



## CASE STUDY REPORT

Case Study Report - TI185471

# MENENTUKAN RUTE MENARA TRANSMISI 150kV MENGGUNAKAN METODE FAHP (*FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS*) DARI GARUD INDUK PLTA LARONA KE GARUD INDUK PLTA BALAMBANO DI PT. VALE INDONESIA TBK

ABDUL MUIS  
NRP. 02411850077041

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Ir. Budi Santosa, M.S, Ph. D

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN KERJASAMA INDUSTRI  
DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020



# LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Teknik (M.T)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**ABDUL MUIS**

**NRP. 02411850077041**

Tanggal Ujian : 20 Mei 2020

Periode Wisuda : September 2020

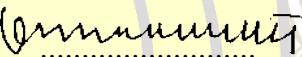
Disetujui Oleh:



Pembimbing :



Penguji:



Kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem



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

NIP: 19700523 199601 1 001

*Halaman ini memang dikosongkan*

## **LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Abdul Muis

NRP : 02411850077041

Program Studi : Magister Teknik Sistem dan Industri - ITS

Menyatakan bahwa tesis dengan judul

**“MENENTUKAN RUTE MENARA TRANSMISI 150kV  
MENGGUNAKAN METODE FAHP (FUZZY ANALYTICAL  
HIERARCHY PROCESS) DARI GARDU INDUK PLTA LARONA KE  
GARDU INDUK PLTA BALAMBANO DI PT. VALE INDONESIA TBK”**

adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2020

Yang membuat pernyataan



Abdul Muis

NRP. 02411850077041

*Halaman ini memang dikosongkan*

**MENENTUKAN RUTE MENARA TRANSMISI 150kV  
MENGGUNAKAN METODE FAHP (FUZZY ANALYTICAL  
HIERARCHY PROCESS) DARI GARU INDUK PLTA  
LARONA KE GARU INDUK PLTA BALAMBANO DI PT.  
VALE INDONESIA TBK**

Nama Mahasiswa : Abdul Muis  
NRP : 02411850077041  
Pembimbing : Prof. Ir. Budi Santosa, M.S, Ph. D

**ABSTRAK**

PT Vale Indonesia Indonesia, Tbk (PTVI), adalah perusahaan pertambangan mineral yang memproduksi nikel sebagai produk utamanya. PTVI membutuhkan keandalan pasokan daya yang tinggi dari pembangkit listrik tenaga air (PLTA) ke pembangkit listrik thermal untuk di alirkan ke semua fasilitas produksi sehingga dapat memproduksi nikel sesuai yang ditargetkan. Salah satu peralatan penting untuk menjaga agar ketersediaan listrik dapat terpenuhi adalah menara saluran transmisi. Kegagalan menara saluran transmisi akan memiliki efek bencana pada operasi produksi nikel. PTVI akan kehilangan 165 MW jalur menara saluran transmisi Larona gagal dan sisi lain akan kehilangan 200 MW jalur transmisi menara Balambano gagal. Sehingga untuk mendukung ketersediaan listrik secara terus menerus pembangunan menara saluran transmisi 150 KV jalur 5 (*Line 5*) dari gardu induk Larona ke gardu induk Balambano. Untuk menentukan pembangunan jalur menara transmisi ini memiliki banyak pertimbangan yang harus diperhatikan karena masing-masing jalur alternatif mempunyai kelebihan dan kekurangan dari berbagai aspek. Metode yang akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ini adalah metode FAHP (Fuzzy Analytical Hierarchy Process). Hasil nilai akhir pada setiap alternatif adalah 0.477 untuk *North Route*, 0.364 untuk *Middle Route* dan 0.159 untuk *South Route*. Berdasarkan hasil tersebut, penulis merekomendasikan manajemen PT. Vale Indonesia, sebagai pemilik dan operator pembangkit listrik tenaga air, memilih *North Route* untuk rencana pembangunan menara transmisi 150kV.

Kata kunci : Gardu induk Larona, Gardu induk Balambano, saluran transmisi menara 150kV, *Fuzzy Analytical Hierarchy Process*.

