisan dalam tesis ini. Saya sangat terbuka dan menerima segala diskusi, koreksi dan saran perbaikan terhadap kajian yang saya tuliskan dalam tesis ini.

# **Implementasi Model *Fuzzy* AHP Untuk Alat Bantu Keputusan Pemilihan Proyek Pembangkit Listrik Terbaik di Sorowako RKEF PT. Vale Indonesia**

Nama Mahasiswa : Muhammad Ridwan  
NRP : 2411850077037  
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng. Sc

## **ABSTRAK**

PT. Vale Indonesia berencana membangun *Rotary Kiln Electrode Furnace* (RKEF) untuk menghasilkan tambahan nikel 10 kT dalam setahun. Kebutuhan daya 70 MW RKEF akan dipenuhi dari kelebihan daya dari 3 PLTA Vale saat skenario *water balance* dijalankan dan tambahan 20 MW dari pembangkit listrik lainnya. Pemilihan pembangkit listrik tambahan ini adalah hal yang rumit karena proses seleksi melibatkan banyak kriteria yang saling bertentangan dan dapat bersifat kualitatif ataupun kuantitatif, seperti adanya konflik antara pembangkit listrik bertema *renewable energy* yang memiliki dampak lingkungan rendah namun mempengaruhi sistem operasi pabrik dan sistem kelistrikan, serta pembangkit listrik dengan biaya investasi lebih murah namun menghasilkan gas rumah kaca yang besar, oleh karena itu pendekatan MCDM digunakan untuk mendapatkan alternatif terbaik dengan menetapkan peringkat sesuai dengan kriteria sehubungan dengan tingkat kepentingan relatif dan perhitungan bobot masing-masing kriteria.

Pemilihan alternatif terbaik pembangkit listrik diusulkan menggunakan analogi antara AHP dan metode *geometric mean Fuzzy* AHP. Dengan penggunaan *Fuzzy* AHP diharapkan pendekatan permasalahan bisa lebih di pandang secara objektif dan akurat karena para pengambil keputusan lebih yakin menentukan pilihannya dengan memakai penilaian dalam *imprecise value* dibandingkan penilaian dalam *crisp value*. Pemilihan ini dikelola dengan menggunakan enam kriteria yaitu harga listrik atau LCOE, sumber pendanaan biaya investasi, efek gas rumah kaca, ketersediaan sumber daya, efek ke operasional pabrik pengolahan dan utilitas, dan durasi proyek. Terdapat empat alternatif yang dibandingkan yaitu PLTD, PLTS, ORC (*organic rankine cycle*) dan PLTA, dan hasil dari pemilihan tersebut menunjukkan bahwa PLTA memiliki prioritas tertinggi dan terpilih sebagai alternatif terbaik. Adapun hasil analisa sensitivitas memperlihatkan bahwa tidak ada alternatif yang *robust* dan urutan prioritas alternatif berubah seiring berubahnya bobot kriteria. Namun demikian alternatif PLTS cenderung memiliki prioritas lebih tinggi dibandingkan alternatif yang lain ketika bobot kriteria diubah-ubah, sehingga ketika nantinya PLTA sulit untuk dibangun maka PT Vale bisa beralih ke alternatif PLTS yang menduduki peringkat kedua pada prioritas.

*Kata kunci: Fuzzy AHP, pembangkit listrik, kriteria, seleksi dan alternatif*

# **Implementation of *Fuzzy* AHP Method to Determine the Best Alternative of Electric Power Plant for Sorowako RKEF PT Vale Indonesia**

Student : Muhammad Ridwan  
NRP : 2411850077037  
Lecture : Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng. Sc

## **ABSTRACT**

PT. Vale Indonesia is planning to build a Rotary Kiln Electrode Furnace (RKEF) to produce an additional 10 kT of nickel in a year. The 70 MW RKEF power requirement will be met by excess power from 3 Vale hydropower when the water balance scenario is being run and an additional 20 MW from other power plants. The selection of additional power plants is complicated because the selection process involves many conflicting criteria and can be qualitative or quantitative, such as a conflict between renewable energy power plants that have a low environmental impact but affect the factory operating system and the electrical system, as well as power plants with lower investment costs but produces large green house gases, therefore the MCDM approach is used to obtain the best alternative by ranking according to criteria with respect to the relative importance and weighting of each criterion

The selection of the best alternative power plant is proposed using the analogy between AHP and Fuzzy AHP geometric mean methods. By using Fuzzy AHP, it is expected that the problem approach can be viewed more objectively and accurately because decision makers are more confident in determining their choice by using valuation in imprecise value rather than valuation in crisp value. This selection is managed using six criteria, namely the price of electricity or LCOE, funding sources for investment costs, the effect of green house gases, availability of resources, effects to the operations of the processing plant and utilities, and the duration of the project. There are four alternatives that are compared, namely PLTD, PLTS, ORC (organic rankine cycle) and PLTA, and the results of the selection show that PLTA has the highest priority and was chosen as the best alternative. The result of sensitivity analysis show that there is no robust alternative and the priority of alternative is changed when the weight of criterion was changed. However, the PLTS alternative tends to have a higher priority than the other alternatives when the criteria weights are changed, so that when the PLTA is difficult to be built, PTVI can switch to PLTS alternative which gets the second higher of the priority.

*Keyword: Fuzzy AHP, power plant, criterion, selection dan alternative*



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	6
1.4. Batasan Masalah.....	6
1.5. Manfaat Penelitian .....	7
BAB II DASAR TEORI .....	9
2.1. Kriteria Pembangkit Listrik untuk Sorowako RKEF .....	9
2.1.1. Kriteria Berdasarkan Pendapat Konsultan Black and Veatch. ....	9
2.1.2. Kriteria Berdasarkan Pendapat Konsultan <i>Worley Parson</i> . ....	10
2.1.3. Kriteria Berdasarkan Pendapat Udisubakti.....	11
2.2. Pembangkit Listrik Yang Potensial di Sekitar Sorowako.....	14
2.2.1. PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel).....	14
2.2.2. PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya).....	17
2.2.3. ORC ( <i>Organic Rankine Cycle</i> ) .....	27
2.2.4. PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air).....	30
2.2.5. PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin).....	34
2.2.6. Interkoneksi dengan PLN.....	37
2.3. Pembangkitan Listrik Yang Telah Ada di PT Vale Indonesia .....	41
2.3.1. Koefisien Pembangkitan PLTA Larona, PLTA Balambano dan PLTA Karebbe. .....	46
2.3.2. Canal Lining Pada <i>Larona Canal</i> .....	47
2.4. Pengambilan Keputusan .....	50
2.4.1. Teori Keputusan dan Lingkup Keputusan.....	50

2.4.2.	Komponen Keputusan.....	52
2.5.	ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP).....	54
2.5.1.	Keuntungan Penggunaan Analytical Hierarchy Process (AHP). ....	55
2.5.2.	Prinsip Dasar Analytical Hierarchy Process (AHP).....	56
2.5.3.	Beberapa Langkah Tahapan Proses <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP).....	58
2.6.	FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (FAHP).....	65
2.6.1.	Fuzzy.....	65
2.6.2.	Pemodelan Fuzzy .....	65
2.6.3.	Operasi Aritmatika .....	68
2.6.4.	Defuzzifikasi .....	69
2.6.5.	Fuzzy AHP .....	69
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		77
3.1.	Studi Pendahuluan, Identifikasi dan perumusan masalah.....	77
3.2.	Studi Pustaka.....	77
3.3.	Verifikasi Koefisien Pembangkitan PLTA Larona .....	77
3.4.	Verifikasi Pengaruh Project Canal Lining.....	77
3.5.	Menentukan Jumlah Kekurangan Energi Listrik untuk Sorowako RKEF. ....	78
3.5.1.	Data Beban Proyek Sorowako RKEF.....	78
3.5.2.	Data perkiraan beban Auxiliry di masa yang akan datang.....	78
3.5.3.	Menentukan jumlah kekurangan energi listrik untuk Sorowako RKEF.....	79
3.6.	Menentukan Kriteria Yang Sesuai untuk Seleksi Pembangkit Listrik Sorowako RKEF .....	79
3.7.	Menentukan Pembangkit Listrik Yang Potensial untuk Sorowako RKEF .....	79
3.8.	Pembuatan dan Pengumpulan Data Kuisoner. ....	80
3.9.	Melaksanakan Penilaian berdasarkan AHP.....	80
3.10.	Melaksanakan Penilaian berdasarkan FAHP .....	81
3.11.	Diagram Alir Metode Penelitian.....	81
BAB IV PENENTUAN DAYA PEMBANGKIT DAN DAYA BEBAN, SERTA PENENTUAN KRITERIA DAN ALTERNATIF .....		83
4.1.	Menentukan Koefisien Pembangkitan PLTA Larona. ....	83
4.2.	Penentuan Kapasitas PLTA Larona Setelah Proyek <i>Canal Lining</i> .....	87
4.3.	Menentukan Jumlah Kekurangan Energi Listrik untuk Sorowako RKEF .....	91

4.4. Pemilihan Kriteria untuk Seleksi Sumber Energi Listrik Pada Proyek Sorowako RKEF .....	92
4.5. Pemilihan Alternatif untuk Seleksi Sumber Energi Listrik untuk Proyek Sorowako RKEF .....	93
4.6. Hirarki .....	95
4.7. Perbandingan Tingkat Kepentingan Kriteria.....	96
4.8. Perbandingan Tingkat Kepentingan Alternatif .....	98
BAB V ANALISA PEMILIHAN ALTERNATIF PEMBANGKIT LISTRIK .....	101
5.1. Hasil Pemeriksaan Awal Konsistensi Rasio pada Kuisoner .....	101
5.2. Hasil Akhir Kuisoner Penilaian Tingkat Kepentingan pada Kriteria .....	102
5.2.1. Penilaian Uji Konsistensi per Responden .....	102
5.2.2. Penilaian Uji Konsistensi dengan Penerapan Langsung Rata-rata Geometrik Pada Seluruh Responden.....	102
5.3. Hasil Kuisoner Tingkat Kepentingan Alternatif Berdasarkan Kriteria.....	106
5.3.1. Hasil Kuisoner Tingkat Kepentingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A (Tarif Listrik atau LCOE).....	106
5.3.2. Hasil Kuisoner Tingkat Kepentingan Alternatif Pembangkit Listrik Berdasarkan Kriteria B (Sumber Pendanaan) .....	107
5.3.3. Hasil Kuisoner Tingkat Kepentingan Alternatif Pembangkit Listrik Berdasarkan Kriteria C (Gas Rumah Kaca) .....	108
5.3.4. Hasil Kuisoner Tingkat Kepentingan Alternatif Pembangkit Listrik Berdasarkan Kriteria D (Ketersediaan Sumber Daya).....	108
5.3.5. Hasil Kuisoner Tingkat Kepentingan Alternatif Pembangkit Listrik Berdasarkan Kriteria E (Efek Pada Sistem Operasi <i>Process Plant</i> dan <i>Utilities</i> ).....	109
5.3.6. Hasil Kuisoner Tingkat Kepentingan Alternatif Pembangkit Listrik Berdasarkan Kriteria F (Durasi Proyek).....	110
5.4. Rekapitulasi Uji Konsistensi Data Kuisoner Responden .....	110
5.5. <i>Fuzzy AHP</i> .....	111
5.5.1. <i>Fuzzy AHP</i> - Pemilihan Tingkat Kepentingan Kriteria.....	112
5.5.2. <i>Fuzzy AHP</i> – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria A (Harga Listrik)..	113
5.5.3. <i>Fuzzy AHP</i> – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria B (Sumber Pendanaan).....	114
5.5.4. <i>Fuzzy AHP</i> – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria C (Gas Rumah Kaca – GRK) .....	115

5.5.5.	Fuzzy AHP – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria D (Sumber Daya).	116
5.5.6.	Fuzzy AHP – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria E (Efek ke Sistem)	117
5.5.7.	Fuzzy AHP – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria F (Durasi Proyek)	118
5.6.	Rekapitulasi Bobot dan Perankingan	120
5.7.	Analisa Sensitivitas	121
5.7.1.	Skenario Kasus 1	121
5.7.2.	Skenario Kasus 2	122
5.7.3.	Skenario Kasus 3	123
5.7.4.	Skenario Kasus 4	125
5.7.5.	Skenario Kasus 5	126
5.7.6.	Skenario Kasus 6	127
5.7.7.	Hasil Analisa Sensitivitas.	128
5.8.	Konsekuensi Managerial	129
BAB VI KESIMPULAN DAN REKOMENDASI		131
6.1.	Kesimpulan	131
6.2.	Rekomendasi	132
DAFTAR PUSTAKA		133
LAMPIRAN		135

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Ilustrasi Sederhana Sistem Kelistrikan PTVI.....	2
Gambar 1.2. Sistem Penggunaan Air pada PLTA PTVI.....	3
Gambar 2.1. Ilustrasi Sistem PLTD (PT Berkat Manunggal Jaya, 2019).....	14
Gambar 2.2. Ilustrasi Penerapan SCR (ECI - 2016). ....	16
Gambar 2.3. Sistem Seri Pada Sel Panel Surya .....	18
Gambar 2.4. Ilustrasi Sistem PLTS.....	19
Gambar 2.5. Peta Potensi Energi Surya dikeluarkan oleh <i>Wordlbank</i> (2018).....	19
Gambar 2.6. Peta Potensi Energi Surya dikelaurkan oleh ESDM (2018).....	20
Gambar 2.7. Solar Irradiance daerah Sorowako berdasarkan perhitungan matematika (Zainuddin, 2018) .....	20
Gambar 2.8. Perbandingan <i>Solar Irradiance</i> di daerah Sorowako (Zainuddin, 2018).....	21
Gambar 2.9. Perbandingan <i>Solar Irradiance</i> di daerah Sorowako termasuk pengukuran aktual (Zainuddin, 2018) .....	22
Gambar 2.10. <i>Overview</i> Pembangkitan Listrik PLTS Cirata 5.3 kWp.....	23
Gambar 2.11. Prinsip Kerja Sistem <i>Organic Rankine Cycle</i> (Turbonen, 2018).....	28
Gambar 2.12. Prinsip Kerja Sistem <i>Organic Rankine Cycle</i> pada <i>Furnace</i> (Turbonen, 2018). ....	28
Gambar 2.13. Ilustrasi Sistem PLTA.....	31
Gambar 2.14. Lokasi Potensi PLTA di Sekitar Area Sorowako (HATCH – 2009) .....	33
Gambar 2.15. Ilustrasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Angin). ....	34
Gambar 2.16. Kurva Daya Angin (Jordaens, 2017).....	36
Gambar 2.17. Peta Sistem Ketenagalistrikan di Provinsi Sulawesi Selatan (RUPTL 2019 - 2028) .....	38
Gambar 2.18. Wilyah IUP perusahaan lain yang akan di lewati transmission line 150 kV Malili - Balambano. ....	41
Gambar 2.19. Diagram Satu Garis Sistem Kelistrikan PTVI .....	42
Gambar 2.20. Lokasi PLTA PT Vale Indonesia (BPPT, 2017).....	43
Gambar 2.21. PLTA Larona .....	43
Gambar 2.22. PLTA Balambano .....	44
Gambar 2.23. PLTA Karebbe .....	44
Gambar 2.24. Sistem pembangkitan listrik dan beban listrik PT Vale Indonesia.....	45
Gambar 2.25. Jalur <i>Larona Canal</i> .....	47
Gambar 2.26. Dam Batu Besi, <i>Larona Canal</i> dan <i>Larona Penstock</i> .....	48
Gambar 2.27. Kerusakahan Pada <i>Larona Canal</i> .....	48
Gambar 2.28. Kondisi <i>Larona Canal</i> Setelah Perbaikan menggunakan Sikadur. ....	49
Gambar 2.29. Kondisi Larona Kanal SETELAH dilakukan <i>Canal Lining</i> Menggunakan GFRD ( <i>Geomembrane Face Rockfill Dam</i> ).....	49
Gambar 2.30. Tahapan Proses Pengambilan Keputusan Rasional (Model Simon) .....	52

Gambar 2.31. Skema Analytic Hierarchy Process .....	59
Gambar 2.32. Representasi Kurva Linear Menurun.....	66
Gambar 2.33. Representasi Kurva Linear Menanjak .....	66
Gambar 2.34. Representasi Kurva Segitiga.....	67
Gambar 2.35. Representasi Kurva Trapesium.....	67
Gambar 3.1. Diagram Alir Penyelesaian dengan Metode Fuzzy AHP .....	82
Gambar 4.1. Pembukaan pintu air Upper Canal (Canal Intake) dari 135 cm ke 140 cm pada jam 13.55. ....	89
Gambar 4.2. Pembukaan Pintu Air canal intake ke posisi 150 cm pada jam 15.57 untuk mempertahankan 180 MW.....	89
Gambar 4.3. Tidak ada tumpahan air pada crossing #20 selama pengetesan 180 MW selama beberapa jam. ....	90
Gambar 4.4. Skema Analytic Hierarchy Process Untuk Seleksi Alternatif Pembangkit Listrik.....	95
Gambar 5.1. Grafik Perubahan Nilai Total Alternatif dengan Kombinasi Perubahan Kriteria dimana Kriteria A sebagai Acuan.....	122
Gambar 5.2. Grafik Perubahan Nilai Total Alternatif dengan Kombinasi Perubahan Kriteria dimana Kriteria B sebagai Acuan.....	123
Gambar 5.3. Grafik Perubahan Nilai Total Alternatif dengan Kombinasi Perubahan Kriteria dimana Kriteria C sebagai Acuan.....	124
Gambar 5.4. Grafik Perubahan Nilai Total Alternatif dengan Kombinasi Perubahan Kriteria dimana Kriteria D sebagai Acuan.....	125
Gambar 5.5. Grafik Perubahan Nilai Total Alternatif dengan Kombinasi Perubahan Kriteria dimana Kriteria E sebagai Acuan .....	127
Gambar 5.6. Grafik Perubahan Nilai Total Alternatif dengan Kombinasi Perubahan Kriteria dimana Kriteria F sebagai Acuan .....	128

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Volume Produksi Nikel dalam Matte PTVI (Ton) .....	1
Tabel 1.2. Perkiraan Produksi Nikel PT Vale Indonesia di tahun 2024 .....	2
Tabel 1.3. Pembangkitan dan Beban Listrik PT Vale Indonesia .....	4
Tabel 1.4. Emisi Gas NO <sub>x</sub> PLTD .....	5
Tabel 2.1. Kriteria Pemilihan Pembangkit Listrik oleh Konsultan Black Veatch .....	9
Tabel 2.2. Kriteria Pemilihan Pembangkit Listrik oleh Konsultan Worley Parson. ....	10
Tabel 2.3. Kriteria Pemilihan Pembangkit Listrik oleh Prof Udisubakti (2006) .....	11
Tabel 2.4. Skenario PLTS Rata-rata 20 MW dan <i>Existing</i> PLTA .....	25
Tabel 2.5. Skenario PLTS Rata-rata 25 MW dan <i>Existing</i> PLTA .....	26
Tabel 2.6. Potensi pembangkitan listrik di area <i>process plant</i> dengan menggunakan tehnologi ORC. (Tim Energi PTVI, 2019). .....	29
Tabel 2.7. Representasi Biaya per kWh dari potensi PLTA disekitar Area Sorowako ....	31
Tabel 2.8. Data Kecepatan Angin di daerah sekitar Sorowako. ....	36
Tabel 2.9. Rencana pembangkitan listrik dan perkiraan beban PLN Sulawesi Bagian Selatan.....	39
Tabel 2.10. Tarif Tenaga Listrik PLN Januari – Maret 2020 .....	40
Tabel 2.11. <i>Water Balance</i> and <i>Water Unbalance</i> .....	46
Tabel 2.12. Skala Kepentingan (Marimin – 2010).....	57
Tabel 2.13. Contoh Matriks Perbandingan Berpasangan Antara Kriteria. ....	60
Tabel 2.14. Penjumlahan Kolom Matriks Perbandingan Berpasangan.....	61
Tabel 2.15. Proses untuk Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan.....	61
Tabel 2.16. Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan .....	61
Tabel 2.17. Matriks AR. ....	62
Tabel 2.18. Proses Perkalian Matriks A dengan Matriks AR .....	62
Tabel 2.19. Matriks B Sebagai Hasil Perkalian Matriks A dengan Matriks AR .....	63
Tabel 2.20. Penjumlahan Untuk Mendapatkan Matriks C.....	63
Tabel 2.21. Nilai Eigen Value ( $\lambda_{maks}$ ).....	63
Tabel 2.22. Tabel <i>Random Index</i> .....	64
Tabel 2.23. Skala AHP dan <i>Triangular Fuzzy Number</i> . ....	71
Tabel 2.24. Matriks TFN Perbandingan Kriteria .....	73
Tabel 2.25. Nilai Invers - Perbandingan Kriteria.....	74
Tabel 2.26. Nilai Fuzzy Synthetic Extent, Defuzzifikasi dan Bobot - Perbandingan Kriteria .....	74
Tabel 4.1. Kapasitas Pembangkitan dengan Koefisien Pembangkitan 1.12 .....	84
Tabel 4.2. Hasil Pengukuran Aktual Daya dan Aliran Air PLTA Larona .....	85
Tabel 4.3. Koefisien Pembangkitan Sebelum dan Setelah Verifikasi.....	86

Tabel 4.4. Daya PLTA Larona, PLTA Balambano dan PLTA Karebbe Setelah Verifikasi Koefisien Pembangkitan. ....	86
Tabel 4.5. Pembukaan Upper Canal dilakukan untuk mempertahankan produksi Listrik 180 MW PLTA Larona. ....	88
Tabel 4.6. Pembangkitan dan Beban PT Vale Indonesia Tahun 2019 & 2023 .....	91
Tabel 4.7. Seleksi Awal Alternatif Sumber Energi Listrik Untuk Proyek Sorowako RKEF. ....	94
Tabel 4.8. Kriteria untuk Pemilihan Alternatif Pembangkit 20 MW .....	96
Tabel 4.9. Skala perbandingan berpasangan .....	977
Tabel 4.10. Perbandingan Berpasangan Antara Kriteria. ....	988
Tabel 4.11. Perbandingan berpasangan antara Alternatif berdasarkan Kriteria .....	999
Tabel 5.1. Rekapitulasi Awal Hasil Uji Konsistensi Kriteria dan Alternatif .....	101
Tabel 5.2. Rekapitulasi Uji Konsistensi Tingkat Kepentingan Kriteria .....	102
Tabel 5.3. Matriks Perbandingan Berpasangan Rata-rata Geometrik Responden – Perbandingan Kriteria Tanpa Pengecekan Consistensi Ratio .....	103
Tabel 5.4. Menghitung Nilai Eigen Value - Perbandingan Kriteria Tanpa Pengecekan Consistensi Ratio.....	103
Tabel 5.5. Matriks Perbandingan Berpasangan Rata-rata Geometrik 3 Responden Yang Memiliki CR > 10% .....	105
Tabel 5.6. Menghitung Nilai Eigen Value - 3 Responden Yang Memiliki CR > 10% ...	105
Tabel 5.7. Rekapitulasi Uji Konsistensi Tingkat Kepentingan Berdasarkan Kriteria A (Tarif Listrik atau LCOE) .....	107
Tabel 5.8. Rekapitulasi Uji Konsistensi Tingkat Kepentingan Berdasarkan Kriteria B (Sumber Pendanaan). ....	107
Tabel 5.9. Rekapitulasi Uji Konsistensi Tingkat Kepentingan Berdasarkan Kriteria C (Gas Rumah Kaca). ....	108
Tabel 5.10. Rekapitulasi Uji Konsistensi Tingkat Kepentingan Berdasarkan Kriteria D (Ketersediaan Sumber Daya).....	109
Tabel 5.11. Rekapitulasi Uji Konsistensi Tingkat Kepentingan Berdasarkan Kriteria E (Efek ke Sistem Operasi Process Plant dan Utilities).....	109
Tabel 5.12. Rekapitulasi Uji Konsistensi Tingkat Kepentingan Berdasarkan Kriteria F (Durasi Proyek). ....	110
Tabel 5.13. Rekapitulasi Uji Konsistensi Kriteria dan Alternatif .....	111
Tabel 5.14. Responden Yang Terpilih Untuk Lanjut ke Tahap FAHP .....	112
Tabel 5.15. Nilai Fuzzy Synthetic Extent, Defuzzifikasi dan Bobot - Perbandingan Kriteria.....	112
Tabel 5.16. Nilai Fuzzy Synthetic Extent, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A (Harga Listrik). ....	113
Tabel 5.17. Nilai Fuzzy Synthetic Extent, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B (Sumber Pendanaan). ....	114
Tabel 5.18. Nilai Fuzzy Synthetic Extent, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C (Gas Rumah Kaca). ....	115



Tabel 5.19. Nilai Fuzzy Synthetic Extent, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D (Sumber Daya).....	116
Tabel 5.20. Nilai Fuzzy Synthetic Extent, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E (Efek ke Sistem).....	1177
Tabel 5.21. Nilai Fuzzy Synthetic Extent, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F (Durasi Proyek). ....	119
Tabel 5.22. Rekapitulasi Bobot dan Perankingan.....	120
Tabel 5.23. Kombinasi Pengubahan Bobot Kriteria – Kriteria A sebagai Acuan.....	121
Tabel 5.24. Kombinasi Pengubahan Bobot Kriteria – Kriteria B sebagai Acuan.....	122
Tabel 5.25. Kombinasi Pengubahan Bobot Kriteria – Kriteria C sebagai Acuan.....	124
Tabel 5.26. Kombinasi Pengubahan Bobot Kriteria – Kriteria D sebagai Acuan.....	125
Tabel 5.27. Kombinasi Pengubahan Bobot Kriteria – Kriteria E sebagai Acuan.....	126
Tabel 5.28. Kombinasi Pengubahan Bobot Kriteria – Kriteria F sebagai Acuan .....	127



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

PT Vale Indonesia Tbk merupakan perusahaan tambang dan pengolahan nikel terintegrasi yang beroperasi di blok Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, provinsi Sulawesi Selatan. PT Vale Indonesia menambang nikel laterit untuk menghasilkan produk akhir berupa nikel dalam matte. Volume produksi nikel PT Vale rata-rata mencapai 75.000 metrik ton per tahunnya. Dalam memproduksi nikelnya di blok Sorowako, PT Vale menggunakan teknologi pyrometalurgi atau teknik smelting (meleburkan bijih nikel laterit).

Tabel 1.1. Volume Produksi Nikel dalam Matte PTVI (Ton)

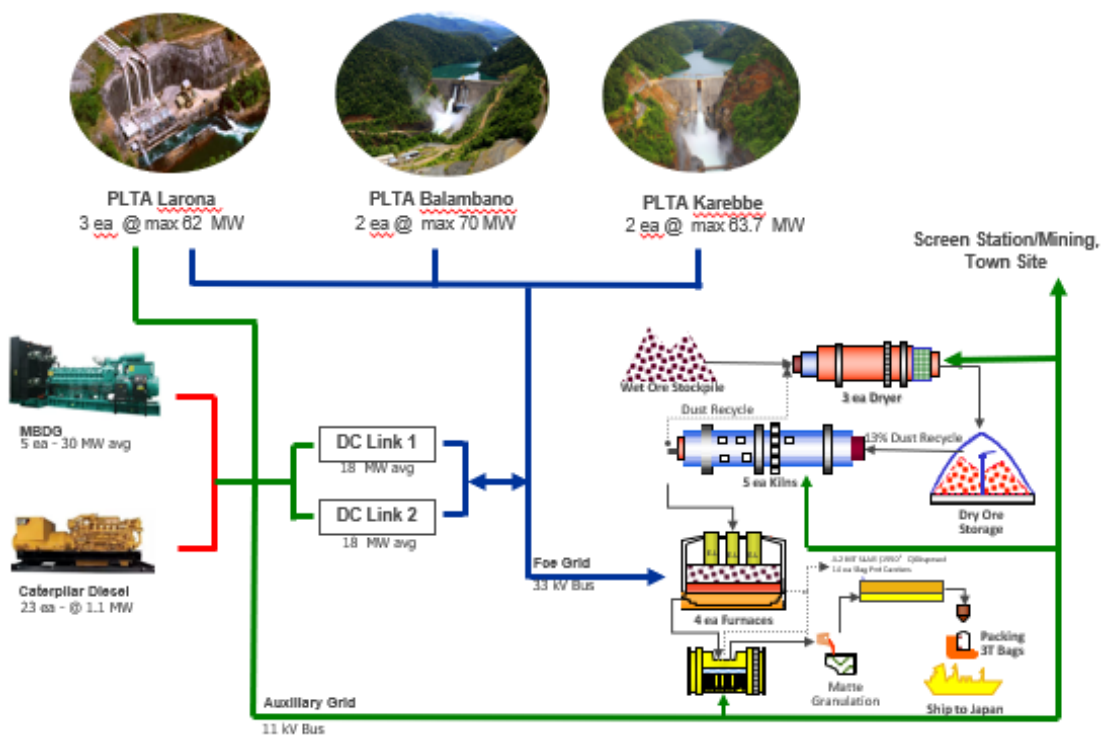
Tahun	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ni	71.379	75.802	78.726	81.777	77.581	76.807	74.806	71.025

Sehubungan dengan berlakunya UU Minerba No 4 tahun 2009 per Januari 2014, maka PT Vale mengajukan negosiasi ulang untuk amandemen kontrak karya. Sebagai bentuk konsekuensi penandatanganan amandemen kontrak karya PT Vale Indonesia pada Agustus 2014, maka PT Vale Indonesia berjanji akan memproduksi 90 kT nikel sebelum masa kontrak karyanya selesai pada tahun 2025. Untuk mencapai 90 kT tersebut, maka departemen *process plant* mengusulkan untuk menindaklanjuti dan membangun RKEF, melaksanakan proyek *continous improvement* (CI) tertentu dan menggunakan *high grade ore* dari blok Bahodopi #1 untuk meningkatkan produksi sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 1.2.

Untuk memproduksi tambahan nikel 10 kT tersebut, PT Vale Indonesia membutuhkan listrik dalam jumlah yang besar yaitu sekitar 70 MW. Saat ini kebutuhan listrik PT Vale Indonesia disuplai dari pembangkit-pembangkit listrik yang dimiliki saat ini seperti dari jenis pembangkit PLTA dan PLTD. Gambar 1.1 memperlihatkan ilustrasi sederhana sistem kelistrikan PT. Vale Indonesia.

Tabel 1.2. Perkiraan Produksi Nikel PT Vale Indonesia di tahun 2024

No	Deskripsi	Produksi (Ton)
1	<i>Existing Production</i>	75.000
2	Tambahan Produksi dari CI	2.500
3	Tambahan Produksi <i>High Grade</i> Bahodopi Blok #1	2.500
4	Proyek Sorowako RKEF	10.000
Total		90.000

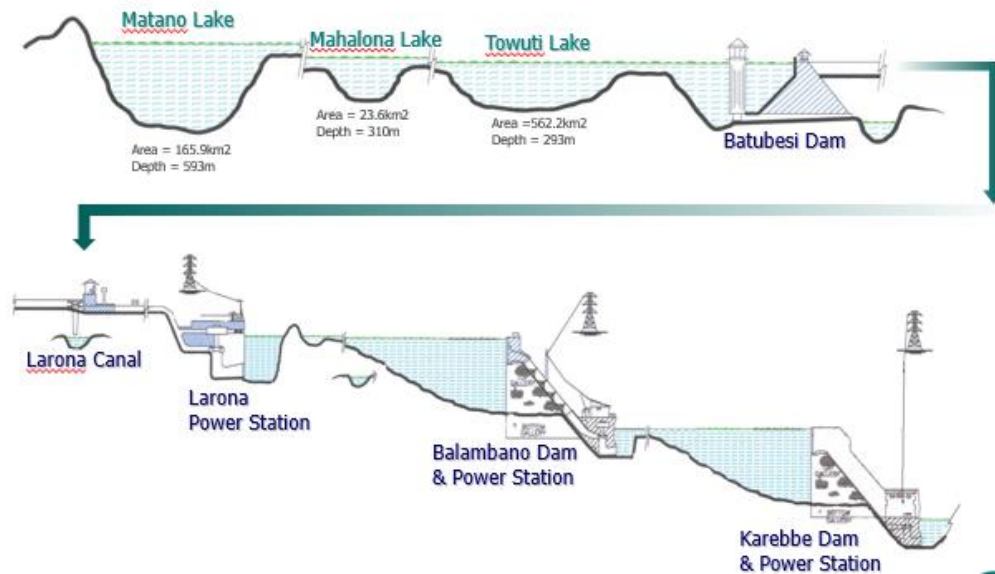


Gambar 1.1. Ilustrasi Sederhana Sistem Kelistrikan PTVI

PT Vale Indonesia memiliki 3 PLTA yaitu PLTA Larona, PLTA Balambano dan PLTA Karebbe. PLTA Larona memiliki 3 unit generator dengan kapasitas maksimal masing-masing dapat mencapai 62 MW, PLTA Balambano memiliki 2 unit generator dengan kapasitas maksimal masing-masing 70 MW, dan PLTA Karebbe memiliki 2 unit generator dengan kapasitas maksimal masing-masing 63.7 MW. Kapasitas maksimal dari masing-masing pembangkit tersebut hanya dapat dicapai ketika skenario *water unbalance* dijalankan.

Namun demi efisiensi penggunaan air, PT Vale Indonesia menerapkan skenario *water balance* yaitu suatu skenario dimana air yang digunakan oleh

PLTA Larona akan digunakan kembali untuk membangkitkan listrik di PLTA Balambano, dan selanjutnya air yang digunakan pada PLTA Balambano akan digunakan kembali untuk membangkitkan listrik di PLTA Karebbe. Dengan sistem tersebut, maka unit-unit generator di Balambano dan Karebbe tidak bisa dijalankan pada kapasitas maksimalnya selama penerapan sistem *water balance*.



Gambar 1.2. Sistem Penggunaan Air pada PLTA PTVI

Selain PLTA, PT Vale Indonesia juga memiliki pembangkit berbahan bakar minyak yaitu di PLTD MBDG 5x6MW, PLTD Caterpillar 23x1MW. Data pembangkitan listrik dan data beban listrik di PT. Vale Indonesia dapat dilihat pada Table 1.2, yang memperlihatkan bahwa ketika keempat *furnace* dijalankan masing-masing 70 MW sehingga total beban *furnace* adalah 280 MW, maka terdapat kelebihan daya sebesar 9 MW yang belum digunakan jika listrik hanya disuplai dari PLTA, dan terdapat kelebihan daya 62 MW jika listrik juga disuplai dari PLTD.

Tabel 1.3. Pembangkitan dan Beban Listrik PT Vale Indonesia

Power Generations & Loads	Water Balance (MW) - Option		PEAK (MW) - Water Unbalance & Equipment
	1	2	
PLTA Larona	165	165	186
PLTA Balambano	116	116	140
PLTA Karebbe	104	104	127.4
<b>Total Hydro Power - Generated</b>	<b>385</b>	<b>385</b>	<b>453.4</b>
Transmission Line Losses (2%)	6.81	6.81	8.90
Total Hydro Aux Load	0.5	0.5	0.5
Supply to PLN - from Hydro	5	5	5
Supply to Government - from Hydro	3	3	3
<b>Total Hydro Power - Deducted .</b>	<b>15.3</b>	<b>15.3</b>	<b>17.4</b>
<b>Total Power Delivered to Plant Site</b>	<b>369.7</b>	<b>369.7</b>	<b>436.0</b>
Furnace (4x70 MW)	280	280	280
Auxiliary Load & Petea Line	45	45	45
Supply to PLN Soroako - from Aux Grid	2.7	2.7	2.7
Electric Boiler	13	13	13
Water Balance Spinning Reserve Setting (for Furnace Bandwidth)	20	20	20
<b>Total Load at Plan Site .</b>	<b>360.7</b>	<b>360.7</b>	<b>360.7</b>
PLTD MBDG	0	30	0
PLTD Caterpillar	0	23	0
<b>Total Thermal Power - Generated</b>	<b>0</b>	<b>53</b>	<b>0</b>
<b>Total Power Generation</b>	<b>385</b>	<b>438</b>	<b>453.4</b>
<b>Total Loads and Losses</b>	<b>376.0</b>	<b>376.0</b>	<b>378.1</b>
<b>EXCESS POWER</b>	<b>9.0</b>	<b>62.0</b>	<b>75.3</b>

Catatan:

Pada Tabel 1.3, Kapasitas produksi listrik PLTA Larona didasarkan pada koefisien pembangkitan 1.12 yang di tetapkan di tahun 2012 sampai dengan awal penelitian ini di tahun 2019, dimana untuk menghasilkan 165 MW dibutuhkan air 148 cumecs.

Berdasarkan data beban dan pembangkitan di awal tahun 2019, terdapat total beban listrik dan rugi-rugi sekitar 376 MW, sehingga jika ditambahkan dengan kebutuhan listrik sekitar 70 MW untuk Sorokao RKEF maka total perkiraan beban listrik pada tahun 2024 adalah 446 MW. Total pembangkitan listrik jika hanya menggunakan PLTA adalah 385 MW, dan 438 MW jika listrik juga dibangkitkan oleh PLTD, sehingga didapatkan perkiraan awal kekurangan

daya listrik sekitar 8-61 MW karena kebutuhan daya sebesar 70 MW akan disupply dari *excess power* 9-62 MW.

Pada dasarnya sebagian besar kebutuhan listrik tambahan dapat dipenuhi jika PLTD dijalankan sepenuhnya pada daya 53 MW. Namun solusi tersebut hanyalah solusi sementara karena berdasarkan peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 15 tahun 2019 dibatasi hanya dapat digunakan 1000 jam dalam setahun akibat dari emisi NOx yang melebihi ambang batas yang diperlihatkan pada Tabel 1.4.

Tabel 1.4. Emisi Gas NOx PLTD

No	PLTD	Aktual NOx (mg/Nm <sup>3</sup> )	NOx Permen LHK No 15/ 2019 (mg/Nm <sup>3</sup> )	
			PLTD ≤ 3 MW	PLTD > 3 MW
1	MBDG	1.800 – 3.100	-	1.200
2	Caterpillar	2.700 – 3.100	1.400	-

Dengan adanya berbagai hambatan dalam pemenuhan energi listrik untuk kebutuhan Sorowako RKEF, maka perlu dilakukan langkah-langkah untuk mencari alternatif pembangkit listrik dalam rangka memenuhi kebutuhan listrik tersebut.

Hasil analisa studi ini dapat dijadikan acuan untuk mengetahui alternatif sumber energi listrik terbaik yang akan direkomendasikan untuk diimplementasikan pada Sorowako RKEF PT. Vale Indonesia. Oleh karena itu penulis membuat analisa mengenai pemilihan pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik RKEF dan fasilitas pendukung lainnya.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana menentukan kapasitas pembangkitan pembangkit listrik PLTA yang dimiliki oleh PT Vale Indonesia saat ini akibat dari perubahan koefisien pembangkitan PLTA Larona dan selesainya proyek *Canal Lining*.

- b. Bagaimana menentukan besarnya beban listrik di PT Vale Indonesia saat proyek RKEF telah selesai dan beroperasi.
- c. Bagaimana menentukan kriteria yang tepat yang akan digunakan pada pemilihan alternatif pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang telah didapatkan pada proses a dan b.
- d. Bagaimana menentukan alternatif yang akan diseleksi dan memilih alternatif sumber energi listrik (pembangkit listrik) tersebut sehingga sesuai dengan kebutuhan proyek RKEF dan kebutuhan *existing system*.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Membuat perencanaan kemampuan pembangkit listrik PLTA melalui verifikasi nilai koefisien pembangkitan pada PLTA Larona dan verifikasi pengaruh selesainya proyek *canal lining* dalam meningkatkan kapasitas kontinyu kanal pada PLTA Larona.
- b. Menentukan kebutuhan daya listrik tambahan untuk memenuhi kebutuhan listrik proyek Sorowako RKEF berdasarkan data pembangkit dan beban yang dikumpulkan.
- c. Mengidentifikasi dan menentukan kriteria untuk pemilihan sumber energi listrik (pembangkit listrik) untuk memenuhi kebutuhan listrik proyek Sorowako RKEF.
- d. Mengidentifikasi alternatif dan melakukan proses pemilihan alternatif terbaik. Menentukan alternatif dan memilih alternatif terbaik berdasarkan kriteria terpilih untuk sumber energi listrik (pembangkit listrik) dalam memenuhi kebutuhan listrik proyek Sorowako RKEF berdasarkan studi yang pernah dilakukan atau data pendukung lainnya.

### **1.4. Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut:



- a. Kebutuhan energi listrik untuk Sorokao RKEF adalah 70 MW.
- b. Skenario operasi PLTA yang dijadikan acuan utama adalah skenario *water balance*.
- c. Detail konstruksi desain sumber energi yang dipilih tidak dijelaskan mengingat *construction design* tersebut akan dilakukan setelah proses FEL 3 dilakukan.
- d. Estimasi biaya yang digunakan adalah mengacu pada estimasi yang telah pernah dilakukan, nilai harga listrik per kwh jika listrik dibeli perusahaan lainnya, dan beberapa data pendukung lainnya.
- e. *Load Flow Analysis* mengenai suplai energi tidak dijelaskan dalam penelitian ini.
- f. PLTU yang saat ini dimiliki PT Vale Indonesia tidak dimasukkan lagi dalam perhitungan pembangkit listrik karena PLTU tersebut akan segera dibongkar.
- g. Data pembangkitan PLTA dan perhitungannya menggunakan asumsi *normal season* dan diasumsikan level danau Towuti dapat menyuplai kebutuhan air PLTA secara kontinyu. Adapun ketika level danau Towuti dibawah normal, maka operasi *existing furnace* dan RKEF akan disesuaikan dengan kemampuan pembangkitan setelah dibangunnya tambahan pembangkit listrik yang akan ditentukan oleh tim proyek Sorowako RKEF.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang didapatkan dari penelitian pemilihan energi listrik untuk kebutuhan listrik Sorowako RKEF adalah

- a. Hasil penelitian ini dapat dijadikan *basic knowledge* bagi *stakeholder* PT. Vale Indonesia khususnya Departemen *Utilities*.
- b. Hasil analisa studi ini dapat dijadikan acuan untuk memilih sumber energi listrik tambahan yang tepat untuk kebutuhan listrik Sorowako RKEF.



## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1. Kriteria Pembangkit Listrik untuk Sorowako RKEF

Pada penelitian ini, kriteria yang berpotensi untuk digunakan dalam pemilihan alternatif sumber energi listrik atau pembangkit listrik mengacu ke beberapa sumber.

##### 2.1.1. Kriteria Berdasarkan Pendapat Konsultan Black and Veatch.

Perusahaan konsultan *Black and Veatch* menggunakan beberapa kriteria yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kriteria Pemilihan Pembangkit Listrik oleh Konsultan *Black & Veatch*

No	Kriteria	Keterangan
1	<i>Technology issues</i>	Tehnologi yang digunakan oleh sumber energi listrik
2	<i>Geographical</i>	Mencakup aspek geografis terkait dengan area pabrik berdasarkan informasi yang tersedia dalam pencarian domain/internet publik di Indonesia.
3	<i>Socioeconomic dan community impact</i>	Lokasi dan data latar belakang terkait dengan masyarakat sekitar di dekat lokasi proyek.
4	<i>Shareholders dan institutional investment</i>	Partisipasi investor terkait dengan teknologi yang dipilih terkait dengan kebijakan perubahan iklim global atau kemungkinan minat berbagai pemangku kepentingan untuk berpartisipasi dalam proyek berdasarkan teknologi yang dievaluasi.
5	<i>Insurance</i>	Perkiraan biaya asuransi terkait konstruksi untuk teknologi yang dipilih berdasarkan pengalaman lokal, regional dan nasional.
6	<i>Indonesia government</i>	Peraturan lokal, regional dan nasional, mempertimbangkan peraturan masa depan yang ada,

	<i>environmental regulations</i>	
7	<i>Financing</i>	Kemampuan untuk mendapatkan modal dari pemberi pinjaman akan mencakup diskusi/narasi tingkat tinggi yang akan diberikan berdasarkan teknologi yang dipilih dan sesuai dengan tren keuangan regional dan global dalam kaitannya dengan teknologi yang dipilih
8	<i>Economic</i>	Total investasi, biaya operasi, masa pakai biaya aset, biaya CAPEX dan OPEX yang akan mencakup biaya langsung dan tidak langsung PTVI
9	<i>Reputation dan governance</i>	Emisi pabrik untuk setiap teknologi terpilih dan membandingkan tren kepatuhan lingkungan, juga akan meninjau tujuan keberlanjutan internal dan komitmen PTVI terhadap perjanjian dan perjanjian eksternal.
10	<i>Environmental impact</i>	Emisi karbon ( <i>CO2 equivalent</i> ) dan emisi lainnya seperti kebisingan, SO <sub>2</sub> , NO <sub>X</sub> , partikulat.

### 2.1.2. Kriteria Berdasarkan Pendapat Konsultan *Worley Parson*.

Perusahaan konsultan *Worley Parson* menggunakan beberapa kriteria yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kriteria Pemilihan Pembangkit Listrik oleh Konsultan *Worley Parson*

No	Kriteria	Keterangan
1	<i>Technology issues</i>	
2	<i>Geographical</i>	Terletak di zona seismik aktif, ketersediaan bahan bakar/air
3	<i>Socioeconomic dan community impact</i>	
4	<i>Shareholders dan institutional investment</i>	Risiko divestasi, pengecualian, proposal pemegang saham
5	<i>Insurance</i>	

6	<i>Indonesia government</i>	Lokal, regional dan nasional; mempertimbangkan peraturan yang ada
7	<i>Financing</i>	Pembatasan atau insentif dari lembaga keuangan untuk membiayai sumber daya tertentu
8	<i>Capital dan Operating Cost</i>	Besar CAPEX dan OPEX
9	<i>Reputation dan governance</i>	Menyelaraskan dengan tujuan gas rumah kaca Vale; konsistensi dengan komitmen, standar, kerangka kerja iklim eksternal.
10	<i>Environmental impact</i>	Emisi CO <sub>2</sub> <i>equivalent</i> dan emisi lainnya seperti kebisingan, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM

### 2.1.3. Kriteria Berdasarkan Pendapat Udisubakti

Menurut Udisubakti (2006) pada tulisan model pendukung keputusan untuk pemilihan proyek pembangkit listrik: integrasi metode *analytic hierarchy proces* (AHP) dan *zero-one goal programming*, beberapa kriteria yang dapat digunakan adalah seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kriteria Pemilihan Pembangkit Listrik oleh Prof Udisubakti (2006)

No	Kriteria	Keterangan
1	Finansial	Meliputi biaya total produksi, IRR ( <i>internal rate return</i> ), NPV ( <i>net present Value</i> ), <i>Payback Period</i> .
2	Ekonomis	Meliputi pengembangan wilayah, pengembangan sumber daya lokal, keterkaitan proyek dengan industri, penyerapan tenaga kerja.
3	Strategis	Meliputi sumber pendanaan, adaptasi teknologi, transfer teknologi, keterkaitan antar industri.
4	Dampak Terhadap Lingkungan	Meliputi pencemaran udara kondisi atmosfer (SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO <sub>2</sub> , CO), kualitas air tanah, ekosistem natural, perubahan sosial
5	Ketersediaan SDA	Meliputi sumber energi karbon (batubara), air, <i>geothermal</i> , gas alam, minyak bumi

Dalam penelitian ini diasumsikan kriteria-kriteria tersebut memiliki independensitas masing-masing, walaupun kadang kala terdapat konflik antara kriteria-kriteria, diantara penjelasannya adalah sebagai berikut:

1. Biaya Listrik (*Tariff or LCOE*).

Biaya listrik dapat berupa LCOE untuk pembangkit listrik yang diproduksi sendiri oleh PT Vale Indonesia, dan dapat berupa tarif untuk pembangkit listrik yang diproduksi oleh perusahaan lain. Suatu pembangkit mungkin memiliki biaya listrik yang murah atau LCOE yang murah, namun bisa saja membutuhkan biaya investasi yang besar.

2. Ekonomis

Pembangunan PLTA akan membutuhkan tenaga kerja yang banyak dan lebih memutar perekonomian di sekitar wilayah Sorowako, tapi tentunya juga membutuhkan biaya yang besar.

3. Sumber Pendanaan Biaya Investasi.

Pendanaan biaya investati dapat berasal dari dana kas internal PT Vale Indonesia, dari dana pinjaman ataupun dari dana pihak ketiga yang akan membangun pembangkit listrik untuk PT Vale Indonesia dengan skema *leasing* yang pembayarannya dalam tarif listrik. Biaya perbaikan pada pembangkit listrik *diesel* melalui pemasangan SCR tentunya lebih murah namun menghasilkan dampak gas rumah kaca yang lebih tinggi

4. *Shareholder* dan *Institutional Investment*

Partisipasi investor terkait dengan teknologi yang dipilih terkait dengan kebijakan perubahan iklim global atau kemungkinan minat berbagai pemangku kepentingan untuk berpartisipasi dalam proyek berdasarkan teknologi yang dievaluasi, atau masalah/pertimbangan khusus lainnya.

5. Efek Gas Rumah Kaca.

Ketika menggunakan PLTD yang merupakan salah satu pembangkit listrik yang berbahan bakar minyak, maka permasalahan muncul dengan adanya emisi SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dan terutama CO<sub>2</sub> (gas rumah kaca). Pembangkit-pembangkit berbahan bakar minyak akan menghasilkan efek gas rumah kaca, sedangkan

pembangkit listrik yang berasal dari energi baru dan terbarukan tidak memiliki efek gas rumah kaca ataupun efek gas rumah kacanya sangat kecil.

6. Ketersediaan Sumber Daya / bahan bakar.

Pembangkit listrik tenaga air memiliki keterbatasan atas debit air yang ada, adapun pembangkit listrik tenaga surya memiliki keterbatasan atas *solar irradiance* pada suatu daerah.

7. *Technology Issue*

Setiap pembangkit listrik memiliki teknologi masing-masing, pemilihan teknologi bisa tergantung oleh ketersediaan sumber daya di sekitar lokasi, apakah teknologi itu dapat diterapkan ataupun berdasarkan suatu target yang ingin dicapai oleh perusahaan. Penerapan teknologi bisa jadi baik dampaknya bagi usaha pengurangan gas rumah kaca namun dapat mempengaruhi sistem operasi pada pabrik ataupun mempengaruhi kehandalan sistem kelistrikan.

8. Efek ke Sistem Operasi *Process Plant (Furnace, Kiln, Dryer)* dan *Utilities*.

Listrik yang dihasilkan boleh jadi lebih murah dan tidak menghasilkan gas rumah kaca, namun bisa saja memberikan dampak pada sistem operasi *process plant (furnace, kiln, dryer)* dan *utilities* pada saat konstruksi ataupun operasional.

9. Durasi Proyek

Proyek perlu diselesaikan pada saat waktu tertentu sehingga dapat digunakan sesuai tujuan diadakannya proyek tersebut. Beberapa potensi alternatif memiliki dampak yang baik bagi usaha menekan gas rumah kaca namun membutuhkan waktu penyelesaian proyek yang lebih lama.