*Halaman ini memang dikosongkan*

**DETERMINING 150kV TRANSMISSION TOWER ROUTE  
USING FAHP (FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY  
PROCESS) METHOD FROM LARONA SWITCHYARD TO  
BALAMBANO SWITCHYARD AT PT. VALE INDONESIA  
TBK**

Name : Abdul Muis  
NRP : 02411850077041  
Supervisor : Prof. Ir. Budi Santosa, M.S, Ph. D

**ABSTRACT**

PT Vale Indonesia Indonesia, Tbk (PTVI), is a mineral mining company that produces nickel as its main product. PTVI requires high reliability of power supply from hydroelectric power (PLTA) to thermal power plants to be distributed to all production facilities so that it can produce nickel as targeted. One of the important equipment to maintain electricity availability can be met is the transmission line tower. Failure of the transmission line tower will have a disastrous effect on nickel production operations. PTVI will lose 165 MW of the failed Larona transmission line tower and the other side will lose 200 MW of the failed Balambano tower transmission line. To support the continued availability of electricity, the construction of a 150 KV transmission line tower line 5 from the Larona switchyard to the Balambano switchyard. To determine the construction of this transmission tower line has many considerations that must be considered because each alternative path has advantages and disadvantages from various aspects. The method that will be used to solve this problem is the FAHP (Fuzzy Analytical Hirercy Process) method. The final value for each alternative is 0.477 for North Route, 0.364 for Middle Route and 0.159 for South Route. Based on these results, the authors recommend the management of PT. Vale Indonesia, as the owner and operator of the hydroelectric power plant, chose North Route for the planned construction of the 150kV transmission tower.

Keywords : Larona Switchyard, Balambano Switchyard, 150kV tower transmission line, Fuzzy Analytical Hirercy Process.

*Halaman ini memang dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur, Alhamdulillah penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan-Nya, Sholawat serta salam selalu tercurah kepada Rasullullah Muhammad SAW. Sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan *case study report* ini dengan baik. Laporan ini ditulis dan diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Program Pascasarjana di Jurusan Teknik Sistem dan Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul “Menentukan Rute Menara Transmisi 150kV Menggunakan Metode FAHP (*Fuzzy Analytical Hierarchy Process*) dari Gardu Induk PLTA Larona ke Gardu Induk PLTA Balambano di PT. Vale Indonesia Tbk”.

Dalam menyelesaikan laporan ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, dan petunjuk dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung, untuk itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Budi Santosa, M.S, Ph. D sebagai dosen pembimbing penelitian *Case Study Report (CSR)* yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing dan memberikan petunjuk yang sangat berguna dalam menyelesaikan ini, dan sebagai dosen wali pada saat melaksanakan studi Program Pascasarjana Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada semester 4.
2. Bapak-Bapak Dosen penguji pada saat sidang *Case Study Report (CSR)*, Bapak Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc.(Eng), Bapak Prof. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc, dan Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D yang telah memberikan saran dan masukan yang sangat berguna dalam penyempurnaan penulisan penelitian ini.
3. Teristimewa Orang Tua tercinta Ayahanda Almarhum Abdul Hamid dan Ibunda Hj. Nahasi S.Ag dan Kakanda Rosita, Mansyur, Muslimin dan Suryani. Terima kasih yang sebesar-besarnya karena telah banyak memberikan dukungan, motivasi serta do'a restunya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan penelitian ini.
4. Istri Tercinta Mutihandayani dan Ananda Alzena Alesha Muis yang tidak henti-hentinya memberikan dukungan, motivasi, dan doanya yang sangat tulus. I love you.

5. Para Bapak dan Ibu Dosen studi Program Pascasarjana Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya yang telah banyak memberikan Ilmu Pengetahuan bagi penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian tesis ini.
6. Para *Expert* yang telah meluangkan waktunya membantu penulis untuk berdiskusi dan memberikan penilaian kuisioner penelitian ini.
7. Rekan-rekan perkuliahan dari PT. Vale Indonesia di studi Program Pascasarjana Teknik Sistem dan Industri Bidang Kerjasama Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya atas dukungan ilmu, diskusi dan semangat yang diberikan.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas segala dukungan doa dan bantuan serta motivasi yang diberikan, sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Akhirnya kepada semua pihak, penulis hanya dapat memanjatkan do'a semoga bantuan, kebaikan, dan pengorbanan yang diberikan mendapat balasan yang setimpal dari Allah SWT, Amin. Penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam mengerjakan tesis ini. Namun, penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penulisan laporan penelitian tesis ini. Oleh karena itu, penulis berharap penelitian tentang tesis ini dapat dikembangkan menjadi lebih baik lagi pada penelitian berikutnya.

Sorowako, Mei 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS .....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1.    Latar Belakang .....	1
1.2.    Rumusan Masalah.....	6
1.3.    Tujuan Penelitian .....	6
1.4.    Batasan Masalah .....	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	9
2.1    Saluran Transmisi.....	9
2.1.1    Structure/Struktur Menara Transmisi .....	10
2.1.1.1    Besi Siku Tower (Bracing Tower) .....	10
2.1.1.2    Pondasi Tower.....	15
2.1.2    Current Carrying/Pembawa Arus Menara Transmisi .....	17
2.1.2.1    Konduktor .....	17
2.1.2.2    Lendutan (Sag) .....	20
2.1.3    Penentuan Jumlah Menara Transmisi .....	21
2.1.4    Pemilihan rute Transmisi dan Distribusi .....	22
2.2    Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP).....	23
2.3    Daftar penilitian yang relevan.....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	29
3.1    Diagram Alir Penelitian.....	29
3.2    Metode Pengumpulan Data.....	34
3.3    Metode Pengolahan data.....	35
BAB IV ANALISIS DATA .....	37

5.1	Pengumpulan Data .....	37
5.1.1	Pemilihan Expert (Responden Ahli).....	37
5.1.2	Pemilihan Kriteria.....	38
5.2	Pengolahan Data.....	40
5.2.1	Hasil penilaian expert tahap-1 .....	40
5.2.1.1	Matriks Perbandingan .....	40
5.2.1.2	Konsistensi .....	41
5.2.1.3	Pembobotan Kriteria dengan Metode Fuzzy AHP .....	42
5.2.1.4	Summary Rute Alternatif Menara Transmisi Berdasarkan Kriteria Terpilih .....	53
5.2.2	Hasil penilaian expert tahap-2 .....	58
5.2.2.1	Matriks Perbandingan .....	58
5.2.2.2	Pembobotan Rute Alternatif dengan Metode Fuzzy AHP .....	59
5.2.3	Analisis Sensitivitas Model.....	64
BAB V	PENUTUP .....	69
5.1	Kesimpulan .....	69
5.2	Saran.....	70
	DAFTAR PUSTAKA .....	71
	LAMPIRAN .....	75
A.	Lampiran Hasil Kuisioner Expert-1 .....	75
B.	Lampiran Hasil Kuisioner Expert-2 .....	78
C.	Lampiran Hasil Kuisioner Expert-3 .....	81
D.	Lampiran Hasil Kuisioner Expert-4 .....	85
E.	Lampiran Hasil Kuisioner Expert-5 .....	88
F.	Lampiran Hasil Perhitungan Tower Transmisi North Route.....	92
G.	Lampiran Hasil Perhitungan Tower Transmisi Middle Route.....	93
H.	Lampiran Hasil Perhitungan Tower Transmisi South Route.....	94
I.	Lampiran Hasil Perhitungan Biaya Konstruksi Tower Transmisi North Route	
	95	
J.	Lampiran Hasil Perhitungan Biaya Konstruksi Tower Transmisi Middle Route .....	96

K.	Lampiran Hasil Perhitungan Biaya Konstruksi Tower Transmisi Middle Route 97
DAFTAR RIWAYAT PENULIS.....	99

*Halaman ini memang dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi 3 Danau dan Bendungan PTVI .....	1
Gambar 1.2 Cascade PLTA PT Vale Indonesia .....	2
Gambar 1.3 Jalur Alternatif Menara Transmisi dari PLTA Larona ke PLTA Balambano.....	5
Gambar 2.1 Seluruh proses untuk pembangkit listrik hingga distribusi.....	9
Gambar 2.2 Contoh Suspension Tower .....	10
Gambar 2.3 Contoh Tension Tower .....	11
Gambar 2.4 Contoh Transposition Tower .....	11
Gambar 2.5 Contoh <i>Gantry Tower</i> .....	12
Gambar 2.6 Contoh <i>Combined Tower</i> .....	12
Gambar 2.7 Konstruksi Tiang Pole. ....	13
Gambar 2.8 Tiang Delta.....	14
Gambar 2.9 Tiang Zig-Zag.....	14
Gambar 2.10 Tiang Piramida .....	15
Gambar 2.11 Stub tower pada pondasi normal .....	16
Gambar 2.12 Stub tower pada pondasi tiang pancang.....	16
Gambar 2.13 <i>Leg Tower</i> .....	17
Gambar 2.14 Konduktor ASCR .....	18
Gambar 2.15 Konduktor TASCR .....	18
Gambar 2.16 Konduktor ACCC .....	19
Gambar 2.17 Desain lendutan untuk tiang pada ketinggian yang sama (Sumber: Standar perusahaan listrik negara 121:1996) .....	20
Gambar 2.18 Desain lendutan untuk tiang pada ketinggian berbeda (Sumber: Standar perusahaan listrik negara 121:1996) .....	21
Gambar 2.19 Weight Span and wind span pada jalur transmisi (Sumber: Ergon Energy Reference P56M02R09 ver 1).....	22
Gambar 2.20 Penempatan tiang listrik dekat dengan bukit atau bidang miring yang perlu dihindari .....	23
Gambar 2.21 Hirarki <i>fuzzy</i> AHP.....	25
Gambar 2.22 Skala himpunan <i>fuzzy</i> segitiga.....	26