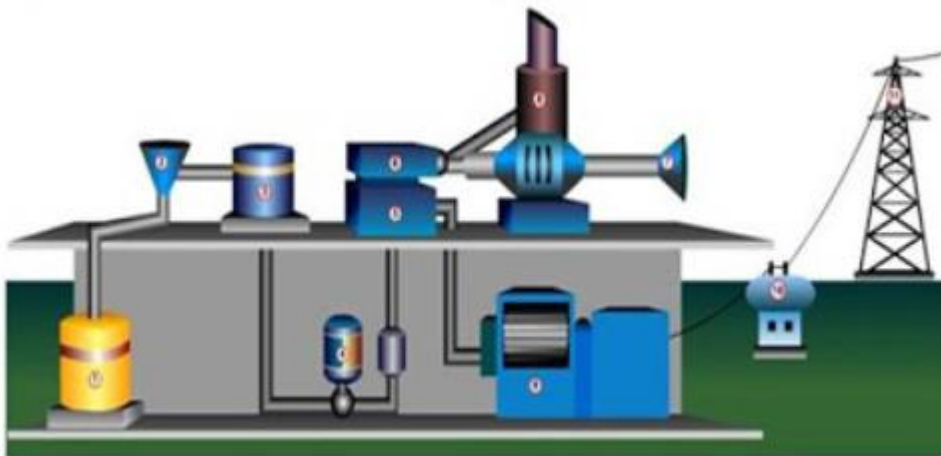
Dengan adanya independensi dari masing-masing kriteria dan dengan adanya kemungkinan perbedaaan dari para responden, sehingga diputuskan untuk menggunakan metode FAHP untuk menentukan alternatif terbaik dalam pemilihan sumber energi listrik untuk Sorowako RKEF.

## 2.2. Pembangkit Listrik Yang Potensial di Sekitar Sorowako

Beberapa alternatif pembangkit atau sumber energi listrik yang berpotensi untuk dapat digunakan memenuhi kebutuhan listrik tambahan telah melalui beberapa studi yang telah dilakukan di sekitar area Sorowako. Diantara beberapa alternatif sumber tersebut dapat dilihat pada penjelasan dibawah ini.

### 2.2.1. PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel)

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) adalah pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*). *Prime mover* merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator yang selanjutnya menghasilkan energi listrik.



Gambar 2.1. Ilustrasi Sistem PLTD (PT Berkat Manunggal Jaya, 2019)

Dari Gambar 2.1 di atas dapat kita lihat bagian-bagian dari pembangkit listrik tenaga diesel, yaitu:

1. Tangki penyimpanan bahan bakar.
2. Penyaring bahan bakar.
3. Tangki penyimpanan bahan bakar sementara telah disaring.
4. Pengabut.
5. Mesin diesel.



6. Turbo charger.
7. Penyaring gas pembuangan.
8. Tempat pembuangan gas (bahan bakar yang disaring).
9. Generator.
10. Trafo Menaikkan tegangan.
11. Saluran transmisi/distribusi

Saat ini PT Vale Indonesia memiliki 5 unit pembangkit diesel MBDG yang masing-masing berkapasitas 6 MW, dan juga memiliki 23 unit pembangkit diesel Caterpillar yang masing-masing berkapasitas 1 MW, sehingga kapasitas total PLTD adalah 53 MW. Pada dasarnya dengan kapasitas total 53 MW tersebut sebagian besar dapat memenuhi kebutuhan tambahan daya listrik untuk Sorowako RKEF sebesar 70 MW berdasarkan data awal pembangkit dan beban sebelum diadakannya beberapa verifikasi pembangkitan dan beban, namun karena PLTD tersebut menghasilkan NO<sub>x</sub> diatas ambang maksimal yang ditetapkan pemerintah yaitu 1.200 mg/Nm<sup>3</sup> untuk PLTD > 3 MW dan maksimal NO<sub>x</sub> 1.400 mg/Nm<sup>3</sup> untuk PLTD < 3 MW, sehingga PLTD tersebut hanya dapat digunakan maksimal 1.000 jam dalam setahun.

Diperlukan suatu tindakan untuk mengurangi emisi NO<sub>x</sub> tersebut supaya PLTD dapat digunakan sepanjang tahun dan tanpa batasan waktu. Teknologi yang dapat diterapkan adalah penerapan teknologi SCR (*Selective Catalytic Reduction*).

### **Tehnologi SCR untuk mengurangi emisi PLTD**

*Selective Catalytic Reduction* (SCR) dapat dipasang pada setiap MBDG & CAT *diesel generator*. Strategi ini membuat mesin *diesel generator* menghasilkan emisi NO<sub>x</sub> lebih rendah dari 1.000 mg/Nm<sup>3</sup> sepanjang tahun. Gambar 2.2 memperlihatkan ilustrasi instalasi SCR di MBDG dan CAT *diesel generator*.



Gambar 2.2. Ilustrasi Penerapan SCR (ECI - 2016).

Mesin *diesel generator* MBDG & CAT memiliki karakteristik operasi spesifik. Bahan bakar indeks untuk daya yang dihasilkan untuk MBDG adalah 245 liter/MWh dan untuk CAT adalah 265 liter/MWh. Untuk mengurangi NOx hingga 80%, maka SCR pada MBDG membutuhkan 29,2 liter/hour urea untuk setiap MWh dan SCR pada Caterpillar genset membutuhkan 35 liter/hour untuk setiap MWh. Pengurangan NOx tersebut dapat mencapai level NOx 465 mg/Nm<sup>3</sup>. Emisi ini akan mematuhi peraturan pemerintah yang membatasi maksimal NOx 1.200 mg/Nm<sup>3</sup> untuk PLTD > 3 MW yaitu untuk MBDG dan maksimal NOx 1.400 mg/Nm<sup>3</sup> untuk PLTD < 3 MW yaitu untuk Caterpillar Genset.

Perkiraan biaya untuk membangun SCR untuk MBDG 5x6MW adalah sekitar USD 5 juta, sedangkan biaya untuk membangun SCR untuk Caterpillar Genset 23x1MW adalah sekitar USD 6 juta. Adapun lamanya durasi proyek diperkirakan sekitar 15 bulan berdasarkan informasi awal dari salah satu konsultan SCR. Saat ini biaya listrik untuk membangkitkan listrik dari *diesel generator* adalah

sekitar 38 cent/kwh berdasarkan data dari tim Energi dengan mengacu ke beberapa data asumsi dasar.

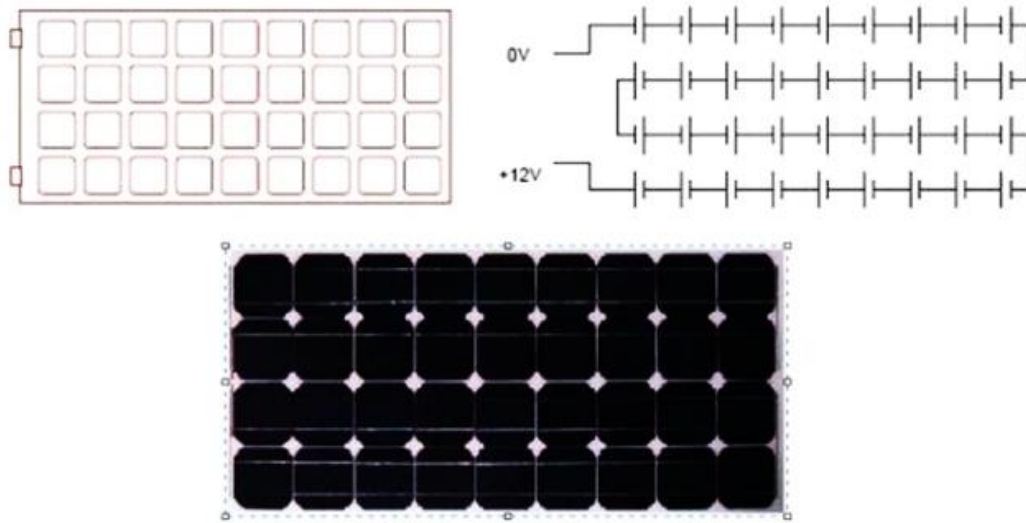
Pemasangan SCR dapat menyelesaikan permasalahan emisi NO<sub>x</sub>, namun emisi CO<sub>2</sub> tetap tinggi akibat dari penggunaan bahan bakar diesel. Diperkirakan *diesel generator* menghasilkan sekitar 680 kgCO<sub>2</sub>/MWh jika menggunakan *pure* bahan bakar *diesel*. Namun jika menggunakan *biodiesel* maka emisi CO<sub>2</sub> nya akan berkurang seiring dengan semakin tingginya nilai persentasi kandungan biodieselnnya. Secara umum, jika kandungan *biodieseln*ya adalah 30% atau dikenal dengan nama B30, maka emisi CO<sub>2</sub> nya akan berkurang 30%, sehingga emisi CO<sub>2</sub> dari B30 adalah menjadi sekitar 477 kgCO<sub>2</sub>/MWh.

Dengan bisa beroperasinya PLTD tanpa batasan waktu 1.000 jam per tahun, maka PLTD dapat menjadi salah satu pilihan memenuhi kebutuhan listrik tambahan untuk proyek Sorowako RKEF.

### **2.2.2. PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)**

Pembangkit listrik tenaga surya atau disingkat PLTS adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Pembangkitan listrik bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung menggunakan fotovoltaik dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. Fotovoltaik mengubah secara langsung energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Adapun untuk tipe pemusatan energi surya adalah dengan menggunakan sistem lensa atau cermin dikombinasikan dengan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari ke satu titik untuk menggerakkan mesin kalor. Di Indonesia, tipe PLTS yang cocok diterapkan adalah jenis fotovoltaik.

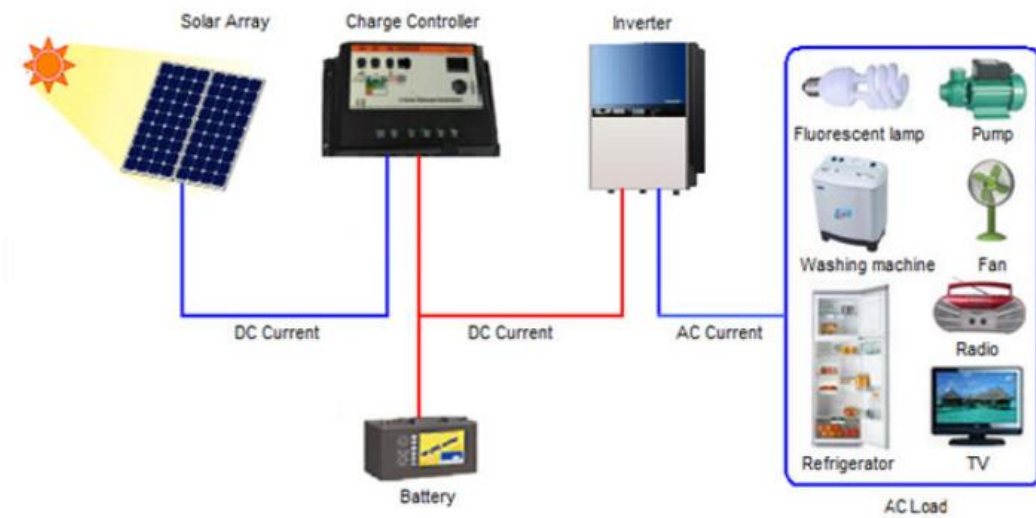
Perlu diketahui bahwa *solar cell* terbuat dari bahan semikonduktor. Dalam satu *solar cell* setidaknya terdapat dua lapisan semikonduktor, yakni lapisan semikonduktor positif dan negatif. Saat *solar cell* bekerja, maka ia akan menangkap sinar matahari yang berupa partikel kecil dari energi foton matahari.



Gambar 2.3. Sistem Seri Pada Sel Panel Surya

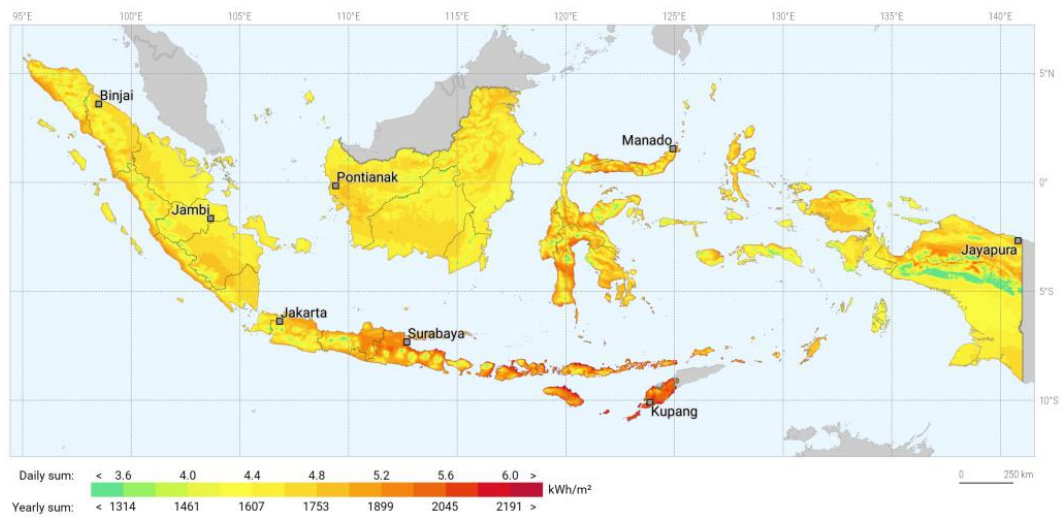
Saat energi foton yang diserap oleh lapisan negatif dari solar sel telah cukup, maka elektron akan dibebaskan dari lapisan negatif menuju ke lapisan positif, sehingga timbul beda potensial alias tegangan. Dari situlah akan timbul energi listrik. Biasanya modul surya terdiri dari 28 sampai dengan 36 sel surya (Gambar 2.3.). Sel surya tersebut dirangkai secara seri. Semakin banyak sel surya, maka semakin besar pula *output* yang berupa energi listrik yang dihasilkan.

Beda potential yang dihasilkan adalah dalam bentuk tegangan DC, sehingga arus yang keluar juga adalah arus DC. Arus DC tersebut kemudian masuk ke *charge controller* yang berfungsi mengisi baterai untuk menyimpan energi atau bisa juga langsung menuju ke *inverter* untuk di ubah menjadi tegangan AC yang umumnya digunakan oleh peralatan-peralatan listrik saat ini. Ilustrasi sistem PLTS dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Ilustrasi Sistem PLTS

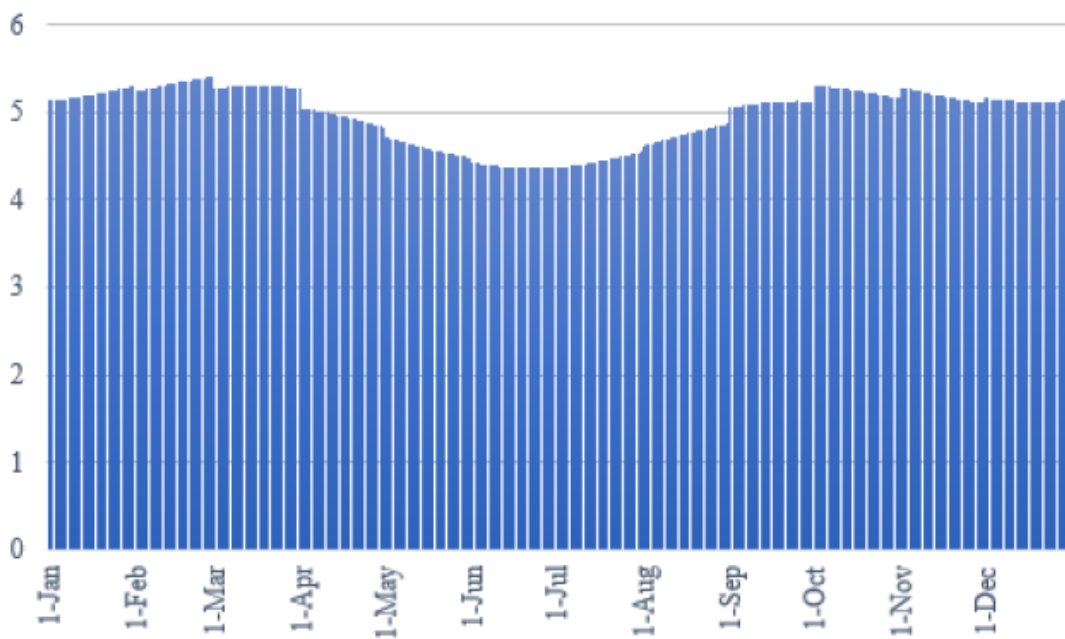
Jika mengacu ke peta *solar irradiance* daerah Sorowako berdasarkan data dari *Worldbank* dan *ESDM*, didapatkan bahwa *solar irradiance* di daerah Sorowako sekitar  $4.8 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ , hal tersebut dapat dilihat dari Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.



Gambar 2.5. Peta Potensi Energi Surya dikeluarkan oleh *Wordlbank* (2018)



Gambar 2.6. Peta Potensi Energi Surya dikeluarkan oleh ESDM (2018)

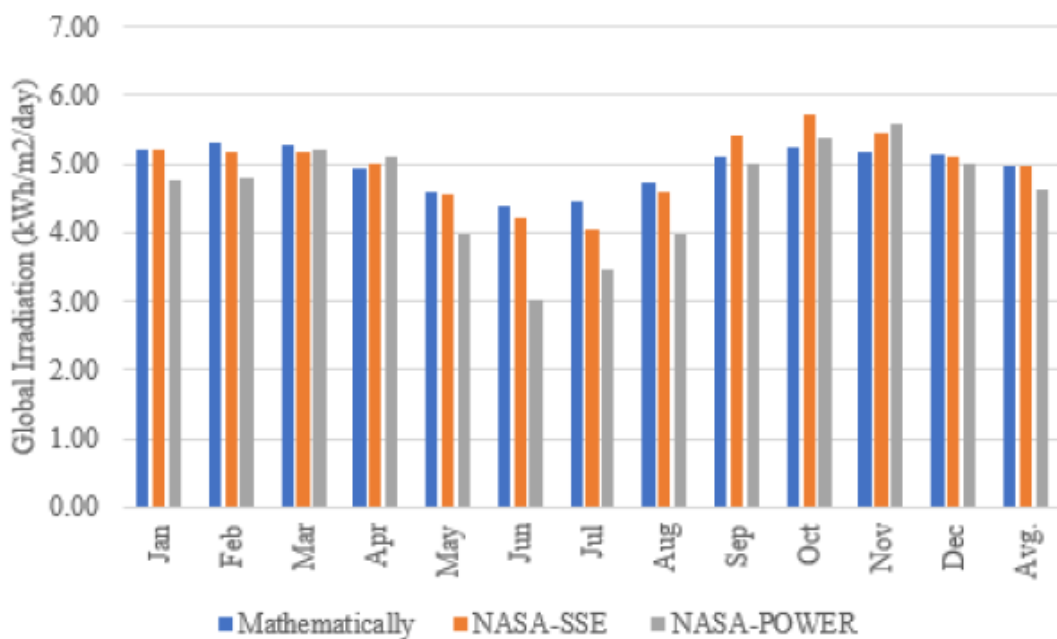


Gambar 2.7. Solar Irradiance di Daerah Sorowako Berdasarkan Perhitungan Matematika (Zainuddin, 2018)

Kemudian jika dibandingkan dengan hasil perhitungan matematika pada Gambar 2.7 dimana didapatkan bahwa solar irradiation di daerah Sorowako adalah

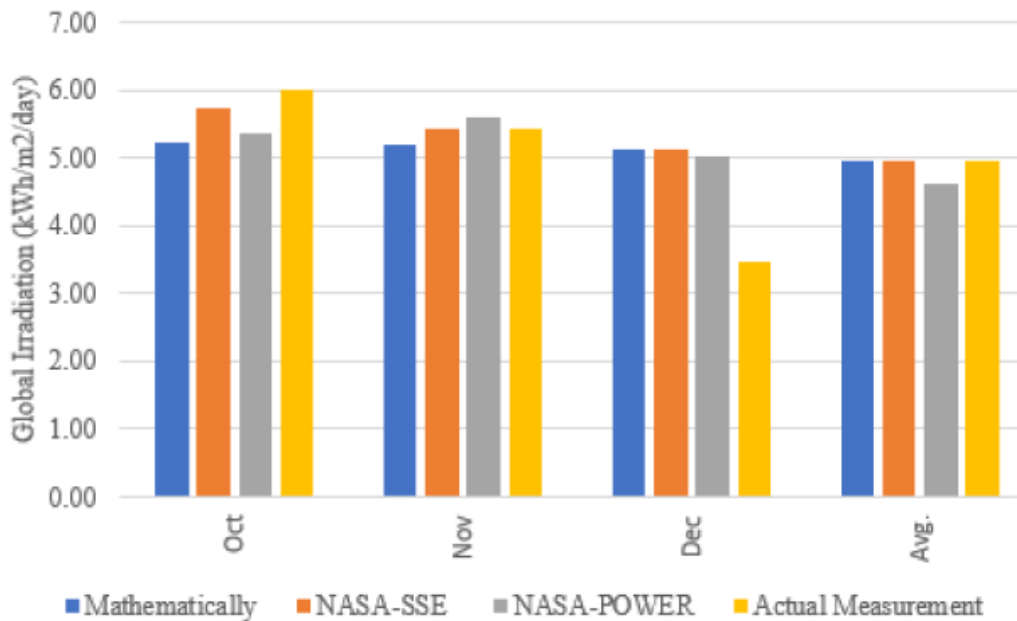
sekitar 4.36 – 5,40 kWh/m<sup>2</sup>/hari atau nilai rata-ranya sekitar 4,88 kWh/m<sup>2</sup>/hari dimana nilainya dapat dikatakan hampir sama dengan data yang diberikan oleh worldbank dan ESDM yaitu sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari.

Dan telah dilakukan pula perbandingan *solar irradiance* antara perhitungan matematika dengan perhitungan berdasarkan citra satelit yang dilakukan oleh NASA-SSE dan NASA-POWER, dapat dilihat pada Gambar 2.8 yang memperlihatkan hasil yang dapat dikatakan tidak jauh berbeda.



Gambar 2.8. Perbandingan *Solar Irradiance* di Daerah Sorowako (Zainuddin, 2018)

Untuk lebih mendapatkan akurasi data, telah dilakukan pula perbandingan dengan pengukuran data aktual selama beberapa bulan yaitu dari bulan Oktober sampai Desember 2018 sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 2.9. Terlihat bahwa hasilnya dapat dikatakan mirip antara hasil pengukuran aktual dilapangan dengan hasil perhitungan matematik maupun perhitungan citra satelit oleh NASA-SSE dan NASA-POWER.



Gambar 2.9. Perbandingan *Solar Irradiance* di daerah Sorowako Termasuk Pengukuran Aktual (Zainuddin, 2018)

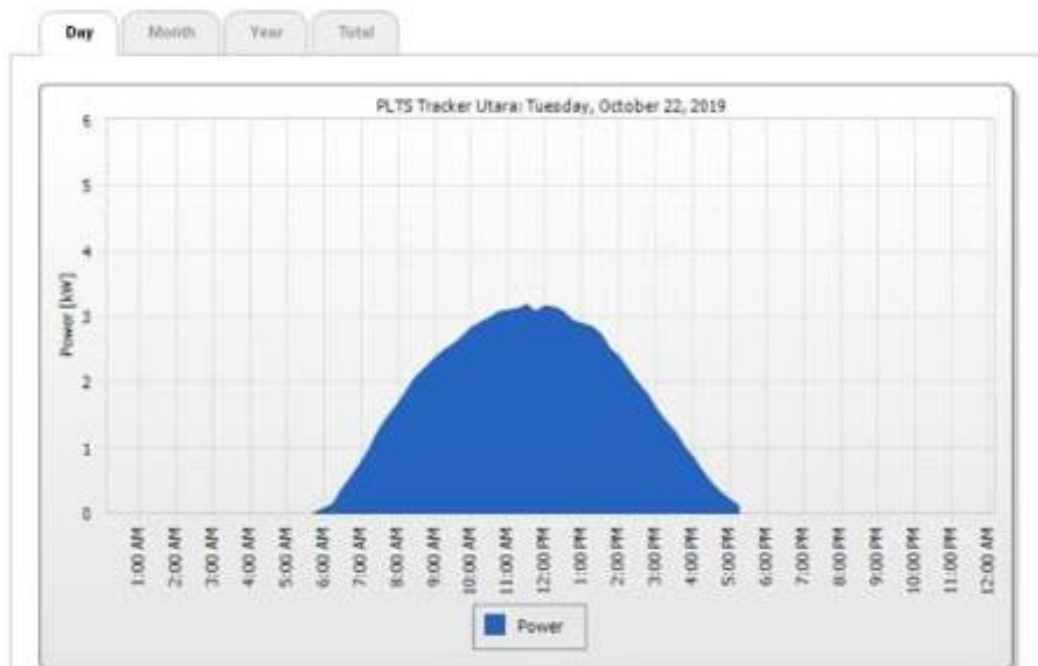
Semua perhitungan diatas masih berupa perhitungan untuk *solar irradiance*. Untuk mendapatkan hasil yang lebih meyakinkan, penulis mengambil data dari PLTS Cirata yang telah memasang PLTS penelitian/percobaan sebesar 5,3 kWp dan memiliki data yang lebih mudah untuk perbandingan.

Menurut Fuad (2019), nilai tertinggi *solar irradiance* pada daerah cirata adalah sekitar 4,72 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Nilai maksimum tersebut sedikit dibawah nilai rata-rata *solar irradiance* di daerah Sorowako yang sekitar 4,88 kWh/m<sup>2</sup>/hari, sehingga seharusnya energi listrik yang dihasilkan di daerah Sorowako tentunya akan lebih baik daripada energi listrik yang dihasilkan di daerah Cirata. Data pembangkitan listrik PLTS Cirata dapat dilihat pada Gambar 2.10.

Data pada gambar 2.10 dapat digunakan untuk perhitungan aktual.

- Kapasitas terpasang = 5,3 kWp
- Daya keluaran Inverter = 3.2 kWAC
- Rasio efisiensi = Daya keluaran Iverter / Kapasitas terpasang  
= 3,2 kWAC / 5,3 kWp  
= 0.6





Gambar 2.10. *Overview* Pembangkitan Listrik PLTS Cirata 5.3 kWp

- Energi yang dihasilkan = 21,8 kWh/hari
- Rasio Pembangkitan = Energi per hari / Kapasitas terpasang  
 = 21,8 kWh / 5,3 kWp  
 = 4,11 Wh/Wp, untuk 12 jam data PLTS

Jadi pemasangan 5,3 kWp di PLTS Cirata dapat menghasilkan 21,8 kWh perharinya atau 4,11 kali dari kapasitas terpasang 5,3 kWp tersebut. Disisi lain, karena energi yang dihasilkan oleh PTLTS terlihat efektif pada 10 jam, dimana berdasarkan data PLTS Cirata nilainya sekitar 21,3 kWh/day, maka didapatkan rasio pembangkitan untuk 10 jam adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Rasio Pembangkitan} &= \text{Energi per hari} / \text{Kapasitas terpasang} \\ &= 21,3 \text{ kWh} / 5,3 \text{ kWp} \\ &= 4 \text{ Wh/Wp, untuk 10 jam penggunaan PLTS.} \end{aligned}$$

Dengan melakukan pendekatan yang sama pada kebutuhan listrik tambahan Sorowako RKEF, maka dengan PLTS dapat pula diterapkan selama 10 jam pada pagi hari hingga sore hari yaitu dari jam 07.00 – 17.00. Untuk menghindari penggunaan *battery energy storage system* (BESS) yang akan berdampak pada naiknya biaya investasi ataupun harga listrik, maka PLTS di Sorowako akan disandingkan penggunaannya dengan sistem penyimpanan air di PLTA Balambano. Dimana air yang digunakan oleh PLTA Larona tidak semuanya langsung digunakan oleh PLTA Balambano, sebagian air tersebut disimpan di dam PLTA Balambano pada jam 07.00 - 17.00 yang memiliki kapasitas *life storage* 1,7 juta kubik pada level 164 – 167 mtr, kemudian air yang telah disimpan tersebut akan digunakan untuk membangkitkan energi listrik lebih banyak pada malam hari dibandingkan jumlah normalnya.

Untuk kebutuhan listrik tambahan rata-rata 20 MW selama 24 jam atau 480 MWh dalam sehari, maka perhitungan dasarnya adalah sebagai berikut:

- Rasio pembangkitan = 4 Wh/Wp, untuk 10 jam PLTS
- Kapasitas terpasang = Energi per hari / Rasio Pembangkitan  
= 480 (MWh) / 4 (Wh/Wp)  
= 120 MWp
- Daya keluaran *inveter* = 120 MWp \* 0,8 *generating coeficient*  
= 96 MWAC
- Lahan yang dibutuhkan = Kapasitas terpasang x 1 hektar/MWp  
= 120 MWp x 1 hektar/MWp  
= 120 hektar

Tabel 2.4 memperlihatkan skenario operasi kombinasi PLTS rata-rata 20 MW dan penyimpanan air di dam PLTA Balambano yang mana air simpanan tersebut kemudian dimanfaatkan pada jam 17.00 - 07.00 untuk membangkitkan energi listrik lebih banyak dari kondisi normal.

Tabel 2.4. Skenario PLTS Rata-rata 20 MW dan *Existing* PLTA

Power Plant	Water Balance										Peak (MW)	Max Flow to Penstock - (Cumeecs)
	Add. Water (Cumeecs)	Normal			PV Scenario (Average Power)							
		Coefficient	Flow (Cumeecs)	MW	Day (07.00-17.00)			Night (17.00-07.00)				
					Saving (Cumeecs)	Flow (Cumeecs)	MW	Additional (Cumeecs)	Flow (Cumeecs)	MW		
Larona	-	1.22	148	180	-	148	180	-	148	180	186	153
Balambano	5	0.76	153	116	19.8	133.2	101	14.1	167.1	127	140	178-184
Karebbe	3	0.67	156	104	-	136.2	91	-	170.1	113	127.4	190
PLTA (Hydro)				400			372			420	453.4	
PLTD (Diesel)	5 unit MBDG @6MW			20			0			0		
PLTD (Diesel)	15 unit CAT Genset @1MW						0			0		
PLTS (PV)	Photo Voltaic for 10 hours			0			48			0		
<b>Power Demand</b>				<b>420</b>			<b>420</b>			<b>420</b>		
Saving water 19.8 Cumeecs at Balambano Dam (07.00 - 17.00)					10	hours	=	712,800	Cubic			
Additional water 14.1 Cumeecs (17.00-07.00)					14	hours	=	712,800	Cubic			
Balambano Dam Live Storage - Design Capacity							=	1,700,000	Cubic			

Adapun untuk kebutuhan listrik tambahan rata-rata 25 MW selama 24 jam atau 600 MWh dalam sehari, maka perhitungan dasarnya adalah sebagai berikut:

- Rasio pembangkitan = 4 Wh/Wp, untuk 10 jam PLTS
- Kapasitas terpasang = Energi per hari / Rasio Pembangkitan  
= 600 (MWh) / 4 (Wh/Wp)  
= 150 MWp
- Daya keluaran *inveter* = 150 MWp \* 0,8 *generating coefficient*  
= 120 MWAC
- Lahan yang dibutuhkan = Kapasitas terpasang x 1 hektar/MWp  
= 150 MWp x 1 hektar/MWp  
= 150 hektar

Tabel 2.5 memperlihatkan skenario operasi kombinasi PLTS rata-rata 25 MW dan penyimpanan air di dam PLTA Balambano yang mana air simpanan tersebut kemudian dimanfaatkan pada jam 17.00 – 07.00 untuk membangkitkan energi listrik lebih banyak dari kondisi normal.

Tabel 2.5. Skenario PLTS Rata-rata 25 MW dan *Existing* PLTA

Power Plant	Water Balance										Peak (MW)	Max Flow to Penstock - (Cumeecs)
	Add. Water (Cumeecs)	Normal			PV Scenario (Average Power)							
					Day (07.00 - 17.00)			Night (17.00 - 07.00)				
		Efficiency	Flow (Cumeecs)	Mw	Saving (Cumeecs)	Flow (Cumeecs)	Mw	Additional (Cumeecs)	Flow (Cumeecs)	Mw		
Larona	-	1.22	148	180	-	148	180	-	148	180	180	153
Balambano	5	0.76	153	116	25	128	97	17.9	170.9	129	140	178 - 184
Karebbe	3	0.67	156	104	-	131	87	-	173.9	116	127	190
PLTA (Hydro)				400			364			425	447.4	
PLTD (Diesel)	5 unit MBDG @6MW			25			0			0		
PLTD (Diesel)	15 unit CAT Genset @1MW						0			0		
PLTS (PV)	Photo Voltaic			0			61			0		
<b>Power Demand</b>				<b>425</b>			<b>425</b>			<b>425</b>		
Saving water 25 Cumeecs at Balambano Dam (07.00 - 17.00)					10	hours	=	900,000	Cubic			
Additional water 17.9 Cumeecs (17.00 - 07.00)					14	hours	=	900,000	Cubic			
Balambano Dam Live Storage - Design Capacity							=	1,700,000	Cubic			

Adapun kebutuhan lahan seluas 120 hektar untuk PLTS 120 MWp atau 150 hektar untuk 150 MWp dapat dipenuhi dengan menggunakan lahan bekas tambang di area kontrak karya PT Vale Indonesia.

Pada alternatif PLTS ini, PT Vale Indonesia tidak memiliki keharusan membiayai biaya investasi dari kas internal ataupun pinjaman, karena terdapat pilihan untuk dibangun oleh perusahaan lainnya dan PT Vale Indonesia hanya akan menyewa dengan tarif biaya tertentu per kwh yang disuplai ke PT Vale Indonesia. Informasi dari hasil data PPA PLN dengan IPP di Bali, PLN membeli listrik *landed* PV (PLTS diatas tanah) dengan harga sekitar 5,8 cent/kwh. Adapun PPA PLN dengan perusahaan Masdar pada *Floating* PV (PLTS Terapung) di PLTS Cirata adalah juga pada harga 5,8 cent/kwh. Secara umum biaya pembangunan PLTS adalah sekitar 600,000-700,000 USD/MWp dan untuk pembangunan 120-150 MWp dibutuhkan waktu sekitar 14 bulan.

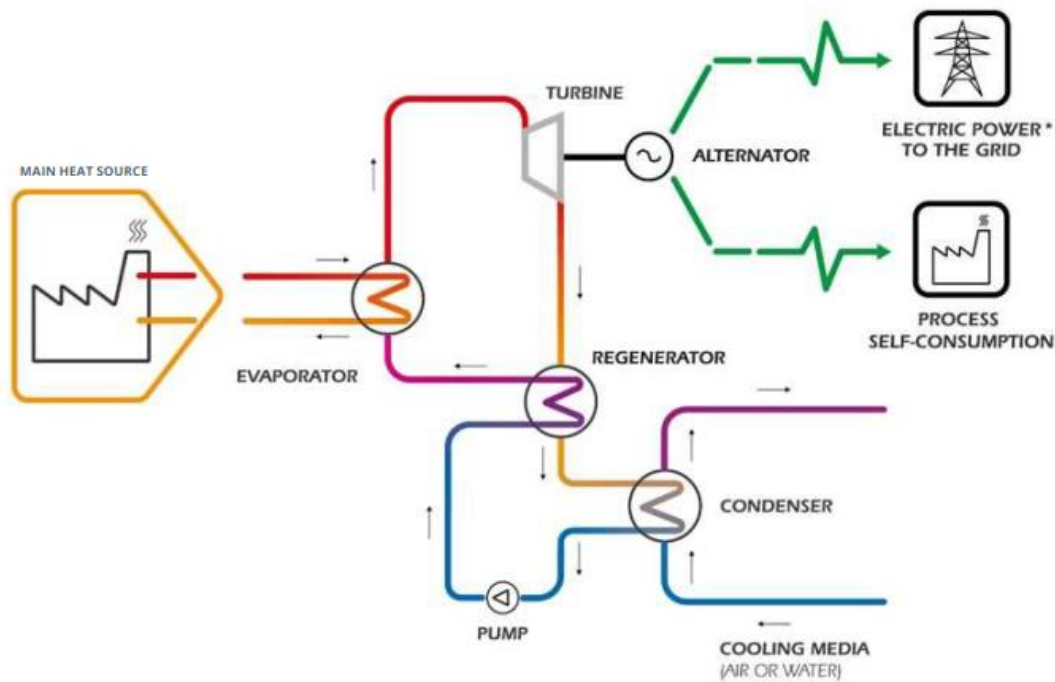
PLTS merupakan sistem pembangkit yang bersifat *intermitten* karena pembangkitan dayanya tergantung kondisi cuaca dan intensitas cahaya matahari.

Pada umumnya untuk kestabilan sistem kelistrikan tentunya dibutuhkan *battery energy storage system* (BESS), namun pada alternatif PLTS ini tidak menggunakan BESS melainkan tetap menggunakan *existing* PLTA untuk membantu mengatasi fluktuasi pembangkitan daya listrik PLTS dalam rangka menekan biaya investasi dan menekan harga listrik. Oleh karena itu, PLTS yang boleh dipasang pada sistem kelistrikan PT Vale Indonesia juga dibatasi yaitu maksimal sekitar 120 MWac atau sekitar 150 MWp.

### **2.2.3. ORC (*Organic Rankine Cycle*)**

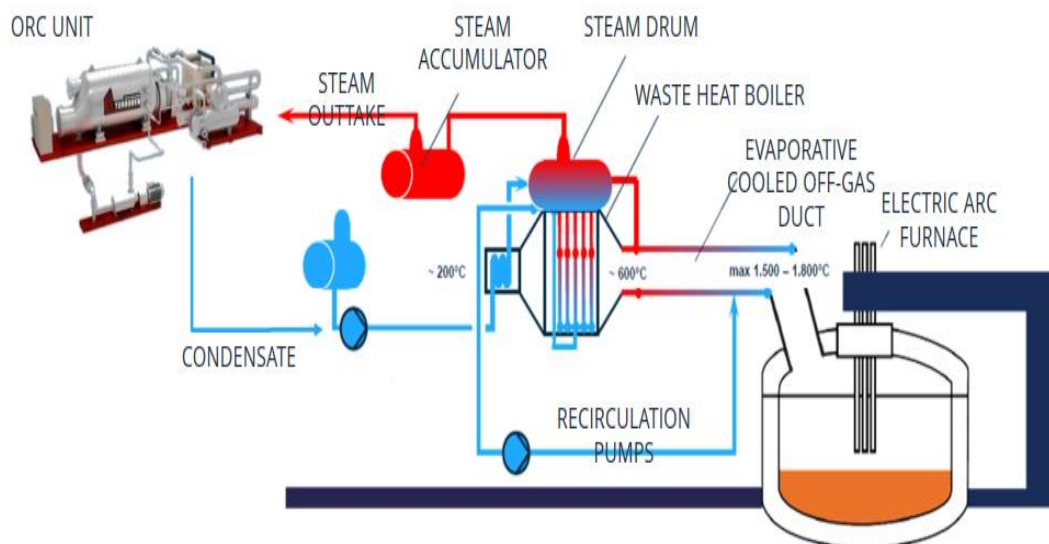
Pada dasarnya pembangkit listrik *organic rankine cycle* memiliki prinsip dasar yang sama dengan PLTU ataupun HRSG (pada PLTGU), dimana energi panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar digunakan untuk memanaskan air sehingga menjadi *vapour* (uap) yang kemudian akan memutar turbin dan generator, generator selanjutnya menghasilkan listrik.

Pada Gambar 2.11 dapat diketahui sistem dari pembangkit listrik ORC ini, dimana *flue gas* (panas buangan) dari proses yang terjadi di sumber panas seperti *furnace, kiln, dryer* dan peralatan lainnya kemudian diserap untuk memanaskan *liquid* tertentu sampai *liquid* tersebut dapat menjadi *vapour* (uap) yang kemudian memutar turbin. Uap yang sudah digunakan memutar turbin kemudian menuju ke *condenser* untuk didinginkan yang kemudian selanjutnya di pompa kembali menuju *evaporator*.



Gambar 2.11. Prinsip Kerja Sistem *Organic Rankine Cycle* (Turbonen, 2018).

Gambar 2.12 memperlihatkan prinsip kerja system *organic rankine cycle* dengan sumber energi panas dari *furnace*.



Gambar 2.12. Prinsip Kerja Sistem *Organic Rankine Cycle* pada *Furnace* (Turbonen, 2018).

Tabel 2.6. Potensi Pembangkitan Listrik di Area *Process Plant* dengan Menggunakan Teknologi ORC (Tim Energi PTVI, 2019).

No	Exhaust Heat Generator	Optional Tie in Location	Heat Content KW	ORC Power 20% KW
1	Furnace#1	Inlet Spray Chamber	21,430	4,286
2	Furnace#2	Inlet Spray Chamber	21,430	4,286
3	Furnace#3	Outlet Combustion Chamber	39,700	7,940
4	Furnace#4	Inlet Spray Chamber	21,430	4,286
<b>Total ORC Power from Furnace in KW</b>				<b>20,798</b>
5	Kiln#1	Outlet ESP Minimum-dry	9,520	1,904
6	Kiln#2	Outlet ESP Minimum-dry	9,520	1,904
7	Kiln#3	Outlet ESP Minimum-dry	9,520	1,904
8	Kiln#4	Outlet ESP	11,900	2,380
9	Kiln#5	Outlet ID FAN	11,900	2,380
<b>Total ORC Power from Kiln in KW</b>				<b>10,472</b>
10	Dryer#1	Outlet ID FAN	7,616	1,523
11	Dryer#2	Outlet ID FAN	7,616	1,523
12	Dryer#3	Outlet ID FAN	9,520	1,904
<b>Total ORC Power from Dryer in KW</b>				<b>4,950</b>
<b>Total Potential Power.el by ORC in MW</b>				<b>36</b>

PT Vale Indonesia memiliki sisa panas dari proses yang terjadi didalam *furnace, kiln, dan dryer*. Sisa panas tersebut dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik melalui system *organic rankine cycle* (ORC). Namun karena sisa panas yang akan digunakan untuk menghasilkan uap, sehingga tentunya akan ada saat dimana pada waktu konstruksi dan perawatan akan mempengaruhi operasional *process plant*. Tabel 2.6 memperlihatkan hasil kalkulasi awal dari tim energi

diketahui jumlah energi yang berpotensi dapat dibangkitkan dari setiap peralatan *furnace*, *kiln*, dan *dryer* tersebut.

Adapun berdasarkan informasi awal dari *supplier* ORC, perkiraan biaya investasi adalah sekitar USD 2.235.000/MW, sehingga untuk kapasitas terpasang 20 MW akan dibutuhkan dana sekitar USD 45 juta. Diasumsikan pula biaya operasional dan perawatannya sekitar USD 2.000.000 setiap tahunnya.

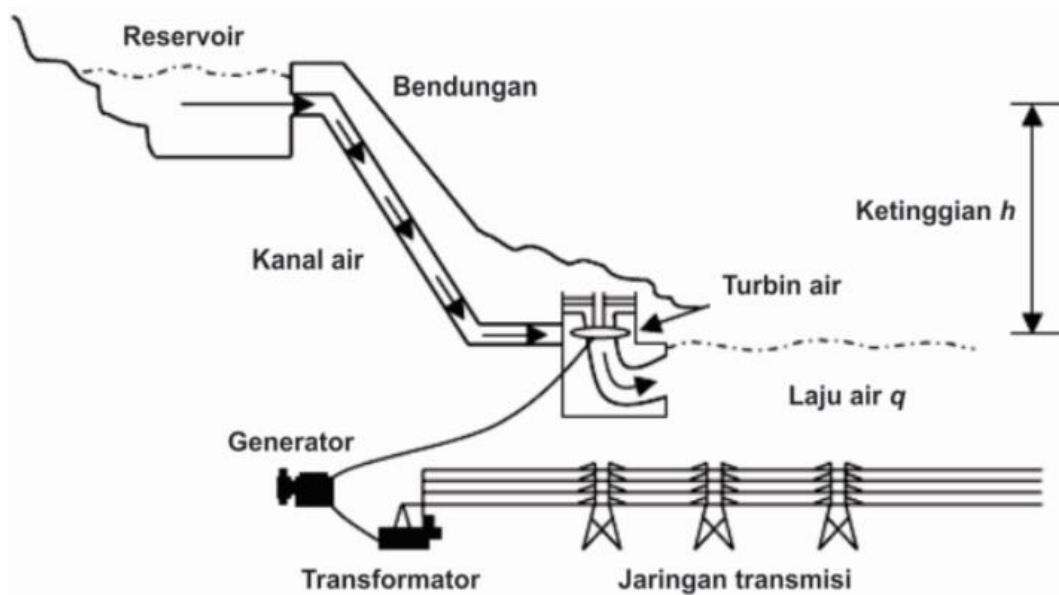
#### **2.2.4. PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air)**

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan berupa air. Salah satu keunggulan dari pembangkit ini adalah responnya yang cepat sehingga sangat sesuai untuk kondisi beban puncak maupun saat menanggung beban alihan akibat terjadinya gangguan di jaringan atau pembangkit yang lain.

Prinsip dasar dari sistem pada PLTA adalah mengubah energi air yang mengalir menjadi energi mekanik dan kemudian menjadi energi listrik. Gambar 2.13 memperlihatkan prinsip dasar PLTA. Air mengalir melalui kanal dan pipa pesat (*penstock*) melewati kincir air atau turbin dimana air akan menabrak sudu-sudu yang menyebabkan kincir air ataupun turbin berputar. Ketika digunakan untuk membangkitkan energi listrik, perputaran turbin menyebabkan perputaran poros rotor pada generator yang kemudian menghasilkan energi listrik.

Jumlah daya listrik yang dapat dibangkitkan pada suatu pusat pembangkit listrik tenaga air tergantung pada ketinggian ( $h$ ) dimana air jatuh dan kecepatan aliran airnya. Ketinggian ( $h$ ) menentukan besarnya energi potensial (EP) pada pusat pembangkit.





Gambar 2.13. Ilustrasi Sistem PLTA

Potensi PLTA di sekitar kawasan Sorowako telah dipetakan dalam studi yang dilakukan oleh HATCH tahun 2010. Studi yang dilakukan telah mencakup potensi kapasitas PLTA-PLTA yang ada termasuk dengan perkiraan biayanya. Hatch telah melakukan *cost estimate* untuk biaya konstruksi dan didapatkan nilai LCOE (*Levelized Cost of Energy*) atau tarif listrik per kwh. Ringkasan dari data tersebut dapat dilihat pada tabel 2.7.

Tabel 2.7. Representasi Biaya per kWh dari Potensi PLTA di Sekitar Sorowako

Proyek	Kapasitas Terpasang (MW)	Biaya Konstruksi (USD)	Daya setahun (GWh)	Tambahan Daya	Total Daya setahun (GWh)	LCOE / Tarif Listrik (Cent/kwh)
S4 - Lalindu	10	147 juta	51	458	509	3.5
S1 - Pontangoa	40	179 juta	138	290	428	4.7
S6 - Cerekang	20	115 juta	129	N/A	129	9.1
S5 - Pongkeru	50	364 juta	346	N/A	346	10.6
S2 - Petea River	23	130 juta	112	N/A	112	11.6
S7 - Patingko	6	81 juta	39	N/A	39	20.2
S3 - Mahalona	3	47 juta	20	N/A	20	22.8

- Site S1 – Pontangoa

Pontangoa memiliki kapasitas 40 MW dan aliran air 33 m<sup>3</sup>/detik. PLTA ini akan membutuhkan bendungan setinggi 25 m, terowongan 4,8 km dan *penstock* sepanjang 500 m. Proyek ini akan menciptakan manfaat energi di pembangkit listrik tenaga air yang terletak di hilir karena aliran daya yang dilepaskan ke Danau Matano akan meningkatkan aliran air ke PLTA Larona yang ada dihilirnya.

- Site S2 – *Petea River*

Sungai Petea memiliki kapasitas pembangkit 23 MW, aliran air 44 m<sup>3</sup>/detik, bendungan setinggi 35-40 m, kanal sepanjang 2 km, *penstock* pendek, dan dua unit pembangkit tenaga listrik.

- Site S3 – *Mahalona Outlet*

*Mahalona Outlet* memiliki kapasitas pembangkit 3 MW, aliran air 55 m<sup>3</sup>/detik, bendungan setinggi 15 m, kanal sepanjang 1,5 km, dan *penstock* sepanjang 200 m. Pembangkit listrik memiliki satu atau dua turbin Kaplan berdiameter besar.

- Site S4 – Lalindu

Proyek Lalindu memiliki kapasitas pembangkit 10 MW dengan aliran air 20 m<sup>3</sup>/detik, bendungan setinggi 35 m, kanal 18 km, terowongan 1 km, dan *penstock* 2,5 km. Proyek ini akan menciptakan manfaat energi untuk pembangkit listrik tenaga air yang terletak di hilir karena aliran daya akan mengalir di Danau Towuti sehingga meningkatkan aliran air ke PLTA Larona yang berada di hilir PLTA ini.

- Site S5 – Pongkeru

Pongkeru memiliki kapasitas pabrik 50 MW, aliran air 67 m<sup>3</sup>/detik, bendungan setinggi 75 m, kanal sepanjang 300 m dan *penstock* sepanjang 300 m. Lokasi proyek relatif jauh dari jalan dan jalur transmisi yang ada.

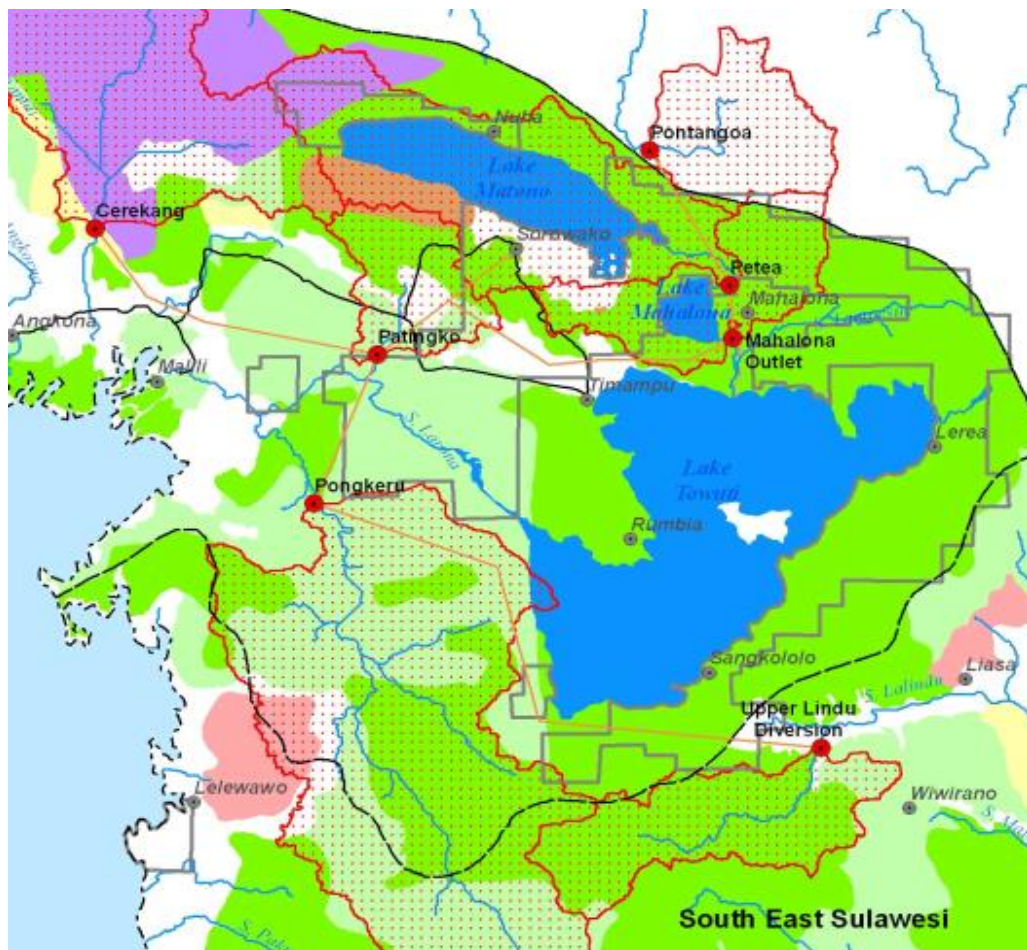
- Site S6 – Cerekang

Cerekang memiliki kapasitas pembangkit 20 MW, aliran air 39 m<sup>3</sup>/detik, tinggi bendungan 30 m dan panjang kanal 1 km dengan *penstock* pendek dan dua unit pembangkit tenaga listrik. Lokasi pembangkit ini terisolasi dari opsi pembangkit hidro lainnya.

- Site S7 – Patingko

Patingko memiliki kapasitas pembangkit 6 MW, aliran air 23 m<sup>3</sup>/detik, bendungan tinggi 25-35 m dan kanal sepanjang 500 m dengan *penstock* pendek ke pembangkit tenaga listrik

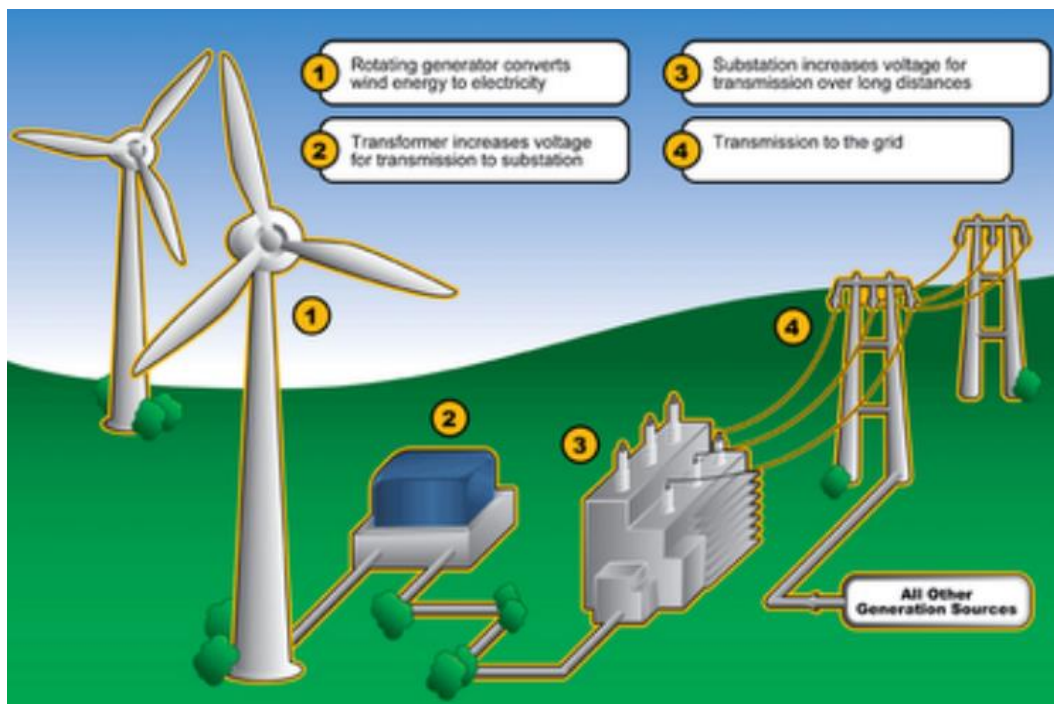
Dari data tersebut dapat terlihat bahwa masih terdapat potensi besar yang dapat dibangkitkan dengan PLTA. Adapun Lokasi dari ketujuh daerah potensi PLTA tersebut dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14. Lokasi Potensi PLTA di Sekitar Area Sorowako (HATCH – 2009)

### 2.2.5. PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin)

Turbin angin bekerja berkebalikan dengan kipas angin, yaitu tidak menggunakan listrik untuk menghasilkan angin, namun melainkan menggunakan angin untuk menghasilkan listrik. Angin dengan kecepatan tertentu akan memutar sudu turbin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin. Generator mengubah energi gerak menjadi energi listrik dengan teori medan elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen. Setelah itu di sekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisiknya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk loop. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (*alternating current*) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal.



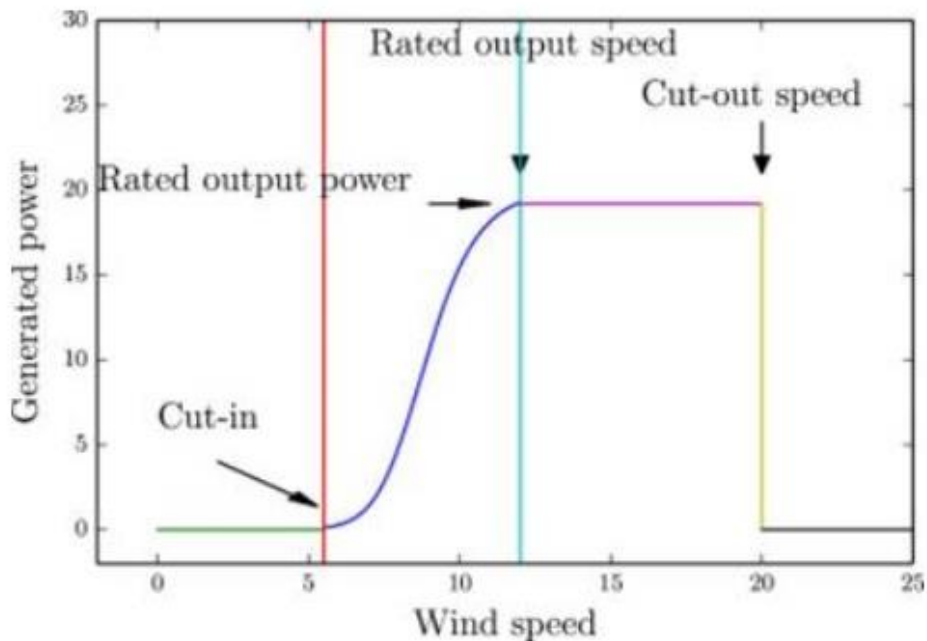
Gambar 2.15. Ilustrasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Angin).

Energi Listrik yang dihasilkan oleh PLTB dapat langsung terhubung dengan sistem *grid* atau dapat pula sebagian energi disimpan ke dalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan. Gambar 2.15 memperlihatkan ilustrasi sistem pembangkitan listrik Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).

Untuk mempelajari potensi PLTB di Sorowako, maka perlu mengetahui data dari PLTB yang lainnya yang telah dipasang di Indonesia. PLTB Sidrap merupakan PLTB skala komersial pertama di Indonesia dengan kapasitas terpasang sebesar 75 MW yang terdiri dari 30 turbin kincir angin dengan kapasitas masing-masing sebesar 2,5 MW. Proyek ini menggunakan dana investasi sebesar sekitar US 150 juta dan telah beroperasi di tahun 2018. Untuk PLTB Sidrap tahap 1 ini dicapai kesepakatan PPA (*Power Purchase Agreement*) dengan harga jual 11 cent/kwh ke PLN. Namun untuk PLTB Sidrap tahap II dicapai kesepakatan PPA dengan harga jual 7 cent/kwh ke PLN.

Menurut Jordaen (2017), untuk menghasilkan listrik dibutuhkan kecepatan angin sekitar 5,5–20 m/detik. Turbin angin yang digunakan di PLTB Sidrap adalah tipe Gamesa G114-2.5MW turbin angin aksis horizontal (HAWT) dengan kapasitas 2,5 MW dan diameter rotor 114 m. Jika melihat pada Gambar 2.16 tersebut, untuk menghasilkan 2,5 MW dibutuhkan kecepatan angin rata-rata 7 m/detik, dan di daerah Sidrap yang merupakan lokasi PLTB komersil pertama di Indonesia memiliki kecepatan angin rata-rata sekitar 7 m/detik.

Dari hasil penelitian dan pengumpulan data angin di daerah Sorowako dan sekitarnya (Ardian, 2018), dimana dilakukan pengumpulan data pada 3 lokasi stasiun cuaca, didapatkan hasil sebagaimana yang terlihat pada Tabel 2.8.



Gambar 2.16. Kurva Daya Angin (Jordaens, 2017)

Tabel 2.8. Data Kecepatan Angin di Daerah Sekitar Sorowako.

Lokasi Stasiun cuaca	Tahun	Kecepatan Angin (m/detik)	Rata-rata (m/detik)
RS . Vale	2016	1.36	1.20
	2017	1.10	
	2018	1.13	
Enggano	2016	1.13	1.13
wadondula	2016	1.35	1.44
	2017	1.38	
	2018	1.60	

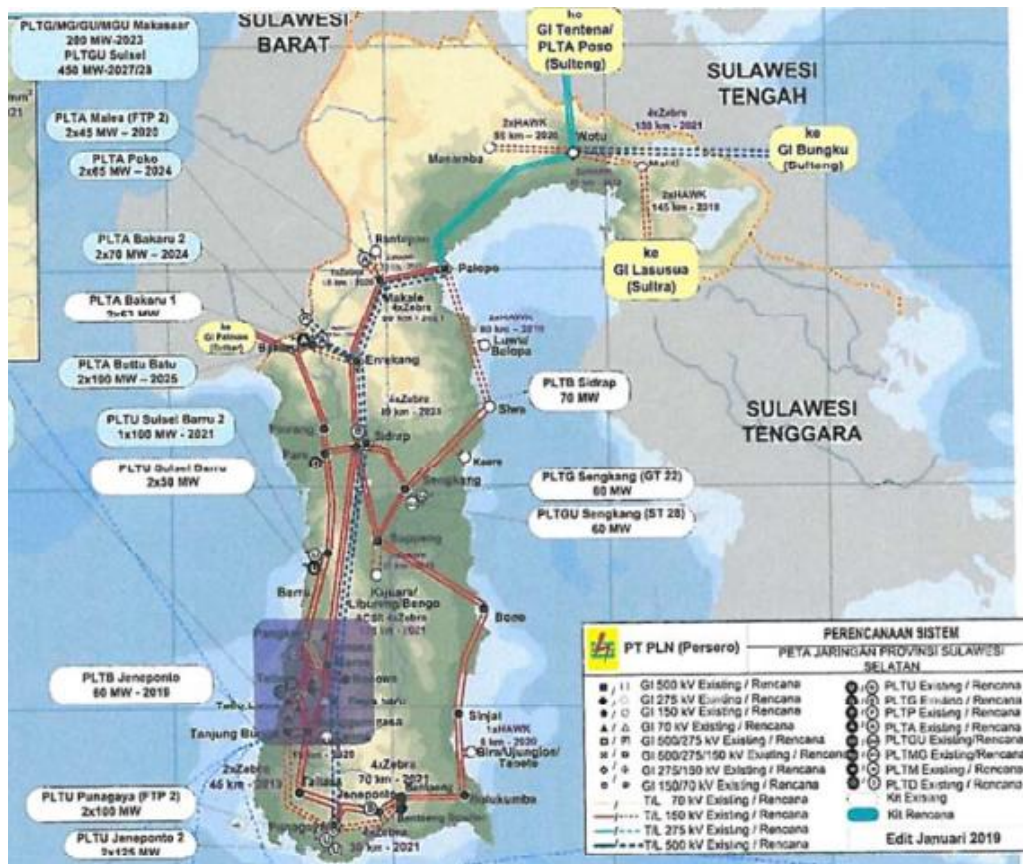
Berdasarkan data kecepatan angin diatas, maka PLTB tidak *feasible* dibangun di daerah Sorowako untuk kebutuhan puluhan MW karena kecepatan anginnya hanya sekitar 1,2-1,44 m/detik. Dengan kecepatan angin yang kecil, maka PLTB yang memungkinkan untuk dibangun didaerah Sorowako adalah PLTB yang menggunakan turbin angin skala kecil dengan kapasitas 1,5-100 KW dan dipasang secara mandiri pada tiang atau tower. Hal ini membutuhkan pemasangan turbin skala kecil dalam jumlah yang sangat banyak, jumlahnya bisa mencapai 200-1200

turbin yang tentunya akan menyulitkan PT Vale Indonesia dalam pemasangan dan operasionalnya.

#### **2.2.6. Interkoneksi dengan PLN**

Dalam RUPTL PLN 2019-2028 terdapat rencana penyelesaian transmisi 150 kV dari daerah Wotu (Sulawesi Selatan) menuju menuju Kendari (Sulawesi Tenggara). Pada akhir tahun 2019, secara resmi interkoneksi jaringan listrik dari Makassar sampai ke Kendari telah selesai dilakukan. Diperkirakan terdapat kelebihan daya listrik 486 MW yang dapat ditransmisikan dari Sulawesi Selatan ke provinsi lainnya termasuk ke provinsi Sulawesi Tenggara. Gambar 2.17 memperlihatkan sistem interkoneksi jaringan SUTT ketenagalistrikan di propinsi Sulawesi Selatan.

Selain itu, PLN juga berencana menggantikan beberapa pembangkit listriknya yang sudah tua dan berbiaya tinggi dengan pembangkit baru dan berbiaya murah. Rencana pembangkitan listrik dan perkiraan beban dapat terlihat pada Tabel 2.9 yang memperlihatkan tetap terdapat kelebihan pembangkit sistem Sulawesi bagian selatan, sehingga diharapkan dapat memenuhi kebutuhan listrik pada pertumbuhan beban termasuk tambahan beban yang belum diprediksi oleh PLN sebelumnya.



Gambar 2.17. Peta Sistem Ketenagalistrikan di Provinsi Sulawesi Selatan (RUPTL 2019 -2028)

Dari data RUPTL tersebut diketahui adanya kelebihan kapasitas pembangkitan dari Sulawesi bagian selatan, dimana terdapat di tahun 2019 terdapat 486 MW total kelebihan daya dan diperkirakan pada tahun 2023 akan mencapai 874 MW jika tidak terdapat penambahan daya konsumen yang signifikan, sehingga diharapkan ada peluang besar untuk menjadikan PLN sebagai salah satu sumber energi untuk Sorowako RKEF.



Tabel 2.9. Rencana pembangkitan listrik dan perkiraan beban PLN Sulawesi Bagian Selatan

DESCRIPTION	UNIT/ Type	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>1. NEEDS</b>							
a. Sales	GWh	8070	9013	10112	11060	12342	13468
b. Sales Growth	%	45	12	12	9	12	9
c. Production	GWH	9202	10289	11538	12647	14319	15567
d. Load Factor	%	68	67	65	65	64	64
e. Peak Load	MW	1546	1757	2027	2234	2550	2778
<b>2. EXISTING SUPPLY</b>							
<b>a. Total Installed Capacity</b>	<b>MW</b>	<b>1833</b>	<b>1833</b>	<b>1833</b>	<b>1833</b>	<b>1581</b>	<b>1328</b>
<b>b. Total Nett Power Capability (DMN)</b>	<b>MW</b>	<b>1773</b>	<b>1773</b>	<b>1773</b>	<b>1833</b>	<b>1581</b>	<b>1328</b>
1. PLN	MW	774	774	774	774	774	573
2. IPP	MW	999	999	999	1059	807	755
3. Retired and Mothballed	MW	-	-	-	-	252	183
<b>3. DMN ADDITIONAL SUPPLY</b>							
<b>a. On Going and Committed</b>	<b>MW</b>	<b>210</b>	<b>189</b>	<b>215</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>-</b>
1. PLN	MW	50	8	-	-	2	-
2. IPP	MW	160	181	215	6	-	-
<b>b. Additional Plan</b>	<b>MW</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>356</b>	<b>160</b>	<b>706</b>	<b>739</b>
1. PLN	MW	60	60	310	100	626	686
2. IPP	MW	-	-	46	60	80	53
<b>4. RECAPITULATION</b>							
a. Total DMN Existing Supply	MW	1773	1773	1773	1833	1581	1328
b. Total DMN Additional Supply	MW	259	243	540	156	646	670
c. Total DMN System	MW	2032	2274	2814	3031	3424	3842
d. Total Reserve Power (Note-1)	MW	<b>486</b>	517	787	797	874	1064

Tabel 2.10. Tarif Tenaga Listrik PLN Januari – Maret 2020

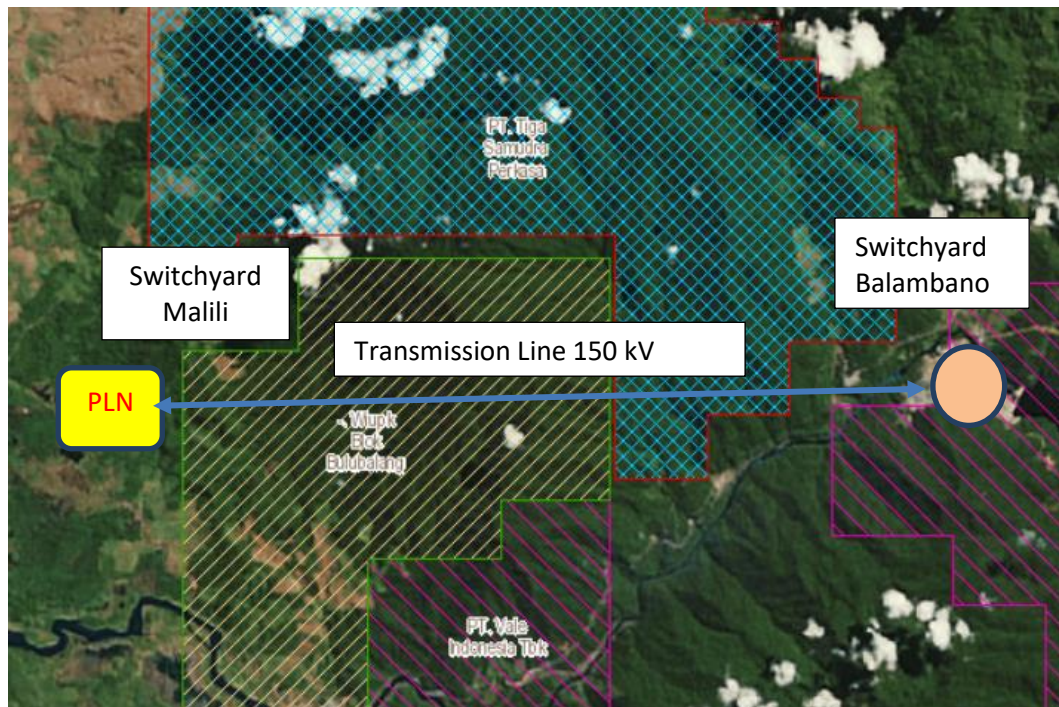


**PENETAPAN  
PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIFF ADJUSTMENT)  
BULAN JANUARI - MARET 2020**

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	R-1/TR	900 VA-RTM	*)	1.352,00	1.352,00
2.	R-1/TR	1.300 VA	*)	1.467,28	1.467,28
3.	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.467,28	1.467,28
4.	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.467,28	1.467,28
5.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*)	1.467,28	1.467,28
6.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
7.	B-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
8.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
9.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan Blok LWBP = 996,74 kVArh = 996,74 ****)	-
10.	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
11.	P-2/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
12.	P-3/TR		*)	1.467,28	1.467,28
13.	L/TR, TM, TT		-	1.644,52	-

Berdasarkan Permen ESDM nomor 28 tahun 2016 dan *adjustment tariff*, diketahui biaya tarif listrik industri I4-TT pada Tabel 2.10 adalah sebesar Rp. 996 per kwh. PT Vale Indonesia perlu membayar biaya tambahan sebesar Rp. 130 per kwh jika menginginkan pelayanan *Premium Platinum* untuk mendapatkan kehandalan sistem yang lebih baik, sehingga total biaya tarif industri yang perlu di bayar oleh PT Vale Indonesia jika membeli dari PLN adalah sebesar Rp. 1.126 per kwh atau sebesar \$8 cent/kwh ditambah dengan biaya awal untuk biaya koneksi ke jaringan PLN 150 kV.

Gambar 2.18 memperlihatkan perkiraan jalur transmisi 150 kV yang perlu dibangun untuk menghubungkan gardu induk PLN Malili dan gardu induk PT Vale Indonesia di PLTA Balambano.



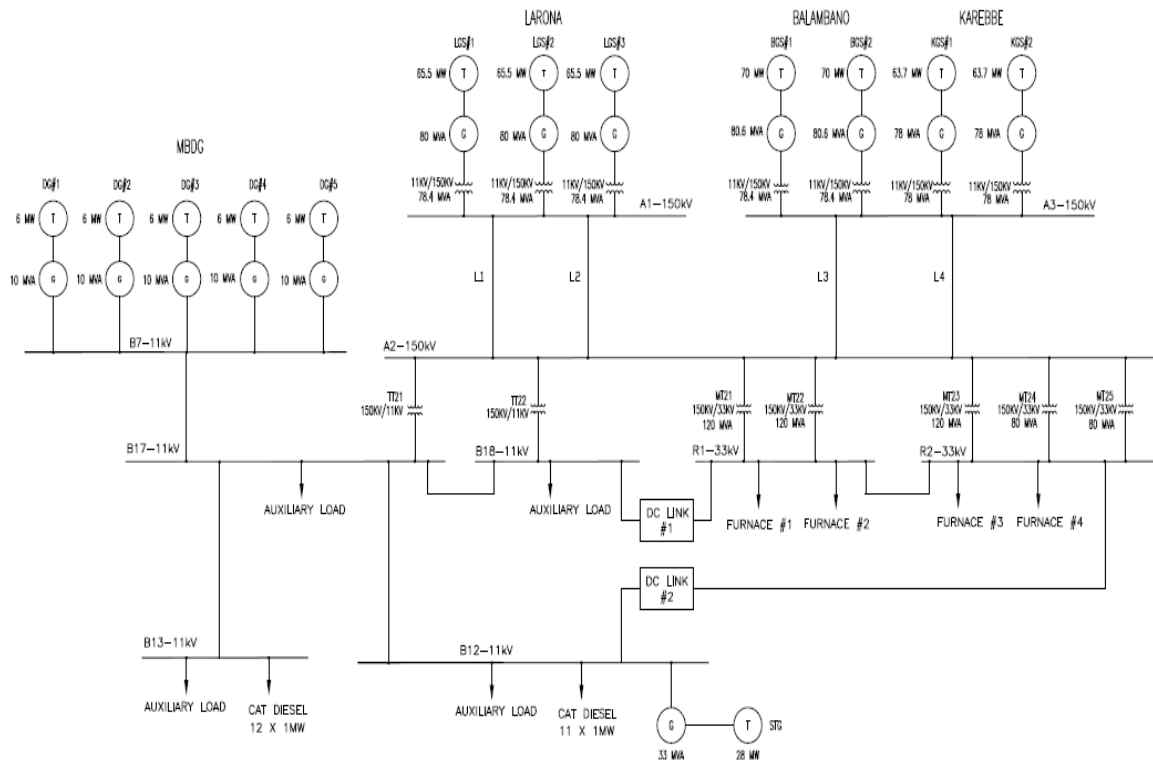
Gambar 2.18. Wilayah IUP Perusahaan Lain Yang Akan Dilewati Transmission Line 150 kV Malili - Balambano.

Disisi lain, ternyata terdapat kendala pembangunan jaringan transmisi 150 kV tersebut karena akan melewati daerah Ijin Usaha Pertambangan (IUP) perusahaan lain sebagaimana terlihat pada Gambar 2.18, sehingga memerlukan ijin dari perusahaan tersebut untuk pembangun jaringan transmisi 150 kV yang belum tentu disetujui oleh perusahaan tersebut atau persetujuannya membutuhkan waktu yang lama. Selain itu, alternatif interkoneksi PLN ini memiliki kompleksitas yang tinggi disebabkan oleh kompleksnya sistem pembangkitan PLN yang terdiri atas banyaknya jenis pembangkit listrik sehingga mempersulit dalam penilaian pada kriteria efek gas rumah kaca, dan ketersediaan sumber daya.

### 2.3. Pembangkitan Listrik Yang Telah Ada di PT Vale Indonesia

PT Vale Indonesia memiliki 3 PLTA. PLTA Larona memiliki 3 unit generator dengan kapasitas maksimal masing-masing dapat mencapai 62 MW, PLTA Balambano memiliki 2 unit generator dengan kapasitas maksimal masing-masing 70 MW , dan PLTA Karebbe memiliki 2 unit generator dengan kapasitas

maksimal masing-masing 63.7 MW. Kapasitas maksimal dari masing-masing pembangkit tersebut hanya dapat dicapai ketika scenario *water unbalance* dijalankan.



Gambar 2.19. Diagram Satu Garis Sistem Kelistrikan PTVI

Gambar 2.19 memperlihatkan diagram satu garis sistem kelistrikan di PT Vale Indonesia. Adapun Gambar 2.20 memperlihatkan lokasi 3 PLTA PT Vale Indonesia, sedangkan Gambar 2.21, 2.22 dan 2.23 memperlihatkan foto udara PLTA Larona, PLTA Balambano dan PLTA Karebbe. Selain PLTA, PT Vale Indonesia juga memiliki pembangkit menggunakan bahan bakar minyak yaitu di PLTD MBDG 5x6MW, PLTD Caterpillar 23x1MW sebagaimana telah diperlihatkan pada Tabel 1.3.



Gambar 2.20. Lokasi PLTA PT Vale Indonesia (BPPT, 2017)



Gambar 2.21. PLTA Larona



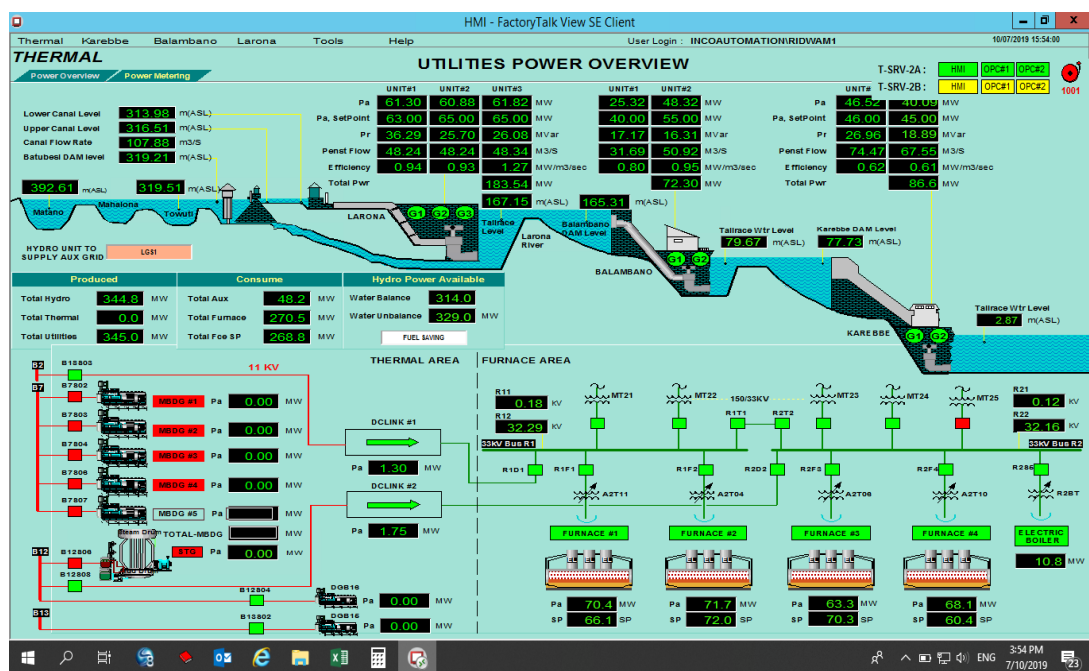
Gambar 2.22. PLTA Balambano



Gambar 2.23. PLTA Karebbe

Umumnya PT Vale Indonesia menjalankan PLTA nya dengan skenario *water balance*. Skenario *water balance* adalah suatu skenario penggunaan air

dimana air yang masuk ke kanal PLTA Larona selanjutnya digunakan untuk membangkitkan listrik di PLTA Larona. Air yang telah digunakan tersebut kemudian memasuki dam PLTA Balambano bersama dengan tambahan air dari sungai kecil lainnya yang menyuplai sungai balambano. Kumpulan air di dam Balambano tersebut selanjutnya digunakan untuk membangkitkan listrik di PLTA Balambano. Setelah air digunakan di PLTA Balambano, kemudian air tersebut menuju ke dam PLTA Karebbe dengan tambahan air dari sungai kecil lainnya yang menyuplai sungai Karebbe. Kumpulan air di dam Karebbe tersebut kemudian digunakan untuk membangkitkan listrik di PLTA Karebbe. Gambar 2.24 memperlihatkan susunan bertingkat ketiga PLTA tersebut, sistem pembangkitan listrik dan beban utama sistem kelistrikan PT Vale Indonesia.



Gambar 2.24. Sistem Pembangkitan Listrik dan Beban Listrik PT Vale Indonesia

Selama skema *water balance* tersebut berjalan, tidak dibolehkan terjadi *water spill* (air buangan) di PLTA Larona (dam Batu Besi dan Kanal), PLTA Balambano (dam Balambano) dan PLTA Karebbe (dam Karebbe). Jika terdapat *water spill* (air buangan) maka skenarionya berubah nama menjadi *water unbalance*. Untuk penjelasan lebih detailnya bisa dilihat pada Tabel 2.11, dengan

catatan nilai-nilai pada tabel tersebut masih menggunakan angka koefisien pembangkitan 1.12 pada PLTA Larona dan nilai ini akan diverifikasi pada bab IV.

Tabel 2.11. *Water Balance and Water Unbalance*

PLTA	Water Balance			
	Koefisien Pembangkitan	Debit Tambahan (m3/detik)	Debit Larona Canal 148 m3/detik	
			Debit (m3/s)	Daya (MW)
PLTA Larona	1.12	0	148	165.76
PLTA Balambano	0.76	5	153	116.28
PLTA Karebbe	0.67	3	156	104.52
<b>Total Daya</b>				<b>386.56</b>

### 2.3.1. Koefisien Pembangkitan PLTA Larona, PLTA Balambano dan PLTA Karebbe.

Setiap pembangkit listrik tenaga air memiliki perbandingan antara jumlah debit air yang digunakan dengan jumlah energi listrik yang dihasilkan, perbandingan tersebut dinamakan dengan koefisien pembangkitan.

***Koefisien Pembangkitan = Daya yang di bangkitkan / debit air yang digunakan***

Sebagai contoh, perhitungan koefisien pembangkitan pada Tabel 2.3 di atas didasarkan pada data dari departemen utilities diawal tahun 2019 yang menjadikan 148 cumecs sebagai debit kontinyu saat menghasilkan sekitar 165 MW, dimana terlihat bahwa:

- Koefisien Pembangkitan PLTA Larona = 165.76 MW / 148 cumecs  
= 1.12
- Koefisien Pembangkitan PLTA Balambano = 116.28 MW / 153 cumecs  
= 0,76
- Koefisien Pembangkitan PLTA Balambano = 104.52 MW / 145 cumecs  
= 0,67



### 2.3.2. Canal Lining Pada *Larona Canal*

Aliran desain maksimum kanal adalah 148 m<sup>3</sup> /detik. Adapun umur desain sistem PLTA Larona adalah 100 tahun, namun umur rencana struktur *Larona Canal* hanya 25 sampai 30 tahun, padahal saat ini sudah berusia 40 tahun.

Erosi mekanis dan kimia beton telah mengakibatkan kerusakan pada beton dan telah menghasilkan permukaan kasar yang berdampak buruk pada efisiensi hidrolis kanal. Penguatan di kanal yang sebelumnya sudah dilakukan ternyata tidak menyelesaikan masalah dan kerusakan ini telah mengakibatkan air bocor dari kanal dan mencapai mendekati level kritis.

PT. Vale mempertimbangkan untuk meningkatkan usia *Larona Canal* dengan meningkatkan masa pemakaian menjadi 100 tahun, serta meningkatkan karakteristik aliran menjadi maksimal 160 m<sup>3</sup>/detik. Telah diusulkan bahwa umur desain dapat ditingkatkan dengan memasang lapisan GFRD (*Geomembrane Face Rockfill Dam*) di dalam kanal. Ini tidak hanya akan meningkatkan kekuatan dan ketahanan gempa kanal, tapi juga meningkatkan karakteristik aliran.



Gambar 2.25. Jalur *Larona Canal*



Gambar 2.26. Dam Batu Besi, *Larona Canal* dan *Larona Penstock*

Gambar 2.25 dan Gambar 2.26 memperlihatkan jalur kanal Larona yang perlu mendapatkan perbaikan. Adapun Gambar 2.27 memperlihatkan kondisi *Larona Canal* sebelum dilakukan proyek *Canal Lining*, sedangkan Gambar 2.28 memperlihatkan kondisi *Larona Canal* jika dilakukan perbaikan dengan menggunakan sikadur, namun biasanya tidak bertahan lama dan tergerus kembali.



Gambar 2.27. Kerusakan Pada *Larona Canal*



Gambar 2.28. Kondisi *Larona Canal* Setelah Perbaikan menggunakan Sikadur.

Adapun pada gambar 2.29 memperlihatkan kondisi *Larona Canal* setelah dilakukan proyek *Canal Lining* dengan menggunakan GFRD.



Gambar 2.29. Kondisi *Larona Canal* SETELAH dilakukan *Canal Lining* Menggunakan GFRD (*Geomembrane Face Rockfill Dam*).

Setelah dilakukan perbaikan pada *Larona Canal*, terlihat bahwa kondisi permukaan lebih baik dan diharapkan dapat memenuhi harapan dari tujuan dilaksankannya proyek ini. Untuk penjelasan mengenai pengetesan laju air setelah perbaikan *Larona Canal*, akan dijelaskan pada bab IV.

## **2.4. Pengambilan Keputusan**

### **2.4.1. Teori Keputusan dan Lingkup Keputusan.**

Dalam proses pengambilan keputusan sering kali pengambil keputusan dihadapkan pada berbagai kondisi, diantaranya:

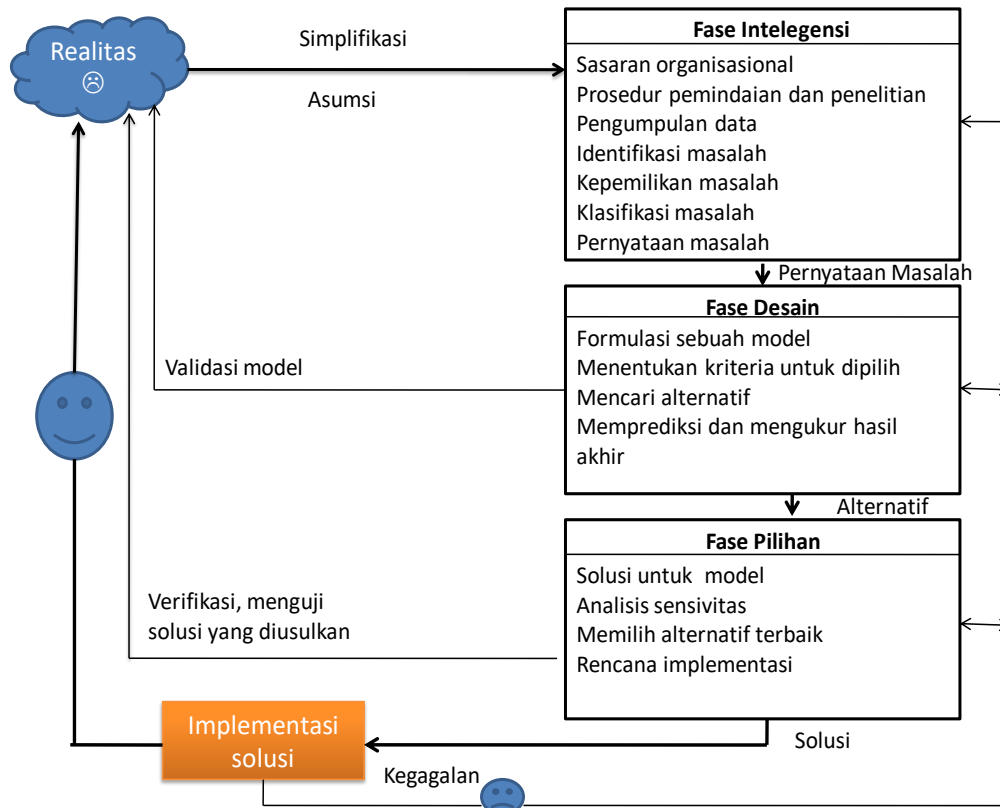
1. Kondisi unik, yaitu suatu kondisi dalam proses pengambilan keputusan dimana masalah yang ada mungkin tidak akan terulang kembali dimasa yang akan datang.
2. Kondisi yang serba tidak pasti, yaitu suatu kondisi dalam proses pengambilan keputusan dimana faktor-faktor yang diharapkan mempengaruhi hasil keputusan memiliki kadar informasi yang rendah.
3. Kondisi jangka panjang, yaitu suatu dalam proses pengambilan keputusan yang memiliki implikasi jangkauan yang cukup jauh dimasa yang akan datang dan melibatkan sumber-sumber usaha yang penting.
4. Kondisi kompleks, yang merupakan suatu kondisi dalam proses pengambilan keputusan dimana preferensi pengambilan keputusan atas risiko dan waktu yang memiliki peranan yang besar, komponen dan keterkaitannya sering bersifat dinamik dan dapat berubah sewaktu-waktu.

Menurut Marimin (2004), pada prinsipnya terdapat dua basis dalam teori pengambilan keputusan, yaitu pengambilan keputusan berdasarkan intuisi dan pengambilan keputusan berdasarkan rasional yaitu berdasarkan hasil analisis keputusan. Dalam pengambilan keputusan berdasarkan intuisi, unsur intuisi mengambil peran yang besar, dan kenyataan bahwa keputusan tersebut telah dipilih atau diambil tidak dapat di periksa secara logis.

Adapun pada pengambilan keputusan rasional berdasarkan hasil analisa keputusan, secara umum komponen dan langkah utama tidak jauh berbeda dengan pengambilan keputusan berdasarkan intuisi, kecuali pada tahap analisa keputusan yang secara normatif tergambar jelas melalui pertimbangan-pertimbangan logis dan sistematis yang mendasarinya, sehingga alasan yang dijadikan dasar dalam pemilihan sebuah alternatif dapat ditelusuri dengan jelas dan mudah di mengerti.

Bagi pengambil keputusan yang rasional, mereka menerapkan suatu prosedur sistimatis dan saintifik dalam mengambil keputusan (Turban et. 2005). Prosedur itu mengikuti tahapan sebagai berikut : (i) Melakukan identifikasi situasi keputusan yang terkait dengan masalah yang akan diselesaikan, (ii) Membuat klarifikasi tujuan yang diinginkan oleh pengambil keputusan, (iii) Membangkitkan berbagai alternatif untuk mencapai tujuan yang diinginkan, (iv) Mendapatkan solusi yang tepat dari model dan melakukan evaluasi berdasarkan kriteria penilaian yang ditetapkan (v) Memilih dan merekomendasikan implementasi alternatif solusi keputusan kedalam *problem* nyata (Udisubakti, 2010).

Penggambaran proses pengambilan keputusan rasional menurut model Simon (Turban et.al 2005) dalam alur pikir seperti ditampilkan dalam Gambar 2.30 yang terdiri dari 3 tahapan utama : (i) Fase *Intelligence* : pengambil keputusan melakukan proses identifikasi atas semua lingkup masalah yang harus diselesaikan. Tahap ini pengambilan keputusan harus memahami realitas dan mendefinisikan masalah dengan menguji data yang yang diperoleh, (ii) Fase *Design*: melakukan pemodelan *problem* yang didefinisikan dengan terlebih dahulu menguraikan elemen keputusan, alternatif variabel keputusan, kriteria evaluasi yang dipilih. Perlu dipaparkan asumsi yang menyederhanakan realitas dan diformulasikan semua hubungan elemennya. Model kemudian divalidasi berdasar kriteria yang ditetapkan untuk melakukan evaluasi terhadap alternatif keputusan yang akan dipilihnya. Penentuan solusi merupakan proses mendisain dan mengembangkan alternatif keputusan, menentukan sejumlah tindakan yang akan diambil, sekaligus penetapan konsekuensi atas pilihan dan tindakan yang diambil sesuai dengan *problem* yang sudah didefinisikan. Pada tahap ini juga menetapkan nilai dan bobot yang diberikan kepada setiap alternatif, (iii) Fase Pemilihan: merupakan tahapan pemilihan terhadap solusi yang dihasilkan dari model. Bilamana solusi bisa diterima pada fase terakhir ini lalu implementasi solusi keputusan pada dunia nyata (Udisubakti, 2010)



Gambar 2.30. Tahapan Proses Pengambilan Keputusan Rasional (Model Simon)

## 2.4.2. Komponen Keputusan

Menurut Marimin (2010), pada basis pengambilan keputusan rasional berdasarkan analisa keputusan, terdapat beberapa komponen penting yang dibutuhkan dan harus ada dalam tahap pengambilan keputusan, yaitu:

### 1. Alternatif Keputusan

Alternatif keputusan merupakan pilihan keputusan yang dimiliki dan berjumlah lebih dari satu demi mencapai tujuan yang telah di rencanakan. Sebagai contoh adalah jika perusahaan ingin menentukan jenis sumber energi listrik yang akan digunakan, maka perusahaan akan melakukan kajian mengenai sumber-sumber energi yang ada dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan masing-masing sumber energi listrik tersebut dari beberapa aspek.

## 2. Kriteria Keputusan.

Kriteria keputusan merupakan pertimbangan dalam proses penetapan alternatif keputusan. Sebagai contoh, dalam menetapkan alternatif keputusan pemilihan sumber energi listrik, perusahaan akan mempertimbangkan mengenai kriteria tarif listrik, sumber pendanaan, gas rumah kaca, dan lainnya.

## 3. Bobot Kriteria

Bobot kriteria adalah skor yang diberikan atau didapatkan pada setiap kriteria keputusan sehingga dapat menggambarkan tinggi atau rendahnya kepentingan terhadap kriteria tersebut dalam langkah pengambilan keputusan. Sebagai contoh dengan melanjutkan contoh sebelumnya adalah apabila faktor tarif listrik diberikan bobot penilaian lebih besar dibandingkan dengan kriteria yang lain dengan nilai 0,4, kemudian disusul oleh kriteria sumber pendanaan dengan nilai 0,35, dan kemudian disusul oleh kriteria gas rumah kaca dengan nilai 0,25, sehingga didapatkan nilai desimal total bobot dari seluruh kriteria tersebut adalah harus bernilai 1.

## 4. Model Penilaian

Model penilaian merupakan model yang digunakan dalam melakukan evaluasi dan memilih alternatif keputusan yang terbaik berdasarkan kriteria keputusan yang telah ditetapkan. Model penilaian dapat berupa skala original, interval, rasio maupun perbandingan berpasangan.

## 5. Struktur Keputusan

Struktur keputusan adalah sebuah gambaran atas hubungan antar elemen-elemen keputusan. Secara umum struktur keputusan dapat berupa matriks keputusan maupun hirarki keputusan.

### a. Matriks Keputusan

Matriks keputusan adalah struktur yang digambarkan dalam bentuk tabel perbandingan antar berbagai alternatif keputusan berdasarkan kriteria keputusan yang telah ditetapkan. Matriks keputusan baik digunakan untuk melakukan pemilihan beberapa alternatif dengan cara melihat alternatif mana yang memiliki dominasi terhadap alternatif yang lain.

b. Hierarki Keputusan

Hierarki merupakan metode paling mudah untuk memahami masalah yang kompleks. Dalam hierarki, masalah tersebut diuraikan ke dalam elemen-elemen yang bersangkutan, menyusun elemen tersebut secara hierarki, melakukan penilaian terhadap elemen tersebut, dan menentukan alternatif keputusan yang akan diambil.

Proses penyusunan elemen-elemen secara hierarki meliputi pengelompokan elemen-elemen dalam komponen yang sifatnya *homogen* dan menyusun elemen-elemen tersebut dalam level hierarki yang tepat.

Salah satu metode pengambilan keputusan yang menerapkan konsep hierarki adalah metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) yang merupakan pengembangan dari AHP dan akan digunakan dalam penelitian ini.

## 2.5. ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP)

Metode AHP merupakan salah satu metode pengambilan keputusan dimana faktor-faktor logika, intuisi, pengalaman, pengetahuan, dan emosi dicoba untuk dioptimalkan dalam suatu proses yang sistematis. Metode AHP ini mulai dikembangkan oleh Dr. Thomas L. Saaty, seorang ahli matematika University of Pittsburgh di Amerika Serikat, pada awal tahun 1970an yang tujuan utamanya adalah untuk mengorganisasi informasi dan pendapat ahli dalam memilih alternatif yang paling diprioritaskan.

AHP ini memecahkan masalah yang kompleks dimana aspek atau kriteria yang diambil cukup banyak, kompleksitas ini disebabkan oleh banyak hal diantaranya struktur masalah yang belum jelas, ketidakpastian persepsi pengambilan keputusan serta ketidakpastian tersedianya data statistik yang akurat atau bahkan tidak ada sama sekali. Adakalanya timbul masalah keputusan yang dirasakan dan diamati perlu diambil secepatnya, tetapi variasinya rumit sehingga datanya tidak dapat dicatat secara numerik (kuantitatif), namun secara kualitatif yaitu berdasarkan persepsi pengalaman dan intuisi.

Marimin (2010) menjelaskan bahwa prinsip kerja dari AHP adalah merupakan penyederhanaan suatu persoalan kompleks yang tidak terstruktur,



strategis, dan dinamik menjadi sebuah bagian-bagian yang tertata dalam suatu bentuk struktur keputusan hierarki. Tingkat kepentingan setiap variabel diberi nilai numerik, secara subjektif tentang arti penting variabel tersebut yang secara relative dibandingkan dengan variabel yang lain. Dari berbagai pertimbangan kemudian dilakukan sintesa untuk menetapkan variabel yang memiliki prioritas tertinggi dan berperan untuk mempengaruhi hasil pada sistem tersebut, sehingga dapat diartikan bahwa AHP merupakan model analisa subyektif dalam proses pengambilan keputusan berdasarkan beberapa atribut dalam sistem struktur keputusan yang hierarki.

Permasalahan multikriteria dalam AHP disederhanakan dalam bentuk hierarki yang terdiri dari 3 komponen utama yaitu tujuan atau goal dari pengambilan keputusan, kriteria penilaian dan alternatif pilihan. Adapun gambar dari hierarki tersebut dapat dilihat pada gambar 2.30.

### **2.5.1. Keuntungan Penggunaan Analytical Hierarchy Process (AHP).**

Menurut Herawan (2012), AHP memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode pengambil keputusan lainnya. Kelebihan tersebut antara lain:

1. Dapat menyelesaikan permasalahan yang kompleks dan strukturnya tidak beraturan, bahkan permasalahan yang tidak terstruktur sama sekali.
2. Kurang lengkapnya data tertulis atau data kuantitatif mengenai permasalahan tidak mempengaruhi kelancaran proses pengambilan keputusan karena penilaian merupakan sintesis pemikiran berbagai sudut pandang responden.
3. Sesuai dengan kemampuan dasar manusia dalam menilai suatu hal sehingga memudahkan penilaian dan pengukuran elemen.
4. Metode dilengkapi dengan pengujian konsistensi sehingga dapat memberikan jaminan keputusan yang diambil.

Selain itu, AHP mempunyai kemampuan untuk memecahkan masalah yang multi obyektif dan multi kriteria yang berdasarkan pada perbandingan preferensi dari setiap elemen dalam hierarki. Sehingga dapat dikatakan bahwa AHP merupakan suatu metode pengambilan keputusan yang komprehensif.

Namun selain kelebihan di atas, AHP juga mempunyai beberapa kekurangan yaitu:

1. AHP tidak dapat diterapkan pada suatu perbedaan sudut pandang yang sangat tajam/ekstrim di kalangan responden.
2. Responden yang dilibatkan harus memiliki pengetahuan dan pengalaman yang cukup tentang permasalahan serta metode AHP.
3. Ketidakmampuan dalam mengatasi faktor ketidakpresisian yang dialami oleh pengambil keputusan ketika harus memberikan nilai yang pasti (pengevaluasian) konsep produk berdasarkan jumlah kriteria melalui perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*).
4. Perhitungan manual AHP akan memunculkan kesulitan apabila kriteria yang digunakan lebih dari sepuluh kriteria.

#### **2.5.2. Prinsip Dasar Analytical Hierarchy Process (AHP)**

Menurut Warmansyah (2010), dalam menggunakan metode AHP terdapat beberapa prinsip dasar yang perlu dipahami, diantaranya:

##### **1. *Decomposition* (Dekomposisi)**

Dekomposisi adalah memecahkan atau membagi masalah (*problem*) yang utuh menjadi unsur-unsurnya ke dalam bentuk hierarki proses pengambilan keputusan, dimana setiap unsur atau elemen saling berhubungan. Untuk mendapatkan hasil yang akurat, pemecahan dilakukan terhadap unsur-unsur sampai tidak mungkin dilakukan pemecahan lebih lanjut, sehingga didapatkan beberapa tingkatan dari persoalan yang hendak dipecahkan.