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	30
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan).....	31
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan).....	32
Gambar 3.4 Flowchart Sistem dengan Metode FAHP.....	33
Gambar 4.1 Diagram Pareto Penjaringan Kriteria. <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.2 Potongan Memanjang Menara Transmisi North Route .....	48
Gambar 4.3 Potongan Memanjang Menara Transmisi Middle Route .....	50
Gambar 4.4 Potongan Memanjang Menara Transmisi South Route .....	52

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Skenario kerugian jika terjadi kegagalan menara di Line1 dan 2 .....	3
Tabel 1.2 Skenario kerugian jika terjadi kegagalan Menara di Line3 dan 4.....	3
Tabel 2.1 Jenis dan Fungsi Menara SUTT 150kV (PLN,2007).....	13
Tabel 2.2 Daftar konduktor yang dipergunakan untuk SUTT/SUTET .....	19
Tabel 3.1 Skala Penilaian.....	35
Tabel 4.1 Identitas Responden .....	37
Tabel 4.2 Referensi kriteria penentuan alternatif jalur menara transmisi 150kV..	38
Tabel 4.3 Kriteria penentuan alternatif jalur menara transmisi 150kV .....	39
Tabel 4.4 Matrik Perbandingan Antar Kriteria .....	41
Tabel 4.5 Konsistensi rasio matriks Perbandingan Masing-Masing Expert .....	41
Tabel 4.6 Konversi Nilai matriks perbandingan ke bilangan Fuzzy menggunakan metode rata-rata geometri .....	43
Tabel 4.7 Nilai Geometris Masing-Masing Kriteria.....	44
Tabel 4.8 Nilai Pembobotan Fuzzy untuk Masing-Masing Kriteria.....	45
Tabel 4.9 Bobot Akhir untuk Masing-Masing Kriteria .....	46
Tabel 4.10 Rekapitulasi lokasi menara pada North Route.....	47
Tabel 4.11 Rekapitulasi lokasi menara pada Middle Route.....	49
Tabel 4.12 Rekapitulasi lokasi menara pada South Route.....	51
Tabel 4.13 Ringkasan Gambaran Umum Masing-Masing Kriteria dan Alternatif.	
.....	53
Tabel 4.14 Matriks Perbandingan antar Alternatif .....	58
Tabel 4.15 Konversi Kriteria Biaya Konstruksi pada alternatif dengan Fuzzy ....	58
Tabel 4.16 Nilai Geometris Masing-Masing Alternatif.....	59
Tabel 4.17 Nilai Pembobotan Fuzzy untuk Masing-Masing Altenatif.....	60
Perhitungan juga dilakukan pada masing masing kriteria ( $N_i$ ), sehingga hasil dari	
Tabel 4.18 Bobot Akhir Kriteria Biaya Konstruksi untuk Masing-Masing Alternatif .....	61
Tabel 4.19 Bobot Akhir Kriteria Kondisi/Jenis Tanah untuk Masing-Masing Alternatif .....	61
Tabel 4.20 Bobot Akhir Kriteria Topografi untuk Masing-Masing Alternatif .....	61