Suatu hierarki keputusan disebut *complete* jika semua elemen pada suatu tingkat memiliki hubungan terhadap semua elemen yang ada pada tingkat berikutnya,

##### **2. *Comparative Judgement* (Perbandingan Pertimbangan)**

*Comparative Judgement* dilakukan dengan penilaian tentang kepentingan relatif dua elemen pada suatu tingkat tertentu dalam kaitannya dengan tingkatan di atasnya. Penilaian ini merupakan inti dari AHP karena akan berpengaruh terhadap

urutan prioritas dari elemen-elemennya. Hasil dari penilaian ini lebih mudah disajikan dalam bentuk matriks *pairwise comparison* yaitu matriks perbandingan berpasangan memuat tingkat preferensi beberapa alternatif untuk tiap kriteria skala preferensi yang digunakan yaitu skala 1 yang menunjukkan tingkat yang paling rendah (*equal importance*) sampai skala 9 yang menunjukkan tingkatan yang paling tinggi (*extreme importance*), penjelasan mengenai tingkat kepentingan pada matriks perbandingan dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12. Skala Kepentingan (Marimin – 2010)

Kepentingan	Keterangan	Penjelasan
1	Kedua elemen sama pentingnya.	Dua elemen mempunyai pengaruh yang sama besar terhadap tujuan
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting dari pada elemen yang lainnya	Pengalaman dan pertimbangan sedikit menyokong satu elemen atas elemen yang lainnya
5	Elemen yang satu sangat penting dibandingkan dengan elemen yang lainnya	Pengalaman dan pertimbangan sedikit lebih banyak menyokong satu elemen atas elemen yang lainnya
7	Elemen yang satu jelas lebih penting dibandingkan dengan elemen yang lainnya	Satu elemen dengan kuat disokong dan dominanannya terlihat dalam praktek
9	Elemen yang satu mutlak lebih penting dibandingkan dengan elemen yang lainnya	Yang menyokong elemen yang satu atas yang lain memiliki tingkat penegasan tertinggi yang dapat menguatkan
2,4,6,8	Nilai antara dua nilai pertimbangan yang berdekatan (nilai ragu-ragu)	Kompromi diperlukan antara dua pertimbangan

### 3. *Synthesis of Priority* (Prioritas Sintesa)

Dalam prioritas sintesa dikenal konsep *prioritas local*. Prioritas lokal didapat dengan melakukan perhitungan nilai *eigen vector* pada tiap-tiap matriks perbandingan berpasangan pada tingkatan yang sama. *Synthesis of Priority* yang dimaksud disini yaitu mencari nilai *eigen vector* untuk mendapatkan *local priority*, yang selanjutnya digunakan untuk mendapatkan bobot relatif bagi unsur-unsur pengambilan keputusan.

### 4. *Logical Consistency*

*Logical Consistency* merupakan karakteristik penting AHP. Hal ini dicapai dengan mengagresikan seluruh *eigen vector* yang diperoleh dari berbagai tingkatan hierarki dan selanjutnya diperoleh suatu *vector composite* tertimbang yang menghasilkan urutan pengambilan keputusan.

## 2.5.3. Beberapa Langkah Tahapan Proses *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

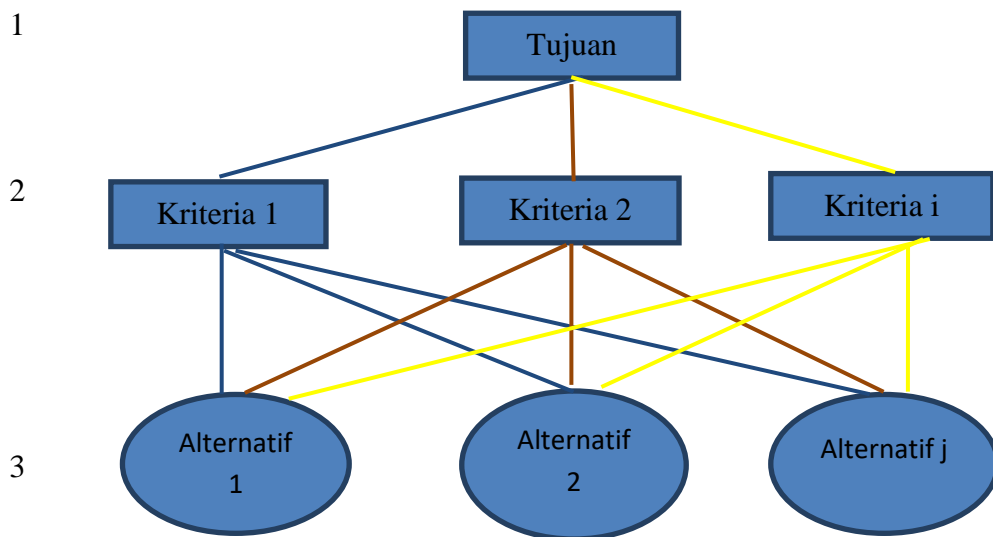
Dalam menggunakan AHP, langkah-langkah dan proses yang harus dilalui adalah sebagai berikut (Saaty, 2008 dan Faisal, Muslim & Suyono, 2014):

#### 1. Mendefinisikan Masalah

Dalam tahap ini ditentukan masalah yang akan dipecahkan, diterangkan secara lebih jelas rinci dan mudah dipahami. Dari masalah ada tersebut, selanjutnya mencoba menentukan solusi alternatif yang mungkin cocok untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.

#### 2. Pembuatan Struktur Hierarki

Pembuatan hierarki diawali dengan mendefinisikan tujuan utama pada tingkat teratas dari struktur hierarki. Selanjutnya dilanjutkan dengan tingkatan hierarki yang ada dibawahnya yaitu kriteria-kriteria yang cocok untuk dipertimbangkan. Setelah itu dibawahnya dibuat alternatif yang akan menjadi pilihan pada solusi yang akan diambil. Gambar 2.31 memperlihatkan contoh penyusunan struktur hirarki.



Gambar 2.31. Skema *Analytic Hierarchy Process*

Keterangan:

- 1). Tingkat 1: Tujuan (*Goal*)
- 2). Tingkat 2: Kriteria (*Criterion*)
- 3). Tingkat 3: Alternatif (*Alternative*)

### 3. Penentuan Prioritas

#### a. Pembuatan Matriks Perbandingan Berpasangan

Dalam menentukan prioritas pada tiap tingkatan struktur hierarki, dimulai dengan melakukan perbandingan berpasangan untuk menggambarkan kontribusi relatif atau pengaruh setiap elemen terhadap tujuan atau kriteria yang ada di atasnya.

Pada tahapan ini elemen-elemen dibandingkan secara berpasangan antara kriteria ataupun perbandingan alternatif berdasarkan kriteria tertentu. Perbandingan dilakukan berdasarkan penilaian dari pengambil keputusan dengan menilai tingkat kepentingan suatu elemen dibandingkan dengan elemen lainnya.

Tabel 2.13. Contoh Matriks Perbandingan Berpasangan Antara Kriteria.

	Tarif	Sumber Pendanaan	Gas Rumah Kaca
Tarif	<b>1</b>	<b>1/2</b>	<b>3</b>
Sumber Pendanaan	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
Gas Rumah Kaca	<b>1/3</b>	<b>1/4</b>	<b>1</b>

Jika terdapat  $n$  elemen maka akan diperoleh matriks *pairwise comparison* (perbandingan berpasangan) pada persamaan 1 berdimensi  $n \times n$ , dan banyaknya penilaian yang diperlukan adalah sebanyak  $n \times (n-1)/2$ .

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

b. Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan

Langkah ini dilakukan dengan cara menjumlahkan nilai yang ada pada tiap-tiap entri pada masing-masing kolom sehingga jumlah nilai kolom (Tabel 2.13) dihasilkan pada Tabel 2.14, lalu selanjutnya membagi nilai yang ada pada tiap-tiap entri dengan jumlah kolom (Tabel 2.14) sehingga didapatkanlah Tabel 2.15 dan Tabel 2.16.

Persamaan normalisasi matriksnya adalah sebagai berikut:

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \dots & w_{nn} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \frac{a_{12}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} & \dots & \frac{a_{1n}}{\sum_{i=1}^n a_{in}} \\ \frac{a_{21}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \frac{a_{22}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} & \dots & \frac{a_{2n}}{\sum_{i=1}^n a_{in}} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \frac{a_{n2}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} & \dots & \frac{a_{nn}}{\sum_{i=1}^n a_{in}} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Dimana W adalah “Matriks Bobot”

Tabel 2.14. Penjumlahan Baris Matriks Perbandingan Berpasangan

	Tarif	Sumber Pendanaan	Gas Rumah Kaca
Tarif	1	1/2	3
Sumber Pendanaan	2	1	4
Gas Rumah Kaca	1/3	1/4	1
<b>Jumlah</b>	<b>3,33</b>	<b>1,75</b>	<b>8</b>

Tabel 2.15. Proses untuk Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan.

	Tarif	Sumber Pendanaan	Gas Rumah Kaca
Tarif	1 : 3,33	0,5 : 1,75	3 : 8
Sumber Pendanaan	2 : 3,33	1 : 1,75	4 : 8
Gas Rumah Kaca	0,33 : 3,33	0,25 : 1,75	1 : 8

Tabel 2.16. Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan

	Tarif	Sumber Pendanaan	Gas Rumah Kaca
Tarif	<b>0,300</b>	<b>0,285</b>	<b>0,375</b>
Sumber Pendanaan	<b>0,600</b>	<b>0,571</b>	<b>0,500</b>
Gas Rumah Kaca	<b>0,099</b>	<b>0,142</b>	<b>0,125</b>

c. Menghitung Nilai *Eigen Vector*

Menghitung nilai *eigen vector* dilakukan dengan cara merata-ratakan pada tiap-tiap baris dalam tabel matriks yang sudah dinormalisasi, sehingga akan didapat nilai prioritas relatif masing-masing elemen.

Tahap pertama adalah mendapatkan matriks rata-rata (AR) sebagaimana terlihat pada tabel 2.17.

Tabel 2.17. Matriks AR.

	Tarif	Sumber Pendanaan	Gas Rumah Kaca	<b>Matriks AR</b>
Tarif	0,300	0,285	0,375	<b>0,320</b>
Sumber Pendanaan	0,600	0,571	0,500	<b>0,557</b>
Gas Rumah Kaca	0,099	0,142	0,125	<b>0,122</b>

Setelah itu lakukan perkalian antara Matrik A dengan Matriks AR untuk mendapatkan matriks B sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 2.18 dan 2.19.

$$B = A * AR$$

$$\begin{aligned}
 B &= \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} a_{11} \cdot ar_{11} & a_{12} \cdot ar_{21} & \dots & a_{1n} \cdot ar_{n1} \\ a_{21} \cdot ar_{11} & a_{22} \cdot ar_{21} & \dots & a_{2n} \cdot ar_{n1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} \cdot ar_{11} & a_{n2} \cdot ar_{21} & \dots & a_{nn} \cdot ar_{n1} \end{bmatrix} \quad (2.3)
 \end{aligned}$$

Tabel 2.18. Proses Perkalian Matriks A dengan Matriks AR

	Tarif	Sumber Pendanaan	Gas Rumah Kaca
Tarif	1 x 0,320	0,5 x 0,557	3 x 0,122
Sumber Pendanaan	2 x 0,320	1 x 0,557	4 x 0,122
Gas Rumah Kaca	0,33 x 0,320	0,25 x 0,557	1 x 0,122



Tabel 2.19. Matriks B Sebagai Hasil Perkalian Matriks A dengan Matriks AR

	Tarif	Sumber Pendanaan	Gas Rumah Kaca
Tarif	<b>0,320</b>	<b>0,278</b>	<b>0,366</b>
Sumber Pendanaan	<b>0,640</b>	<b>0,557</b>	<b>0,488</b>
Gas Rumah Kaca	<b>0,105</b>	<b>0,139</b>	<b>0,122</b>

Kemudian lakukan penjumlahan tiap baris pada matrik B untuk mendapatkan matriks C seperti yang terlihat pada tabel 2.20.

Tabel 2.20. Penjumlahan Untuk Mendapatkan Matriks C

	Tarif	Sumber Pendanaan	Gas Rumah Kaca	<b>Matriks C</b>
Tarif	0,320	0,278	0,366	<b>0,964</b>
Sumber Pendanaan	0,640	0,557	0,488	<b>1,685</b>
Gas Rumah Kaca	0,105	0,139	0,122	<b>0,366</b>

Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *eigen value* ( $\lambda_{maks}$ ) dengan menggunakan persamaan:

$$\lambda_{maks} = \sum_{i=1}^n \frac{c_{i1}}{\frac{ar_{i1}}{n}} \quad (2.4)$$

Tabel 2.21. Nilai *Eigen Value* ( $\lambda_{maks}$ )

	Matriks C	Matriks AR	Matriks $\lambda$
Tarif	0,964	0,320	<b>3,012</b>
Sumber Pendanaan	1,685	0,557	<b>3,025</b>
Gas Rumah Kaca	0,366	0,122	<b>3,000</b>
<b>Nilai <math>\lambda_{maks}</math> (n=3)</b>			<b>3,012</b>

Setelah *Eigen Value* ( $\lambda_{maks}$ ) diketahui, kemudian CI dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} CI &= (3,012 - 3) / (3-1) \\ &= 0,012 / 2 \\ &= \mathbf{0,004} \end{aligned}$$

#### 4. Uji Konsistensi

Nilai konsistensi diperlukan untuk memperoleh hasil yang akurat. Pada metode AHP, pengukuran konsistensi dilakukan dengan menggunakan suatu konsistensi rasio (*Consistency Ratio* = CR), dimana CR didapat dari:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.6)$$

Dimana:

CR = *Consistency Ratio*

CI = *Consistency Index*

RI = *Random Index*

Adapun nilai *random index* dapat dilihat pada Tabel 2.22, dimana matriks perbandingan ini memiliki ordo matriks 3, sehingga dapat dipilih dan diketahui *random index* nya adalah 0,58.

Tabel 2.22. Tabel *Random Index*

<i>Matric Order</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Random Index</i>	0	0	0,58	0,90	1,12	1,32	1,41	1,49	1,51	1,59

Sumber: Saaty & Vargas (2001)

Sehingga Didapatkan:

$$\begin{aligned} CR &= 0,004 / 0,58 \\ &= 0,006 \text{ atau } 0,6 \% \end{aligned}$$

Saaty (1990) menjelaskan bahwa nilai konsistensi rasio yang ideal adalah apabila  $CR \leq 10\%$  dan apabila nilai  $CR = 0$  maka dapat dikatakan “konsisten sempurna“, sehingga jika didapatkan nilai konsistensi rasio setelah perhitungan

lebih besar dari 10% maka perlu dilakukan perbaikan pada pembuatan matriks perbandingan berpasangan.

Apabila matriks perbandingan berpasangan sudah konsisten, maka proses AHP dinyatakan selesai.

Dari contoh diatas, didapatkan hasil *Consistency Ratio* adalah 0,6% atau lebih kecil dari 10%, sehingga dapat dikatakan penilaian responden sudah konsisten dan telah didapatkan hasilnya. Setelah matriks perbandingan berpasangan konsisten, maka bisa dilanjutkan ke proses *Fuzzy AHP*.

## **2.6. FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (FAHP)**

### **2.6.1. Fuzzy**

Logika fuzzy diperkenalkan pertama kali pada tahun 1965 oleh Prof Lutfi A. Zadeh seorang peneliti di Universitas California di Berkley dalam bidang ilmu komputer. Professor Zadeh beranggapan logika benar atau salah tidak dapat mewakili setiap pemikiran manusia, kemudian dikembangkanlah logika *fuzzy* yang dapat merepresentasikan setiap keadaan atau mewakili pemikiran manusia. Perbedaan antara logika tegas dan logika *fuzzy* terletak pada keanggotaan elemen dalam suatu himpunan. Jika dalam logika tegas suatu elemen mempunyai dua pilihan yaitu terdapat dalam himpunan atau bernilai 1 yang berarti benar dan tidak terdapat pada himpunan atau bernilai 0 yang berarti salah, sedangkan dalam logika *fuzzy*, keanggotaan elemen berada di interval  $[0,1]$ .

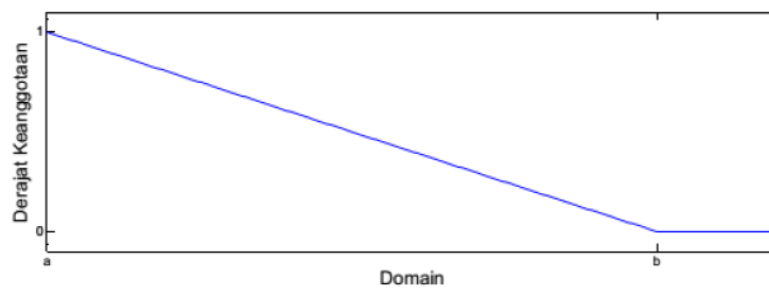
### **2.6.2. Pemodelan Fuzzy**

Pemodelan yang tepat dibutuhkan karena model *fuzzy* sensitif terhadap jenis pendeskripsian himpunan fuzzy. Terdapat berbagai jenis pendeskripsian himpunan *fuzzy*, namun fungsi keanggotaan yang penulis tampilkan ada 3 yaitu representasi linier, segitiga dan trapesium.

## 1. Representasi Kurva Linear

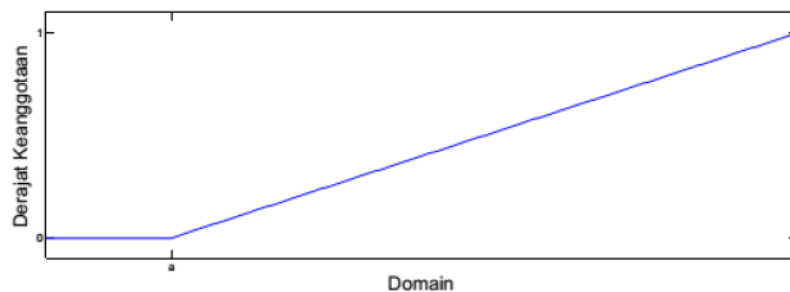
Representasi paling sederhana dalam fungsi keanggotaan yaitu representasi linier yang digambarkan sebagai suatu garis lurus. Terdapat 2 himpunan *fuzzy linear*, yaitu:

- a. Himpunan mengalami penurunan dari derajat keanggotaan satu bergerak ke kanan menuju derajat keanggotaan yang lebih rendah menuju angka nol.



Gambar 2.32. Representasi Kurva Linear Menurun

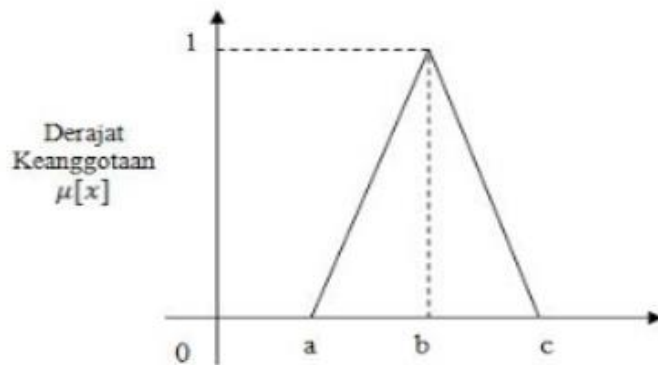
- b. Himpunan mengalami kenaikan dari derajat keanggotaan nol bergerak ke kanan menuju derajat keanggotaan yang lebih tinggi menuju angka satu



Gambar 2.33. Representasi Kurva Linear Menanjak

## 2. Representasi Kurva Segitiga

Representasi kurva segitiga merupakan gabungan dari representasi linier menurun dan menanjak (Klir, Clair & Yuan, 1997).



Gambar 2.34. Representasi Kurva Segitiga.

Suatu fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* disebut fungsi keanggotaan segitiga jika mempunyai tiga parameter, yaitu  $a, b, c \in \mathbb{R}$  dengan  $a \leq b \leq c$  dan dinyatakan dengan segitiga  $(x, a, b, c)$  dengan aturan:

$$\text{Segitiga } (x; a, b, c) \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{untuk } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{untuk } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{untuk lainnya} \end{cases} \quad (2.7)$$

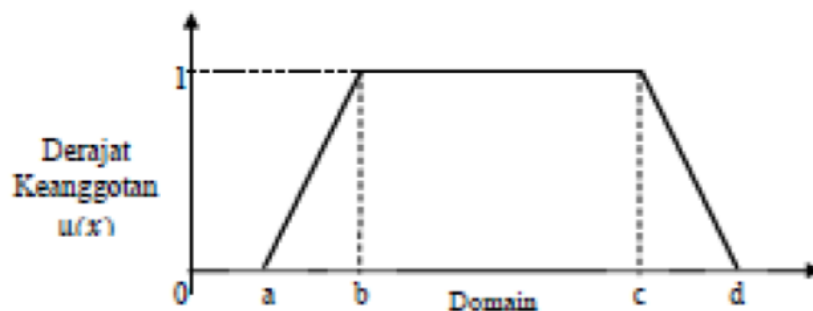
Fungsi keanggotaan segitiga dapat juga dinyatakan dengan formula sebagai berikut:

$$\text{Segitiga } (x; a, b, c, d) = \max \left( \min \left( \frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right) \quad (2.8)$$

Dalam penelitian ini, kurva segitiga ini yang digunakan sebagai acuan atau lebih dikenal dengan nama *triangular fuzzy number* (TFN).

### 3. Representasi Kurva Trapesium

Representasi kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1



Gambar 2.35. Representasi Kurva Trapesium.

Suatu fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* disebut fungsi keanggotaan trapesium jika mempunyai empat parameter, yaitu  $a, b, c, d \in \mathbb{R}$  dengan  $a \leq b \leq c \leq d$  dan dinyatakan dengan *Trapezium*  $(x, a, b, c, d)$  dengan aturan:

$$\text{Trapezium}(x; a, b, c, d) \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{untuk } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{untuk } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{untuk } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{untuk lainnya} \end{cases} \quad (2.9)$$

Fungsi keanggotaan trapesium dapat juga dinyatakan dengan formula sebagai berikut:

$$\text{Trapezium}(x; a, b, c, d) = \max \left( \min \left( \frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c} \right), 0 \right) \quad (2.10)$$

### 2.6.3. Operasi Aritmatika

Aritmatika *Fuzzy* adalah konsep pada dua sifat bilangan *fuzzy*, yaitu:

1. Setiap bilangan *fuzzy* dapat direpresentasikan dalam bentuk  $\alpha$ -cut.
2.  $\alpha$ -cut dari bilangan *fuzzy* adalah interval tertutup pada bilangan riil untuk setiap  $\alpha = [0, 1]$ .

Oleh karena itu berdasarkan dua sifat tersebut dapat didefinisikan operasi aritmatika pada bilangan *fuzzy* dengan menggunakan operasi aritmatika pada  $\alpha$ -cut dari bilangan *fuzzy* yaitu berupa interval tertutup pada bilangan riil.

Terdapat empat operasi aritmatika pada interval tertutup, yaitu:

$$1. [a, b] + [c, d] = [a+c, b+d] \quad (2.11)$$

$$2. [a, b] - [c, d] = [a-c, b-d] \quad (2.12)$$

$$3. [a, b] \cdot [c, d] = [\min\{ac, ad, bc, bd\}, \max\{ac, ad, bc, bd\}] \quad (2.13)$$

4. Dengan syarat  $0 \notin [c, d]$ , maka berlaku:

$$[a, b] / [c, d] = [a, b] \left[ \frac{1}{d}, \frac{1}{c} \right] = \left[ \min \left( \frac{a}{c}, \frac{a}{d}, \frac{b}{c}, \frac{b}{d} \right), \max \left( \frac{a}{c}, \frac{a}{d}, \frac{b}{c}, \frac{b}{d} \right) \right] \quad (2.14)$$

#### 2.6.4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses yang berkebalikan dengan proses pada fuzzifikasi. Wang (1997:108) mendefinisikan defuzzifikasi sebagai pemetaan dari himpunan *fuzzy* ke himpunan tegas.

Diantara beberapa metode yang digunakan untuk proses defuzzifikasi (Sri, 2002) adalah seperti dibawah ini:

1. Metode Centroid.

Metode Centroid disebut juga metode *Center of Gravity* atau metode pusat luas (*Center of Area, CoA*).

2. Metode Bisektor

Metode bisektor mengambil nilai pada domain himpunan *fuzzy* yang memiliki nilai keanggotaan pada daerah fuzzy sebagai solusi tegas.

3. Metode *Mean of Maximum* (MOM)

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

4. Metode *Largest of Maximum* (LOM)

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

5. Metode *Smallest of Maximum* (SOM)

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

#### 2.6.5. Fuzzy AHP

Kelemahan pada Metode AHP yaitu permasalahan terhadap kriteria yang memiliki sikap subjektif yang lebih banyak, oleh karena itu dengan menggunakan pendekatan *Fuzzy* maka permasalahan terhadap kriteria bisa lebih di pandang secara objektif dan akurat. Selain itu para pengambil keputusan lebih yakin menentukan pilihannya terhadap tingkat kepentingan antar kriteria dengan memakai penilaian dalam *imprecise* (interval) dibandingkan penilaian dengan angka *crisp* (eksak). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka dikembangkan teknik memodifikasi

dan teknik himpunan *fuzzy* dalam AHP yang disebut *Fuzzy AHP*. (Chang, 1996). Ketidakpastian bilangan direpresentasikan dengan urutan skala. Untuk menentukan derajat keanggotaan pada Metode FAHP, digunakan aturan fungsi dalam bentuk bilangan *fuzzy* segitiga atau *Triangular Fuzzy Number* (TFN).

*Fuzzy AHP* adalah metode yang dikembangkan dengan teori logika fuzzy, khususnya *triangular fuzzy*. Langkah penyelesaiannya hampir sama dengan metode AHP, hanya saja metode *Fuzzy AHP* mengubah skala AHP ke dalam skala *triangular fuzzy* untuk memperoleh prioritas. Perbedaannya dengan AHP adalah implementasi pemberian bobot perbandingan berpasangan didalam matriks perbandingan yang diwakili oleh tiga variabel (l,m,u) yang disebut *triangular fuzzy number* atau disingkat TFN..

Saat *Consistency Ratio* pada metode AHP untuk setiap penilaian kriteria dan alternatif dari setiap responden sudah mencapai nilai  $\leq 0.1$ , maka ketidakkonsistenan pendapat dari pengambil keputusan sudah dapat diterima. Saat kondisi konsisten terpenuhi maka dilanjutkan dengan pembobotan skala *Triangular Fuzzy Number* (TFN) pada setiap penilaian kriteria dan alternatif dari setiap responden.

Adapun responden yang penilaian kriteria dan alternatifnya memiliki CR > 10%, maka data dari responden tersebut tidak digunakan.

Langkah-langkah dalam *fuzzy AHP* antara lain:

1. Mendefinisikan permasalahan dan melakukan identifikasi dari tujuan, kriteria, serta alternatif keputusan.
2. Membuat struktur hirarki AHP dalam bentuk gambar sehingga lebih mudah untuk dipahami.
3. Menyusun matriks perbandingan antar semua elemen / kriteria.
4. Menghitung nilai rasio konsistensi dari hasil perhitungan matriks perbandingan dengan syarat nilai CR  $\leq 0,1$ .
5. Mengubah hasil pembobotan ke dalam bilangan *fuzzy* menggunakan skala TFN.

Pendekatan TFN dalam metode FAHP adalah pendekatan yang digunakan untuk meminimalisasikan sesuatu dengan sifat ketidakpastian pada metode AHP.



TFN dapat menunjukkan kesubjektifan perbandingan berpasangan atau dapat menunjukkan derajat yang pasti dari ketidakpastian (kekaburan). TFN digunakan untuk menggambarkan variabel-variabel linguistik secara pasti. TFN disimbolkan dengan  $\tilde{M} = (l, m, u)$ , dimana  $l \leq m \leq u$  dan  $l$  adalah nilai terendah,  $m$  adalah nilai tengah,  $u$  adalah nilai teratas.

Jika kita misalkan terdapat 2 TFN yaitu  $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$  dan  $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ , maka operasi aritmatika TFN adalah:

$$M_1 \oplus M_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2.15)$$

$$M_1 \otimes M_2 = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \quad (2.16)$$

Tabel 2.23 memperlihatkan perbandingan skala pada metode AHP dan pada metode *Fuzzy AHP* yang menggunakan *Triangular Fuzzy Number*.

Tabel 2.23. Skala AHP dan *Triangular Fuzzy Number*.

Skala AHP	Skala <i>Fuzzy</i>	Invers Skala <i>Fuzzy</i>	Keterangan
1	(1,1,1)	(1,1,1)	Sama penting
2	(1,2,3)	(1/3, 1/2, 1)	Skala antara sama dan sedikit lebih penting
3	(2,3,4)	(1/4, 1/3, 1/2)	Skala sedikit lebih penting
4	(3,4,5)	(1/5, 1/4, 1/3)	Skala antara sedikit lebih dan sangat penting
5	(4,5,6)	(1/6, 1/5, 1/4)	Skala sangat Penting
6	(5,6,7)	(1/7, 1/6, 1/5)	Skala antara sangat penting dan jelas lebih penting
7	(6,7,8)	(1/8, 1/7, 1/6)	Jelas lebih penting
8	(7,8,9)	(1/9, 1/8, 1/7)	Skala antara jelas lebih penting dan mutlak lebih penting
9	(8,9,9)	(1/9, 1/9, 1/8)	Mutlak lebih penting

Sumber: M. Noor (2017).

## 6. Rata-rata Geometrik (*GeoMetric Mean*)

Untuk mendapatkan suatu nilai tunggal yang mewakili sejumlah responden, maka bobot penilaian dari beberapa responden dalam suatu kelompok penilaian kriteria atau penilaian alternatif berdasarkan kriteria kemudian dirata-ratakan dengan menggunakan rata-rata Geometrik (*Geometric Mean*).

Rumus Rata – rata Geometrik adalah sebagai berikut:

$$GM = \sqrt[n]{(X_1)(X_2) \dots (X_n)} \quad (2.17)$$

dimana:

GM = Rata-rata Geometrik (*Geometric Mean*)

$X_n$  = Penilaian dari responden ke 1,2, ...n

n = Jumlah responden

## 7. Lebih detail ke *Fuzzy AHP*

Menurut chang (1996), langkah penyelesaiannya adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan nilai *fuzzy synthetic extent* ( $S_i$ ) prioritas dengan menggunakan rumus:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (2.18)$$

Dimana:

$S_i$  = Nilai sintesis *Fuzzy*

$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$  = Penjumlahan semua nilai sel pada kolom yang dimulai dari kolom 1 pada setiap baris matriks

$j$  = Kolom

$i$  = Baris

M = Bilangan TFN

g = Parameter (l,m,u)

$\otimes$  = Operator dot product

Adapun untuk memperoleh nilai  $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$  adalah dengan melakukan operasi penjumlahan pada keseluruhan bilangan TFN yang ada dalam matriks keputusan (n x m) dengan menggunakan rumus dibawah ini;

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{ij}, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_{ij}, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u_{ij} \right)$$

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left( \sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (2.19)$$

dimana:

$$\sum_{j=1}^m l_{ij} = \text{Jumlah sel pada kolom pertama matriks (nilai lower "l")}$$

$$\sum_{j=1}^m m_{ij} = \text{Jumlah sel pada kolom kedua matriks (nilai median "m")}$$

$$\sum_{j=1}^m u_{ij} = \text{Jumlah sel pada kolom ketiga matriks (nilai upper "u")}$$

Sehingga dapat dihitung inversnya dengan persamaan:

$$\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \approx \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{ij}} \right) \quad (2.20)$$

Sebagai contoh perhitungan dengan menggunakan persamaan fuzzy AHP di atas, melanjutkan dengan mengubah Tabel 2.13 dalam skala AHP kedalam tabel TFN sebagai terlihat pada Tabel 2.24.

Tabel 2.24. Matriks TFN Perbandingan Kriteria

Kriteria	Tarif Listrik			Sumber Dana			GRK		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Tarif Listrik	1.000	1.000	1.000	0.333	0.500	1.000	2.000	3.000	4.000
Sumber Dana	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000	3.000	4.000	5.000
GRK	0.250	0.333	0.500	0.200	0.250	0.333	1.000	1.000	1.000

Dengan menggunakan persamaan 2.19 dilakukan penjumlahan komponen  $l$ ,  $m$  dan  $u$ , dan selanjutnya dengan menggunakan persamaan 2.20 untuk mendapatkan nilai *invers* dari penjumlahan tersebut sebagaimana yang terlihat pada Tabel 2.25.

Tabel 2.25. Nilai *Invers* - Perbandingan Kriteria

Kriteria	Matriks K		
	$\Sigma l$	$\Sigma m$	$\Sigma u$
Tarif Listrik	3.333	4.500	6.000
Sumber Dana	5.000	7.000	9.000
GRK	1.450	1.583	1.833
<b>Jumlah</b>	<b>9.783</b>	<b>13.083</b>	<b>16.833</b>
<b>Invers</b>	<b>0.0594</b>	<b>0.0764</b>	<b>0.1022</b>

Pada Tabel 2.25, dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.18 untuk mendapatkan nilai *fuzzy synthetic extent*, persamaan 2.21 untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi dan persamaan 2.22 untuk mendapatkan normalisasi nilai defuzzifikasi sehingga didapatkan nilai bobot dari setiap kriteria, dan selanjutnya dapat dilakukan perankingan sebagaimana terlihat pada Tabel 2.26 dimana kriteria sumber pendanaan mendapatkan nilai tertinggi dan mendapatkan peringkat 1.

Tabel 2.26. Nilai *Fuzzy Synthetic Extent*, Defuzzifikasi dan Bobot - Perbandingan Kriteria

$S_i$	$l$	$m$	$u$	$DM_i$	$W$	Kriteria	Ranking
<b>S1</b>	0.198	0.344	0.613	0.385	0.3499	Tarif	2
<b>S2</b>	0.297	0.535	0.920	0.584	0.5306	<b>Dana</b>	<b>1</b>
<b>S3</b>	0.086	0.121	0.187	0.132	0.1195	GRK	3
Jumlah				1.101	1.000		

b. Defuzzifikasi (Anshori, 2012).

Nilai defuzzifikasi didapatkan dengan persamaan berikut:

$$DM_i = \frac{((u_i - l_i) + (m_i - l_i))}{3} \quad (2.21)$$

Dimana  $M_i = (l_i, m_i, u_i)$

c. Normalisasi Nilai Defuzzifikasi.

Nilai defuzzifikasi akan dinormalisasikan kembali dengan membagi nilai defuzzifikasi tersebut terhadap penjumlahan semua nilai defuzzifikasi. Hasil normalisasi defuzzifikasi merupakan nilai bobot dari masalah yang akan diselesaikan.

$$W = \frac{DM_i}{\sum_{i=1}^n DM_i} \quad (2.22)$$

mana:

$W$  = Bobot

$DM_i$  = Defuzzifikasi

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

Tujuan dari normalisasi bobot ini adalah supaya nilai dalam *vector* diperbolehkan menjadi bobot analog dan terdiri dari bilangan yang *non-fuzzy*. Dengan didapatkannya nilai normalisasi *vector* bobot, maka dapat dibuat perankingan dan diketahui alternatif yang terbaik dari beberapa alternatif.



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini tidak hanya berfokus pada penyelesaian dengan menggunakan salah satu metode *multi criteria decision making* yaitu penggunaan FAHP, melainkan sebelum melangkah ke tahap tersebut penelitian ini perlu menyelesaikan beberapa hal utama yang akan menjadi dasar dalam perhitungan di FAHP nantinya.

Adapun langkah-langkah penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### **3.1. Studi Pendahuluan, Identifikasi dan perumusan masalah**

Studi pendahuluan dilakukan di lingkungan kerja PT Vale Indonesia, sehingga bisa didefinisikan dan dirumuskan permasalahan yang ada sebagaimana telah di jelaskan pada Bab I.

#### **3.2. Studi Pustaka**

Setelah masalah teridentifikasi dan telah dirumuskan, kemudian dicari data-data awal dan dasar-dasar teori yang dianggap dapat membantu menyelesaikan permasalahan tersebut. Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk membantu menyelesaikan permasalahan adalah dengan metode FAHP.

#### **3.3. Verifikasi Koefisien Pembangkitan PLTA Larona**

Pada tahun 2012, *utilities department* mengubah koefisien pembangkitan PLTA Larona dari yang awalnya bernilai 1.22 menjadi 1.12. Perubahan nilai tersebut sangat mempengaruhi nilai pembangkitan pada PLTA Larona. Untuk itu perlu dilakukan pengambilan data aktual pembangkitan dan debit air yang digunakan.

#### **3.4. Verifikasi Pengaruh Project Canal Lining**

Di awal tahun 2019 dilakukan perbaikan pada kanal yang menyuplai PLTA Larona dan proyek tersebut dapat diselesaikan pada bulan Mei 2019. Selain

memperbaiki permukaan kanal, perbaikan tersebut juga diharapkan meningkatkan debit air yang dapat dialirkan oleh kanal Larona. Berdasarkan pada “*Studi Penilaian Risiko - Kanal Larona-Laporan Akhir\_Klohn Crippen pada tahun 2003*”, besarnya debit air aliran kanal dapat meningkat dari maksimum 148 cumecs (kubik per detik) menjadi 168 cumecs.

Verifikasi perlu dilakukan untuk melihat seberapa jauh pengaruh dari perbaikan kanal melalui proyek *canal lining* terhadap peningkatan debit air didalam kanal Larona. Pengujian akan dilakukan dengan menaikkan pembangkitan listrik PLTA Larona secara bertahap sampai pada total pembangkitan sekitar 180 MW dan berusaha dipertahankan selama beberapa jam.

### **3.5. Menentukan Jumlah Kekurangan Energi Listrik untuk Sorowako RKEF.**

Perhitungan detail dalam menentukan jumlah kekurangan energi listrik untuk Sorowako RKEF yang akan dibahas pada BAB IV, beberapa langkah akan dilakukan untuk mendapatkan nilai tersebut adalah seperti yang dijelaskan dibawah ini.

#### **3.5.1. Data Beban Proyek Sorowako RKEF**

Berdasarkan data yang diberikan oleh konsultan ENFI dan BECA, jumlah daya yang dibutuhkan untuk memproduksi tambahan 10 kT nikel adalah rata-rata sebesar 70 MW yang terdiri atas 55 MW untuk kebutuhan *Furnace* dan 15 MW untuk kebutuhan peralatan *auxiliary* sehubungan dengan proyek Sorowako RKEF.

#### **3.5.2. Data perkiraan beban Auxiliry di masa yang akan datang.**

*Energy Engineering Department* memperkirakan dapat melaksanakan proyek-proyek yang dapat menghemat pemakaian energi sebesar 4 MW. Namun disisi lain ternyata ada beberapa proyek yang berhubungan dengan keberlangsungan produksi dan *enviromtent* yang menyebabkan bertambahnya kebutuhan energi listrik sebesar 5 MW, yaitu 2 MW berasal dari kebutuhan proyek *dust handling* dan 3 MW berasal dari kebutuhan proyek *air slag granulation*.



### **3.5.3. Menentukan jumlah kekurangan energi listrik untuk Sorowako RKEF**

Terdapat beberapa perubahan pada kalkulasi pembangkitan dan beban, yaitu:

- 1). Setelah verifikasi koefisien pembangkitan PLTA Larona, jika terdapat perubahan koefisien pembangkitan yang perlu dilakukan maka data-data pembangkitan terbaru PLTA akan menggunakan nilai koefisien terbaru PLTA Larona tersebut.
- 2). Data beban *auxiliary* terbaru dimana beban *electric boiler* ditargetkan menjadi 10 MW dari sebelumnya 13 MW.
- 3). Data kebutuhan listrik untuk Sorowako RKEF sebesar 70 MW.
- 4). *Existing furnace* akan dijalankan sekitar pada 271 MW untuk mencapai 80 kT.
- 5). *Furnace bandwidth* diubah dari 20 MW menjadi 5 MW dengan asumsi akan dilakukan pemasangan SPLC pada ketiga *existing furnace* lainnya sehingga bisa lebih menstabilkan kerja *existing furnace* tersebut yang berdampak pada berkurangnya *furnace bandwidth* yang dibutuhkan.

### **3.6. Menentukan Kriteria Yang Sesuai untuk Seleksi Pembangkit Listrik Sorowako RKEF**

Berdasarkan informasi kriteria dari beberapa literatur yang terdapat Bab II, didapatkan kriteria-kriteria potensial dari berbagai sumber. Kriteria-kriteria tersebut digunakan sebagai acuan karena kriteria-kriteria tersebut sebelumnya digunakan sebagai kriteria dalam pemilihan alternatif pembangkit tenaga listrik dalam skala besar. Setelah mendapat potensi kriteria dari berbagai sumber, kemudian dilakukan diskusi dan analisa awal untuk menentukan kriteria yang sesuai untuk diterapkan pada seleksi pembangkit listrik untuk keperluan proyek Sorowako RKEF, visi dan misi Vale.

### **3.7. Menentukan Pembangkit Listrik Yang Potensial untuk Sorowako RKEF**

Berdasarkan informasi alternatif pembangkit listrik yang potensial untuk Sorowako RKEF dari beberapa literatur yang terdapat bab Bab II, kemudian dibuat

analisa awal untuk menentukan alternatif yang sesuai untuk diseleksi sebagai alternatif pembangkit listrik untuk keperluan proyek Sorowako RKEF.

Setelah didapatkan kriteria dan alternatif yang sesuai untuk diseleksi, kemudian dengan menggunakan bantuan metode FAHP akan dilakukan proses seleksi tersebut untuk mendapatkan alternatif terbaik.

### **3.8. Pembuatan dan Pengumpulan Data Kuisioner.**

Untuk kebutuhan analisa FAHP, penulis menyebarkan kuisioner kepada setidaknya 10 orang tenaga ahli dibidang kelistrikan dan manajemen proyek kelistrikan sehingga diharapkan didapatkan data yang sesuai untuk kebutuhan analisa FAHP dalam menentukan alternatif terbaik untuk memenuhi kebutuhan listrik Sorowako RKEF.

Setidaknya terdapat 3 responden yang memiliki latar belakang Magister Teknik energi terbarukan, sehingga diharapkan memberikan sisi penilaian yang sesuai mengenai pembangkit listrik khususnya dalam kategori *renewable energy*.

Terdapat 3 responden yang merupakan tenaga kerja asing yang bekerja di Indonesia dibidang manajemen proyek termasuk proyek yang berhubungan dengan kelistrikan, sehingga diharapkan memberikan sisi penilaian yang tidak hanya umum diterapkan di Indonesia melainkan juga umum diterapkan di negara lainnya.

Terdapat 4 responden yang memiliki latar belakang mengerjakan proyek dibidang kelistrikan, sehingga diharapkan memberikan sisi penilaian yang lebih sesuai dibidang kelistrikan dan kestabilan suplai tenaga listrik.

Dari 10 responden tersebut, terdapat beberapa orang yang juga bekerja sebagai *project manager* sehingga diharapkan lebih bisa memberikan sisi penilaian yang sesuai sehubungan dengan manajemen proyek.

Adapun penjelasan mengenai isi kuisioner akan dijelaskan pada bab IV.

### **3.9. Melaksanakan Penilaian berdasarkan AHP**

- a. Data dari responden yang didapatkan dari kuisioner kemudian dibuatkan matriks perbandingan AHP untuk setiap penilaian kriteria dan penilaian alternatif dari setiap responden.

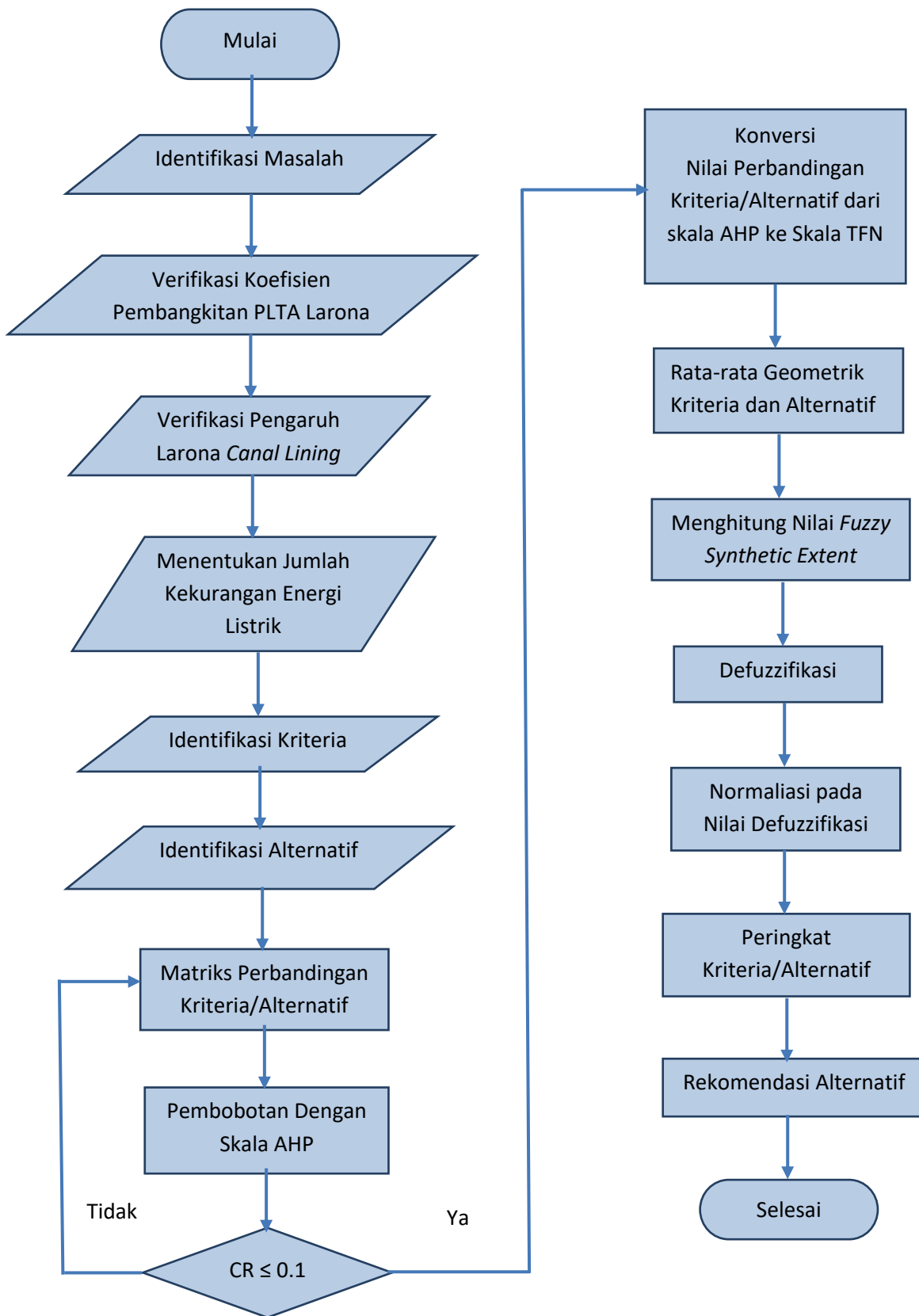
- b. Melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai maksimum *eigen value*, *consistency index* (CI) dan *consistency ratio* (CR).
- c. Memastikan  $CR \leq 10\%$  untuk setiap penilaian kriteria dan alternatif dari setiap responden. Jika didapatkan ada  $CR > 10\%$ , maka perlu diadakan diskusi lebih lanjut dengan responden untuk memperbaiki penilaian sehingga jadi  $CR \leq 10\%$ .
- d. Jika setelah diskusi lanjut ternyata masih ada nilai CR masih  $> 10\%$  pada penilaian kriteria ataupun penilaian alternatif dari salah satu responden, maka data dari responden tersebut tidak dapat diterima.
- e. Hanya data kuisioner penilaian kriteria dan penilaian alternatif dengan nilai  $CR \leq 10\%$  yang akan dilanjutkan ke tahap *Fuzzy AHP*.

### **3.10. Melaksanakan Penilaian berdasarkan FAHP**

- a. Bobot yang telah didapatkan pada tahap AHP, diubah ke dalam skala *triangular fuzzy number* (TFN). Setiap data matriks perbandingan AHP pada penilaian kriteria dan penilaian alternatif dari setiap responden diubah ke dalam skala matriks perbandingan *triangular fuzzy number* (TFN).
- b. Melakukan rata-rata geometrik (*Geometric Mean* atau GMM) pada data matriks perbandingan TFN dari beberapa responden.
- c. Menghitung nilai *fuzzy synthetic extent* terhadap matriks perbandingan TFN yang telah dirata-ratakan secara geometrik.
- d. Defuzzifikasi.
- e. Normalisasi nilai defuzzifikasi.
- f. Melakukan perankingan kriteria dan setiap alternatif.
- g. Melakukan perankingan terhadap alternatif berdasarkan nilai bobot setiap kriteria dan setiap alternatif berdasarkan setiap kriteria.
- h. Memberikan rekomendasi alternatif terbaik.

### **3.11. Diagram Alir Metode Penelitian**

Gambar 3.2 memperlihatkan diagram alir yang dilakukan pada penelitian ini, dimulai dari verifikasi koefisien pembangkitan PLTA sampai dengan penetapan alternatif terbaik sumber energi listrik untuk kebutuhan Sorowako RKEF.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penyelesaian dengan Metode *Fuzzy AHP*

## **BAB IV**

### **PENENTUAN DAYA PEMBANGKIT DAN DAYA BEBAN, SERTA PENENTUAN KRITERIA DAN ALTERNATIF**

#### **4.1. Menentukan Koefisien Pembangkitan PLTA Larona.**

Pada tahun 2012 dilakukan perubahan koefisien pembangkitan PLTA Larona dari 1.22 ke 1.12. Perubahan tersebut dilakukan karena saat dilakukan uji coba dimana PLTA Larona dijalankan membangkitkan listrik 180 MW, didapatkan banyak tumpahan disekitar dinding luar kanal Larona.

Dari *data sheet* diketahui bahwa kapasitas canal adalah 148 m<sup>3</sup>/detik atau 148 *cumecs*, Utilities berasumsi bahwa kapasitas 148 m<sup>3</sup>/detik tersebut adalah kapasitas kontinyu dan tanpa adanya *spill* diluar dinding kanal, sehingga ketika pada tahun 2012 dilakukan uji coba menjalankan PLTA Larona membangkitkan listrik 165-166 MW secara kontinyu dan tidak ditemukan lagi tumpahan air di sekitar dinding luar kanal Larona, utilities berasumsi bahwa koefisien pembangkitan PLTA Larona perlu diubah.

PLTA Larona = Koefisien pembangkitan x debit air canal.

165.8 MW = Koefisien Pembangkitan (KP) x 148 cumecs

$$\begin{aligned} \text{KP} &= 165.8 \text{ MW} / 148 \text{ cumecs} \\ &= 1.12 \text{ MW/Cumecs} \end{aligned}$$

Namun ketika penulis menggunakan koefisien Pembangkitan 1.12 tersebut, dan memasukkannya ke dalam rumus pembangkitan listrik PLTA, termasuk jika dipergunakan pada kapasitas maksimal *penstock* PLTA Larona yaitu sebesar 51 m<sup>3</sup>/detik per *penstock* atau total 153 m<sup>3</sup>/detik untuk ketiga *penstock*, maka didapatkan hasilnya seperti pada Tabel 4.1

Tabel 4.1. Kapasitas Pembangkitan dengan Koefisien Pembangkitan 1.12

PLTA	Koefisien Pembangkitan (MW/cumecs)	Debit Tambahan (m <sup>3</sup> /detik)	Water Balance		Water Unbalance	
			Debit Kanal Larona 148 m <sup>3</sup> /detik		Debit Kanal Larona 153 m <sup>3</sup> /detik	
			Debit (m <sup>3</sup> /s)	Daya (MW)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Daya (MW)
PLTA Larona	1.12	0	148	165.8	153	171.4
PLTA Balambano	0.76	5	153	116.3	184	139.8
PLTA Karebbe	0.67	3	156	104.5	190	127.3
<b>Total Daya</b>				<b>387</b>		<b>439</b>

Dari table tersebut terlihat beberapa keanehan:

1. Dari *data sheet* diketahui kemampuan maksimal debit *penstock* adalah 153 m<sup>3</sup>/detik (didapatkan dari 3 x 51 m<sup>3</sup>/detik), terlihat bahwa bahkan ketika *penstock* dialiri air pada kemampuan maksimal debit *penstock* sebesar 153 m<sup>3</sup>/detik, daya maksimal yang dapat dihasilkan hanya 171 MW. Padahal PLTA Larona sudah pernah dites jalan pada 180 MW dan tidak bermasalah saat itu yang artinya penggunaan koefisien pembangkitan 1.12 adalah perlu dipertanyakan, kenapa hasilnya hanya maksimal 171 MW.
2. Dari *data sheet* diketahui pula bahwa setiap turbin PLTA Larona memiliki *design capacity* 65.5 MW atau total untuk ketiga unit PLTA Larona adalah 196,5 MW. Design ketiga turbin tersebut adalah didasarkan pada kemampuan kontinyu kanal Larona 148 m<sup>3</sup>/detik. Berdasarkan perhitungan pada Tabel 4.1, jika saat 148 m<sup>3</sup>/detik ternyata PLTA hanya menghasilkan 165,8 MW, maka *design capacity* 196,5 MW bisa dikatakan terlalu *over capacity*. Hal ini menimbulkan keraguan karena tentunya pihak yang mendesain turbin PLTA Larona telah memperhitungkan secara matang *sizing* dari turbin tersebut, tentunya *sizing* dari turbin akan lebih besar dari kapasitas kontinyunya untuk mengantisipasi

lonjakan kebutuhan daya yang diantisipasi dengan *speed droop governor* turbin, namun tentunya *safety factor* nya tidak sampai 29,7 MW atau 16,5 %.

Untuk itu penulis melakukan penelitian lebih lanjut dengan mengambil data aliran air pada pembangkit PLTA Larona untuk memverifikasi koefisien pembangkitannya. Dari hasil pengambilan data pada *penstock* PLTA Larona, didapatkan data seperti yang terlihat pada table 4.2, dimana ternyata koefisien pembangkitan PLTA Larona seharusnya 1.22 atau sama dengan nilai sebelum dilakukannya perubahan di tahun 2012.

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran Aktual Daya dan Aliran Air PLTA Larona

Power			Penstock Flow			Power	Penstock Flow	Koefisien Pembangkitan
U-LGS1	U-LGS2	U-LGS3	U-LGS1	U-LGS2	U-LGS3			
41.0941	46.2077	48.6479	34.1478	37.9270	39.5875	135.9497	111.6623	1.2175
41.1099	42.2389	48.4579	34.1484	36.2331	38.0655	131.8066	108.4471	1.2154
41.1151	42.8698	47.8628	34.1486	36.0186	37.5582	131.8478	107.7255	1.2239
41.1361	41.6032	45.5622	34.1495	35.1608	36.1446	128.3015	105.4549	1.2166
41.2254	41.6679	41.5762	34.1532	34.6883	33.7511	124.4695	102.5925	1.2132
41.2307	42.1061	41.2509	34.1534	34.6981	33.8793	124.5876	102.7309	1.2128
41.2359	41.7288	41.7181	34.1536	34.7080	34.0076	124.6828	102.8692	1.2121
41.3567	44.0899	44.3173	34.1586	36.2670	36.6368	129.7639	107.0624	1.2120
41.3672	44.3413	44.6677	34.1591	36.0054	36.7008	130.3761	106.8653	1.2200
41.3724	44.4669	44.8429	34.1593	35.4669	36.7328	130.6822	106.3590	1.2287
41.4775	45.1460	44.3499	34.1636	37.2678	35.7960	130.9734	107.2274	1.2215
41.4827	45.8737	46.4987	34.1638	38.4086	37.2068	133.8551	109.7792	1.2193
41.5037	47.1574	47.2143	34.1647	38.4059	38.4932	135.8754	111.0637	1.2234
41.5090	47.5015	46.8653	34.1649	39.1315	38.3215	135.8757	111.6179	1.2173
41.5510	46.4117	47.4564	34.1667	38.7678	37.3602	135.4191	110.2946	1.2278
41.5562	46.6708	46.2636	34.1669	38.6403	37.3813	134.4906	110.1885	1.2206
41.5615	47.2660	45.0708	34.1671	38.5129	37.4024	133.8983	110.0824	1.2163
41.5930	47.5562	46.3484	34.1684	38.3352	37.5289	135.4976	110.0325	1.2314
41.5982	46.2554	46.2689	34.1686	38.3665	37.5500	134.1226	110.0852	1.2184
41.6035	43.9142	46.1894	34.1688	36.6896	37.4879	131.7070	108.3463	1.2156
41.6245	45.0398	43.6355	34.1697	36.7397	36.0898	130.2998	106.9992	1.2178
41.6402	45.3067	46.0242	34.1704	37.4421	37.3916	132.9711	109.0040	1.2199
41.6927	42.1012	43.1009	34.1725	34.3266	34.7966	126.8949	103.2957	1.2285
41.6980	42.7867	42.3285	34.1728	34.2469	34.4740	126.8131	102.8937	1.2325
41.7032	42.5175	41.4943	34.1730	34.1673	34.1514	125.7151	102.4916	1.2266
41.7768	46.8822	44.9453	34.1760	38.2602	36.5046	133.6043	108.9408	1.2264
<b>41.4544</b>	<b>44.6041</b>	<b>45.1138</b>	<b>34.1627</b>	<b>36.7262</b>	<b>36.5769</b>	<b>131.1723</b>	<b>107.4658</b>	<b>1.2206</b>

Tabel 4.3. Koefisien Pembangkitan Sebelum dan Setelah Verifikasi.

Pembangkit Listrik	Koefisien Pembangkitan (MW/cumecs)		Daya Pembangkit Saat 148 m <sup>3</sup> /detik	
	Sebelum Verifikasi	Setelah Verifikasi	Sebelum Verifikasi	Setelah Verifikasi
PLTA Larona	1.12	1.22	165.8 MW	180 MW

Dengan didaptkannya hasil verifikasi nilai koefisien pembangkitan PLTA Larona sebesar 1.22 MW/cumecs tersebut sebagaimana yang diperlihatakna pada Table 4.3, maka untuk perhitungan selanjutnya akan menggunakan koefisien pembangkitan 1.22 MW/cumecs ini sebagaimana terlihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Daya PLTA Larona, PLTA Balambano dan PLTA Karebbe Setelah Verifikasi Koefisien Pembangkitan.

PLTA	Water Balance					
	Koefisien Pembangkitan (MW/cumecs)	Debit Tambahan (m <sup>3</sup> /detik)	Debit Kanal Larona 136 m <sup>3</sup> /detik		Debit Kanal Larona 148 m <sup>3</sup> /detik	
			Debit (m <sup>3</sup> /s)	Daya (MW)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Daya (MW)
PLTA Larona	1.22	0	136	165	148	180
PLTA Balambano	0.76	5	141	107	153	116
PLTA Karebbe	0.67	3	144	96	156	104
<b>Total Daya</b>				<b>368</b>		<b>400</b>

Dari Tabel 4.4 tersebut terlihat bahwa untuk menghasilkan daya 165 MW dari PLTA Larona adalah cukup dibutuhkan debit air sebesar 136 m<sup>3</sup>/detik dan bukannya 148 m<sup>3</sup>/detik sebagaimana yang selama 7 tahun terakhir digunakan sebagai acuan. Dengan adanya temuan tersebut, data pembangkitan pembangkitan *water balance* PLTA Larona, PLTA Balambano dan PLTA Karebbe juga berubah mengikuti perubahan koefisien pembangkitan 1.22 pada PLTA Larona karena akan mempengaruhi jumlah debit air yang mengalir saat skenario *water balance* dijalankan.



#### 4.2. Penentuan Kapasitas PLTA Larona Setelah Proyek *Canal Lining*

Di awal tahun 2019 dilakukan perbaikan pada kanal yang menyuplai PLTA Larona dan diselesaikan pada bulan Mei 2019. Selain memperbaiki permukaan kanal, perbaikan tersebut juga akan meningkatkan debit air yang dapat dialirkan oleh kanal Larona. Berdasarkan pada “*Studi Penilaian Risiko - Kanal Larona-Laporan Akhir\_Klohn Crippen pada tahun 2003*” debit air aliran kanal dapat meningkat dari maksimum 148 cumecs menjadi 168 cumecs.

Sebagaimana yang telah dijelaskan diatas, setelah dilakukan verifikasi pada koefisien pembangkitan dan dilakukan pengubahan dari 1.12 menjadi 1.22, maka aliran debit air maksimum kontinyu yang aman (tanpa ada tumpahan keluar dinding canal) adalah pada aliran 136 m<sup>3</sup>/detik ketika ketiga unit PLTA Larona dapat menghasilkan hanya sekitar 165 MW.

Setelah *canal lining* dilaksanakan, diharapkan kecepatan air bertambah sehingga debit air bisa meningkat tanpa adanya tumpahan air di sekitar dinding kanal ketika kanal dialiri air dengan debit diatas 136 m<sup>3</sup>/detik, sehingga kapasitas pembangkitan kontinyu bisa meningkat pula. Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa kanal seharusnya tetap dapat dengan aman mengalirkan 148 cumecs untuk menghasilkan 180 MW pada PLTA Larona.

Disisi lain, meskipun kanal diperkirakan dapat mengalirkan air dengan debit maksimum 168 m<sup>3</sup>/detik, namun penggunaan debit air pada setiap unit pembangkit di Larona dibatasi maksimal hanya 51 m<sup>3</sup>/detik sesuai dengan kapasitas *penstocknya*, sehingga total debit air yang dapat digunakan adalah maksimum pada 153 m<sup>3</sup>/detik (3 unit @ 51 m<sup>3</sup>/detik).

Secara teoritis, aliran debit air 153 m<sup>3</sup>/detik tersebut setara dengan 186 MW, namun tentunya hal tersebut perlu pembuktian lebih lanjut karena belum pernah dilakukan pengetesan setelah dilakukan *canal lining*. Pengetesan ini perlu dilakukan karena peningkatan aliran air yang masuk ke PLTA Larona juga berdampak pada peningkatan pembangkitan di Balambano dan Karebbe sehingga secara teoritis total pembangkit listrik tenaga air naik dari 368 MW (136 m<sup>3</sup>/detik) menjadi 400 MW (148 m<sup>3</sup>/detik). Penulis yang ditugaskan menghitung *power*

*availability* untuk proyek Sorowako RKEF mengambil inisiatif untuk melakukan pengetesan pada kanal Larona tersebut.

Untuk menyakinkan kemampuan *Larona canal* mengalirkan air yang lebih banyak guna menghasilkan daya listrik yang lebih besar tersebut, maka pada tanggal 10 Juli 2019 dilakukan pengetesan untuk menguji kemampuan kontinyu PLTA Larona dari 165 MW menjadi 180 MW dan sekaligus menguji kemampuan *Larona canal* setelah dilakukan *canal lining*. Pemilihan pengetesan pada nilai 180 MW dikarenakan PLTA Larona sudah pernah dites pada kapasitas pembangkitan tersebut namun saat itu terdapat banyak luapan air yang keluar dari dinding kanal. Pengetesan kali ini juga bertujuan untuk membuktikan bahwa dengan dijalankan pada 180 MW setelah selesai proyek *canal lining*, tidak terjadi tumpahan di sekitar dinding luar kanal.

Operator departemen *utilities* menjalankan ketiga unit PLTA Larona sekitar 180 MW selama beberapa jam pada 10 Juli 2019 dibawah arahan dan pengawasan penulis. Pembagian daya diatur sedemikian rupa pada pengetesan tersebut sehingga PLTA Larona dapat menghasilkan daya sekitar 180 MW. Tabel 4.5 memperlihatkan data pembukaan *upper canal* dalam rangka untuk mempertahankan 180 MW yang dihasilkan oleh PLTA Larona. Penyesuaian pembukaan *upper canal* perlu dilakukan untuk mempertahankan ketinggian air di *lower canal* selama PLTA Larona menghasilkan listrik sekitar 180 MW. Adapun Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 memperlihatkan pembukaan pintu air *upper canal*.

Tabel 4.5. Pembukaan *Upper Canal* Dilakukan Untuk Mempertahankan Produksi Listrik 180 MW PLTA Larona.

Upper Canal Opening	Time Started	Time Finished	PEAK of Larona Power Generation	AVERAGE of Larona Power Generation	AVERAGE of Total Hydro Power Generation
135 cm	13:00	13:54	180.16 MW	162.21 MW	296.98 MW
140 cm	13:55	15:14	178.00 MW	168.27 MW	308.35 MW
145 cm	15:15	15:56	185.11 MW	178.60 MW	329.08 MW
150 cm	15:57	17:11	183.37 MW	175.04 MW	337.39 MW
145 cm	17:12	17:22	179.55 MW	174.13 MW	338.43 MW
140 cm	17:23	18:00	175.39 MW	164.61 MW	333.00 MW



Gambar 4.1. Pembukaan Pintu Air *Upper Canal (Canal Intake)* dari 135 cm ke 140 cm pada jam 13.55.



Gambar 4.2. Pembukaan Pintu Air *canal intake* ke posisi 150 cm pada jam 15.57 untuk mempertahankan 180 MW.

Dari data pengetesan tersebut didapatkan bahwa ketiga unit PLTA Larona dapat membangkitkan energi listrik 180 MW secara kontinyu jika pembukaan pintu air *upper* canal berada pada posisi 150 cm dari pembukaan maksimal 200 cm yang dapat dilakukan saat 2 pintu air dibuka.

Setelah pengujian 180 MW selesai dilakukan dari 13:00-17:22, tim *surveylance utilities* melakukan pengecekan disepanjang kanal dan tidak menemukan tumpahan air di sepanjang kanal, padahal ketika departemen *utilities* menguji PLTA Larona pada kapasitas 180 MW ditahun 2012 sebelum *canal lining* dilakukan, didapatkan ada banyak tumpahan air dan yang paling terlihat dapat ditemukan pada persimpangan # 20.



Gambar 4.3. Tidak ada tumpahan air pada crossing #20 selama pengetesan 180 MW selama beberapa jam.

Dengan berhasilnya pengetesan pembangkitan listrik 180 MW ketiga unit PLTA Larona tersebut, maka PTVI dapat membangkitkan listrik 116 MW dari

PLTA Balambano dan 104 MW dari PLTA Karebbe sehingga total pembangkitan dari PLTA adalah sebesar 400 MW dengan scenario *water balance*.

#### 4.3. Menentukan Jumlah Kekurangan Energi Listrik untuk Sorowako RKEF

Daftar pembangkitan listrik dan beban-beban listrik dapat dilihat pada Tabel 4.6 dari hasil perhitungan berdasarkan data koefisien pembangkitan terbaru, data pengaruh *canal lining*, data perkiraan pertumbuhan beban *existing auxiliary plant site* dan data perkiraan beban listrik untuk proyek Sorowako RKEF.

Tabel 4.6. Pembangkitan dan Beban PT Vale Indonesia Tahun 2020 & 2023

Power Generations & Loads	Water Balance (MW) - Option				PEAK (MW) - Water Unbalance & Equipment
	2020	2023 #1	2023 #2	2023 #3	
Larona	180	180	180	180	186.0
Balambano	116	116	116	116	140.0
Karebbe	104	104	104	104	127.4
<b>Total Hydro Power - Generated</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>453.4</b>
Transmission Line Losses (2%)	6.81	6.57	6.57	6.57	6.57
Hydro Aux Load	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
PLN - from Hydro	5	5	5	5	5
Government - from Hydro	3	3	3	3	3
<b>Total Hydro Power - Deducted .</b>	<b>15.3</b>	<b>15.1</b>	<b>15.1</b>	<b>15.1</b>	<b>15.1</b>
<b>Total Power Delivered to Plant Site</b>	<b>384.7</b>	<b>384.9</b>	<b>384.9</b>	<b>384.9</b>	<b>438.3</b>
Furnace	280	271	271	271	271
Auxiliary Load & Petea Line	45	45	45	45	45
PLN Soroako - from Aux Grid	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Electric Boiler	13	10	10	10	10
Furnace Bandwidth (Water Balance Spinning Reserve Setting)	20	20	5	5	5
Future Load	0	0	0	5	5
Saving of Power	0	0	0	(4)	(4)
<b>Total Load at PlanSite .</b>	<b>360.7</b>	<b>348.7</b>	<b>333.7</b>	<b>334.7</b>	<b>334.7</b>
Others Source (power plant)	0	0	19	20	0
<b>Other Power Plant</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>0</b>
<b>Total Power Generation</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>419</b>	<b>420</b>	<b>453.4</b>
<b>Total Loads and Losses</b>	<b>376.0</b>	<b>363.8</b>	<b>348.8</b>	<b>349.8</b>	<b>349.8</b>
<b>AVAILABLE POWER FOR RKEF (W/B)</b>	<b>24.0</b>	<b>36.2</b>	<b>70.2</b>	<b>70.2</b>	
<b>AVAILABLE POWER FOR RKEF (W/UB)</b>	<b>77.4</b>	<b>89.6</b>	<b>123.6</b>	<b>123.6</b>	<b>103.6</b>
<b>RKEF LOADS</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>70</b>
<b>Total Spinning Reserve WUB (MW)</b>	<b>27.4</b>	<b>40</b>	<b>58.6</b>	<b>58.6</b>	<b>38.6</b>
<b>Percentage of Spinning Reserve WUB (%)</b>	<b>6.0</b>	<b>8.7</b>	<b>12.9</b>	<b>12.9</b>	<b>8.5</b>

Dari Tabel 4.6. tersebut dapat diketahui jumlah tambahan daya listrik yang dibutuhkan adalah sebesar 20 MW. Kebutuhan tambahan pembangkitan listrik 20

MW ini adalah sehubungan dengan rencana kebutuhan tambahan 70 MW untuk Sorowako RKEF dan operasi rata-rata 4 buah *existing furnace* sebesar 271 MW yang diharapkan dapat menghasilkan 80 kT nikel. Adapun skenario pada 4 buah *existing furnace* dijalankan pada 280 MW adalah hanya pada saat tertentu saja dan tidak berlangsung lama sehingga bisa diatasi sementara dengan skenario PLTA *Water Unbalance*.

Terdapat juga usaha untuk menurunkan kebutuhan *steam*, sehingga diharapkan kebutuhan listrik *electric boiler* berkurang dari 13 MW menjadi 10 MW. Selain itu dengan pemasangan SPLC pada tiga *existing furnace* lainnya, diharapkan didapatkan pengurangan *furnace bandwidth* dari 20 MW menjadi 5 MW atau dengan kata lain terdapat pengurangan 15 MW. Proyek *energy saving* juga dilakukan dengan target dapat menghemat 4 MW. Namun selain itu terdapat pula tambahan beban baru sebesar 5 MW dari proyek-proyek sehubungan dengan lingkungan dan keberlangsungan produksi nikel.

#### **4.4. Pemilihan Kriteria untuk Seleksi Sumber Energi Listrik Pada Proyek Sorowako RKEF**

Dalam penelitian ini diasumsikan kriteria-kriteria yang telah diidentifikasi pada bab 2 tersebut memiliki independensitas masing-masing, walaupun kadang kala terdapat konflik antara kriteria-kriteria. Setelah melalui beberapa diskusi, ditetapkan bahwa kriteria yang sesuai untuk digunakan dalam pemilihan alternatif pembangkit listrik untuk Sorowako RKEF dan sesuai visi dan misi Vale adalah sebagai berikut:

##### **1. Biaya Listrik (*Tariff or LCOE*).**

Biaya listrik yang dimaksud dapat berupa LCOE untuk pembangkit listrik yang diproduksi sendiri oleh PT Vale Indonesia, dan dapat berupa Tarif listrik untuk pembangkit listrik yang diproduksi oleh perusahaan lain.

## 2. Sumber Pendanaan Biaya Investasi.

Pendanaan biaya investasi dapat berasal dari dana kas internal PT Vale Indonesia, dari dana pinjaman ataupun dari dana pihak ketiga yang membangun pembangkit listrik untuk PT Vale Indonesia dengan skema *leasing*.

## 3. Efek Gas Rumah Kaca.

Ketika menggunakan PLTD yang merupakan salah satu pembangkit listrik yang berbahan bakar minyak, maka permasalahan muncul dengan adanya emisi SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dan terutama CO<sub>2</sub> (gas rumah kaca). Pembangkit-pembangkit berbahan bakar minyak akan menghasilkan efek gas rumah kaca, sedangkan pembangkit listrik yang berasal dari energi baru dan terbarukan tidak memiliki efek gas rumah kaca ataupun efek gas rumah kacanya sangat kecil.

## 4. Ketersediaan Sumber Daya / bahan bakar.

Pembangkit listrik tenaga air memiliki keterbatasan atas debit air yang ada, adapun pembangkit listrik tenaga surya memiliki keterbatasan atas *solar irradiance* pada suatu daerah.

## 5. Efek ke Sistem Operasi *Process Plant (Furnace, Kiln, Dryer)* dan *Utilities*.

Pembangkit listrik yang dihasilkan boleh jadi lebih murah namun bisa saja memberikan dampak pada sistem operasi *Process Plant (Furnace, Kiln, Dryer)* dan *Utilities* pada saat konstruksi ataupun operasional serta perawatan.

## 6. Durasi Proyek

Proyek perlu diselesaikan pada saat waktu tertentu sehingga dapat digunakan sesuai tujuan diadakannya proyek tersebut.

### **4.5. Pemilihan Alternatif untuk Seleksi Sumber Energi Listrik untuk Proyek Sorowako RKEF**

Pada awalnya beberapa alternatif penyediaan sumber energi listrik untuk proyek Sorowako RKEF didapatkan dari beberapa data studi, penelitian dan potensi yang ada. Diantara alternatif awal tersebut adalah PLTD, PLTS, ORC, PLTA, PLTB, dan Interkoneksi dengan PLN.

Dari penjelasan pada sub bab 4.3 diketahui bahwa besar energi listrik tambahan yang dibutuhkan untuk proyek RKEF adalah 20 MW. Selain itu, dengan

penjelasan dari data yang diperlihatkan pada bab 2, dapat disimpulkan bahwa hanya ada 4 alternatif yang dapat dilanjutkan sebagai alternatif sumber energi listrik untuk proyek Sorowako RKEF. Keempat alternatif tersebut adalah PLTD, PLTS, ORC, dan PLTA. Adapun 2 alternatif lainnya yaitu PLTB dan Interkoneksi ke PLN dikeluarkan dari alternatif dengan pertimbangan yang dijelaskan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Seleksi Awal Alternatif Sumber Energi Listrik Untuk Proyek Sorowako RKEF.

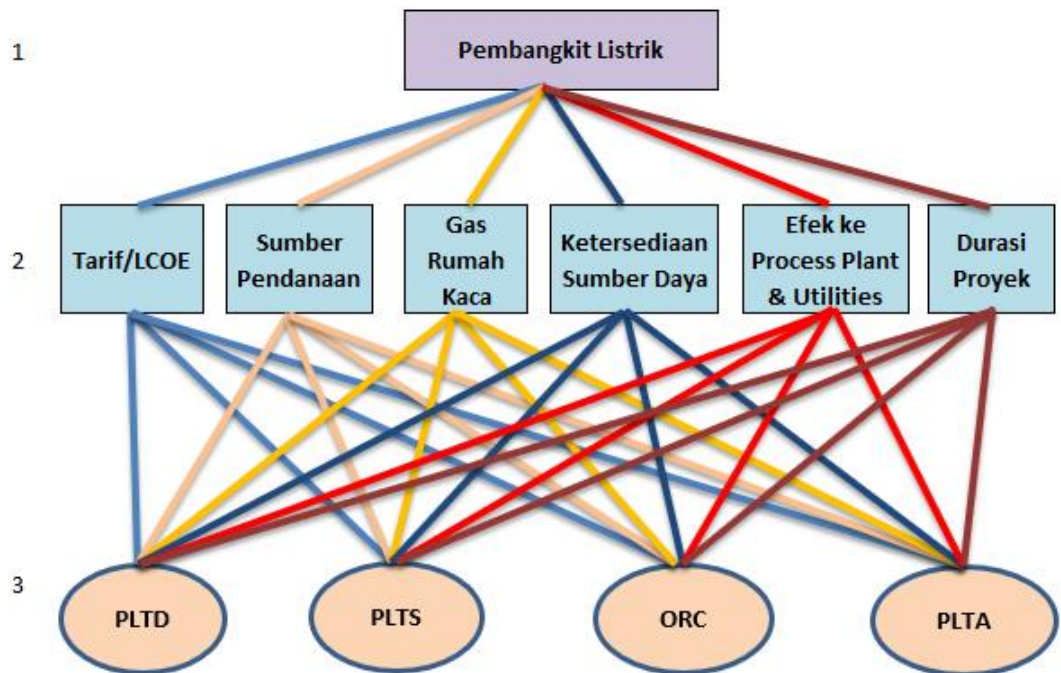
No	Alternatif	Seleksi Awal	Penjelasan
1	PLTD	Diterima	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PLTD masih digunakan di PT Vale Indonesia untuk batasan waktu kurang dari 1000 jam per tahun.</li> <li>- Dapat menyuplai 20 MW dengan mudah.</li> <li>- Masalah NOx bisa diatas dengan pemasangan SCR</li> </ul>
2	PLTS	Diterima	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tehnologi sudah sangat terbukti</li> <li>- Dapat menyuplai 20 MW sepanjang hari tanpa baterai yaitu dengan kombinasi <i>water saving</i> di dam Balambano.</li> <li>- Tidak ada masalah dengan lingkungan</li> </ul>
3	ORC	Diterima	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tehnologi sudah diterapkan di beberapa perusahaan sejenis</li> <li>- Dapat menyuplai 20 MW</li> <li>- Tidak ada masalah dengan lingkungan</li> </ul>
4	PLTA	Diterima	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saat ini PLTA digunakan oleh PT Vale Indonesia.</li> <li>- Dapat menyulai 20 MW dengan memilih PLTA Petea, PLTA Mahalona dan PLTA Patingko. Jika dibandingkan dengan opsi PLTA lainnya, PLTA-PLTA tersebut juga masih berada di dalam kawasan COW PT Vale Indonesia</li> <li>- Tidak ada masalah dengan lingkungan</li> </ul>
5	PLTB	DITOLAK	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tehnologi sudah diterapkan dibanyak tempat</li> <li>- Sulit untuk menyuplai 20 MW dengan kecepatan angin yang hanya 1.2 - 1.44 m/detik.</li> <li>- Tidak ada masalah dengan lingkungan, namun akan kesulitan mendapatkan lokasi untuk 200 - 1200 turbin.</li> </ul>



6	PLN	DITOLAK	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hal yang umum adalah membeli listrik dari PLN</li> <li>- Sulitnya membangun jalur transmisi karena akan melewati wilayah pertambangan yang dimiliki perusahaan lain.</li> <li>- Alternatif interkoneksi PLN ini memiliki kompleksitas yang tinggi disebabkan oleh kompleksnya sistem pembangkitan PLN yang terdiri atas banyaknya jenis pembangkit listrik sehingga mempersulit dalam penilaian pada kriteria efek gas rumah kaca, dan ketersediaan sumber daya alam.</li> </ul>
---	-----	---------	---

#### 4.6. Hirarki

Dengan didaptkannya kriteria dan alternatif untuk menentukan pembangkit listrik Sorowako RKEF, maka dapat dibuatkan hirarki sebagaimana terlihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Skema *Analytic Hierarchy Process* Untuk Seleksi Alternatif Pembangkit Listrik

#### 4.7. Perbandingan Tingkat Kepentingan Kriteria

Setelah diputuskan akan digunakannya 6 kriteria terpilih, maka selanjutnya dilakukan perbandingan tingkat kepentingan kriteria. Pada Pemilihan tingkat kepentingan kriteria yang diperkirakan akan paling berpengaruh dalam penilaian alternatif, para responden yang akan melakukan penilaian pada kuisioner dapat menjadikan tabel 4.8 tersebut sebagai acuan. Setidaknya 10 orang tenaga ahli dibidang kelistrikan dan manajemen daya kelistrikan yang akan mengisi kuisioner tersebut.

Tabel 4.8. Kriteria untuk Pemilihan Alternatif Pembangkit 20 MW

Kriteria		Penjelasan
A	Biaya Listrik	<b>Biaya Listrik (Tariff or LCOE)</b>
		Biaya yang dikeluarkan untuk membangkitkan listrik per kWh atau membeli listrik per kWh.
B	Pendanaan	<b>Sumber Pendanaan Biaya Investasi (Funding Source of Investment Cost)</b>
		Sumber pendanaan untuk membangun pembangkit listrik baru, atau mengaktifkan pembangkit listrik lama yang mengalami kendala batasan durasi operasi. Apakah dari Sumber Dana kas Internal Perusahaan, Pinjaman atau Pembangkit Listrik didanai sepenuhnya oleh Perusahaan Swasta yang akan menjual listrik ke PT Vale
C	GRK	<b>Gas Rumah Kaca (Green House Gases)</b>
		Emisi gas yang dihasilkan oleh proses pembangkitan listrik pada setiap alternatif pembangkit listrik yang akan dipilih, khususnya emisi gas CO <sub>2</sub> atau CO <sub>2</sub> equivalent , yang dapat meningkatkan pemanasan global.
D	Sumber Daya	<b>Ketersediaan Sumber Daya (Availability of Resources/Fuel)</b>
		Ketersediaan sumber daya sebagai sumber untuk pembangkitan energi listrik, dapat berupa Fuel HSD, Air, Cahaya matahari, gas buang dari process plant (Furnace, Kiln, Dryer).
E	Efek ke Sistem	<b>Efek ke Sistem Operasi Process Plant (Furnace, Kiln, Dryer) dan Utilities</b>
		Pengaruh pengerjaan proyek dan operasional pembangkit listrik pada kestabilan sistem (proses) yang terjadi di departement process plant (Furnace, Kiln, Dryer) dan departement Utilities (power system stability).
F	Durasi Proyek	<b>Durasi Proyek (Project Duration or Gestation)</b>
		Lama penyelesaian pembangkit listrik mulai dari studi kelayakan sampai proyek selesai dan pembangkit listrik dapat membangkitkan listrik

Tabel 4.9. Skala Perbandingan Berpasangan

<b>Intensitas Pentingnya</b>	<b>Definisi</b>
1	Kedua elemen <b>sama pentingnya</b>
2	Nilai antara dua nilai pertimbangan yang berdekatan ( <b>nilai ragu-ragu antara nilai 1 dan 3</b> )
3	Elemen yang satu <b>sedikit lebih penting</b> ketimbang lainnya
4	Nilai antara dua nilai pertimbangan yang berdekatan ( <b>nilai ragu-ragu antara nilai 3 dan 5</b> )
5	Elemen yang satu <b>sangat penting</b> ketimbang lainnya
6	Nilai antara dua nilai pertimbangan yang berdekatan ( <b>nilai ragu-ragu antara nilai 5 dan 7</b> )
7	Elemen yang satu <b>jelas lebih penting</b> ketimbang lainnya
8	Nilai antara dua nilai pertimbangan yang berdekatan ( <b>nilai ragu-ragu antara nilai 7 dan 9</b> )
9	Elemen yang satu <b>mutlak lebih penting</b> ketimbang lainnya

Untuk menyamakan pemahaman dan prosedur, maka peneliti memberikan petunjuk pengisian kuisioner pembobotan sebagai berikut:

1. Pembobotan dilakukan dengan perbandingan berpasangan, yaitu membandingkan kriteria penilaian di sebelah kiri dengan kriteria penilaian di sebelah kanan. Penilaian perbandingan tersebut menggunakan Tabel 4.9 sebagai acuan.
2. Pengisian pada Tabel 4.10, jika kriteria sebelah kiri dianggap lebih penting daripada kriteria sebelah kanan maka kolom penilaian sebelah kiri dipilih/diisi dan kolom sebelah kanan tidak perlu diisi lagi. Sebaliknya, kolom penilaian sebelah kanan dipilih/diisi jika kriteria sebelah kanan dianggap lebih tinggi dari kriteria sebelah kiri.
3. Responden diminta untuk melingkari (O) pada angka yang sesuai dengan arti penilaian berikut.

Tabel 4.10. Perbandingan Berpasangan Antara Kriteria.

Kriteria		Penilaian																	Kriteria	
A	Biaya Listrik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B	Pendanaan
A	Biaya Listrik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C	GRK
A	Biaya Listrik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D	Sumber Daya
A	Biaya Listrik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E	Efek ke Sistem
A	Biaya Listrik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F	Durasi Proyek
B	Pendanaan	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C	GRK
B	Pendanaan	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D	Sumber Daya
B	Pendanaan	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E	Efek ke Sistem
B	Pendanaan	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F	Durasi Proyek
C	GRK	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D	Sumber Daya
C	GRK	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E	Efek ke Sistem
C	GRK	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F	Durasi Proyek
D	Sumber Daya	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E	Efek ke Sistem
D	Sumber Daya	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F	Durasi Proyek
E	Efek ke Sistem	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F	Durasi Proyek

Dari data kuisioner tersebut nantinya akan diseleksi terlebih dahulu menggunakan metode AHP untuk mendapatkan nilai CR. Data responden baik pada perbandingan kepentingan kriteria maupun perbandingan kepentingan alternatif berdasarkan kriteria harus memenuhi syarat uji konsistensi  $\leq 10\%$  pada seluruh 7 kuisioner jika akan dilanjutkan pada metode perhitungan FAHP. Hasil FAHP nantinya akan memperlihatkan perankingan pada perbandingan kriteria dan perbandingan alternatif sehingga akan diketahui kriteria terbaik dan alternatif terbaik berdasarkan kriteria yang berbeda-beda.

#### 4.8. Perbandingan Tingkat Kepentingan Alternatif

Kebutuhan listrik tambahan adalah rata-rata 20 MW dan sekitar 159,432 MWh per tahun jika mengacu pada *capacity utilization factor* 0.91. Alternatif pembangkit listrik tersebut perlu memiliki *capacity utilization factor* yang baik karena *existing furnace* akan dijalankan pada rata-rata 271 MW selama 333 hari atau memiliki *capacity utilization factor* 0.91.

Langkah yang sama pada sub bab 4.7 akan dilakukan juga pada sub bab 4.8 ini. Berdasarkan hasil seleksi awal yang dijelaskan pada sub bab 4.4, diketahui

bahwa terdapat 4 alternatif pembangkit listrik yang sesuai untuk mendapatkan tambahan energi listrik pada Sorokao RKEF tersebut, yaitu:

- I. PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel)
- II. PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)
- III. ORC (*Organic Rankine Cycle*)
- IV. PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air)

Setiap alternatif yang telah dijelaskan pada bab II akan dibandingkan dengan alternatif lainnya berdasarkan 6 kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya. Penilaian seberapa pentingnya suatu alternatif dibandingkan alternatif dilakukan dengan metode yang sama pada penilaian tingkat kepentingan kriteria yang berbeda-beda tetap akan menggunakan Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Perbandingan berpasangan antara Alternatif berdasarkan Kriteria

Alternatif		Penilaian																	Alternatif	
I	PLTD	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II	PLTS
I	PLTD	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	ORC
I	PLTD	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	PLTA
II	PLTS	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	ORC
II	PLTS	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	PLTA
III	ORC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	PLTA

Tabel tersebut akan digunakan untuk perbandingan berpasangan antar alternatif berdasarkan beberapa kriteria yang telah ditentukan sebelumnya.

Terdapat 6 perbandingan berpasangan antara alternatif berdasarkan kriteria, yaitu:

1. Perbandingan berpasangan alternatif berdasarkan kriteria A (Biaya Listrik).
2. Perbandingan berpasangan alternatif berdasarkan kriteria B (Pendanaan).
3. Perbandingan berpasangan alternatif berdasarkan kriteria C (Gas Rumah Kaca - GRK).
4. Perbandingan berpasangan alternatif berdasarkan kriteria D (Sumber Daya).
5. Perbandingan berpasangan alternatif berdasarkan kriteria E (Efek ke Sistem).
6. Perbandingan berpasangan alternatif berdasarkan kriteria F (Durasi Proyek).



## BAB V

### ANALISA PEMILIHAN ALTERNATIF PEMBANGKIT LISTRIK

#### 5.1. Hasil Pemeriksaan Awal Konsistensi Rasio pada Kuisoner

Data hasil kuisoner awal kemudian diolah untuk mengetahui nilai uji konsistensi pada setiap kuisoner yang diisi oleh setiap responden.

Tabel 5.1. Rekapitulasi Awal Hasil Uji Konsistensi Kriteria dan Alternatif

No	Responden	CR - Kriteria	CR - Alternatif						Keterangan
			A Harga Listrik	B Dana	C GRK	D Sumber Daya	E Efek ke Sistem	F Durasi Proyek	
1	BS	8.6%	15.3%	4.9%	0.0%	6.8%	4.0%	4.5%	Dilakukan diskusi terhadap Perbandingan alternatif yang memiliki CR > 10%
2	AP	19.0%	13.8%	70.7%	4.5%	26.1%	35.7%	33.9%	Dilakukan diskusi terhadap Perbandingan kriteria dan perbandingak alternatif yang memiliki CR > 10%
3	MI	9.9%	11.7%	17.3%	0.0%	8.1%	13.4%	11.6%	Dilakukan diskusi terhadap Perbandingan alternatif yang memiliki CR > 10%
4	IH	30.9%	50.5%	43.1%	0.0%	19.8%	0.0%	49.8%	respon kurang percaya dengan hasil CR , sehingga tidak dilakukan diskusi lanjut.
5	AR	16.1%	14.7%	7.9%	0.0%	11.4%	9.6%	8.6%	Dilakukan diskusi terhadap Perbandingan kriteria dan perbandingak alternatif yang memiliki CR > 10%
6	RS	8.8%	13.1%	6.5%	4.5%	13.0%	11.5%	3.8%	Dilakukan diskusi terhadap Perbandingan alternatif yang memiliki CR > 10%
7	SF	39.2%	24.9%	35.2%	14.5%	24.8%	11.8%	55.4%	Tidak merespon untuk melakukan diskusi pada semua CR > 10%
8	JB (Australian)	9.3%	114.0%	24.4%	44.0%	63.8%	34.2%	36.1%	Ekipat, Terlalu sibuk dan lama merespon permintaan, sehingga tidak terjadi diskusi pada CR yang > 10%
9	RB (Indian)	16.6%	11.8%	62.6%	2.2%	4.6%	61.1%	6.2%	Ekipat, Terlalu sibuk dan lama merespon permintaan, sehingga tidak terjadi diskusi pada CR yang > 10%
10	SW (New Zealand)	11.5%	6.3%	4.9%	6.7%	3.8%	1.0%	0.7%	Dilakukan diskusi terhadap Perbandingan kriteria yang memiliki CR > 10%

Hasil pengujian konsistensi memperlihatkan masih banyaknya perbandingan kriteria dan perbandingan alternatif berdasarkan kriteria yang tidak lolos uji

konsistensi. Untuk itu penulis melakukan diskusi lanjutan dengan responden terhadap kuisoner yang memiliki nilai CR > 10%. Beberapa responden bersedia untuk melakukan diskusi lanjut, namun beberapa responden tidak dapat melakukan diskusi lanjut.

## 5.2. Hasil Akhir Kuisoner Penilaian Tingkat Kepentingan pada Kriteria

### 5.2.1. Penilaian Uji Konsistensi per Responden

Setelah dilakukan diskusi lanjutan, kemudian data hasil kuisoner tersebut diuji konsistensinya kembali, dan perhitungannya dapat dilihat pada Lampiran A. Hasil rekapitulasi uji konsistensi untuk tingkat kepentingan kriteria dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Rekapitulasi Uji Konsistensi Tingkat Kepentingan Kriteria

Responden	$\lambda$ Maks	CI	RI	CR	Keterangan
K1	6.534	0.107	1.24	8.6%	Konsisten
K2	6.595	0.119	1.24	9.6%	Konsisten
K3	6.616	0.123	1.24	9.9%	Konsisten
K4	7.918	0.384	1.24	30.9%	TIDAK konsisten
K5	6.576	0.115	1.24	9.3%	Konsisten
K6	6.549	0.110	1.24	8.9%	Konsisten
K7	8.428	0.486	1.24	39.2%	TIDAK konsisten
K8	6.579	0.116	1.24	9.3%	Konsisten
K9	7.033	0.207	1.24	16.7%	TIDAK konsisten
K10	6.590	0.118	1.24	9.5%	Konsisten

Berdasarkan Tabel 5.2 diketahui bahwa terdapat 3 kuisoner yaitu yang diisi oleh responden 4, responden 7 dan responden 9 dinyatakan tidak lolos uji konsistensi karena memiliki nilai CR > 10 %.

### 5.2.2. Penilaian Uji Konsistensi dengan Penerapan Langsung Rata-rata Geometrik Pada Seluruh Responden

Jika pada sub bab 5.2.1 dilakukan pengujian uji konsistensi pada setiap kuisoner masing-masing responden yang telah diperbaiki melalui diskusi lanjutan, maka pada sub bab 5.2.2 ini penulis mencoba melakukan penilaian uji konsistensi kuisoner terhadap data kuisoner yang telah diperbaiki oleh responden tersebut dengan penerapan langsung rata-rata geometrik pada data kuisoner seluruh



responden untuk pemilihan tingkat kepentingan kriteria tanpa mengecek apakah hasil kuisioner setiap responden telah lolos uji konsistensi atau tidak.

Hal ini dilakukan untuk mengetahui langkah mana yang lebih tepat dilakukan, apakah harus menguji konsistensi data setiap kuisioner terlebih dahulu ataukah juga bisa dengan langsung menguji data rata-rata geometrik seluruh kuisioner. Tabel 5.3 memperlihatkan data matriks perbandingan dari hasil penerapan langsung rata-rata geometrik yang dihitung dengan menggunakan persamaan 2.17.

Tabel 5.3. Matriks Perbandingan Berpasangan Rata-rata Geometrik Responden – Perbandingan Kriteria Tanpa Pengecekan *Consistensi Ratio*

Kriteria	A Harga Listrik	B Dana	C GRK	D Sumber Daya	E Efek ke Sistem	F Durasi Proyek
A - Harga Listrik	1.000	3.812	0.714	0.905	0.574	3.075
B - Dana	0.262	1.000	0.428	0.332	0.271	1.157
C - GRK	1.401	2.334	1.000	1.193	1.161	3.912
D - Sumber Daya	1.105	3.013	0.838	1.000	0.902	4.833
E - Efek ke Sistem	1.742	3.692	0.861	1.108	1.000	4.303
F - Durasi Proyek	0.325	0.865	0.256	0.207	0.232	1.000
Jumlah	5.836	14.716	4.097	4.745	4.140	18.280

Kemudian melakukan normaliasi dengan menggunakan persamaan 2.2, selanjutnya menjumlahkan isi setiap kolom dalam satu baris, yang kemudian dibagi dengan bilangan ordo matriks untuk mendapatkan matrik AR.

Tabel 5.4. Menghitung Nilai Eigen Value - Perbandingan Kriteria Tanpa Pengecekan *Consistensi Ratio*

Kriteria	Nilai
A - Harga Listrik	6.089
B - Dana	6.033
C - GRK	6.084
D - Sumber Daya	6.081
E - Efek ke Sistem	6.108
F - Durasi Proyek	6.077
( $\lambda$ maks)	6.079

Kemudian mencari nilai *consistency index* dengan menggunakan persamaan 2.5, sehingga didapatkan:

$$CI = (6,079 - 6) / (6-1)$$

$$= 0,016$$

Setelah itu mencari *consistency ratio* dengan menggunakan persamaan 2.6, dimana *random index* untuk matrik ordo 6 adalah bernilai 1,24.

$$CR = 0,016 / 1,24$$

$$= 1,3 \%$$

Dari nilai CR 1,3 % tersebut dapat diketahui bahwa ketika data kuisioner dari seluruh responden langsung di rata-rata geometrik kan, maka ternyata nilai CR nya adalah 1,3 % atau dinyatakan lolos uji konsistensi karena  $CR \leq 10 \%$ . Hal ini tentunya bertentangan dengan hasil yang diperlihatkan pada Tabel 5.2 dimana terdapat 3 data kuisioner dari 3 responden yang tidak lolos uji konsistensi karena memiliki nilai  $CR > 10\%$ .

Untuk itu penulis berpendapat bahwa sudah selayaknya yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah melakukan uji konsistensi pada setiap data kuisioner dari setiap responden, karena pada dasarnya konsistensi yang diuji adalah konsistensi pengisian kuisioner yang dilakukan oleh setiap responden. Penggabungan langsung data melalui rata-rata geometrik tanpa mengetahui apakah data-data setiap responden tersebut memiliki  $CR \leq 10\%$  atau  $CR > 10\%$  akan menyebabkan bergabungnya data yang layak digunakan dan kurang layak digunakan.

Bahkan penulis mencoba menggabungkan 3 data kuisioner responden yang masing-masing memiliki  $CR > 10\%$  yaitu data responden 4, responden 7 dan responden 9 sebagaimana terlihat pada pada Tabel 5.2, sehingga didapatkan matriks berpasangan rata-rata geometrik pada Tabel 5.5. Ternyata dari penggabungan langsung secara rata-rata geometrik dari ketiga responden tersebut didapatkan nilai  $CR \leq 10\%$  sebagaimana diperlihatkan pada perhitungan dibawah ini.

Tabel 5.5. Matriks Perbandingan Berpasangan Rata-rata Geometrik 3 Responden Yang Memiliki CR > 10%

Kriteria	A Harga Listrik	B Dana	C GRK	D Sumber Daya	E Efek ke Sistem	F Durasi Proyek
A - Harga Listrik	1.000	6.214	1.101	1.624	1.913	3.659
B - Dana	0.161	1.000	0.329	0.147	0.556	0.693
C - GRK	0.909	3.037	1.000	0.874	1.387	2.714
D - Sumber Daya	0.616	6.804	1.145	1.000	1.710	6.257
E - Efek ke Sistem	0.523	1.800	0.721	0.585	1.000	3.979
F - Durasi Proyek	0.273	1.442	0.368	0.160	0.251	1.000
Jumlah	3.481	20.298	4.664	4.389	6.816	18.303

Kemudian melakukan normalisasi dengan menggunakan persamaan 2.2, selanjutnya menjumlahkan isi setiap kolom dalam satu baris, yang kemudian dibagi dengan bilangan ordo matriks untuk mendapatkan matrik AR.

Tabel 5.6. Menghitung Nilai Eigen Value - 3 Responden Yang Memiliki CR > 10%

Kriteria	Nilai
A - Harga Listrik	6.267
B - Dana	6.115
C - GRK	6.168
D - Sumber Daya	6.262
E - Efek ke Sistem	6.211
F - Durasi Proyek	6.129
( $\lambda$ maks)	6.192

Kemudian mencari nilai *consistency index* dengan menggunakan persamaan 2.5, sehingga didapatkan:

$$CI = (6,192 - 6) / (6-1)$$

$$= 0,038$$

Setelah itu mencari *consistency ratio* dengan menggunakan persamaan 2.6, dimana *random index* untuk matrik ordo 6 adalah bernilai 1,24.

$$CR = 0,038 / 1,24$$

$$= 3,1 \%$$

Ternyata dengan menggabungkan secara langsung 3 data yang memiliki CR > 10% melalui rata-rata geometrik, didapatkan bahwa CR dari data gabungan tersebut lolos uji konsistensi karena memiliki CR  $\leq$  10%. Tentunya hal ini semakin mempertegas bahwa sudah seharusnya setiap data responden harus diuji konsistensinya terlebih dahulu sebelum ditentukan apakah layak untuk digunakan lebih lanjut atau tidak.

Dengan memperhatikan hasil perhitungan-perhitungan tersebut, penulis memutuskan untuk melakukan uji konsistensi pada seluruh data kuisioner dari setiap responden yang akan dilakukan pada sub bab 5.3, dan hanya data responden yang lolos pada seluruh uji konsistensi yang akan digunakan lebih lanjut pada proses Fuzzy AHP pada bab 5.5.

### **5.3. Hasil Kuisioner Tingkat Kepentingan Alternatif Berdasarkan Kriteria.**

Terdapat 6 kriteria yang akan digunakan untuk melakukan perbandingan tingkat kepentingan terhadap 4 alternatif pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik tambahan 20 MW pada proyek Sorowako RKEF.

#### **5.3.1. Hasil Kuisioner Tingkat Kepentingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A (Tarif Listrik atau LCOE).**

Data hasil kuisioner dan perhitungannya dapat dilihat pada Lampiran B. Hasil rekapitulasi uji konsistensi untuk tingkat kepentingan alternatif berdasarkan kriteria tarif atau LCOE dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Berdasarkan tabel 5.7 diketahui bahwa terdapat 4 kuisioner yaitu yang diisi oleh responden 4, responden 7, responden 8 dan responden 9 dinyatakan tidak lolos uji konsistensi karena memiliki nilai CR > 10 %.

Tabel 5.7. Rekapitulasi Uji Konsistensi Tingkat Kepentingan Berdasarkan Kriteria A (Tarif Listrik atau LCOE)

Responden	$\lambda$ Maks	CI	RI	CR	Keterangan
A1	4.219	0.073	0.90	8.1%	Konsisten
A2	4.173	0.058	0.90	6.4%	Konsisten
A3	4.199	0.066	0.90	7.4%	Konsisten
A4	5.364	0.455	0.90	50.5%	TIDAK konsisten
A5	4.228	0.076	0.90	8.4%	Konsisten
A6	4.169	0.056	0.90	6.3%	Konsisten
A7	4.673	0.224	0.90	24.9%	TIDAK konsisten
A8	7.079	1.026	0.90	114.1%	TIDAK konsisten
A9	4.320	0.107	0.90	11.9%	TIDAK konsisten
A10	4.171	0.057	0.90	6.3%	Konsisten

### 5.3.2. Hasil Kuisioner Tingkat Kepentingan Alternatif Pembangkit Listrik Berdasarkan Kriteria B (Sumber Pendanaan)

Data hasil kuisioner dan perhitungannya dapat dilihat pada Lampiran B. Hasil rekapitulasi uji konsistensi untuk tingkat kepentingan alternatif berdasarkan kriteria sumber pendanaan dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8. Rekapitulasi Uji Konsistensi Tingkat Kepentingan Berdasarkan Kriteria B (Sumber Pendanaan).

Responden	$\lambda$ Maks	CI	RI	CR	Keterangan
B1	4.133	0.044	0.90	4.9%	Konsisten
B2	4.178	0.059	0.90	6.6%	Konsisten
B3	4.201	0.067	0.90	7.4%	Konsisten
B4	5.165	0.388	0.90	43.2%	TIDAK konsisten
B5	4.213	0.071	0.90	7.9%	Konsisten
B6	4.178	0.059	0.90	6.6%	Konsisten
B7	4.953	0.318	0.90	35.3%	TIDAK konsisten
B8	4.659	0.220	0.90	24.4%	TIDAK konsisten
B9	5.690	0.563	0.90	62.6%	TIDAK konsisten
B10	4.135	0.045	0.90	5.0%	Konsisten

Berdasarkan Tabel 5.8 diketahui bahwa terdapat 4 kuisioner yang diisi oleh responden 4, responden 7, responden 8 dan responden 9 yang dinyatakan tidak lolos uji konsistensi karena memiliki nilai  $CR > 10\%$ .

### 5.3.3. Hasil Kuisioner Tingkat Kepentingan Alternatif Pembangkit Listrik Berdasarkan Kriteria C (Gas Rumah Kaca)

Data hasil kuisioner dan perhitungannya dapat dilihat pada Lampiran B. Hasil rekapitulasi uji konsistensi untuk tingkat kepentingan alternatif berdasarkan kriteria efek gas rumah kaca dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9. Rekapitulasi Uji Konsistensi Tingkat Kepentingan Berdasarkan Kriteria C (Gas Rumah Kaca).

Responden	$\lambda$ Maks	CI	RI	CR	Keterangan
C1	4.000	0.000	0.90	0.0%	Konsisten
C2	4.122	0.041	0.90	4.5%	Konsisten
C3	4.000	0.000	0.90	0.0%	Konsisten
C4	4.000	0.000	0.90	0.0%	Konsisten
C5	4.000	0.000	0.90	0.0%	Konsisten
C6	4.122	0.041	0.90	4.5%	Konsisten
C7	4.392	0.131	0.90	14.5%	TIDAK konsisten
C8	5.188	0.396	0.90	44.0%	TIDAK konsisten
C9	4.062	0.021	0.90	2.3%	Konsisten
C10	4.182	0.061	0.90	6.8%	Konsisten

Berdasarkan Tabel 5.9 diketahui bahwa terdapat 2 kuisioner yaitu yang diisi oleh responden 7 dan responden 8 dinyatakan tidak lolos uji konsistensi karena memiliki nilai  $CR > 10\%$ .

### 5.3.4. Hasil Kuisioner Tingkat Kepentingan Alternatif Pembangkit Listrik Berdasarkan Kriteria D (Ketersediaan Sumber Daya).

Data hasil kuisioner dan perhitungannya dapat dilihat pada Lampiran B. Hasil rekapitulasi uji konsistensi untuk tingkat kepentingan alternatif berdasarkan kriteria ketersediaan sumber daya dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Berdasarkan Tabel 5.10 diketahui bahwa terdapat 3 kuisioner yang diisi oleh responden 4, responden 7, dan responden 8 dinyatakan tidak lolos uji konsistensi karena memiliki nilai  $CR > 10\%$ .

Tabel 5.10. Rekapitulasi Uji Konsistensi Tingkat Kepentingan Berdasarkan Kriteria D (Ketersediaan Sumber Daya)

Responden	$\lambda$ Maks	CI	RI	CR	Keterangan
D1	4.184	0.061	0.90	6.8%	Konsisten
D2	4.154	0.051	0.90	5.7%	Konsisten
D3	4.219	0.073	0.90	8.1%	Konsisten
D4	4.537	0.179	0.90	19.9%	TIDAK konsisten
D5	4.231	0.077	0.90	8.6%	Konsisten
D6	4.165	0.055	0.90	6.1%	Konsisten
D7	4.332	0.111	0.90	12.3%	TIDAK konsisten
D8	5.723	0.574	0.90	63.8%	TIDAK konsisten
D9	4.127	0.042	0.90	4.7%	Konsisten
D10	4.105	0.035	0.90	3.9%	Konsisten

### 5.3.5. Hasil Kuisioner Tingkat Kepentingan Alternatif Pembangkit Listrik Berdasarkan Kriteria E (Efek Pada Sistem Operasi *Process Plant* dan *Utilities*).

Data hasil kuisioner dan perhitungan untuk mendapatkan nilai uji konsistensi dapat dilihat pada Lampiran B. Hasil rekapitulasi uji konsistensi untuk tingkat kepentingan alternatif berdasarkan kriteria efek ke sistem operasi *process plant* dan *utilities* dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11. Rekapitulasi Uji Konsistensi Tingkat Kepentingan Berdasarkan Kriteria E (Efek ke Sistem Operasi *Process Plant* dan *Utilities*).

Responden	$\lambda$ Maks	CI	RI	CR	Keterangan
E1	4.110	0.037	0.90	4.1%	Konsisten
E2	4.254	0.085	0.90	9.4%	Konsisten
E3	4.219	0.073	0.90	8.1%	Konsisten
E4	4.000	0.000	0.90	0.0%	Konsisten
E5	4.260	0.087	0.90	9.6%	Konsisten
E6	4.216	0.072	0.90	8.0%	Konsisten
E7	4.320	0.107	0.90	11.8%	TIDAK konsisten
E8	4.926	0.309	0.90	34.3%	TIDAK konsisten
E9	5.650	0.550	0.90	61.1%	TIDAK konsisten
E10	4.028	0.009	0.90	1.0%	Konsisten

Berdasarkan Tabel 5.11 diketahui bahwa terdapat 3 kuisoner yaitu yang diisi oleh responden 7, responden 8 dan responden 9 dinyatakan tidak lolos uji konsistensi karena memiliki nilai  $CR > 10\%$ .

### 5.3.6. Hasil Kuisoner Tingkat Kepentingan Alternatif Pembangkit Listrik Berdasarkan Kriteria F (Durasi Proyek).

Data hasil kuisoner dan perhitungannya dapat dilihat pada lampiran B. Hasil rekapitulasi uji konsistensi untuk tingkat kepentingan alternatif berdasarkan kriteria durasi proyek dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12. Rekapitulasi Uji Konsistensi Tingkat Kepentingan Berdasarkan Kriteria F (Durasi Proyek).

Responden	$\lambda$ Maks	CI	RI	CR	Keterangan
F1	4.123	0.041	0.90	4.5%	Konsisten
F2	4.223	0.074	0.90	8.2%	Konsisten
F3	4.181	0.060	0.90	6.7%	Konsisten
F4	5.345	0.448	0.90	49.8%	TIDAK konsisten
F5	4.234	0.078	0.90	8.7%	Konsisten
F6	4.103	0.034	0.90	3.8%	Konsisten
F7	5.496	0.499	0.90	55.4%	TIDAK konsisten
F8	4.977	0.326	0.90	36.2%	TIDAK konsisten
F9	4.168	0.056	0.90	6.2%	TIDAK konsisten
F10	4.021	0.007	0.90	0.8%	Konsisten

Berdasarkan Tabel 5.12 diketahui bahwa terdapat kuisoner yaitu yang diisi oleh responden 4, responden 7, dan responden 8 dinyatakan tidak lolos uji konsistensi karena memiliki nilai  $CR > 10\%$ .

### 5.4. Rekapitulasi Uji Konsistensi Data Kuisoner Responden

Data yang telah didapatkan dari setiap uji konsistensi terhadap perbandingan tingkat kepentingan kriteria dan perbandingan tingkat kepentingan alternatif berdasarkan kriteria berbeda-beda dapat dilihat pada Tabel 5.13.



Tabel 5.13. Rekapitulasi Uji Konsistensi Kriteria dan Alternatif

No	Responden	CR - Kriteria	CR - Alternatif						Keterangan
			A Harga Listrik	B Dana	C GRK	D Sumber Daya	E Efek ke Sistem	F Durasi Proyek	
1	BS	8.6%	8.1%	4.9%	0.0%	6.8%	4.1%	4.5%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP
2	AP	9.6%	6.4%	6.6%	4.5%	5.7%	9.4%	8.2%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP
3	MI	9.9%	7.4%	7.4%	0.0%	8.1%	8.1%	6.7%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP
4	IH	30.9%	50.5%	43.2%	0.0%	19.9%	0.0%	49.8%	Sebagian Besar Hasil Uji Konsistensi DITOLAK, TIDAK lanjut ke FAHP
5	AR	9.3%	8.4%	7.9%	0.0%	8.6%	9.6%	8.7%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP
6	RS	8.9%	6.3%	6.6%	4.5%	6.1%	8.0%	3.8%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP
7	SF	39.2%	24.9%	35.3%	14.5%	12.3%	11.8%	55.4%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITOLAK, TIDAK lanjut ke FAHP
8	JB (Australian)	9.3%	114.1%	24.4%	44.0%	63.8%	34.3%	36.2%	Sebagian besar Hasil Uji Konsistensi DITOLAK, TIDAK lanjut ke FAHP
9	RV (Indian)	16.7%	11.9%	62.6%	2.3%	4.7%	61.1%	6.2%	Sebagian Besar Hasil Uji Konsistensi DITOLAK, TIDAK lanjut ke FAHP
10	SW (New Zealand)	9.5%	6.3%	5.0%	6.8%	3.9%	1.0%	0.8%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP

Dari data pada Tabel 5.13 tersebut, penulis akan melanjutkan ke tahap *Fuzzy AHP* menggunakan data responden yang lolos uji konsistensi pada semua perbandingan penilaian kriteria dan juga pada penilaian kepentingan alternatif berdasarkan kriteria. Penulis tidak akan menggunakan data responden yang gagal dalam uji konsistensi pada salah satu kuisoner.

### 5.5. *Fuzzy AHP*

Hasil pemeriksaan CR (*consistency ratio*) pada kuisoner yang didapatkan dari 10 responden, diketahui bahwa dari 10 responden hanya ada 6 responden yang penilaiannya memiliki  $CR \leq 10\%$  pada seluruh 7 kuisoner yang penulis bagikan. Untuk itu penulis hanya akan melanjutkan ke tahap *Fuzzy AHP* pada data kuisoner dari 6 responden tersebut, yaitu responden 1,2,3,5,6 dan 10, sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14. Responden Yang Terpilih Untuk Lanjut ke Tahap FAHP

No	Responden	CR - Kriteria	CR - Alternatif						Keterangan
			A Harga Listrik	B Dana	C GRK	D Sumber Daya	E Efek ke Sistem	F Durasi Proyek	
1	BS	8.6%	8.1%	4.9%	0.0%	6.8%	4.1%	4.5%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP
2	AP	9.6%	6.4%	6.6%	4.5%	5.7%	9.4%	8.2%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP
3	MI	9.9%	7.4%	7.4%	0.0%	8.1%	8.1%	6.7%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP
4	AR	9.3%	8.4%	7.9%	0.0%	8.6%	9.6%	8.7%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP
5	RS	8.9%	6.3%	6.6%	4.5%	6.1%	8.0%	3.8%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP
6	SW (New Zealand)	9.5%	6.3%	5.0%	6.8%	3.9%	1.0%	0.8%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP

### 5.5.1. Fuzzy AHP - Pemilihan Tingkat Kepentingan Kriteria

Data skala AHP dari responden yang lanjut ke *fuzzy* AHP diubah kedalam bilangan TFN seperti yang diperlihatkan pada tabel-tabel di Lampiran C.

Tabel 5.15. Nilai *Fuzzy Synthetic Extent*, Defuzzifikasi dan Bobot - Perbandingan Kriteria.

$S_i$	$l$	$m$	$u$	$DM_i$	$W$	Kriteria	Ranking
<b>S1</b>	0.092	0.147	0.232	0.157	0.1485	A - Harga Listrik	4
<b>S2</b>	0.057	0.082	0.121	0.087	0.0819	B - Pendanaan	5
<b>S3</b>	0.158	0.236	0.362	0.252	0.2387	C - GRK	2
<b>S4</b>	0.129	0.193	0.288	0.203	0.1924	D - Sumber Daya	3
<b>S5</b>	0.199	0.302	0.446	0.316	0.2989	<b>E - Efek ke Sistem</b>	<b>1</b>
<b>S6</b>	0.029	0.040	0.056	0.042	0.0396	F - Durasi Proyek	6
Jumlah				1.057	1.0000		

Pada Tabel 5.15, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *fuzzy synthetic extent* dengan menggunakan persamaan 2.8, menggunakan persamaan 2.11 untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi dan menggunakan persamaan 2.12 untuk mendapatkan normalisasi nilai defuzzifikasi sehingga didapatkan nilai bobot dari setiap kriteria, dan selanjutnya dapat dilakukan perankingan.

Dari hasil pada Tabel 5.15 dapat diketahui bahwa peringkat tertinggi untuk perbandingan kriteria adalah pada kriteria E yaitu efek terhadap sistem operasi *process plant* dan *utilities* yang memperlihatkan bahwa pilihan responden menitik beratkan pada pentingnya keberlangsungan produksi dan tentunya ini sejalan dengan

prinsip bahwa pabrik dan sistem kelistrikan utilities seharusnya tidak mendapatkan pengaruh besar terhadap adanya pembangkit baru.

Peringkat kedua diduduki oleh kriteria C yaitu efek gas rumah kaca yang memperlihatkan bahwa pilihan responden sejalan dengan target *Vale Global* yang akan menurunkan emisi gas rumah kaca dari aktifitas yang dilakukan oleh perusahaan Vale di seluruh dunia dengan target *neutral carbon* di tahun 2050.

Adapun peringkat ketiga adalah kriteria D yaitu ketersediaan sumber daya. Hal ini memperlihatkan bahwa ketersediaan sumber daya menjadi penting karena untuk memastikan bahwa pembangkit listrik tersebut dapat menyuplai energi listrik sepanjang tahun. Peringkat keempat, kelima dan keenam secara berurutan adalah harga listrik, sumber pendanaan dan durasi proyek.

### 5.5.2. Fuzzy AHP – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria A (Harga Listrik)

Data skala AHP dari responden yang lanjut ke *fuzzy* AHP diubah kedalam bilangan TFN seperti yang diperlihatkan pada tabel-tabel di Lampiran D.

Pada Tabel 5.16, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *fuzzy synthetic extent* dengan menggunakan persamaan 2.18, menggunakan persamaan 2.21 untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi dan menggunakan persamaan 2.22 untuk mendapatkan normalisasi nilai defuzzifikasi sehingga didapatkan nilai bobot dari setiap kriteria, dan selanjutnya dapat dilakukan perankingan.

Tabel 5.16. Nilai *Fuzzy Synthetic Extent*, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A (Harga Listrik).

$S_i$	l	m	u	$DM_i$	W	Alternatif	Ranking
<b>S1</b>	0.040	0.051	0.071	0.054	0.0510	I - PLTD	4
<b>S2</b>	0.232	0.356	0.548	0.379	0.3572	II - PLTS	2
<b>S3</b>	0.266	0.412	0.628	0.435	<b>0.4106</b>	<b>III - ORC</b>	<b>1</b>
<b>S4</b>	0.117	0.180	0.279	0.192	0.1812	IV - PLTA	3
Jumlah				1.060	1.0000		

Dari hasil pada Tabel 5.16 dapat diketahui bahwa peringkat tertinggi untuk perbandingan alternatif berdasarkan kriteria tarif listrik atau LCOE adalah pada alternatif III yaitu ORC. Dari hasil perhitungan LCOE oleh penulis berdasarkan

estimasi biaya investasi, operasional dan perawatan, nilai LCOE ORC sekitar 4,5 – 5,5 cent kwh dan ini paling murah diantara tariff listrik/LCOE pada alternatif yang lain.

Disusul oleh alternatif II yaitu PLTS yang memang memiliki harga 5,8 cent/kwh (jika mengacu ke harga PPA PLN dengan IPP) atau sedikit diatas LCOE ORC. Adapun peringkat ketiga adalah PLTA, dan peringkat terakhir adalah PLTD yang memang memiliki LCOE tertinggi.

### 5.5.3. Fuzzy AHP – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria B (Sumber Pendanaan)

Data skala AHP dari responden yang lanjut ke *fuzzy* AHP diubah kedalam bilangan TFN seperti yang diperlihatkan pada tabel-tabel di Lampiran C.

Pada Tabel 5.17, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *fuzzy synthetic extent* dengan menggunakan persamaan 2.18, menggunakan persamaan 2.21 untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi dan menggunakan persamaan 2.22 untuk mendapatkan normalisasi nilai defuzzifikasi sehingga didapatkan nilai bobot dari setiap kriteria, dan selanjutnya dapat dilakukan perankingan.

Tabel 5.17. Nilai *Fuzzy Synthetic Extent*, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B (Sumber Pendanaan).

$S_i$	l	m	u	$DM_i$	W	Alternatif	Ranking
S1	0.280	0.424	0.639	0.448	0.4221	I - PLTD	1
S2	0.229	0.350	0.536	0.372	0.3504	II - PLTS	2
S3	0.103	0.169	0.270	0.180	0.1702	III - ORC	3
S4	0.043	0.057	0.082	0.061	0.0574	IV - PLTA	4
Jumlah				1.061	1.000		

Dari hasil pada Tabel 5.17 dapat diketahui bahwa peringkat tertinggi untuk perbandingan alternatif berdasarkan kriteria sumber pendanaan adalah pada alternatif I yaitu PLTD. Hal ini sesuai dengan besarnya perkiraan dana yang dibutuhkan untuk pemasangan SCR (*selective catalytic reduction*) pada MBDG yaitu sekitar USD 5 juta.

Disusul oleh alternatif II yaitu PLTS yang memang memiliki kemungkinan biaya pemasangannya ditanggung sepenuhnya oleh perusahaan swasta lainnya,

namun jika dibiayai dengan dana internal maka biaya CAPEX nya sangat besar. Hal ini mempengaruhi pendapat responden sehingga walaupun PLTS ada kemungkinan berbiaya CAPEX lebih rendah (jika dibangun oleh perusahaan swasta lainnya), namun karena belum adanya kepastian tentang PLTS akan dibangun oleh pihak swasta lainnya ataukah menggunakan dana internal Vale, sehingga wajar responden beranggapan bawah PLTD berada di posisi lebih baik daripada PLTS pada kriteria sumber pendanaan.

Adpun peringkat ketiga adalah ORC, dan peringkat terakhir adalah PLTA yang selalu membutuhkan biaya besar dalam investasinya.

#### 5.5.4. Fuzzy AHP – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria C (Gas Rumah Kaca – GRK)

Data skala AHP dari responden yang lanjut ke *fuzzy* AHP diubah kedalam bilangan TFN seperti yang diperlihatkan pada tabel-tabel di Lampiran D.

Pada Tabel 5.18, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *fuzzy synthetic extent* dengan menggunakan persamaan 2.18, menggunakan persamaan 2.21 untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi dan menggunakan persamaan 2.22 untuk mendapatkan normalisasi nilai defuzzifikasi sehingga didapatkan nilai bobot dari setiap kriteria, dan selanjutnya dapat dilakukan perankingan.

Tabel 5.18. Nilai *Fuzzy Synthetic Extent*, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C (Gas Rumah Kaca).

$S_i$	$l$	$m$	$u$	$DM_i$	$W$	Alternatif	Ranking
<b>S1</b>	0.040	0.045	0.055	0.047	0.0459	I - PLTD	4
<b>S2</b>	0.246	0.321	0.412	0.326	0.3199	II - PLTS	2
<b>S3</b>	0.254	0.327	0.422	0.334	<b>0.3274</b>	<b>III - ORC</b>	<b>1</b>
<b>S4</b>	0.241	0.307	0.391	0.313	0.3068	IV - PLTA	3
Jumlah				1.020	1.000		

Dari hasil pada Tabel 5.18 dapat diketahui bahwa peringkat tertinggi untuk perbandingan alternatif berdasarkan kriteria gas rumah kaca adalah pada alternatif III yaitu ORC, ini memperlihatkan bahwa pilihan responden menitik beratkan pada sistem ORC yang menggunakan *gas buang panas* dari process plant sehingga

memiliki kelebihan tersendiri dibandingkan sumber energi listrik lainnya yang sama-sama tidak menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>.

Disusul oleh alternatif II yaitu PLTS yang memang tidak menghasilkan gas CO<sub>2</sub> selama beroperasi. Hal yang menarik adalah PLTA berada pada ranking ketiga yang bisa jadi ini disebabkan oleh penilaian responden yang menganggap bahwa PLTA masih menggunakan genset kecil sebagai *emergency power* ketika terjadi *black out* untuk menjalankan kembali sistem PLTA. Adapun PLTD berada pada posisi keempat karena menghasilkan gas CO<sub>2</sub> dalam jumlah yang besar.

#### 5.5.5. Fuzzy AHP – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria D (Sumber Daya)

Data AHP dari responden yang lanjut ke fuzzy AHP diubah kedalam bilangan TFN seperti yang diperlihatkan pada tabel-tabel di Lampiran D.

Pada Tabel 5.19, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *fuzzy synthetic extent* dengan menggunakan persamaan 2.18, menggunakan persamaan 2.21 untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi dan menggunakan persamaan 2.22 untuk mendapatkan normalisasi nilai defuzzifikasi sehingga didapatkan nilai bobot dari setiap kriteria, dan selanjutnya dapat dilakukan perankingan.

Tabel 5.19. Nilai Fuzzy Synthetic Extent, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D (Sumber Daya).

$S_i$	$l$	$m$	$u$	$DM_i$	$W$	Alternatif	Ranking
<b>S1</b>	0.048	0.065	0.091	0.068	0.0636	I - PLTD	4
<b>S2</b>	0.173	0.277	0.427	0.292	0.2742	II - PLTS	2
<b>S3</b>	0.141	0.219	0.351	0.237	0.2225	III - ORC	3
<b>S4</b>	0.280	0.439	0.687	0.469	<b>0.4397</b>	<b>IV - PLTA</b>	<b>1</b>
Jumlah				1.066	1.000		

Dari hasil pada Tabel 5.19 dapat diketahui bahwa peringkat tertinggi untuk perbandingan alternatif berdasarkan ketersediaan sumber daya adalah pada alternatif IV yaitu PLTA, yang memperlihatkan bahwa responden meyakini bahwa sumber daya air di daerah Sorowako dan sekitarnya untuk PLTA akan terjaga dengan baik dan hal ini seiring dengan program PT Vale Indonesia yang senantiasa berusaha menjaga kelestarian lingkungan dan hutan.

Disusul oleh alternatif II yaitu PLTS yang juga memberikan kelangsungan sumber daya sinar matahari terutama karena Sorowako berada didaerah mendekati garis katulistiwa. Sepertinya para responden memilih PLTS setelah PLTA karena menurut anggapan mereka intensitas matahari tidak merata sepanjang tahun yang tentunya mempengaruhi produksi energi listrik dalam satu waktu. Namun secara total dalam setahun, target pemenuhan energi masih bisa tercapai karena PLTS 20 MW (120 MWp) diperkirakan tetap dapat memproduksi energi listrik diatas 162 GWH dalam setahun.

Pilihan ketiga adalah alternatif III yaitu ORC. Kemungkinan responden menganggap bahwa ORC terbatas kemampuan membangkitkan energi 20 MW jika terjadi masalah pada *process plant*. Sedangkan untuk PLTD yang menggunakan HSD sebagai bahan bakar menjadi pilihan terakhir, tentunya akan mengalami keterbatasan sumber daya (HSD) yang merupakan sumber energi tidak terbarukan.

#### 5.5.6. Fuzzy AHP – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria E (Efek ke Sistem)

Data skala AHP dari responden yang lanjut ke *fuzzy* AHP diubah kedalam bilangan TFN seperti yang diperlihatkan pada tabel-tabel di Lampiran D.

Pada Tabel 5.20, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *fuzzy synthetic extent* dengan menggunakan persamaan 2.18, menggunakan persamaan 2.21 untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi dan menggunakan persamaan 2.22 untuk mendapatkan normalisasi nilai defuzzifikasi sehingga didapatkan nilai bobot dari setiap kriteria, dan selanjutnya dapat dilakukan perankingan.

Tabel 5.20. Nilai *Fuzzy Synthetic Extent*, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E (Efek ke Sistem).

$S_i$	$l$	$m$	$u$	$DM_i$	$W$	Alternatif	Ranking
<b>S1</b>	0.261	0.386	0.563	0.403	0.3857	I - PLTD	2
<b>S2</b>	0.088	0.126	0.187	0.133	0.1277	II - PLTS	3
<b>S3</b>	0.045	0.057	0.080	0.061	0.0580	III - ORC	4
<b>S4</b>	0.299	0.431	0.613	0.448	<b>0.4286</b>	<b>IV - PLTA</b>	<b>1</b>
Jumlah				1.045	1.000		

Dari hasil pada tabel 5.20 dapat diketahui bahwa peringkat tertinggi untuk perbandingan alternatif berdasarkan kriteria efek pada system operasi *process plant* dan *utilities* adalah pada alternatif IV yaitu PLTA, yang memperlihatkan bahwa pilihan responden menitik beratkan pada fakta bahwa selama ini PT Vale Indonesia telah disuplai listriknya dari 3 PLTA yaitu PLTA Larona, PLTA Balambano dan PLTA Karebbe, dan suplai listrik itu berjalan baik dan tidak mengganggu sistem operasi *process plant*. Dari segi *utilities*, PLTA termasuk memiliki respon yang cepat untuk mengikuti fluktuasi yang terjadi pada beban.

Disusul posisi kedua oleh alternatif II yaitu PLTD yang juga sudah terbukti selama ini sudah menyuplai energi listrik ke PT Vale Indonesia. Hanya saja kapasitas pembangkitan *existing* PLTD lebih kecil dibandingkan *existing* PLTA, sehingga sepertinya hal ini yang mempengaruhi pendapat respond untuk memberikan penilaian PLTA lebih penting dari PLTD dalam hal pengaruh ke sistem operasi.

Diposisi ketiga adalah PLTS dimana responden melihat bahwa PLTS masih memberikan pengaruh ke sistem *utilities* karena sifat pembangkitannya yang *intermitten*, yaitu tidak bisa dijamin 100% stabil akibat dari pengaruh cuaca dan kondisi awan. Namun PLTS masih dianggap lebih kurang efeknya ke sistem dibandingkan ORC yang dianggap bisa mempengaruhi sistem operasi pada *process plant*, baik itu saat pemasangan, operasi maupun perawatan.

#### **5.5.7. Fuzzy AHP – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria F (Durasi Proyek)**

Data skala AHP dari responden yang lanjut ke *fuzzy* AHP diubah kedalam bilangan TFN seperti yang diperlihatkan pada tabel-tabel di Lampiran D.

Pada Tabel 5.21, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *fuzzy synthetic extent* dengan menggunakan persamaan 2.18, menggunakan persamaan 2.21 untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi dan menggunakan persamaan 2.22 untuk mendapatkan normalisasi nilai defuzzifikasi sehingga didapatkan nilai bobot dari setiap kriteria, dan selanjutnya dapat dilakukan perankingan.



Tabel 5.21. Nilai *Fuzzy Synthetic Extent*, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F (Durasi Proyek).

$S_i$	l	m	u	$DM_i$	W	Alternatif	Ranking
<b>S1</b>	0.193	0.299	0.463	0.319	0.3018	I - PLTD	2
<b>S2</b>	0.301	0.452	0.662	0.471	<b>0.4467</b>	<b>II - PLTS</b>	<b>1</b>
<b>S3</b>	0.132	0.197	0.302	0.210	0.1993	III - ORC	3
<b>S4</b>	0.041	0.052	0.072	0.055	0.0521	IV - PLTA	4
Jumlah				1.055	1.000		

Dari hasil pada tabel 5.21 dapat diketahui bahwa peringkat tertinggi untuk perbandingan alternatif berdasarkan kriteria durasi proyek adalah pada alternatif II yaitu PLTS, hal ini memperlihatkan responden yakin bahwa proyek PLTS tidak membutuhkan waktu lama dan hal ini seiring dengan informasi dari perusahaan EPC PLTS dimana PLTS diperkirakan akan membutuhkan waktu 14 bulan dari mulai *feasibility study* sampai dengan menghasilkan energi listrik.

Alternatif PLTD berada pada peringkat kedua dimana responden melihat pemasangan SCR tidak akan membutuhkan waktu lama. Hal ini sesuai pula dengan informasi dari proposal *supplier* SCR bahwa pemasangan SCR diperkirakan akan membutuhkan waktu sekitar 15 bulan.

Adapun peringkat ketiga diraih oleh alternatif III yaitu ORC, dimana responden menilai bahwa desain dan pemasangan ORC akan lebih kompleks daripada pekerjaan proyek PLTS dan pemasangan SCR, karena pemasangan ORC akan mempengaruhi system operasi *process plant*. Adapun berdasarkan informasi dari konsultan ORC dan tim departemen energi bahwa instalasi membutuhkan waktu 18 bulan, namun karena masih membutuhkan studi tambahan selama 4 bulan sehingga perkiraan total waktu yang dibutuhkan adalah 22 bulan. PLTA menduduki urutan terakhir pada kriteria durasi proyek diperkirakan sekitar 3,5 – 4 tahun karena ukuran PLTA yang akan dipasang tidak begitu besar, namun asumsi waktu tersebut dengan syarat pengurusan AMDAL dan perijinan lainnya di pemerintahan berjalan lancar.

## 5.6. Rekapitulasi Bobot dan Perankingan

Data hasil perhitungan kemudian bobot kriteria dan bobot alternatif untuk setiap kriteria kemudian direkapitulasi untuk digunakan pada perhitungan total nilai setiap alternatif. Hasil Perhitungan total nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.22.

Tabel 5.22. Rekapitulasi Bobot dan Perankingan

Alternatif	Kriteria												Total Nilai	Rank	
	Kriteria	A		B		C		D		E		F			
		Harga Listrik		Pendanaan		GRK		Sumber Daya		Efek ke Sistem		Durasi Proyek			
	Weight	0.1485		0.0819		0.2387		0.1924		0.2989		0.0396			
	Ranking	4		5		2		3		1		6			
	W	Rank	W	Rank	W	Rank	W	Rank	W	Rank	W	Rank			
I - PLTD	0.0510	4	0.4221	1	0.0459	4	0.0636	4	0.3857	2	0.3018	2	0.1926	4	
II - PLTS	0.3572	2	0.3504	2	0.3199	2	0.2742	2	0.1277	3	0.4467	1	0.2667	2	
III - ORC	0.4106	1	0.1702	3	0.3274	1	0.2225	3	0.0580	4	0.1993	3	0.2211	3	
IV - PLTA	0.1812	3	0.0574	4	0.3068	3	0.4397	1	0.4286	1	0.0521	4	0.3196	1	

Dari Tabel 5.22 tersebut dapat diketahui bahwa peringkat tertinggi didapatkan oleh alternatif 4 yaitu PLTA. Hal ini disebabkan oleh tingginya nilai yang didapatkan alternatif 4 pada kriteria E (efek ke sistem *process plant* dan *utilities*) dan D (ketersediaan sumber daya) dimana kriteria E menduduki posisi 1 dan kriteria D menduduki posisi ke 3 pada urutan peringkat kriteria. Kondisi ini tercapai ketika kriteria efek terhadap sistem operasi *process plant & utilities* dan kriteria gas rumah kaca menjadi prioritas utama.

Adapun kendala yang dihadapi oleh alternatif PLTA adalah mahal biaya investasi, sehingga jika PT Vale Indonesia sulit mendapatkan dana untuk membiayai proyek tersebut maka bisa beralih pada alternatif II yaitu PLTS yang meraih peringkat kedua secara total nilai. Pada alternatif PLTS ini ada kemungkinan PT Vale Indonesia tidak perlu mengeluarkan dana investasi karena PLTS akan dibangun oleh perusahaan swasta lainnya dan PT Vale Indonesia akan menyewa peralatan pembangkitan perusahaan tersebut dalam bentuk tarif listrik per kwh.

## 5.7. Analisa Sensitivitas

Analisa sensitivitas dilakukan untuk melihat pengaruh perubahan bobot kriteria terhadap total nilai atau ranking dari setiap alternatif. Penulis menerapkan 6 skenario kasus dimana setiap skenario kasus terdiri atas 11 kombinasi.

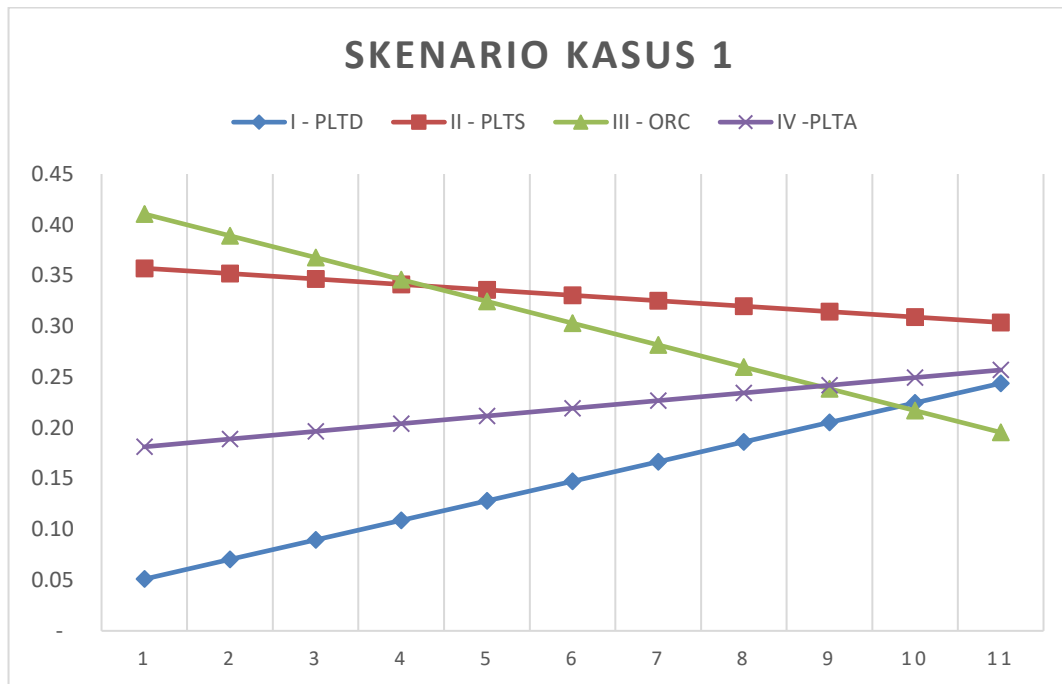
### 5.7.1. Skenario Kasus 1

Tabel 5.23 memperlihatkan skenario kasus pertama dimana kriteria A (Harga Listrik) menjadi acuan utama dalam melakukan perubahan bobot kriteria.

Tabel 5.23. Kombinasi Perubahan Bobot Kriteria – Kriteria A sebagai Acuan

Kombinasi	A Harga Listrik	B Pendanaan	C GRK	D Sumber Daya	E Efek ke Sistem	F Durasi Proyek	Jumlah Bobot
1	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
2	0.90	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	1.00
3	0.80	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	1.00
4	0.70	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	1.00
5	0.60	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	1.00
6	0.50	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	1.00
7	0.40	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	1.00
8	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	1.00
9	0.20	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	1.00
10	0.10	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	1.00
11	0.00	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	1.00

Grafik 5.1 memperlihatkan hasil analisa sensitivitas *fuzzy* AHP yang didapatkan dengan merubah bobot pada setiap kriteria dimana kriteria A (harga listrik) sebagai acuan perubahan. Analisa sensitivitas mengindikasikan bahwa ORC menjadi alternatif terbaik untuk kriteria harga listrik, namun seiring naiknya bobot kriteria yang lain disaat terjadi penurunan pada kriteria A, maka terjadi penurunan signifikan pada ORC dan terjadi kenaikan yang signifikan pada PLTD, adapun PLTS mengalami penurunan yang landai sedangkan PLTA mengalami kenaikan yang landai.



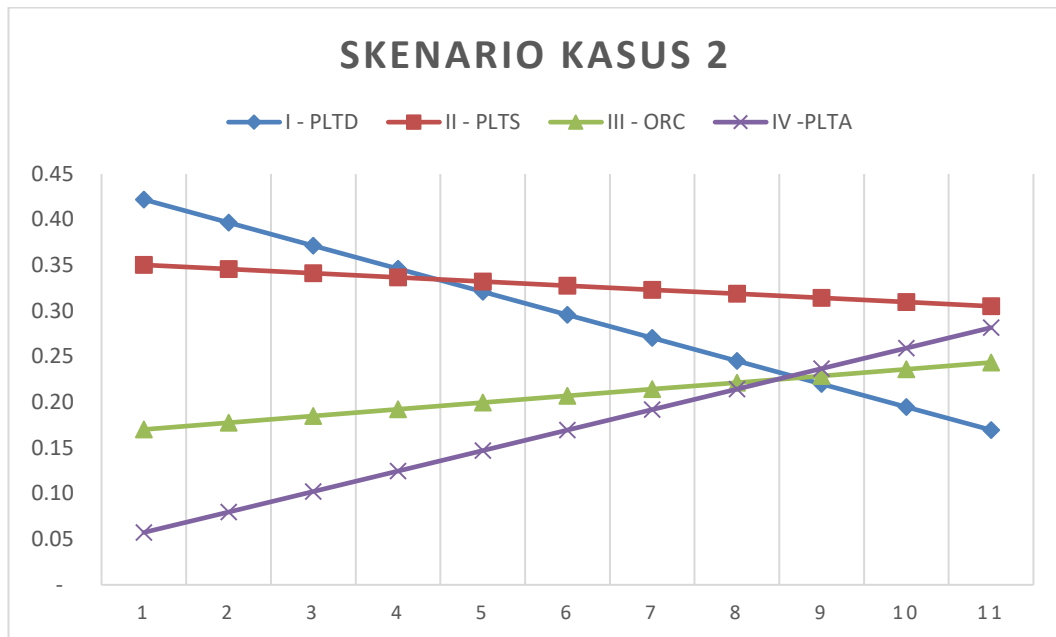
Gambar 5.1. Grafik Perubahan Nilai Total Alternatif dengan Kombinasi Perubahan Kriteria dimana Kriteria A sebagai Acuan

### 5.7.2. Skenario Kasus 2

Tabel 5.24 memperlihatkan skenario kasus kedua dimana kriteria B (Harga Listrik) menjadi acuan utama dalam melakukan perubahan bobot kriteria.

Tabel 5.24. Kombinasi Pengubahan Bobot Kriteria – Kriteria B sebagai Acuan

Kombinasi	A Harga Listrik	B Pendanaan	C GRK	D Sumber Daya	E Efek ke Sistem	F Durasi Proyek	Jumlah Bobot
1	0.00	<b>1.00</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
2	0.02	<b>0.90</b>	0.02	0.02	0.02	0.02	1.00
3	0.04	<b>0.80</b>	0.04	0.04	0.04	0.04	1.00
4	0.06	<b>0.70</b>	0.06	0.06	0.06	0.06	1.00
5	0.08	<b>0.60</b>	0.08	0.08	0.08	0.08	1.00
6	0.10	<b>0.50</b>	0.10	0.10	0.10	0.10	1.00
7	0.12	<b>0.40</b>	0.12	0.12	0.12	0.12	1.00
8	0.14	<b>0.30</b>	0.14	0.14	0.14	0.14	1.00
9	0.16	<b>0.20</b>	0.16	0.16	0.16	0.16	1.00
10	0.18	<b>0.10</b>	0.18	0.18	0.18	0.18	1.00
11	0.20	<b>0.00</b>	0.20	0.20	0.20	0.20	1.00



Gambar 5.2. Grafik Perubahan Nilai Total Alternatif dengan Kombinasi Perubahan Kriteria dimana Kriteria B sebagai Acuan

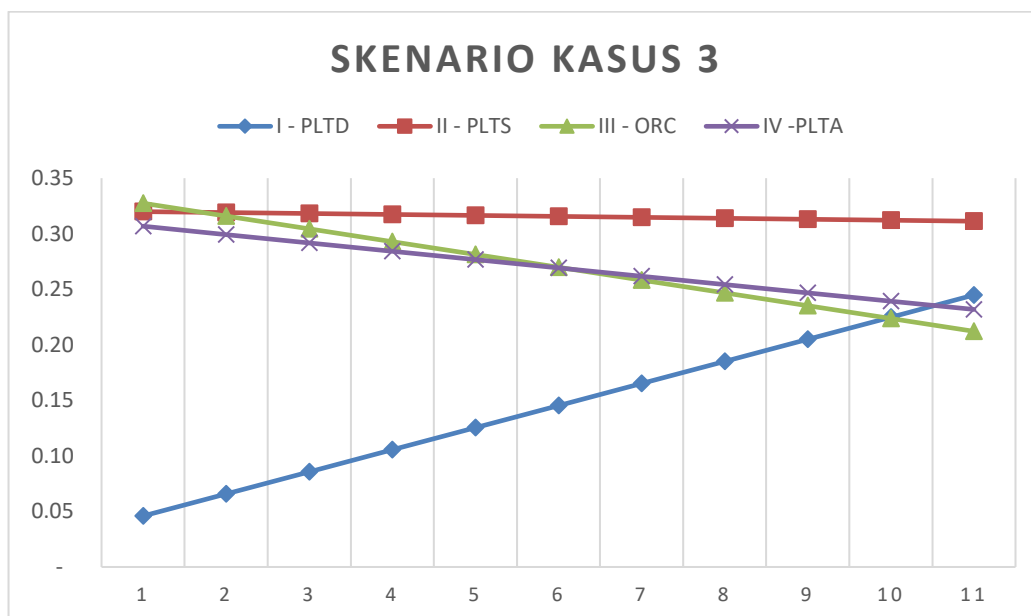
Gambar 5.2 memperlihatkan grafik hasil analisa sensitivitas *fuzzy* AHP yang didapatkan dengan merubah bobot pada setiap kriteria dimana kriteria B (sumber pendanaan) sebagai acuan perubahan. Analisa sensitivitas mengindikasikan bahwa PLTD menjadi alternatif terbaik untuk kriteria sumber pendanaan, namun seiring naiknya bobot kriteria yang lain disaat terjadi penurunan pada kriteria B, maka terjadi penurunan signifikan pada PLTD dan kenaikan yang signifikan pada PLTA, adapun PLTS mengalami penurunan yang landai sedangkan ORC mengalami kenaikan yang landai.

### 5.7.3. Skenario Kasus 3

Tabel 5.25 memperlihatkan skenario kasus ketiga dimana kriteria C (Gas Rumah Kaca) menjadi acuan utama dalam melakukan perubahan bobot kriteria.

Tabel 5.25. Kombinasi Pengubahan Bobot Kriteria – Kriteria C sebagai Acuan

Kombinasi	A Harga Listrik	B Pendanaan	C GRK	D Sumber Daya	E Efek ke Sistem	F Durasi Proyek	Jumlah Bobot
1	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
2	0.02	0.02	0.90	0.02	0.02	0.02	1.00
3	0.04	0.04	0.80	0.04	0.04	0.04	1.00
4	0.06	0.06	0.70	0.06	0.06	0.06	1.00
5	0.08	0.08	0.60	0.08	0.08	0.08	1.00
6	0.10	0.10	0.50	0.10	0.10	0.10	1.00
7	0.12	0.12	0.40	0.12	0.12	0.12	1.00
8	0.14	0.14	0.30	0.14	0.14	0.14	1.00
9	0.16	0.16	0.20	0.16	0.16	0.16	1.00
10	0.18	0.18	0.10	0.18	0.18	0.18	1.00
11	0.20	0.20	0.00	0.20	0.20	0.20	1.00



Gambar 5.3. Grafik Perubahan Nilai Total Alternatif dengan Kombinasi Perubahan Kriteria dimana Kriteria C sebagai Acuan

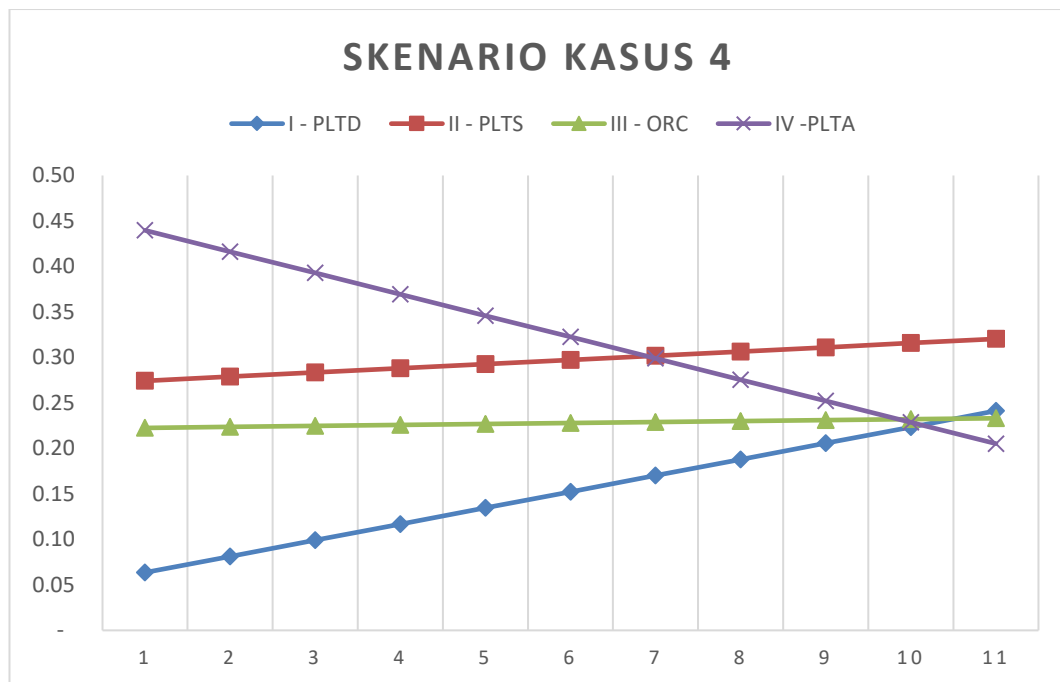
Gambar 5.3 memperlihatkan grafik hasil analisa sensitivitas *fuzzy* AHP yang didapatkan dengan merubah bobot pada setiap kriteria dimana kriteria C (Gas Rumah Kaca) sebagai acuan perubahan. Analisa sensitivitas mengindikasikan bahwa ORC menjadi alternatif terbaik untuk kriteria gas rumah kaca, namun nilainya tidak jauh berbeda dengan PLTS dan PLTA. Namun seiring naiknya bobot kriteria yang lain disaat bobot kriteria C mengalami penurunan, maka terjadi penurunan signifikan pada ORC dan PLTA, adapun PLTS cenderung stabil, sedangkan PLTD mengalami kenaikan yang signifikan.

#### 5.7.4. Skenario Kasus 4

Tabel 5.26 memperlihatkan skenario kasus keempat dimana kriteria D (Sumber Daya) menjadi acuan utama dalam melakukan perubahan bobot kriteria.

Tabel 5.26. Kombinasi Perubahan Bobot Kriteria – Kriteria D sebagai Acuan

Kombinasi	A Harga Listrik	B Pendanaan	C GRK	D Sumber Daya	E Efek ke Sistem	F Durasi Proyek	Jumlah Bobot
1	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
2	0.02	0.02	0.02	0.90	0.02	0.02	1.00
3	0.04	0.04	0.04	0.80	0.04	0.04	1.00
4	0.06	0.06	0.06	0.70	0.06	0.06	1.00
5	0.08	0.08	0.08	0.60	0.08	0.08	1.00
6	0.10	0.10	0.10	0.50	0.10	0.10	1.00
7	0.12	0.12	0.12	0.40	0.12	0.12	1.00
8	0.14	0.14	0.14	0.30	0.14	0.14	1.00
9	0.16	0.16	0.16	0.20	0.16	0.16	1.00
10	0.18	0.18	0.18	0.10	0.18	0.18	1.00
11	0.20	0.20	0.20	0.00	0.20	0.20	1.00



Gambar 5.4. Grafik Perubahan Nilai Total Alternatif dengan Kombinasi Perubahan Kriteria dimana Kriteria D sebagai Acuan

Gambar 5.4 memperlihatkan grafik hasil analisa sensitivitas *fuzzy* AHP yang didapatkan dengan merubah bobot pada setiap kriteria dimana kriteria D (sumber daya) sebagai acuan perubahan. Analisa sensitivitas mengindikasikan bahwa PLTA

menjadi alternatif terbaik untuk kriteria sumber daya, namun seiring naiknya bobot kriteria yang lain disaat bobot kriteria D mengalami penurunan, maka terjadi penurunan signifikan pada PLTA dan kenaikan yang signifikan pada PLTD, adapun PLTS dan ORC mengalami kenaikan yang landai.

### 5.7.5. Skenario Kasus 5

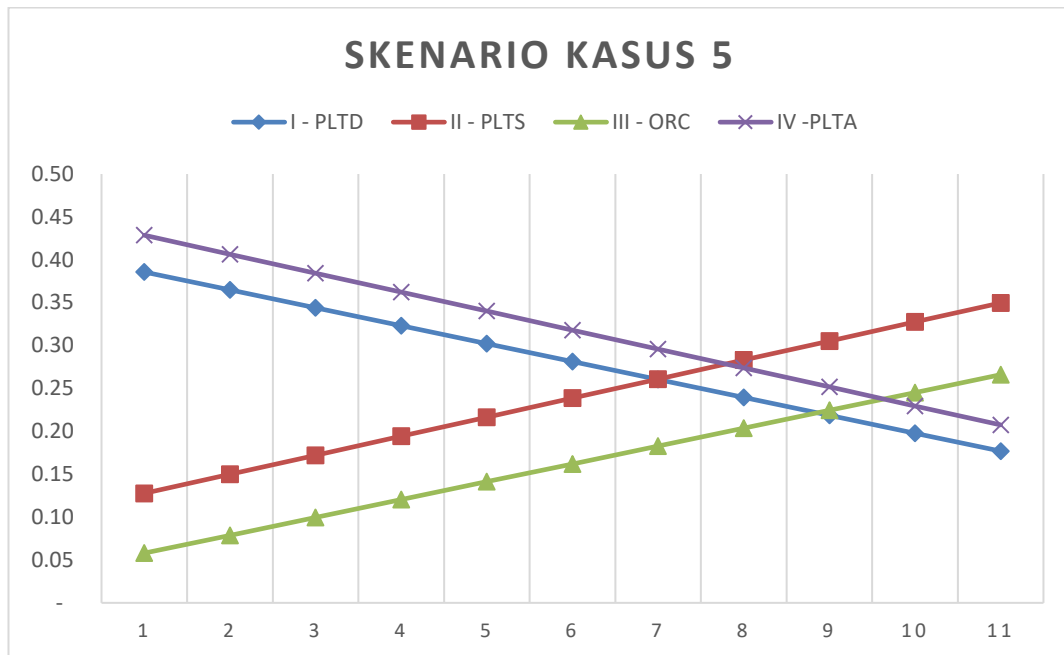
Tabel 5.27 memperlihatkan skenario kasus kelima dimana kriteria E (Efek ke Sistem *Process Plant* dan *Utilities*) menjadi acuan utama dalam melakukan perubahan bobot kriteria.

Tabel 5.27. Kombinasi Pengubahan Bobot Kriteria – Kriteria E sebagai Acuan

Kombinasi	A Harga Listrik	B Pendanaan	C GRK	D Sumber Daya	E Efek ke Sistem	F Durasi Proyek	Jumlah Bobot
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>1.00</b>	0.00	1.00
2	0.02	0.02	0.02	0.02	<b>0.90</b>	0.02	1.00
3	0.04	0.04	0.04	0.04	<b>0.80</b>	0.04	1.00
4	0.06	0.06	0.06	0.06	<b>0.70</b>	0.06	1.00
5	0.08	0.08	0.08	0.08	<b>0.60</b>	0.08	1.00
6	0.10	0.10	0.10	0.10	<b>0.50</b>	0.10	1.00
7	0.12	0.12	0.12	0.12	<b>0.40</b>	0.12	1.00
8	0.14	0.14	0.14	0.14	<b>0.30</b>	0.14	1.00
9	0.16	0.16	0.16	0.16	<b>0.20</b>	0.16	1.00
10	0.18	0.18	0.18	0.18	<b>0.10</b>	0.18	1.00
11	0.20	0.20	0.20	0.20	<b>0.00</b>	0.20	1.00

Gambar 5.5 memperlihatkan grafik hasil analisa sensitivitas *fuzzy* AHP yang didapatkan dengan merubah bobot pada setiap kriteria dimana kriteria E (efek pada sistem) sebagai acuan perubahan. Analisa sensitivitas mengindikasikan bahwa PLTA menjadi alternatif terbaik untuk kriteria efek pada sitem disusul oleh PLTD, namun seiring naiknya bobot kriteria yang lain disaat bobot kriteria E mengalami penuruanan, maka terjadi penurunan signifikan pada PLTA dan PLTD, sedangkan PLTS dan ORC mengalami kenaikan yang signifikan.





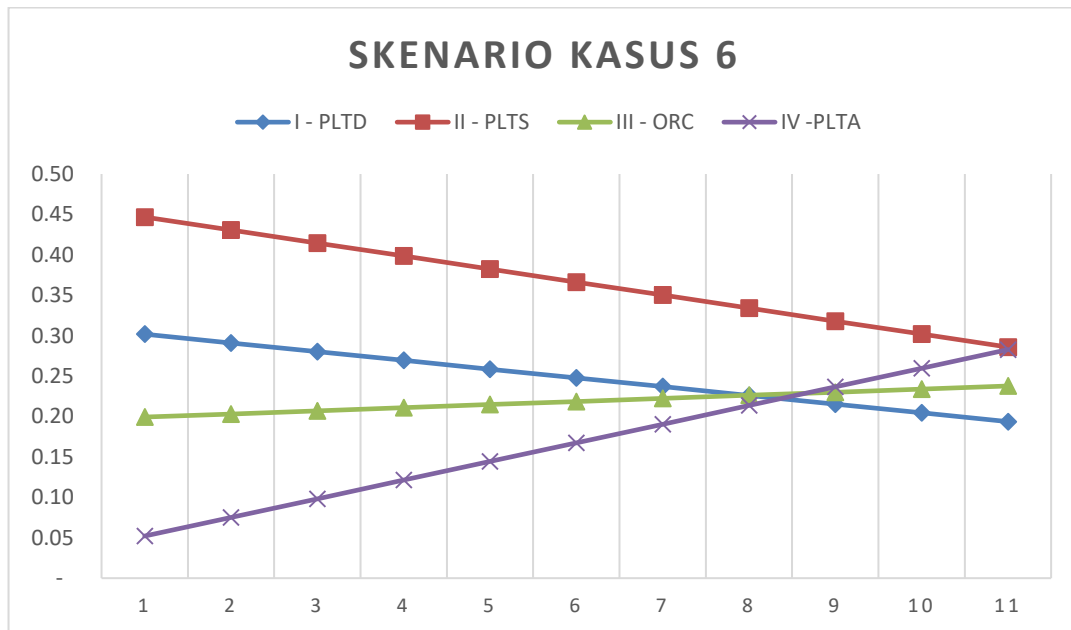
Gambar 5.5. Grafik Perubahan Nilai Total Alternatif dengan Kombinasi Perubahan Kriteria dimana Kriteria E sebagai Acuan

### 5.7.6. Skenario Kasus 6

Tabel 5.28 memperlihatkan skenario kasus keenam dimana kriteria F (Durasi Proyek) menjadi acuan utama dalam melakukan perubahan bobot kriteria.

Tabel 5.28. Kombinasi Pengubahan Bobot Kriteria – Kriteria F sebagai Acuan

Kombinasi	A Harga Listrik	B Pendanaan	C GRK	D Sumber Daya	E Efek ke Sistem	F Durasi Proyek	Jumlah Bobot
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>1.00</b>	1.00
2	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	<b>0.90</b>	1.00
3	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	<b>0.80</b>	1.00
4	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	<b>0.70</b>	1.00
5	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	<b>0.60</b>	1.00
6	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	<b>0.50</b>	1.00
7	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	<b>0.40</b>	1.00
8	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	<b>0.30</b>	1.00
9	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	<b>0.20</b>	1.00
10	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	<b>0.10</b>	1.00
11	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	<b>0.00</b>	1.00



Gambar 5.6. Grafik Perubahan Nilai Total Alternatif dengan Kombinaasi Perubahan Kriteria dimana Kriteria F sebagai Acuan

Gambar 5.6 memperlihatkan grafik hasil analisa sensitivitas *fuzzy* AHP yang didapatkan dengan merubah bobot pada setiap kriteria dimana kriteria E (Durasi Proyek) sebagai acuan perubahan. Analisa sensitivitas mengindikasikan bahwa PLTS menjadi alternatif terbaik untuk kriteria durasi proyek, namun seiring naiknya bobot kriteria yang lain disaat bobot kriteria F mengalami penurunan, maka terjadi penurunan signifikan pada PLTS dan PLTD, sedangkan ORC mengalami kenaikan yang landai, dan adapun PLTA mengalami kenaikan yang signifikan.

### 5.7.7. Hasil Analisa Sensitivitas.

Dari beberapa analisa sensitivitas diatas, dapat simpulkan hasil analisa sensitivitas tersebut memperlihatkan bahwa tidak ada alternatif yang *robust* dan urutan prioritas alternatif berubah seiring berubahnya bobot kriteria. Namun demikian alternatif PLTS cenderung memiliki prioritas lebih tinggi dibandingkan alternatif yang lain ketika bobot kriteria diubah-ubah, sehingga ketika nantinya PLTA sulit untuk dibangun maka PT Vale bisa beralih ke alternatif PLTS yang menduduki peringkat kedua pada prioritas.

## **5.8. Konsekuensi Managerial**

Alternatif PLTA terpilih menjadi alternatif terbaik untuk membangkitkan energi listrik tambahan untuk kebutuhan Sorowako RKEF, namun tentunya alternatif PLTA memiliki konsekuensi managerial diantaranya:

1. Membutuhkan tambahan tenaga kerja PT Vale Indonesia untuk operasional dan perawatan.
2. Biaya investasi yang besar yang tentunya akan mempengaruhi *cash flow* dan EBITDA perusahaan.
3. PLTA yang akan dibangun sebagian besar berada didalam kontrak Karya PT Vale Indonesia, namun demikian sebagian lahan dimiliki ataupun dikelola oleh penduduk sekitar sehingga membutuhkan pembebasan lahan yang biasanya memiliki kendala dan tantangan tersendiri.
4. Butuh sistem pengendalian banjir dimana banjir bisa diakibatkan oleh tingginya intensitas hujan yang melebihi kapasitas tampungan dam ataupun kerusakan pada dam akibat gempa.
5. Pembuatan dam tentunya akan memutuskan beberapa jalan desa, sehingga akan menimbulkan permasalahan baru yang perlu diatasi oleh perusahaan.
6. Masyarakat sekitar tentunya ingin mendapatkan keuntungan dari keberadaan PLTA melalui penyaluran dana CSR.



## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN REKOMENDASI**

Pada bagian ini dituliskan kesimpulan dari studi yang dilakukan terhadap implementasi model *fuzzy* AHP untuk alat bantu keputusan pemilihan proyek pembangkit listrik terbaik di Sorowako RKEF PT Vale Indonesia.

#### **6.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil studi untuk menetapkan alternatif terbaik untuk jenis pembangkit listrik 20 MW dalam memenuhi kebutuhan energi listrik tambahan pada proyek Sorowako RKEF dengan menggunakan 6 kriteria, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah:

1. Urutan prioritas dari 6 kriteria yang digunakan mulai dari yang tertinggi adalah:
  1. Efek pada sistem operasi *process plant* dan *utilities*,
  2. Gas Rumah Kaca,
  3. Ketersediaan Sumber daya,
  4. Tarif Listrik atau LCOE,
  5. Sumber Pendanaan,
  6. Durasi Proyek
2. PLTA mendapatkan ranking atau prioritas tertinggi dari hasil total penggabungan prioritas kriteria dan alternatif. Adapun urutan penilaian yang dari peringkat tertinggi adalah PLTA, PLTS, ORC dan yang terakhir adalah PLTD.
3. Tidak terdapat alternatif yang *robust* karena seiring dengan menurunnya bobot pada kriteria dimana alternatif tersebut dominan, maka prioritas alternatif yang dominan tersebut juga mengalami penurunan.
4. PLTA adalah alternatif terbaik berdasarkan studi ini, salah satu penyebab utamanya karena PLTA menjadi alternatif dengan bobot tertinggi pada kriteria yang memiliki bobot tertinggi (efek pada sistem operasi *process plant* dan *utilities*), hal ini memberikan informasi bahwa keberlangsungan operasi *process*

*plant* dan kestabilan sistem kelistrikan menjadi hal sangat penting dan sesuai dengan filosofi operasi *existing furnace* dan *new RKEF*. Perlu dipastikan bahwa PLTA yang dibangun tetap memiliki sistem kehandalan yang baik dan respon yang cepat sehingga tetap memiliki efek positif terhadap sistem kelistrikan yang sudah ada.

## 6.2. Rekomendasi

1. PLTA adalah alternatif terbaik dari studi ini, adapun kendala yang akan dihadapi oleh alternatif PLTA adalah mahalanya biaya investasi, sehingga jika PT Vale Indonesia sulit mendapatkan dana untuk membiayai proyek tersebut maka PT Vale Indonesia bisa beralih pada alternatif dengan nilai tertinggi kedua yaitu alternatif II (PLTS). Pada alternatif PLTS ini ada kemungkinan PT Vale Indonesia tidak perlu mengeluarkan dana investasi karena PLTS akan dibangun oleh perusahaan swasta lainnya dan PT Vale Indonesia akan menyewa peralatan pembangkitan perusahaan tersebut dalam bentuk tarif listrik per kwh.
2. Mengingat pembangunan PLTA membutuhkan waktu yang lama dan pada studi ini dimasukkan salah satu pembatasan masalah yaitu diasumsikan AMDAL dan perijinan pemerintah lainnya berjalan dengan lancar, untuk itu diharapkan dapat segera mengurus perijinan tersebut sehingga permasalahan terhadap hal tersebut dapat segera diatasi.
3. Pengujian kemampuan kanal PLTA Larona setelah dilakukan *canal lining* telah memperlihatkan hasil yang memuaskan, namun kondisi struktur *Larona Canal* yang sudah menua perlu segera diperkuat, untuk itu proyek perkuatan *Larona Canal* perlu segera dilanjutkan dan diselesaikan.
4. Perlu pemasangan alat ukur debit air yang lebih akurat pada kanal Larona, tambahan debit air dari sungai patingko, tambahan debit air dari sungai balambano, dan *spillway* batu besi dam, sehingga diharapkan akan didapatkan data yang lebih akurat mengenai data volume air dan debit air yang akan digunakan PLTA.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afriani, A. T. (2012). Metode Simpleks Fuzzy Untuk Permasalahan Pemrograman Linear Dengan Variabel Trapezoidal Fuzzy. Buletin Ilmiah Mat. Stat dan Terapannya (Bimaster) Volume 01, No.1 , 23-30
- [2] Anshori, Yusuf, 2012. Pendekatan Triangular Fuzy Number dalam metode Analytic Heirarchy Process. Jurnal Ilmiah Foristek 2:126-135.
- [3] Berkat Manunggal Jaya, Pembangkit Listrik Tenaga Diesel.  
<http://bmj.co.id/tentang-genset/pembangkit-listrik-tenaga-diesel/>
- [4] Bestari, Ardian Indra. dan Arifin, Syamsul., (2018). Analisis Teknis-Ekonomis Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Sorowako untuk Menunjang Operasional PT Vale Indonesia
- [5] Chang, Da-Yong, 1996. Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. European Journal Of Operational Research, pp. 649-655
- [6] Ciptomulyono, Udisubakti (2006). Model Pendukung Keputusan Untuk Pemilihan Proyek Pembangkit Listrik: Integrasi Metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)* dan *Zero-One Goal Programming*
- [7] Ciptomulyono, Udisubakti (2010). Paradigma Pengambilan Keputusan Multikriteria Dalam Perspektif Pengembangan Proyek dan Industri yang Berwawasan Lingkungan
- [8] *Exhaust Control Industries Pty Ltd* (2016). *Selective Catalytic Reduction NOx Abatement Systems*. <http://exhaustcontrol.com.au/products/selective-catalytic-reduction-nox-abatement-systems/>
- [9] Hatch, 2010. PT Vale Indonesia Hydro Power Study.
- [10] Jenny Nelson, 2017. Physics of solar cell.  
<http://solarcellskakedan.blogspot.com/2017/07/jenny-nelson-physics-of-solar-cells.html>. <https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/>
- [11] Jordaens, P. J. (2017, 08 28). Modelling power curves of offshore wind turbines with machine learning. <https://www.sirris.be/fr/node/48714>
- [12] Klir, George J.; St Clair, Ute H.; Yuan, Bo. Fuzzy set theory: foundations and applications. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1997

- [13] Noor, A. Z., Fauadi, J. A., and Zainudin, S. F., "Fusion Of Fuzzy AHP in selecting material for drinking water bottle based on customer needs," *ARNP J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 12, no. 14, pp. 4243–4249, 2017.
- [14] Nugraha, S., Prasodjo, E., Walujanto, H. Nurzaman., Rosdiana, D and Ismutadi, P., *Outlook Energi Indonesia 2016*, Indonesia: Dewan Energi Nasional, 2016.
- [15] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.15/MENLHK/ SETJEN/KUM.1/4/2019 Tentang Baku Mutu Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Termal
- [16] Saaty, T. L. & Vargas, L. G., 2001. *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. New York: Springer Science + Business Media.
- [17] Saaty. 1990. *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy process-Planing Priority Setting. Resource Allocation*. McGraww-Hill, New York.
- [18] Syahril, Zainuddin., and Abadi, Imam., *AIP Conference Proceedings 2088*, 020014 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5095266>
- [19] Simon, H.A., 1983. *Model of Bounded Rationality*. Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- [20] Vale Indonesia Tbk, "*Annual Report 2018: Dedicating Through Ages, Optimizing Opportunities*," PT. Vale Indonesia Tbk., Jakarta, 2018.
- [21] Wibowo, Fuad Fauzi., Rokhmat, Mamat., Aripriantoni, e-Proceeding of Engineering: Vol.6, No.2 Agustus 2019, Effect of Solar Panel Place on Energy Production of Solar Photovoltaic Power Plant Ciara 1 MW, ISSN : 2355-9365
- [22] World Bank Group (US), "*Solar Atlas Indonesia*," World Bank Group (US), 2018.



## **LAMPIRAN**

LAMPIRAN A - Hasil Kuisoner dan Perhitungan AHP Untuk Dapatkan CR  
KRITERIA

LAMPIRAN B - Hasil Kuisoner dan Perhitungan AHP Untuk Dapatkan CR  
ALTERNATIF

LAMPIRAN C - TFN dan Perhitungan FAHP KRITERIA

LAMPIRAN D - TFN dan Perhitungan FAHP ALTERNATIF

LAMPIRAN E - LARONA Hydro Power Plant

LAMPIRAN F - BALAMBANO Hydro Power Plant

LAMPIRAN G - KAREBBE Hydro Power Plant

## LAMPIRAN

### Lampiran A – Hasil Kuisioner dan Perhitungan AHP Untuk Dapatkan CR KRITERIA.

#### A.1. Hasil Kuisioner Tingkat Kepentingan Kriteria.

Tabel A.1. Kriteria dan Penjelasannya

Kriteria	Penjelasan
A	<b>Biaya Listrik (Tariff or LCOE)</b>
	Biaya yang dikeluarkan untuk membangkitkan listrik per kWh atau membeli listrik per kWh.
B	<b>Sumber Pendanaan (Source of Financing)</b>
	Sumber pendanaan untuk membangun pembangkit listrik baru, atau sumber dana operasional untuk pembangkit listrik lama yang telah beroperasi. Apakah dari Sumber Dana kas Internal Perusahaan, Pinjaman atau Pembangkit Listrik didanai sepenuhnya oleh Perusahaan Swasta yang akan menjual listrik ke PT Vale
C	<b>Gas Rumah Kaca (Green House Gases)</b>
	Emisi gas yang dihasilkan oleh proses pembangkitan listrik pada setiap alternatif pembangkit listrik yang akan dipilih, khususnya emisi gas CO <sub>2</sub> atau CO <sub>2</sub> equivalent, yang dapat meningkatkan pemanasan global.
D	<b>Ketersediaan Sumber Daya (Availability of Resources/Fuel)</b>
	Ketersediaan sumber daya sebagai sumber untuk pembangkitan energi listrik, dapat berupa Fuel HSD, Air, Cahaya matahari, gas buang dari process plant (Furnace, Kiln, Dryer).
E	<b>Efek ke Sistem Operasi Process Plant (Furnace, Kiln, Dryer) dan Utilities</b>
	Pengaruh pengerjaan proyek dan operasional pembangkit listrik pada kestabilan sistem (proses) yang terjadi di departement process plant (Furnace, Kiln, Dryer) dan departement Utilities (power system stability).
F	<b>Durasi Proyek (Project Duration or Gestation)</b>
	Lama penyelesaian pembangkit listrik mulai dari studi kelayakan sampai proyek selesai dan pembangkit listrik dapat membangkitkan listrik

Dibawah ini adalah hasil kuisioner untuk penilaian tingkat kepentingan kriteria.

Tabel A.2. Hasil Kuisioner Responden 1 – Perbandingan Kriteria

Kriteria	Penilaian																	Kriteria
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
E	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F

Data dari responden 1 tersebut kemudian diubah menjadi matriks perbandingan berpasangan dan menjumlahkan cell pada setiap baris dalam satu kolom, seperti yang terlihat pada Tabel A.3.

Tabel A.3. Matriks Perbandingan Berpasangan – Perbandingan Kriteria

Kriteria	A	B	C	D	E	F
A	1.000	2.000	3.000	2.000	0.111	7.000
B	0.500	1.000	2.000	1.000	0.125	6.000
C	0.333	0.500	1.000	0.500	0.143	5.000
D	0.500	1.000	2.000	1.000	0.125	6.000
E	9.000	8.000	7.000	8.000	1.000	9.000
F	0.143	0.167	0.200	0.167	0.111	1.000
Jumlah	11.476	12.667	15.200	12.667	1.615	34.000

Kemudian melakukan normalisasi dengan menggunakan persamaan 2.2, selanjutnya menjumlahkan isi setiap kolom dalam satu baris, yang kemudian dibagi dengan bilangan ordo matriks untuk mendapatkna matrik AR.

Tabel A.4. Normalisasi dan Matriks AR – Perbandingan Kriteria

Normalisasi						Jumlah	Matriks AR, n = 6
0.087	0.158	0.197	0.158	0.069	0.206	0.875	0.146
0.044	0.079	0.132	0.079	0.077	0.176	0.587	0.098
0.029	0.039	0.066	0.039	0.088	0.147	0.409	0.068
0.044	0.079	0.132	0.079	0.077	0.176	0.587	0.098
0.784	0.632	0.461	0.632	0.619	0.265	3.392	0.565
0.012	0.013	0.013	0.013	0.069	0.029	0.150	0.025

Tabel A.5. Menghitung Matriks B dan Matriks C – Perbandingan Kriteria

Matriks B = Matriks A * Matriks AR						Matriks C
0.146	0.196	0.205	0.196	0.063	0.175	0.980
0.073	0.098	0.136	0.098	0.071	0.150	0.626
0.049	0.049	0.068	0.049	0.081	0.125	0.421
0.073	0.098	0.136	0.098	0.071	0.150	0.626
1.312	0.783	0.478	0.783	0.565	0.225	4.146
0.021	0.016	0.014	0.016	0.063	0.025	0.155

Kemudian menghitung matrik B dengan menggunakan persamaan 2.3, yang selanjutnya menjumlahkan isi setiap kolom pada baris yang sama untuk mendapatkan matrik C. Dilanjutkan menghitung nilai *eigen value* menggunakan persamaan 2.4 sehingga didapatkan  $\lambda$  maks.

Tabel A.6. Menghitung Nilai Eigen Value – Perbandingan Kriteria

Kriteria	Nilai
A	6.718
B	6.397
C	6.164
D	6.397
E	7.333
F	6.191
( $\lambda$ maks)	6.534

Kemudian mencari nilai *consistency index* dengan menggunakan persamaan 2.5, sehingga didapatkan:

$$CI = (6,534 - 6) / (6-1)$$

$$= 0,107$$

Setelah itu mencari *consistency ratio* dengan menggunakan persamaan 2.6, dimana random index untuk matrik ordo 6 adalah bernilai 1,24.

$$CR = 0,107 / 1,24$$

$$= 8,6 \%$$

Dari nilai CR 8,6 % tersebut dapat diketahui bahwa pengisian kuisioner oleh responden 1 telah lolos uji konsistensi karena CR bernilai  $\leq 10\%$ .

Dengan sistem yang sama juga dilakukan perhitungan pada responden 2,3,4,5,6,7,8,9, dan 10 untuk mengetahui tingkat uji konsistensi data kuisioner setiap responden tersebut terhadap perbandingan kriteria.

Tabel A.7. Hasil Kuisioner Responden 2 – Perbandingan Kriteria

Kriteria	Penilaian																	Kriteria
A	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	B
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	C
A	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	E
A	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	C
B	9	8	7	6	5	④	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	E
B	9	8	7	6	5	④	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
C	9	8	7	6	⑤	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	E
C	9	8	7	⑥	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	E
D	9	8	⑦	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
E	9	⑧	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F

Tabel A.8. Hasil Kuisoner Responden 3 – Perbandingan Kriteria

Kriteria	Penilaian																	Kriteria
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
E	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F

Tabel A.9. Hasil Kuisoner Responden 4 – Perbandingan Kriteria

Kriteria	Penilaian																	Kriteria
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
E	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F

Tabel A.10. Hasil Kuisioner Responden 5 – Perbandingan Kriteria

Kriteria	Penilaian																	Kriteria
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
E	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F

Tabel A.11. Hasil Kuisioner Responden 6 – Perbandingan Kriteria

Kriteria	Penilaian																	Kriteria
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
E	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F

Tabel A.12. Hasil Kuisioner Responden 7 – Perbandingan Kriteria

Kriteria	Penilaian																	Kriteria
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
E	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F

Tabel A.13. Hasil Kuisioner Responden 8 – Perbandingan Kriteria

Criteria	Evaluation																	Criteria
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
E	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F



Tabel A.14. Hasil Kuisioner Responden 9 – Perbandingan Kriteria

Criteria	Evaluation																	Criteria
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
E	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F

Tabel A.15. Hasil Kuisioner Responden 10 – Perbandingan Kriteria

Criteria	Evaluation																	Criteria
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E
D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F
E	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F

Tabel A.16. Rekapitulasi Uji Konsistensi Kriteria dan Alternatif

No	Responden	CR - Kriteria	CR - Alternatif						Keterangan
			A Harga Listrik	B Dana	C GRK	D Sumber Daya	E Efek ke Sistem	F Durasi Proyek	
1	BS	8.6%	8.1%	4.9%	0.0%	6.8%	4.1%	4.5%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP
2	AP	9.6%	6.4%	6.6%	4.5%	5.7%	9.4%	8.2%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP
3	MI	9.9%	7.4%	7.4%	0.0%	8.1%	8.1%	6.7%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP
4	IH	30.9%	50.5%	43.2%	0.0%	19.9%	0.0%	49.8%	Sebagian Besar Hasil Uji Konsistensi DITOLAK, TIDAK lanjut ke FAHP
5	AR	9.3%	8.4%	7.9%	0.0%	8.6%	9.6%	8.7%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP
6	RS	8.9%	6.3%	6.6%	4.5%	6.1%	8.0%	3.8%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP
7	SF	39.2%	24.9%	35.3%	14.5%	12.3%	11.8%	55.4%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITOLAK, TIDAK lanjut ke FAHP
8	JB (Australian)	9.3%	114.1%	24.4%	44.0%	63.8%	34.3%	36.2%	Sebagian besar Hasil Uji Konsistensi DITOLAK, TIDAK lanjut ke FAHP
9	RV (Indian)	16.7%	11.9%	62.6%	2.3%	4.7%	61.1%	6.2%	Sebagian Besar Hasil Uji Konsistensi DITOLAK, TIDAK lanjut ke FAHP
10	SW (New Zealand)	9.5%	6.3%	5.0%	6.8%	3.9%	1.0%	0.8%	Semua Hasil Uji Konsistensi DITERIMA, Lanjut ke Fuzzy AHP

## Lampiran B – Hasil Kuisioner dan Perhitungan AHP Untuk Dapatakan CR ALTERNATIF.

### B.1. Hasil Kuisioner Tingkat Kepentingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A (Tarif Listrik).

Dibawah ini adalah hasil kuisioner untuk penilaian tingkat kepentingan alternative berdasarkan kriteria tarif listrik atau LCOE.

Tabel B.1. Hasil Kuisioner Responden 1 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Data dari responden 1 tersebut kemudian diubah menjadi matriks perbandingan berpasangan dan menjumlahkan isi *cell* pada setiap baris dalam satu kolom, seperti yang terlihat pada Tabel B.2.

Tabel B.2. Matriks Perbandingan Berpasangan Responden 1 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria Tarif Listrik.

A	I	II	III	IV
I	1.000	0.200	0.167	0.250
II	5.000	1.000	0.500	4.000
III	6.000	2.000	1.000	5.000
IV	4.000	0.250	0.200	1.000
Jumlah	16.000	3.450	1.867	10.250

Kemudian melakukan normalisasi dengan menggunakan persamaan 2.2, selanjutnya menjumlahkan isi setiap kolom dalam satu baris, yang kemudian dibagi dengan bilangan ordo matriks untuk mendapatkna matrik AR.

Tabel B.3. Normalisasi dan Matriks AR – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Normalisasi				Jumlah	Matriks AR, n = 6
0.063	0.058	0.089	0.024	0.234	0.059
0.313	0.290	0.268	0.390	1.260	0.315
0.375	0.580	0.536	0.488	1.978	0.495
0.250	0.072	0.107	0.098	0.527	0.132

Kemudian menghitung matrik B dengan menggunakan persamaan 2.3, yang selanjutnya dijumlahkan isi setiap kolom pada baris yang sama pada matrik B tersebut untuk mendapatkan matrik C.

Tabel B.4. Menghitung Matriks B dan Matriks C – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Matriks B = A * AR				Matriks C
0.059	0.063	0.082	0.033	0.237
0.293	0.315	0.247	0.527	1.382
0.351	0.630	0.495	0.659	2.135
0.234	0.079	0.099	0.132	0.544

Dilanjutkan menghitung nilai *eigen value* menggunakan persamaan 2.4 sehingga didapatkan  $\lambda$  maks.

Tabel B.5. Menghitung Nilai Eigen Value – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternatif	Nilai
I	4.048
II	4.386
III	4.317
IV	4.125
( $\lambda$ maks)	<b>4.219</b>

Kemudian mencari nilai *consistency index* menggunakan persamaan 2.5, sehingga didapatkan:

$$CI = (4,219 - 4) / (4-1)$$

$$= 0,073$$

Setelah itu mencari *consistency ratio* menggunakan persamaan 2.6, dimana random index untuk matrik ordo 4 adalah bernilai 0,9.

$$CR = 0,073 / 0,9$$

$$= 8,1 \%$$

Dari nilai CR 8,1 % tersebut diketahui bahwa pengisian kuisioner oleh responden 1 untuk telah lolos uji konsistensi karena CR bernilai  $\leq 10\%$ .

Dengan sistem yang sama juga dilakukan perhitungan pada responden 2,3,4,5,6,7,8,9, dan 10 untuk mengetahui tingkat uji konsistensi data kuisioner setiap responden tersebut terhadap perbandingan alternative berdasarkan kriteri tarif listrik atai LCOE.

Tabel B.6. Hasil Kuisioner Responden 2 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternatif	Penilaian														Alternatif			
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.7. Hasil Kuisioner Responden 3 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternatif	Penilaian														Alternatif			
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.8. Hasil Kuisioner Responden 4 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternatif	Penilaian														Alternatif			
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.9. Hasil Kuisioner Responden 5 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternatif	Penilaian														Alternatif			
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.10. Hasil Kuisioner Responden 6 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternatif	Penilaian																Alternatif	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.11. Hasil Kuisioner Responden 7 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternatif	Penilaian																Alternatif	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.12. Hasil Kuisioner Responden 8 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternative	Evaluation																Alternative	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.13. Hasil Kuisioner Responden 9 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternative	Evaluation																Alternative	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.14. Hasil Kuisioner Responden 10 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternative	Evaluation																		Alternative
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	

**B.2. Hasil Kuisioner Tingkat Kepentingan Alternatif Pembangkit Listrik Berdasarkan Kriteria B (Sumber Pendanaan)**

Dibawah ini adalah hasil kuisioner untuk penilaian tingkat kepentingan alternative berdasarkan kriteria B (tarif listrik atau LCOE).

Tabel B.15. Hasil Kuisioner Responden 1 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternatif	Penilaian																		Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	

Data dari responden 1 tersebut kemudian diubah menjadi matriks perbandingan berpasangan dan menjumlahkan isi *cell* pada setiap baris dalam satu kolom, seperti yang terlihat pada Tabel B.16.

Tabel B.16. Matriks Perbandingan Berpasangan Responden 1 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

B	I	II	III	IV
I	1.000	3.000	5.000	6.000
II	0.333	1.000	4.000	5.000
III	0.200	0.250	1.000	2.000
IV	0.167	0.200	0.500	1.000
Jumlah	1.700	4.450	10.500	14.000

Kemudian melakukan normalisasi dengan menggunakan persamaan 2.2, selanjutnya menjumlahkan isi setiap kolom dalam satu baris, yang kemudian dibagi dengan bilangan ordo matriks untuk mendapatkna matrik AR.

Tabel B.17 Normalisasi dan Matriks AR – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Normalisasi				Jumlah	Matriks AR, n = 6
0.588	0.674	0.476	0.429	2.167	0.542
0.196	0.225	0.381	0.357	1.159	0.290
0.118	0.056	0.095	0.143	0.412	0.103
0.098	0.045	0.048	0.071	0.262	0.066

Kemudian menghitung matrik B dengan menggunakan persamaan 2.3, yang selanjutnya dijumlahkan isi setiap kolom pada baris yang sama pada matrik B tersebut untuk mendapatkan matrik C.

Tabel B.18. Menghitung Matriks B dan Matriks C – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Matriks B = A * AR				Matriks C
0.542	0.869	0.515	0.393	2.319
0.181	0.290	0.412	0.328	1.210
0.108	0.072	0.103	0.131	0.415
0.090	0.058	0.051	0.066	0.265

Dilanjutkan menghitung nilai *eigen value* menggunakan persamana 2.4 sehingga didapatkan  $\lambda$  maks.



Tabel B.19. Menghitung Nilai Eigen Value

Alternatif	Nilai
I	4.280
II	4.176
III	4.028
IV	4.049
(λ maks)	4.133

Kemudian mencari nilai *consistency index* menggunakan persamaan 2.5, sehingga didapatkan:

$$CI = (4,133 - 4) / (4-1)$$

$$= 0,044$$

Setelah itu mencari *consistency ratio* menggunakan persamaan 2.6, dimana *random index* untuk matrik ordo 4 adalah bernilai 0,9.

$$CR = 0,044 / 0,9$$

$$= 4,9 \%$$

Dari nilai CR 4,9 % tersebut diketahui bahwa pengisian kuisioner oleh responden 1 telah lolos uji konsistensi karena CR bernilai  $\leq 10\%$ .

Dengan sistem yang sama juga dilakukan perhitungan pada responden 2,3,4,5,6,7,8,9, dan 10 untuk mengetahui tingkat uji konsistensi data kuisioner setiap responden tersebut terhadap perbandingan alternatif berdasarkan kriteria sumber pendanaan.

Tabel B.20. Hasil Kuisioner Responden 2 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.21. Hasil Kuisioner Responden 3 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.22. Hasil Kuisioner Responden 4 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.23 Hasil Kuisioner Responden 5 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.24. Hasil Kuisioner Responden 6 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.25. Hasil Kuisioner Responden 7 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.26. Hasil Kuisioner Responden 8 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternative	Evaluation																	Alternative
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.27. Hasil Kuisioner Responden 9 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternative	Evaluation																	Alternative
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.28. Hasil Kuisioner Responden 10 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternative	Evaluation																	Alternative
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

### B.3. Hasil Kuisioner Tingkat Kepentingan Alternatif Pembangkit Listrik Berdasarkan Kriteria C (Gas Rumah Kaca)

Dibawah ini adalah hasil kuisioner untuk penilaian tingkat kepentingan alternative berdasarkan kriteria efek gas rumah kaca.

Tabel B.29. Hasil Kuisioner Responden 1 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternatif	Penilaian																Alternatif	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Data dari responden 1 tersebut kemudian diubah menjadi matriks perbandingan berpasangan dan dijumlahkan is *cell* pada setiap baris dalam satu kolom, seperti yang terlihat pada Tabel B.30.

Tabel B.30. Matriks Perbandingan Berpasangan Responden 1 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

C	I	II	III	IV
I	1.000	0.200	0.200	0.200
II	5.000	1.000	1.000	1.000
III	5.000	1.000	1.000	1.000
IV	5.000	1.000	1.000	1.000
Jumlah	16.000	3.200	3.200	3.200

Kemudian melakukan normaliasi dengan menggunakan persamaan 2.2, selanjutnya menjumlahkan isi setiap kolom dalam satu baris, yang kemudian dibagi dengan bilangan ordo matriks untuk mendapatkna matrik AR.

Tabel B.31. Normalisasi dan Matriks AR - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Normalisasi				Jumlah	Matriks AR, n = 6
0.063	0.063	0.063	0.063	0.250	0.063
0.313	0.313	0.313	0.313	1.250	0.313
0.313	0.313	0.313	0.313	1.250	0.313
0.313	0.313	0.313	0.313	1.250	0.313

Kemudian menghitung matrik B dengan menggunakan persamaan 2.3, yang selanjutnya dijumlahkan isi setiap kolom pada baris yang sama pada matrik B tersebut untuk mendapatkan matrik C.

Tabel B.32. Menghitung Matriks B dan Matriks C - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Matriks B = A * AR				Matriks C
0.063	0.063	0.063	0.063	0.250
0.313	0.313	0.313	0.313	1.250
0.313	0.313	0.313	0.313	1.250
0.313	0.313	0.313	0.313	1.250

Dilanjutkan menghitung nilai *eigen value* menggunakan persamaan 2.4 sehingga didapatkan  $\lambda$  maks.

Tabel B.33. Menghitung Nilai Eigen Value - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternatif	Nilai
I	4.000
II	4.000
III	4.000
IV	4.000
( $\lambda$ maks)	4.000

Kemudian mencari nilai *consistency index* menggunakan persamaan 2.5, sehingga didapatkan:

$$CI = (4 - 4) / (4-1)$$

$$= 0,0$$

Setelah itu mencari *consistency ratio* menggunakan persamaan 2.6, dimana *random index* untuk matrik ordo 4 adalah bernilai 0,9.

$$CR = 0,00 / 0,9$$

$$= 0 \%$$

Dari nilai CR 0 % tersebut diketahui bahwa pengisian kuisioner oleh responden 1 untuk telah lolos uji konsistensi karena CR bernilai  $\leq 10 \%$ , bahkan masuk dalam kategori konsisten sempurna karena CR = 0.

Dengan sistem yang sama juga dilakukan perhitungan pada responden 2,3,4,5,6,7,8,9, dan 10 untuk mengetahui tingkat uji konsistensi data kuisioner setiap responden tersebut terhadap perbandingan alternatif berdasarkan kriteria efek gas rumah kaca.

Tabel B.34. Hasil Kuisioner Responden 2 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternatif	Penilaian																		Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	

Tabel B.35. Hasil Kuisioner Responden 3 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternatif	Penilaian																		Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	

Tabel A.50. Hasil Kuisioner Responden 4 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternatif	Penilaian																		Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	

Tabel B.36. Hasil Kuisioner Responden 5 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternatif	Penilaian																		Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	

Tabel B.37 Hasil Kuisioner Responden 6 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternatif	Penilaian																		Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	

Tabel B.38. Hasil Kuisioner Responden 7 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternatif	Penilaian																		Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	

Tabel B.39. Hasil Kuisioner Responden 8 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternative	Evaluation																		Alternative
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	

Tabel B.40. Hasil Kuisioner Responden 9 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternative	Evaluation																		Alternative
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	

Tabel B.41. Hasil Kuisioner Responden 10 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternative	Evaluation																		Alternative
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III	
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV	

#### B.4. Hasil Kuisioner Tingkat Kepentingan Alternatif Pembangkit Listrik Berdasarkan Kriteria D (Ketersediaan Sumber Daya).

Dibawah ini adalah hasil kuisioner untuk penilaian tingkat kepentingan alternative berdasarkan kriteria ketersediaan sumber daya.



Tabel B.42. Hasil Kuisioner Responden 1 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Data dari responden 1 tersebut kemudian diubah menjadi matriks perbandingan berpasangan dan dijumlahkan isi *cell* pada setiap baris dalam satu kolom, seperti yang terlihat pada Tabel B.43.

Tabel B.43. Matriks Perbandingan Berpasangan Responden 1 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

D	I	II	III	IV
I	1.000	0.333	0.250	0.200
II	3.000	1.000	0.333	0.250
III	4.000	3.000	1.000	0.333
IV	5.000	4.000	3.000	1.000
Jumlah	13.000	8.333	4.583	1.783

Kemudian melakukan normalisasi dengan menggunakan persamaan 2.2, selanjutnya menjumlahkan isi setiap kolom dalam satu baris, yang kemudian dibagi dengan bilangan ordo matriks untuk mendapatkna matrik AR.

Tabel B.44. Normalisasi dan Matriks AR - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Normalisasi				Jumlah	Matriks AR, n = 6
0.077	0.040	0.055	0.112	0.284	0.071
0.231	0.120	0.073	0.140	0.564	0.141
0.308	0.360	0.218	0.187	1.073	0.268
0.385	0.480	0.655	0.561	2.080	0.520

Kemudian menghitung matrik B dengan menggunakan persamaan 2.3, yang selanjutnya dijumlahkan isi setiap kolom pada baris yang sama pada matrik B tersebut untuk mendapatkan matrik C.

Tabel B.45. Menghitung Matriks B dan Matriks C - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Matriks B = A * AR				Matriks C
0.071	0.047	0.067	0.104	0.289
0.213	0.141	0.089	0.130	0.573
0.284	0.423	0.268	0.173	1.148
0.355	0.564	0.805	0.520	2.243

Dilanjutkan menghitung nilai *eigen value* menggunakan persamaan 2.4 sehingga didapatkan  $\lambda$  maks.

Tabel B.46. Menghitung Nilai Eigen Value - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternatif	Nilai
I	4.075
II	4.066
III	4.280
IV	4.313
( $\lambda$ maks)	4.184

Kemudian mencari nilai *consistency index* menggunakan persamaan 2.5, sehingga didapatkan:

$$CI = (4,184 - 4) / (4-1)$$

$$= 0,061$$

Setelah itu mencari *consistency ratio* menggunakan persamaan 2.6, dimana *random index* untuk matrik ordo 4 adalah bernilai 0,9.

$$CR = 0,061 / 0,9$$

$$= 6,8 \%$$

Dari nilai CR 6,8 % tersebut diketahui bahwa pengisian kuisioner oleh responden 1 telah lolos uji konsistensi karena CR bernilai  $\leq 10 \%$ ,

Dengan sistem yang sama juga dilakukan perhitungan pada responden 2,3,4,5,6,7,8,9, dan 10 untuk mengetahui tingkat uji konsistensi data kuisoner setiap responden tersebut terhadap perbandingan alternatif berdasarkan kriteria ketersediaan sumber daya.

Tabel B.47. Hasil Kuisoner Responden 2 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternatif	Penilaian																Alternatif	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.48. Hasil Kuisoner Responden 3 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternatif	Penilaian																Alternatif	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.49. Hasil Kuisoner Responden 4 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternatif	Penilaian																Alternatif	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.50. Hasil Kuisioner Responden 5 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.51. Hasil Kuisioner Responden 6 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.52. Hasil Kuisioner Responden 7 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.53. Hasil Kuisioner Responden 8 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternative	Evaluation																	Alternative
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.54. Hasil Kuisioner Responden 9 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternative	Evaluation																	Alternative
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.55. Hasil Kuisioner Responden 10 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternative	Evaluation																	Alternative
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

**B.5. Hasil Kuisioner Tingkat Kepentingan Alternatif Pembangkit Listrik Berdasarkan Kriteria E (Efek Pada Sistem Operasi *Process Plant* dan *Utilities*).**

Dibawah ini adalah hasil kuisioner untuk penilaian tingkat kepentingan alternatif berdasarkan kriteria efek pada sistem operasi *process plant* dan *utilities*.

Tabel B.56. Hasil Kuisioner Responden 1 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Data dari responden 1 tersebut kemudian diubah menjadi matriks perbandingan berpasangan dan dijumlahkan isi *cell* pada setiap baris dalam satu kolom, seperti yang terlihat pada Tabel B.57.

Tabel B.57. Matriks Perbandingan Berpasangan Responden 1 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

E	I	II	III	IV
I	1.000	5.000	6.000	1.000
II	0.200	1.000	3.000	0.200
III	0.167	0.333	1.000	0.167
IV	1.000	5.000	6.000	1.000
<b>Jumlah</b>	2.367	11.333	16.000	2.367

Kemudian melakukan normalisasi dengan menggunakan persamaan 2.2, selanjutnya menjumlahkan isi setiap kolom dalam satu baris, yang kemudian dibagi dengan bilangan ordo matriks untuk mendapatkna matrik AR.

Tabel B.58. Normalisasi dan Matriks AR - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Normalisasi				Jumlah	Matriks AR, n = 6
0.423	0.441	0.375	0.423	1.661	0.415
0.085	0.088	0.188	0.085	0.445	0.111
0.070	0.029	0.063	0.070	0.233	0.058
0.423	0.441	0.375	0.423	1.661	0.415

Kemudian menghitung matrik B dengan menggunakan persamaan 2.3, yang selanjutnya dijumlahkan isi setiap kolom pada baris yang sama pada matrik B tersebut untuk mendapatkan matrik C.

Tabel B.59. Menghitung Matriks B dan Matriks C - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Matriks B = A * AR				Matriks C
0.415	0.556	0.349	0.415	1.736
0.083	0.111	0.175	0.083	0.452
0.069	0.037	0.058	0.069	0.234
0.415	0.556	0.349	0.415	1.736

Dilanjutkan menghitung nilai *eigen value* menggunakan persamaan 2.4 sehingga didapatkan  $\lambda$  maks.

Tabel B.60. Menghitung Nilai Eigen Value - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternatif	Nilai
I	4.179
II	4.064
III	4.016
IV	4.179
( $\lambda$ maks)	4.110

Kemudian mencari nilai *consistency index* menggunakan persamaan 2.5, sehingga didapatkan:

$$CI = (4,110 - 4) / (4-1)$$

$$= 0,037$$

Setelah itu mencari *consistency ratio* menggunakan persamaan 2.6, dimana random index untuk matrik ordo 4 adalah bernilai 0,9.

$$CR = 0,037 / 0,9$$

$$= 4,1 \%$$

Dari nilai CR 4,1% tersebut diketahui bahwa pengisian kuisioner oleh responden 1 telah lolos uji konsistensi karena CR bernilai  $\leq 10 \%$ ,

Dengan sistem yang sama juga dilakukan perhitungan pada responden 2,3,4,5,6,7,8,9, dan 10 untuk mengetahui tingkat uji konsistensi data kuisioner setiap responden tersebut terhadap perbandingan alternatif berdasarkan kriteria efek pada system operasi *process plant* dan *utilities*.

Tabel B.61. Hasil Kuisioner Responden 2 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.62. Hasil Kuisioner Responden 3 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.63. Hasil Kuisioner Responden 4 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.64. Hasil Kuisioner Responden 5 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV



Tabel B.65. Hasil Kuisioner Responden 6 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.66. Hasil Kuisioner Responden 7 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.67. Hasil Kuisioner Responden 8 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternative	Evaluation																	Alternative
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.68. Hasil Kuisioner Responden 9 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternative	Evaluation																	Alternative
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.69. Hasil Kuisioner Responden 10 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternative	Evaluation																Alternative	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

**B.6. Hasil Kuisioner Tingkat Kepentingan Alternatif Pembangkit Listrik Berdasarkan Kriteria F (Durasi Proyek).**

Dibawah ini adalah hasil kuisioner untuk penilaian tingkat kepentingan alternative berdasarkan kriteria durasi proyek.

Tabel B.70. Hasil Kuisioner Responden 1 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternatif	Penilaian																Alternatif	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Data dari responden 1 tersebut kemudian diubah menjadi matriks perbandingan berpasangan dan menjumlahkan isi *cell* pada setiap baris dalam satu kolom, seperti yang terlihat pada Tabel B.71.

Tabel B.71. Matriks Perbandingan Berpasangan Responden 1 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

F	I	II	III	IV
I	1.000	0.500	3.000	7.000
II	2.000	1.000	4.000	8.000
III	0.333	0.250	1.000	5.000
IV	0.143	0.125	0.200	1.000
<b>Jumlah</b>	<b>3.476</b>	<b>1.875</b>	<b>8.200</b>	<b>21.000</b>

Kemudian melakukan normalisasi dengan menggunakan persamaan 2.2, selanjutnya menjumlahkan isi setiap kolom dalam satu baris, yang kemudian dibagi dengan bilangan ordo matriks untuk mendapatkna matrik AR.

Tabel B.72. Normalisasi dan Matriks AR - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Normalisasi				Jumlah	Matriks AR, n = 6
0.288	0.267	0.366	0.333	1.254	0.313
0.575	0.533	0.488	0.381	1.977	0.494
0.096	0.133	0.122	0.238	0.589	0.147
0.041	0.067	0.024	0.048	0.180	0.045

Kemudian menghitung matrik B dengan menggunakan persamaan 2.3, yang selanjutnya dijumlahkan isi setiap kolom pada baris yang sama pada matriks B tersebut untuk mendapatkan matriks C.

Tabel B.73. Menghitung Matriks B dan Matriks C - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Matriks B = A * AR				Matriks C
0.313	0.247	0.442	0.315	1.317
0.627	0.494	0.589	0.360	2.070
0.104	0.124	0.147	0.225	0.600
0.045	0.062	0.029	0.045	0.181

Dilanjutkan menghitung nilai *eigen value* menggunakan persamana 2.4 sehingga didapatkan  $\lambda$  maks.

Tabel B.74. Menghitung Nilai Eigen Value - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternatif	Nilai
I	4.203
II	4.187
III	4.073
IV	4.027
( $\lambda$ maks)	4.123

Kemudian mencari nilai *consistency index* menggunakan persamaan 2.5, sehingga didapatkan:

$$CI = (4,123 - 4) / (4-1)$$

$$= 0,041$$

Setelah itu mencari *consistency ratio* menggunakan persamaan 2.6, dimana *random index* untuk matrik ordo 4 adalah bernilai 0,9.

$$CR = 0,041 / 0,9$$

$$= 4,4 \%$$

Dari nilai CR 4,5% tersebut diketahui bahwa pengisian kuisioner oleh responden 1 telah lolos uji konsistensi karena CR bernilai  $\leq 10 \%$ ,

Dengan sistem yang sama juga dilakukan perhitungan pada responden 2,3,4,5,6,7,8,9, dan 10 untuk mengetahui tingkat uji konsistensi data kuisioner setiap responden tersebut terhadap perbandingan alternatif berdasarkan kriteria durasi proyek.

Tabel B.75. Hasil Kuisioner Responden 2 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternatif	Penilaian																Alternatif	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.76. Hasil Kuisioner Responden 3 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternatif	Penilaian																Alternatif	
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.77. Hasil Kuisioner Responden 4 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.78. Hasil Kuisioner Responden 5 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.79. Hasil Kuisioner Responden 6 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.80. Hasil Kuisioner Responden 7 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternatif	Penilaian																	Alternatif
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.81. Hasil Kuisioner Respondend 8 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternative	Evaluation																	Alternative
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.82. Hasil Kuisioner Responden 9 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternative	Evaluation																	Alternative
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

Tabel B.83. Hasil Kuisioner Responden 10 - Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternative	Evaluation																	Alternative
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
I	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	III
II	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV
III	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IV

## LAMPIIRAN C - TFN dan Perhitungan FAHP KRITERIA

### Fuzzy AHP - Pemilihan Tingkat Kepentingan Kriteria

Data AHP dari responden yang anjot ke fuzzy AHP diubah kedalam bilangan TFN seperti yang dipertlihatkan pada tabel-tabel dibawah ini.

Tabel C.1. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 1 – Perbandingan Kriteria

KRITERIA	A			B			C			D			E			F		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	2.000	3.000	4.000	1.000	2.000	3.000	0.111	0.111	0.125	6.000	7.000	8.000
B	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.111	0.125	0.143	5.000	6.000	7.000
C	0.250	0.333	0.500	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.500	1.000	0.125	0.143	0.167	4.000	5.000	6.000
D	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.111	0.125	0.143	5.000	6.000	7.000
E	8.000	9.000	9.000	7.000	8.000	9.000	6.000	7.000	8.000	7.000	8.000	9.000	1.000	1.000	1.000	8.000	9.000	9.000
F	0.125	0.143	0.167	0.143	0.167	0.200	0.167	0.200	0.250	0.143	0.167	0.200	0.111	0.111	0.125	1.000	1.000	1.000

Tabel C.2. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 2 – Perbandingan Kriteria

KRITERIA	A			B			C			D			E			F		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.500	1.000	2.000	3.000	4.000	0.250	0.333	0.500	2.000	3.000	4.000
B	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.250	0.333	0.500	3.000	4.000	5.000	0.200	0.250	0.333	3.000	4.000	5.000
C	1.000	2.000	3.000	2.000	3.000	4.000	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000	0.333	0.500	1.000	5.000	6.000	7.000
D	0.250	0.333	0.500	0.200	0.250	0.333	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000	0.200	0.250	0.333	6.000	7.000	8.000
E	2.000	3.000	4.000	3.000	4.000	5.000	1.000	2.000	3.000	3.000	4.000	5.000	1.000	1.000	1.000	7.000	8.000	9.000
F	0.250	0.333	0.500	0.200	0.250	0.333	0.143	0.167	0.200	0.125	0.143	0.167	0.111	0.125	0.143	1.000	1.000	1.000

Tabel C.3. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 3 – Perbandingan Kriteria

KRITERIA	A			B			C			D			E			F		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000	0.167	0.200	0.250	0.167	0.200	0.250	0.167	0.200	0.250	0.333	0.500	1.000
B	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000	0.125	0.143	0.167	0.125	0.143	0.167	0.167	0.200	0.250	0.200	0.250	0.333
C	4.000	5.000	6.000	6.000	7.000	8.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	4.000	5.000	4.000	5.000	6.000
D	4.000	5.000	6.000	6.000	7.000	8.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	4.000	5.000	4.000	5.000	6.000
E	4.000	5.000	6.000	4.000	5.000	6.000	0.200	0.250	0.333	0.200	0.250	0.333	1.000	1.000	1.000	3.000	4.000	5.000
F	1.000	2.000	3.000	3.000	4.000	5.000	0.167	0.200	0.250	0.167	0.200	0.250	0.200	0.250	0.333	1.000	1.000	1.000

Tabel C.4. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 5 – Perbandingan Kriteria

KRITERIA	A			B			C			D			E			F		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000	0.167	0.200	0.250	0.125	0.143	0.167	2.000	3.000	4.000	6.000	7.000	8.000
B	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000	0.125	0.143	0.167	0.111	0.125	0.143	0.250	0.333	0.500	2.000	3.000	4.000
C	4.000	5.000	6.000	6.000	7.000	8.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	6.000	7.000	8.000	7.000	8.000	9.000
D	6.000	7.000	8.000	7.000	8.000	9.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7.000	8.000	9.000	8.000	9.000	9.000
E	0.250	0.333	0.500	2.000	3.000	4.000	0.125	0.143	0.167	0.111	0.125	0.143	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000
F	0.125	0.143	0.167	0.250	0.333	0.500	0.111	0.125	0.143	0.111	0.111	0.125	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000

Tabel C.5. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 6 – Perbandingan Kriteria

KRITERIA	A			B			C			D			E			F		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	2.000	3.000	4.000	1.000	2.000	3.000	0.111	0.125	0.143	6.000	7.000	8.000
B	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000	1.000	1.000	1.000	0.143	0.167	0.200	4.000	5.000	6.000
C	0.250	0.333	0.500	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	0.333	0.500	1.000	0.143	0.167	0.200	4.000	5.000	6.000
D	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.125	0.143	0.167	4.000	5.000	6.000
E	7.000	8.000	9.000	5.000	6.000	7.000	5.000	6.000	7.000	6.000	7.000	8.000	1.000	1.000	1.000	7.000	8.000	9.000
F	0.125	0.143	0.167	0.167	0.200	0.250	0.167	0.200	0.250	0.167	0.200	0.250	0.111	0.125	0.143	1.000	1.000	1.000

Tabel C6. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 10 – Perbandingan Kriteria

KRITERIA	A			B			C			D			E			F		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000	0.125	0.143	0.167	0.200	0.250	0.333	0.167	0.200	0.250	2.000	3.000	4.000
B	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	0.125	0.143	0.167	0.333	0.500	1.000	0.200	0.250	0.333	1.000	1.000	1.000
C	6.000	7.000	8.000	6.000	7.000	8.000	1.000	1.000	1.000	6.000	7.000	8.000	4.000	5.000	6.000	6.000	7.000	8.000
D	3.000	4.000	5.000	1.000	2.000	3.000	0.125	0.143	0.167	1.000	1.000	1.000	0.333	0.500	1.000	2.000	3.000	4.000
E	4.000	5.000	6.000	3.000	4.000	5.000	0.167	0.200	0.250	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000
F	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	0.125	0.143	0.167	0.250	0.333	0.500	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000

Data matriks TFN dari keenam reponden tersebut kemudian disatukan dengan menggunakan rata-raat geometrik pada persamaan 2.17, sehingga didapatkan hasilnya yang diperlihatkan pada Tabel C.7.

Tabel C7. Matriks TFN Rata-rata Geometrik Perbandingan Kriteria

KRITERIA	A			B			C			D			E			F		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A	1.000	1.000	1.000	1.782	2.587	3.302	0.408	0.543	0.742	0.450	0.664	0.891	0.236	0.287	0.362	2.570	3.400	4.490
B	0.303	0.386	0.561	1.000	1.000	1.000	0.315	0.424	0.550	0.490	0.574	0.701	0.173	0.210	0.271	1.698	2.117	2.558
C	1.348	1.841	2.449	1.817	2.357	3.175	1.000	1.000	1.000	1.178	1.435	1.906	0.868	1.089	1.414	4.876	5.896	6.910
D	1.122	1.506	2.221	1.426	1.743	2.040	0.525	0.697	0.849	1.000	1.000	1.000	0.519	0.644	0.842	4.442	5.522	6.459
E	2.766	3.488	4.243	3.689	4.752	5.793	0.707	0.918	1.152	1.187	1.552	1.928	1.000	1.000	1.000	4.595	5.707	6.663
F	0.223	0.294	0.389	0.391	0.472	0.589	0.145	0.170	0.205	0.155	0.181	0.225	0.150	0.175	0.218	1.000	1.000	1.000



Dengan menggunakan persamaan 2.19 dilakukan penjumlahan komponen l, m dan u, dan dengan menggunakan persamaan 2.20 ntuk mendapatkan nilai invers dari penjumlahan tersebut sebagai yang terlihat pada Tabel C8.

Tabel C8. Nilai Invers - Perbandingan Kriteria.

KRITERIA	Matriks K		
	$\Sigma l$	$\Sigma m$	$\Sigma u$
A	6.446	8.481	10.786
B	3.979	4.712	5.642
C	11.087	13.618	16.855
D	9.033	11.111	13.411
E	13.944	17.418	20.779
F	2.063	2.292	2.626
<b>Jumlah</b>	<b>46.552</b>	<b>57.633</b>	<b>70.098</b>
<b>Invers</b>	<b>0.0143</b>	<b>0.01735</b>	<b>0.0215</b>

Pada Tabel C.8, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *fuzzy synthetic extent* dengan menggunakan persamaan 2.18, menggunakan persamaan 2.21 untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi dan menggunakan persamaan 2.22 untuk mendapatkan nomalisasi nilai defuzzifikasi sehingga didapatkan nilai bobot dari setiap kriteri, dan selanjutnya dapat dilakukan perankingan

Tabel C9. Nilai Fuzzy Synthetic Extent, Defuzzifikasi dan Bobot - Perbandingan Kriteria.

$S_i$	l	m	u	$DM_i$	W	Kriteria	Rangking
<b>S1</b>	0.092	0.147	0.232	0.157	0.1485	A - Harga Listrik	4
<b>S2</b>	0.057	0.082	0.121	0.087	0.0819	B - Pendanaan	5
<b>S3</b>	0.158	0.236	0.362	0.252	0.2387	C - GRK	2
<b>S4</b>	0.129	0.193	0.288	0.203	0.1924	D - Sumber Daya	3
<b>S5</b>	0.199	0.302	0.446	0.316	0.2989	E - Efek ke Sistem	1
<b>S6</b>	0.029	0.040	0.056	0.042	0.0396	F - Durasi Proyek	6
Jumlah				1.057	1.0000		

## LAMPIRAN D - TFN dan Perhitungan FAHP ALTERNATIF

### D.1. Fuzzy AHP – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria A

Data AHP dari responden yang lanjut ke fuzzy AHP diubah kedalam bilangan TFN seperti yang dipertlihatkan pada tabel-tabel dibawah ini.

Tabel D.1. Matriks TFN Hasil Kuisioner Responden 1 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	1.000	0.200	3.000	0.143	0.167	0.200	0.200	0.250	0.333
II	0.333	5.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.500	1.000	3.000	4.000	5.000
III	5.000	6.000	7.000	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000
IV	3.000	4.000	5.000	0.200	0.250	0.333	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000

Tabel D.2. Matriks TFN Hasil Kuisioner Responden 2 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.111	0.111	0.125	0.111	0.111	0.125	0.125	0.143	0.167
II	8.000	9.000	9.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.500	1.000	2.000	3.000	4.000
III	8.000	9.000	9.000	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000	3.000	4.000	5.000
IV	6.000	7.000	8.000	0.250	0.333	0.500	0.200	0.250	0.333	1.000	1.000	1.000

Tabel D.3. Matriks TFN Hasil Kuisioner Responden 3 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.167	0.200	0.250	0.167	0.200	0.250	0.250	0.333	0.500
II	4.000	5.000	6.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000	2.000	3.000	4.000
III	4.000	5.000	6.000	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000
IV	2.000	3.000	4.000	0.250	0.333	0.500	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000

Tabel D.4. Matriks TFN Hasil Kuisioner Responden 5 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.143	0.167	0.200	0.125	0.143	0.167	0.250	0.333	0.500
II	5.000	6.000	7.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.500	1.000	5.000	6.000	7.000
III	6.000	7.000	8.000	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000
IV	2.000	3.000	4.000	0.143	0.167	0.200	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000

Tabel D.5. Matriks TFN Hasil Kuisioner Responden 6 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.143	0.167	0.200	0.125	0.143	0.167	0.200	0.250	0.333
II	5.000	6.000	7.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.500	1.000	3.000	4.000	5.000
III	6.000	7.000	8.000	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000
IV	3.000	4.000	5.000	0.200	0.250	0.333	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000

Tabel D.6. Matriks TFN Hasil Kuisioner Responden 10 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.167	0.200	0.250	0.167	0.200	0.250	0.200	0.250	0.333
II	4.000	5.000	6.000	1.000	1.000	1.000	0.250	0.333	0.500	1.000	2.000	3.000
III	4.000	5.000	6.000	2.000	3.000	4.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000
IV	3.000	4.000	5.000	0.333	0.500	1.000	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000

Data matriks TFN dari keenam responden tersebut kemudian disatukan dengan menggunakan rata-rata geometrik pada persamaan 2.17, sehingga didapatkan hasilnya yang diperlihatkan pada Tabel D.7.

Tabel D.7. Matriks TFN Rata-rata Geometrik Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.148	0.171	0.207	0.138	0.157	0.187	0.199	0.251	0.340
II	4.837	5.860	6.758	1.000	1.000	1.000	0.428	0.630	1.122	2.376	3.464	4.509
III	5.334	6.359	7.249	0.891	1.587	2.335	1.000	1.000	1.000	2.696	3.732	4.752
IV	2.942	3.990	5.020	0.222	0.289	0.421	0.210	0.268	0.371	1.000	1.000	1.000

Dengan menggunakan persamaan 2.19 dilakukan penjumlahan komponen l, m dan u, dan dengan menggunakan persamaan 2.20 untuk mendapatkan nilai invers dari penjumlahan tersebut sebagai yang terlihat pada Tabel D.8.

Tabel D.8. Nilai Invers – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

Alternatif	Matriks A		
	$\Sigma l$	$\Sigma m$	$\Sigma u$
I	1.485	1.579	1.734
II	8.641	10.954	13.389
III	9.921	12.678	15.337
IV	4.374	5.546	6.812
<b>Jumlah</b>	<b>24.421</b>	<b>30.757</b>	<b>37.271</b>
<b>Invers</b>	<b>0.0268</b>	<b>0.0325</b>	<b>0.0409</b>

Pada Tabel D.8, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *fuzzy synthetic extent* dengan menggunakan persamaan 2.18, menggunakan persamaan 2.21 untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi dan menggunakan persamaan 2.22 untuk mendapatkan normalisasi nilai defuzzifikasi sehingga didapatkan nilai bobot dari setiap kriteria, dan selanjutnya dapat dilakukan perbandingan.

Tabel D.9. Nilai Fuzzy Synthetic Extent, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria A.

$S_i$	l	m	u	$DM_i$	W	Alternatif	Rangking
S1	0.040	0.051	0.071	0.054	0.0510	I - PLTD	4
S2	0.232	0.356	0.548	0.379	0.3572	II - PLTS	2
S3	0.266	0.412	0.628	0.435	<b>0.4106</b>	<b>III - ORC</b>	<b>1</b>
S4	0.117	0.180	0.279	0.192	0.1812	IV - PLTA	3
Jumlah				1.060	1.0000		

## D.2. Fuzzy AHP – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria B

Data AHP dari responden yang lanjut ke fuzzy AHP diubah kedalam bilangan TFN seperti yang dipertlihatkan pada tabel-tabel dibawah ini.

Tabel D.10. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 1 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000	4.000	5.000	6.000	5.000	6.000	7.000
II	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	3.000	4.000	5.000	4.000	5.000	6.000
III	0.167	0.200	0.250	0.200	0.250	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000
IV	0.143	0.167	0.200	0.167	0.200	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000

Tabel D.11. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 2 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.250	0.333	0.500	2.000	3.000	4.000	6.000	7.000	8.000
II	2.000	3.000	4.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000	8.000	9.000	9.000
III	0.250	0.333	0.500	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000
IV	0.125	0.143	0.167	0.111	0.111	0.125	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000

Tabel D.12. Matriks TFN Hasil Kuisioner Responden 3 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	3.000	4.000	5.000	3.000	4.000	5.000	5.000	6.000	7.000
II	0.200	0.250	0.333	1.000	1.000	1.000	0.333	0.500	1.000	3.000	4.000	5.000
III	0.200	0.250	0.333	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000
IV	0.143	0.167	0.200	0.200	0.250	0.333	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000

Tabel D.13. Matriks TFN Hasil Kuisioner Responden 5 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.125	0.143	0.167	2.000	3.000	4.000	3.000	4.000	5.000
II	6.000	7.000	8.000	1.000	1.000	1.000	6.000	7.000	8.000	7.000	8.000	9.000
III	0.250	0.333	0.500	0.125	0.143	0.167	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000
IV	0.200	0.250	0.333	0.111	0.125	0.143	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000

Tabel D.14. Matriks TFN Hasil Kuisioner Responden 6 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	6.000	7.000	8.000
II	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	3.000	4.000	5.000	5.000	6.000	7.000
III	0.143	0.167	0.200	0.200	0.250	0.333	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000
IV	0.125	0.143	0.167	0.143	0.167	0.200	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000

Tabel D.15. Matriks TFN Hasil Kuisioner Responden 10 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000	3.000	4.000	5.000	5.000	6.000	7.000
II	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	3.000	4.000	5.000
III	0.200	0.250	0.333	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	4.000	5.000
IV	0.143	0.167	0.200	0.200	0.250	0.333	0.200	0.250	0.333	1.000	1.000	1.000

Data matriks TFN dari keenam reponden tersebut kemudian disatukan dengan menggunakan rata-raat geometrik pada persamaan 2.17, sehingga didapatkan hasilnya yang diperlihatkan pada Tabel D.16.

Tabel D.16. Matriks TFN Rata-rata Geometrik – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.953	1.314	1.728	2.994	4.036	5.061	4.880	5.904	6.919
II	0.579	0.761	1.049	1.000	1.000	1.000	1.817	2.637	3.659	4.648	5.707	6.632
III	0.198	0.248	0.334	0.273	0.379	0.550	1.000	1.000	1.000	2.140	3.260	4.318
IV	0.145	0.169	0.205	0.151	0.175	0.215	0.232	0.307	0.467	1.000	1.000	1.000

Dengan menggunakan persamaan 2.19 dilakukan penjumlahan komponen l, m dan u, dan dengan menggunakan persamaan 2.20 untuk mendapatkan nilai invers dari penjumlahan tersebut sebagai yang terlihat pada Tabel D.17.

Tabel D.17. Nilai Invers – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B.

Alternatif	Matriks B		
	$\Sigma l$	$\Sigma m$	$\Sigma u$
I	9.827	12.253	14.709
II	8.043	10.105	12.340
III	3.611	4.887	6.202
IV	1.527	1.651	1.887
<b>Jumlah</b>	<b>23.008</b>	<b>28.896</b>	<b>35.138</b>
<b>Invers</b>	<b>0.0285</b>	<b>0.0346</b>	<b>0.0435</b>

Pada 5.142, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *fuzzy synthetic extent* dengan menggunakan persamaan 2.18, menggunakan persamaan 2.21 untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi dan menggunakan persamaan 2.22 untuk mendapatkan normalisasi nilai defuzzifikasi sehingga didapatkan nilai bobot dari setiap kriteri, dan selanjutnya dapat dilakukan perankingan.

Tabel D.18. Nilai Fuzzy Synthetic Extent, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria B (Pendanaan).

$S_i$	l	m	u	$DM_i$	W	Alternatif	Rangking
S1	0.280	0.424	0.639	0.448	0.4221	I - PLTD	1
S2	0.229	0.350	0.536	0.372	0.3504	II - PLTS	2
S3	0.103	0.169	0.270	0.180	0.1702	III - ORC	3
S4	0.043	0.057	0.082	0.061	0.0574	IV - PLTA	4
Jumlah				1.061	1.000		

### D.3. Fuzzy AHP – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria C (Gas Rumah Kaca)

Data AHP dari responden yang lanjut ke fuzzy AHP diubah kedalam bilangan TFN seperti yang dipertlihatkan pada tabel-tabel dibawah ini.

Tabel D.19. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 1 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.167	0.200	0.250	0.167	0.200	0.250	0.167	0.200	0.250
II	4.000	5.000	6.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
III	4.000	5.000	6.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
IV	4.000	5.000	6.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Tabel D.20. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 2 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.111	0.111	0.125	0.111	0.111	0.125	0.111	0.111	0.125
II	8.000	9.000	9.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	1.000	2.000	3.000
III	8.000	9.000	9.000	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.500	1.000
IV	8.000	9.000	9.000	0.333	0.500	1.000	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000



Tabel D.21. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 3 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.111	0.111	0.125	0.111	0.111	0.125	0.111	0.111	0.125
II	8.000	9.000	9.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
III	8.000	9.000	9.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
IV	8.000	9.000	9.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Tabel D.22. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 5 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.111	0.111	0.125	0.111	0.111	0.125	0.111	0.111	0.125
II	8.000	9.000	9.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
III	8.000	9.000	9.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
IV	8.000	9.000	9.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Tabel D.23. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 6 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.200	0.250	0.333	0.200	0.250	0.333	0.200	0.250	0.333
II	3.000	4.000	5.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	1.000	2.000	3.000
III	3.000	4.000	5.000	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000
IV	3.000	4.000	5.000	0.333	0.500	1.000	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000

Tabel D.24. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 10 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.125	0.143	0.167	0.111	0.111	0.125	0.111	0.111	0.125
II	6.000	7.000	8.000	1.000	1.000	1.000	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000
III	8.000	9.000	9.000	2.000	3.000	4.000	1.000	1.000	1.000	3.000	4.000	5.000
IV	8.000	9.000	9.000	1.000	1.000	1.000	0.200	0.250	0.333	1.000	1.000	1.000

Data matriks TFN dari keenam reponden tersebut kemudian disatukan dengan menggunakan rata-rata geometrik pada persamaan 2.17, sehingga didapatkan hasilnya yang diperlihatkan pada Tabel D.25.

Tabel D.25. Matriks TFN Rata-rata Geometrik Perbandingan Kriteria – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.134	0.146	0.173	0.131	0.140	0.165	0.131	0.140	0.165
II	5.769	6.836	7.479	1.000	1.000	1.000	0.794	1.049	1.285	1.000	1.260	1.442
III	6.052	7.129	7.627	0.778	0.953	1.260	1.000	1.000	1.000	1.000	1.260	1.570
IV	6.052	7.129	7.627	0.693	0.794	1.000	0.637	0.794	1.000	1.000	1.000	1.000

Dengan menggunakan persamaan 2.19 dilakukan penjumlahan komponen l, m dan u, dan dengan menggunakan persamaan 2.20 untuk mendapatkan nilai invers dari penjumlahan tersebut sebagai yang terlihat pada Tabel D.26.

Tabel D.26. Nilai Invers – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

Alternatif	Matrik C		
	$\Sigma l$	$\Sigma m$	$\Sigma u$
I	1.396	1.427	1.504
II	8.563	10.145	11.206
III	8.831	10.342	11.457
IV	8.382	9.716	10.627
<b>Jumlah</b>	<b>27.172</b>	<b>31.630</b>	<b>34.794</b>
<b>Invers</b>	<b>0.0287</b>	<b>0.0316</b>	<b>0.0368</b>

Pada Tabel D.27, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *fuzzy synthetic extent* dengan menggunakan persamaan 2.18, menggunakan persamaan 2.21 untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi dan menggunakan persamaan 2.22 untuk mendapatkan normalisasi nilai defuzzifikasi sehingga didapatkan nilai bobot dari setiap kriteria, dan selanjutnya dapat dilakukan perbandingan.

Tabel D.27. Nilai Fuzzy Synthetic Extent, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria C.

$S_i$	l	m	u	$DM_i$	W	Alternatif	Rangking
S1	0.040	0.045	0.055	0.047	0.0459	I - PLTD	4
S2	0.246	0.321	0.412	0.326	0.3199	II - PLTS	2
S3	0.254	0.327	0.422	0.334	<b>0.3274</b>	<b>III - ORC</b>	<b>1</b>
S4	0.241	0.307	0.391	0.313	0.3068	IV - PLTA	3
Jumlah				1.020	1.000		

#### D.4. Fuzzy AHP – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria D

Data AHP dari responden yang lanjut ke fuzzy AHP diubah kedalam bilangan TFN seperti yang dipertlihatkan pada tabel-tabel dibawah ini.

Tabel D.28. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 1 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.250	0.333	0.500	0.200	0.250	0.333	0.167	0.200	0.250
II	2.000	3.000	4.000	1.000	1.000	1.000	0.250	0.333	0.500	0.200	0.250	0.333
III	3.000	4.000	5.000	2.000	3.000	4.000	1.000	1.000	1.000	0.250	0.333	0.500
IV	4.000	5.000	6.000	3.000	4.000	5.000	2.000	3.000	4.000	1.000	1.000	1.000

Tabel D.29. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 2 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.111	0.111	0.125	0.125	0.143	0.167	0.111	0.111	0.125
II	8.000	9.000	9.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000	1.000	2.000	3.000
III	6.000	7.000	8.000	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	0.250	0.333	0.500
IV	8.000	9.000	9.000	0.333	0.500	1.000	2.000	3.000	4.000	1.000	1.000	1.000

Tabel D.30. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 3 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.250	0.333	0.500	1.000	2.000	3.000	0.200	0.250	0.333
II	2.000	3.000	4.000	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000	0.200	0.250	0.333
III	0.333	0.500	1.000	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000	0.167	0.200	0.250
IV	3.000	4.000	5.000	3.000	4.000	5.000	4.000	5.000	6.000	1.000	1.000	1.000

Tabel D.31. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 5 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.111	0.111	0.125	0.167	0.200	0.250	0.125	0.143	0.167
II	8.000	9.000	9.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000	1.000	2.000	3.000
III	4.000	5.000	6.000	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	0.167	0.200	0.250
IV	6.000	7.000	8.000	0.333	0.500	1.000	4.000	5.000	6.000	1.000	1.000	1.000

Tabel D.32. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 6 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.200	0.250	0.333	0.167	0.200	0.250	0.143	0.167	0.200
II	3.000	4.000	5.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.500	1.000	0.167	0.200	0.250
III	4.000	5.000	6.000	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.250	0.333	0.500
IV	5.000	6.000	7.000	4.000	5.000	6.000	2.000	3.000	4.000	1.000	1.000	1.000

Tabel D.33. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 10 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.250	0.333	0.500	0.167	0.200	0.250	0.167	0.200	0.250
II	2.000	3.000	4.000	1.000	1.000	1.000	0.250	0.333	0.500	0.250	0.333	0.500
III	4.000	5.000	6.000	2.000	3.000	4.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000
IV	4.000	5.000	6.000	2.000	3.000	4.000	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000

Data matriks TFN dari keenam reponden tersebut kemudian disatukan dengan menggunakan rata-raat geometrik pada persamaan 2.17, sehingga didapatkan hasilnya yang diperlihatkan pada Tabel D.34.

Tabel D.34. Matriks TFN Rata-rata Geometrik – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.184	0.220	0.294	0.221	0.288	0.371	0.149	0.173	0.210
II	3.397	4.539	5.440	1.000	1.000	1.000	0.833	1.165	1.698	0.344	0.505	0.707
III	2.696	3.471	4.530	0.589	0.858	1.201	1.000	1.000	1.000	0.275	0.379	0.535
IV	4.752	5.793	6.703	1.414	1.979	2.904	1.869	2.639	3.634	1.000	1.000	1.000

Dengan menggunakan persamaan 2.19 dilakukan penjumlahan komponen l, m dan u, dan dengan menggunakan persamaan 2.20 untuk mendapatkan nilai invers dari penjumlahan tersebut sebagai yang terlihat pada Tabel D.35.

Tabel D.35. Nilai Invers – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D.

Alternatif	Matiks D		
	$\Sigma l$	$\Sigma m$	$\Sigma u$
I	1.554	1.681	1.876
II	5.574	7.210	8.846
III	4.560	5.709	7.266
IV	9.036	11.410	14.242
<b>Jumlah</b>	<b>20.723</b>	<b>26.010</b>	<b>32.229</b>
<b>Invers</b>	<b>0.031</b>	<b>0.038</b>	<b>0.048</b>

Pada Tabel D.36, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *fuzzy synthetic extent* dengan menggunakan persamaan 2.18, menggunakan persamaan 2.21 untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi dan menggunakan persamaan 2.22 untuk mendapatkan normalisasi nilai defuzzifikasi sehingga didapatkan nilai bobot dari setiap kriteria, dan selanjutnya dapat dilakukan perbandingan.

Tabel D.36. Nilai Fuzzy Synthetic Extent, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria D (Efek ke system).

$S_i$	l	m	u	$DM_i$	W	Alternatif	Rangking
S1	0.048	0.065	0.091	0.068	0.0636	I - PLTD	4
S2	0.173	0.277	0.427	0.292	0.2742	II - PLTS	2
S3	0.141	0.219	0.351	0.237	0.2225	III - ORC	3
S4	0.280	0.439	0.687	0.469	<b>0.4397</b>	<b>IV - PLTA</b>	<b>1</b>
Jumlah				1.066	1.000		

#### D.5. Fuzzy AHP – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria E

Data AHP dari responden yang lanjut ke fuzzy AHP diubah kedalam bilangan TFN seperti yang dipertlihatkan pada tabel-tabel dibawah ini.

Tabel D.37. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 1 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000	5.000	6.000	7.000	1.000	1.000	1.000
II	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000	0.167	0.200	0.250
III	0.143	0.167	0.200	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	0.143	0.167	0.200
IV	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000	5.000	6.000	7.000	1.000	1.000	1.000

Tabel D.38. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 2 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	6.000	7.000	8.000	8.000	9.000	9.000	0.250	0.333	0.500
II	0.125	0.143	0.167	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000	0.111	0.111	0.125
III	0.111	0.111	0.125	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	0.111	0.111	0.125
IV	2.000	3.000	4.000	8.000	9.000	9.000	8.000	9.000	9.000	1.000	1.000	1.000

Tabel D.39. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 3 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000	6.000	7.000	8.000	1.000	1.000	1.000
II	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000	0.167	0.200	0.250
III	0.125	0.143	0.167	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000	0.125	0.143	0.167
IV	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000	6.000	7.000	8.000	1.000	1.000	1.000

Tabel D.40. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 5 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	6.000	7.000	8.000	1.000	1.000	1.000
II	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	6.000	7.000	8.000	0.167	0.200	0.250
III	0.125	0.143	0.167	0.125	0.143	0.167	1.000	1.000	1.000	0.125	0.143	0.167
IV	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000	6.000	7.000	8.000	1.000	1.000	1.000

Tabel D.41. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 6 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000	5.000	6.000	7.000	0.333	0.500	1.000
II	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000	0.167	0.200	0.250
III	0.143	0.167	0.200	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	0.167	0.200	0.250
IV	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	4.000	5.000	6.000	1.000	1.000	1.000

Tabel D.42. Matriks TFN Hasil Kuisoner Responden 10 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000
II	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000	0.200	0.250	0.333	0.167	0.200	0.250
III	0.333	0.500	1.000	3.000	4.000	5.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.500	1.000
IV	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000

Data matriks TFN dari keenam reponden tersebut kemudian disatukan dengan menggunakan rata-rata geometrik pada persamaan 2.17, sehingga didapatkan hasilnya yang diperlihatkan pada Tabel D.43.

Tabel D.43. Matriks TFN Rata-rata Geometrik Perbandingan Kriteria – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	3.397	4.539	5.608	4.394	5.627	6.627	0.661	0.742	0.891
II	0.178	0.220	0.294	1.000	1.000	1.000	1.837	2.486	3.175	0.156	0.181	0.223
III	0.151	0.178	0.228	0.315	0.402	0.544	1.000	1.000	1.000	0.155	0.183	0.236
IV	1.122	1.348	1.513	4.490	5.515	6.419	4.234	5.459	6.459	1.000	1.000	1.000

Dengan menggunakan persamaan 2.19 dilakukan penjumlahan komponen l, m dan u, dan dengan menggunakan persamaan 2.20 untuk mendapatkan nilai invers dari penjumlahan tersebut sebagai yang terlihat pada Tabel D.44.

Tabel D.44. Nilai Invers – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

Alternatif	Matiks E		
	$\Sigma l$	$\Sigma m$	$\Sigma u$
I	9.452	11.909	14.125
II	3.171	3.888	4.692
III	1.621	1.763	2.008
IV	10.846	13.321	15.391
<b>Jumlah</b>	<b>25.090</b>	<b>30.881</b>	<b>36.217</b>
<b>Invers</b>	<b>0.0276</b>	<b>0.03238</b>	<b>0.03986</b>

Pada Tabel D.45, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *fuzzy synthetic extent* dengan menggunakan persamaan 2.18, menggunakan persamaan 2.21 untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi dan menggunakan persamaan 2.22 untuk mendapatkan normalisasi nilai defuzzifikasi sehingga didapatkan nilai bobot dari setiap kriteria, dan selanjutnya dapat dilakukan perankingan.



Tabel D.45. Nilai Fuzzy Synthetic Extent, Defuzzifikasi dan Bobot – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria E.

$S_i$	l	m	u	$DM_i$	W	Alternatif	Rangking
S1	0.261	0.386	0.563	0.403	0.3857	I - PLTD	2
S2	0.088	0.126	0.187	0.133	0.1277	II - PLTS	3
S3	0.045	0.057	0.080	0.061	0.0580	III - ORC	4
S4	0.299	0.431	0.613	0.448	<b>0.4286</b>	IV - PLTA	<b>1</b>
Jumlah				1.045	1.000		

#### D6. Fuzzy AHP – Pemilihan Alternatif Berdasarkan Kriteria F

Data AHP dari responden yang lanjut ke fuzzy AHP diubah kedalam bilangan TFN seperti yang dipertlihatkan pada tabel-tabel dibawah ini.

Tabel D.46. Matriks TFN Hasil Kuisioner Responden 1 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.333	0.500	1.000	2.000	3.000	4.000	6.000	7.000	8.000
II	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000	3.000	4.000	5.000	7.000	8.000	9.000
III	0.250	0.333	0.500	0.200	0.250	0.333	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000
IV	0.125	0.143	0.167	0.111	0.125	0.143	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000

Tabel D.47. Matriks TFN Hasil Kuisioner Responden 2 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.333	0.500	1.000	4.000	5.000	6.000	6.000	7.000	8.000
II	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000	8.000	9.000	9.000
III	0.167	0.200	0.250	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000
IV	0.125	0.143	0.167	0.111	0.111	0.125	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000

Tabel D.48. Matriks TFN Hasil Kuisioner Responden 3 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000	6.000	7.000	8.000
II	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000
III	0.167	0.200	0.250	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000	6.000
IV	0.125	0.143	0.167	0.143	0.167	0.200	0.167	0.200	0.250	1.000	1.000	1.000

Tabel D.49. Matriks TFN Hasil Kuisioner Responden 5 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.167	0.200	0.250	0.250	0.333	0.500	1.000	2.000	3.000
II	4.000	5.000	6.000	1.000	1.000	1.000	6.000	7.000	8.000	8.000	9.000	9.000
III	2.000	3.000	4.000	0.125	0.143	0.167	1.000	1.000	1.000	3.000	4.000	5.000
IV	0.333	0.500	1.000	0.111	0.111	0.125	0.200	0.250	0.333	1.000	1.000	1.000

Tabel D.50. Matriks TFN Hasil Kuisioner Responden 6 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.333	0.500	1.000	2.000	3.000	4.000	6.000	7.000	8.000
II	1.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000
III	0.250	0.333	0.500	0.200	0.250	0.333	1.000	1.000	1.000	3.000	4.000	5.000
IV	0.125	0.143	0.167	0.125	0.143	0.167	0.200	0.250	0.333	1.000	1.000	1.000

Tabel D.51. Matriks TFN Hasil Kuisioner Responden 10 – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	3.000	4.000	5.000
II	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	3.000	4.000	5.000
III	0.333	0.500	1.000	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000
IV	0.200	0.250	0.333	0.200	0.250	0.333	0.250	0.333	0.500	1.000	1.000	1.000

Data matriks TFN dari keenam reponden tersebut kemudian disatukan dengan menggunakan rata-rata geometrik pada persamaan 2.17, sehingga didapatkan hasilnya yang diperlihatkan pada Tabel D.52.

Tabel D.52. Matriks TFN Rata-rata Geometrik – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternatif	I			II			III			IV		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
I	1.000	1.000	1.000	0.428	0.541	0.794	1.587	2.305	3.086	3.965	5.175	6.282
II	1.260	1.849	2.335	1.000	1.000	1.000	2.749	3.870	4.932	5.856	6.910	7.673
III	0.324	0.434	0.630	0.203	0.258	0.364	1.000	1.000	1.000	3.238	4.263	5.277
IV	0.159	0.193	0.252	0.130	0.145	0.171	0.189	0.235	0.309	1.000	1.000	1.000

Dengan menggunakan persamaan 2.19 dilakukan penjumlahan komponen l, m dan u, dan dengan menggunakan persamaan 2.20 untuk mendapatkan nilai invers dari penjumlahan tersebut sebagai yang terlihat pada Tabel D.53.

Tabel D.53. Nilai Invers – Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

Alternatif	Matriks F		
	$\Sigma l$	$\Sigma m$	$\Sigma u$
I	6.981	9.021	11.162
II	10.865	13.629	15.941
III	4.765	5.955	7.271
IV	1.479	1.573	1.732
<b>Jumlah</b>	<b>24.090</b>	<b>30.178</b>	<b>36.105</b>
<b>Invers</b>	<b>0.0277</b>	<b>0.0331</b>	<b>0.0415</b>

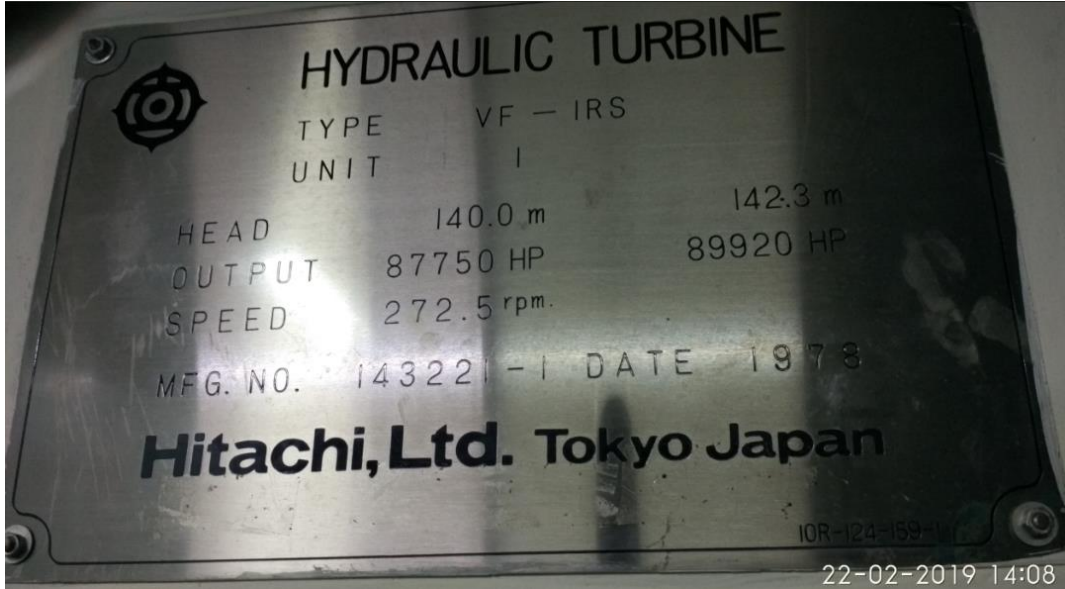
Pada Tabel D.54, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *fuzzy synthetic extent* dengan menggunakan persamaan 2.18, menggunakan persamaan 2.21 untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi dan menggunakan persamaan 2.22 untuk mendapatkan normalisasi nilai defuzzifikasi sehingga didapatkan nilai bobot dari setiap kriteria, dan selanjutnya dapat dilakukan perbandingan.

Tabel D.54. Nilai Fuzzy Synthetic Extent, Defuzzifikasi dan Bobot –  
Perbandingan Alternatif Berdasarkan Kriteria F.

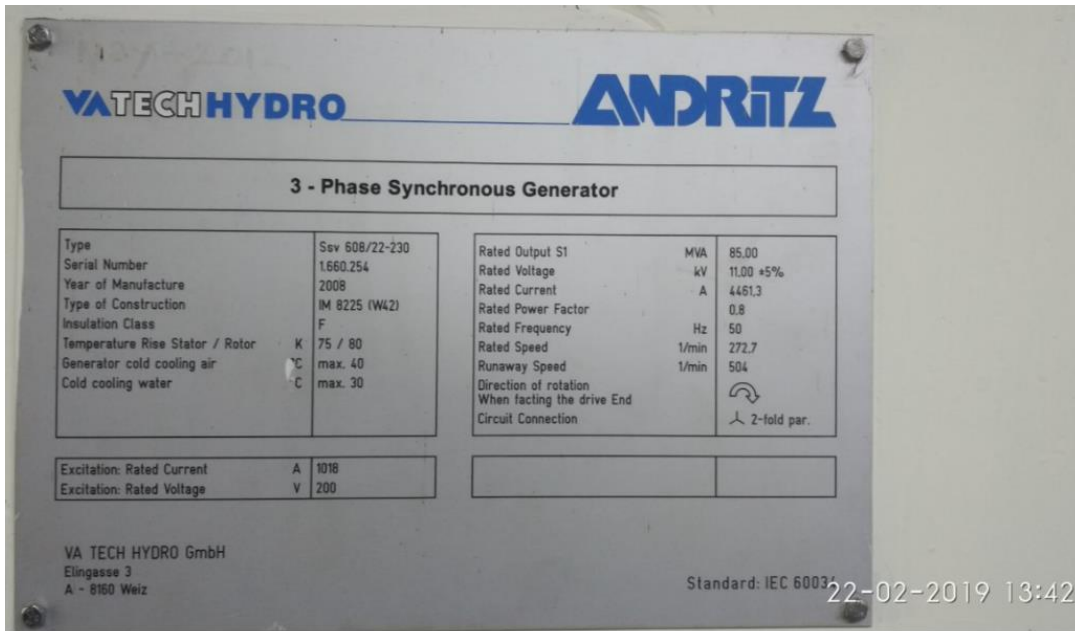
$S_i$	$l$	$m$	$u$	$DM_i$	$W$	Alternatif	Rangking
<b>S1</b>	0.193	0.299	0.463	0.319	0.3018	I - PLTD	2
<b>S2</b>	0.301	0.452	0.662	0.471	<b>0.4467</b>	<b>II - PLTS</b>	<b>1</b>
<b>S3</b>	0.132	0.197	0.302	0.210	0.1993	III - ORC	3
<b>S4</b>	0.041	0.052	0.072	0.055	0.0521	IV - PLTA	4
Jumlah				1.055	1.000		

**ATTACHEMENT E – LARONA Hydro Power Plant**

**LGS#1 - Turbine**



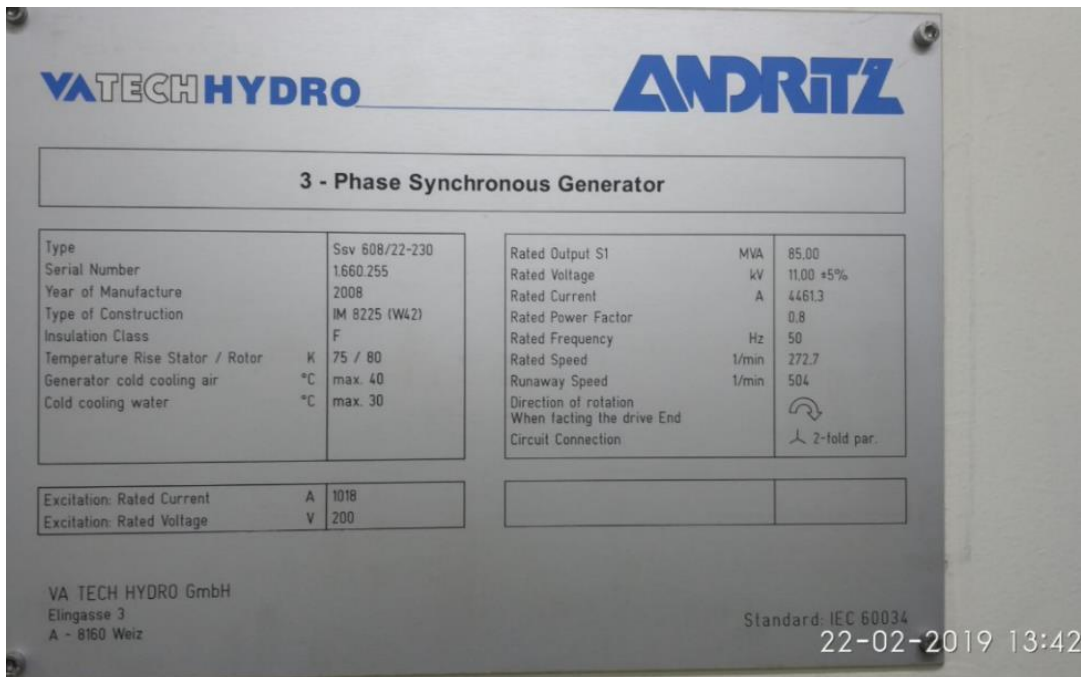
**LGS#1 Generator**



**LGS #2 - Turbine**



**LGS #2 – Generator.**



LGS #1, #2 and #3 – Transformer



# AS NATIONAL INDUSTRI NORWAY

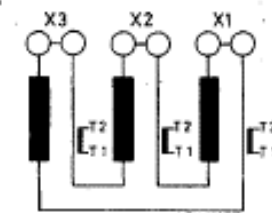
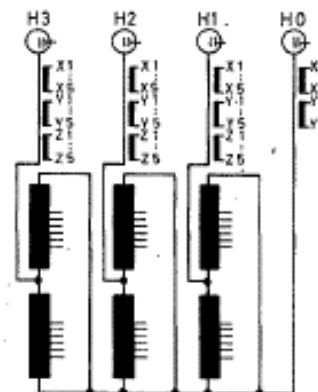


## 3-PHASE TAP-CHANGING TRANSFORMER

TYPE: TKTK-0      SERIAL NO.: T-69749      YEAR: 1977  
 FREQUENCY: 50 HZ      CLASS: OA  
 RATED OUTPUT: 70000/78400 KVA      WDG. TEMP. RISE: 55/65 °C  
 RATED HV: 150 KV      NO. OF TAPS ABOVE RATED HV: 3  
 RATED LV: 11 KV      NO. OF TAPS BELOW RATED HV: 1  
 HV. WDG.: 650 BIL      HV BUSHING: 750 BIL  
 HV. WDG. NEUTRAL: 250 BIL      HV NEUTRAL BUSHING: 250 BIL  
 LV. WDG.: 150 BIL      LV BUSHING: 150 BIL  
 PERCENT IMPEDANCE ON 150 KV AND 70000KVA BASE:         

FURNISH % IMPEDANCE VALUES AFTER FACTORY TESTS HAVE BEEN COMPLETED.

TERMINAL	RATED KVA	TAP CHANGER POSITION	VOLTS	AMPS	VOLTAGE PHASOR DIAGRAM
H1-H2-H3	78400				
		1	161250	281	
		2	157500	267	
		3	153750	294	
		4	150000	302	
	5	146250	310		
X1-X2-X3	78400		11000		



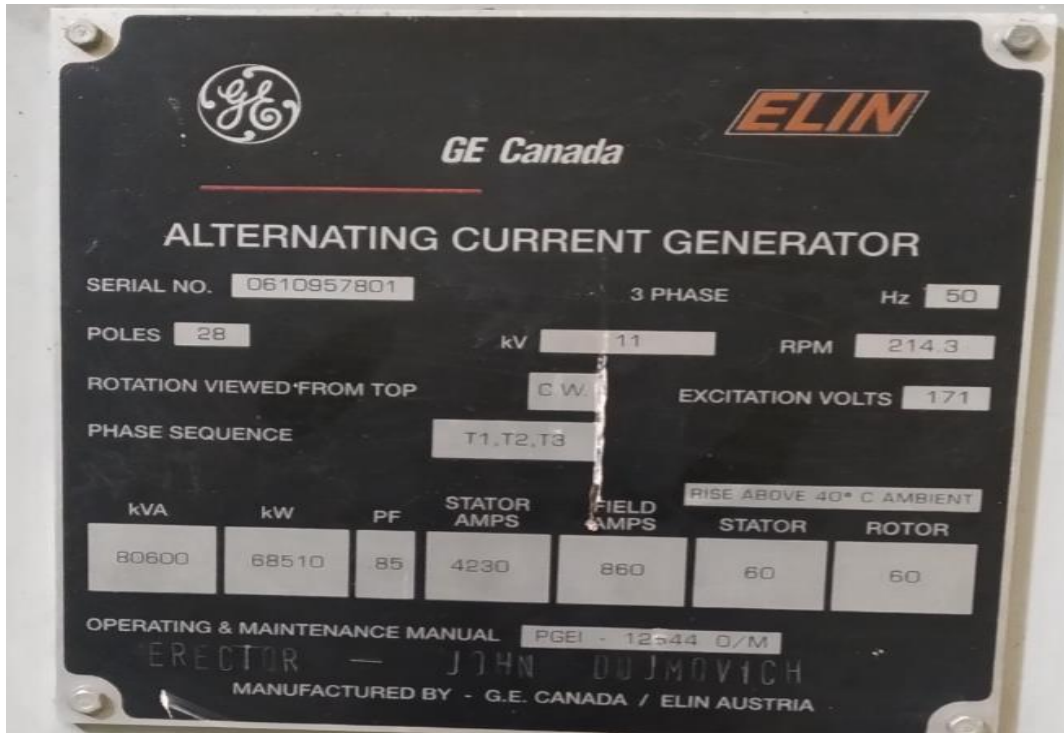
CONNECTION DIAGRAM  
(BOTH WINDINGS VIEWED FROM H.V. SIDE)

**ATTACHEMENT F – BALAMBANO Hydro Power Plant**

**BGS #1 & #2 - Turbine**

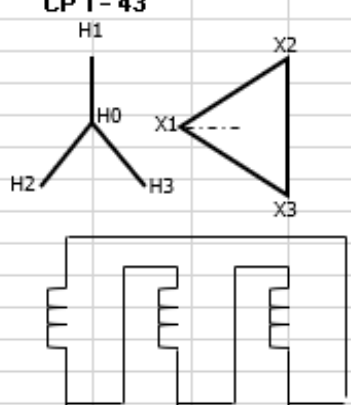


**BGS #1 & #2 – Generator**

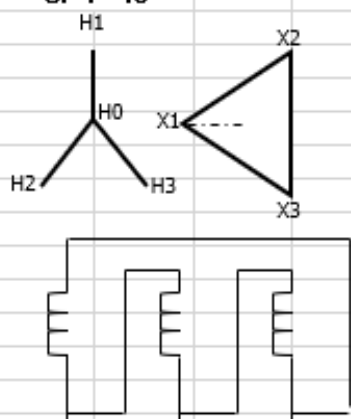




BGS#1 - Transformer


<b>ABB</b>								
<b>50 Hz THREE PHASE STEP - UP TRANSFORMER</b>								
<p><b>CP 1 - 43</b></p> 	<p>SERIAL NO. <b>11976-01</b></p>							
	150 000 GRDY / 86 603 / 11 000 VOLT							
	FULL WAVE IMPULSE LEVEL :	<table border="0"> <tr> <td>HV</td> <td>650 KV</td> </tr> <tr> <td>LV</td> <td>110 KV</td> </tr> <tr> <td>NEUTRAL</td> <td>110 KV</td> </tr> </table>	HV	650 KV	LV	110 KV	NEUTRAL	110 KV
HV	650 KV							
LV	110 KV							
NEUTRAL	110 KV							
	IMPEDANCE @ 83 MVA, 150 - 11KV	<b>10,4 %</b>						
	83 MVA @ 55°C TEMPERATURE RISE 0A RATING							
	93 MVA @ 65°C TEMPERATURE RISE 0A RATING							
	STANDARD NO.	ANSI C57.12.00. 1994						
	INSTRUCTION MANUAL	11976						

BGS#2 Transformer

<b>ABB</b>								
<b>50 Hz THREE PHASE STEP - UP TRANSFORMER</b>								
<p><b>CP 1 - 43</b></p> 	<p>SERIAL NO. <b>11976-02</b></p>							
	150 000 GRDY / 86 603 / 11 000 VOLT							
	FULL WAVE IMPULSE LEVEL :	<table border="0"> <tr> <td>HV</td> <td>650 KV</td> </tr> <tr> <td>LV</td> <td>110 KV</td> </tr> <tr> <td>NEUTRAL</td> <td>110 KV</td> </tr> </table>	HV	650 KV	LV	110 KV	NEUTRAL	110 KV
HV	650 KV							
LV	110 KV							
NEUTRAL	110 KV							
	IMPEDANCE @ 83 MVA, 150 - 11KV	<b>10,2 %</b>						
	83 MVA @ 55°C TEMPERATURE RISE 0A RATING							
	93 MVA @ 65°C TEMPERATURE RISE 0A RATING							
	STANDARD NO.	ANSI C57.12.00. 1994						
	INSTRUCTION MANUAL	11976						

**ATTACHEMENT G – KAREBBE Hydro Power Plant**

**KGS#1 & #2 – Turbine and Generator**

<b>KAREBBE HEPP</b>			
<b>UNIT 2</b>			
<b>3-PHASE SYNCHRONOUS GENERATOR</b>			
Year of Manufacture	2009	<i>Generator</i>	
Machine Code	Ssv 800/30-155	Rated Output	78000 KVA
Serial No.	1660020	Rated Voltage	11 kV ±5%
Class of Insulation	F	Rated Current	4093.90 A
Rated Speed	200,00 rpm	Rated Power Factor	0.85
Rated Frequency	50 Hz	Rated Field Voltage	156 A
Permissible Overspeed	375.00 rpm	Rated Field Current	968 A
Connection	Star, 3-f-parallel	Direction of Rotation Viewed from Non-Drive-End	
<b>FRANCIS TURBINE</b>			
Year of Manufacturing	2009	Rated Power Output Turbine	63.70 MW
Serial Nr.	9-164	Rated Discharge Turbine	98.41 m <sup>3</sup> /s
Rated Speed	200 rpm	Runner Diameter D <sub>r</sub>	3249.50 mm
Net Head, rated Turbine	70,80 m	Rotation	clockwise
<a href="http://www.andritz-hydro.com">www.andritz-hydro.com</a>			