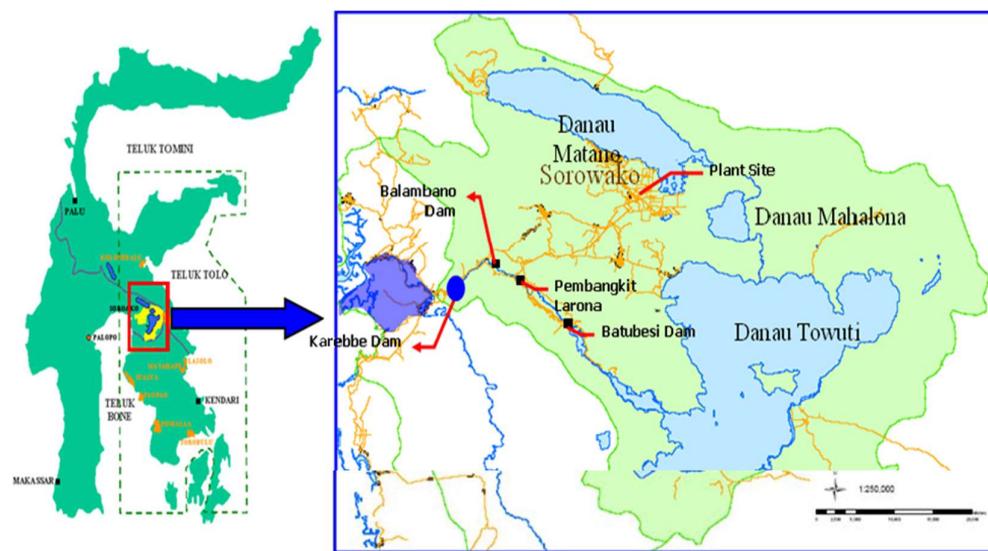
Tabel 4.21 Bobot Akhir Kriteria Perizinan untuk Masing-Masing Alternatif .....	61
Tabel 4.22 Bobot Akhir Kriteria Pembebasan Lahan untuk Masing-Masing Alternatif .....	62
Tabel 4.23 Bobot Akhir Kriteria Aktivitas Penduduk disekitar Lokasi untuk Masing-Masing Alternatif.....	62
Tabel 4.24 Bobot Akhir Kriteria Akses Maintenance untuk Masing-Masing Alternatif .....	62
Tabel 4.25 Bobot Akhir Kriteria Kemudahan Pekerjaan untuk Masing-Masing Alternatif .....	62
Tabel 4.26 Bobot Akhir Kriteria Kedekatan dengan Bangunan Lain untuk Masing-Masing Alternatif.....	62
Tabel 4.27 Bobot Akhir Kriteria Kedekatan dengan Sungai untuk Masing-Masing Alternatif .....	63
Tabel 4.28 Bobot Akhir Kriteria Flora dan Fauna untuk Masing-Masing Alternatif .....	63
Tabel 4.29 Nilai Bobot Akhir Masing-Masing Alternatif.....	64
Tabel 4.30 Hasil Analisis Sensitivitas .....	65

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

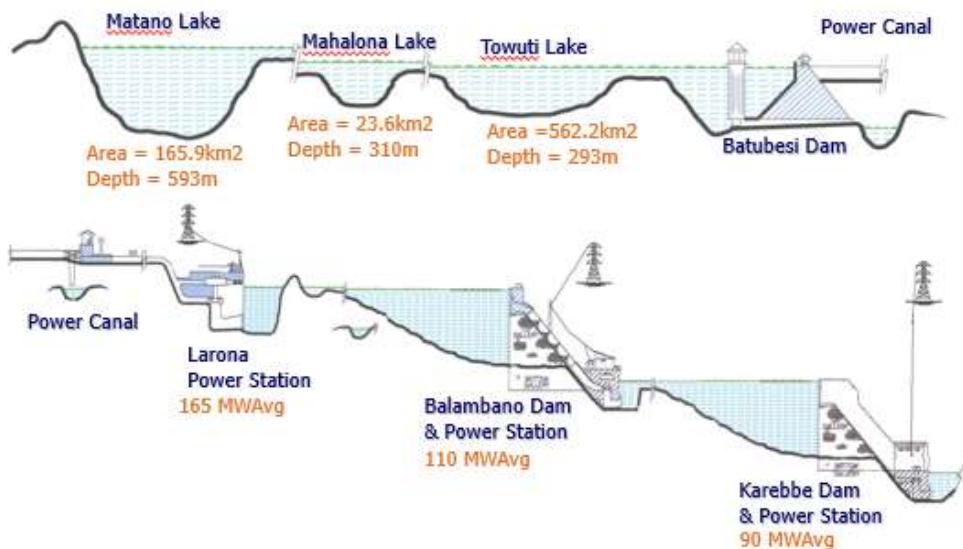
PT Vale Indonesia Indonesia, Tbk (PTVI), sebelumnya dikenal sebagai PT INCO, adalah perusahaan pertambangan mineral yang memproduksi nikel sebagai produk utamanya. PT Vale Indonesia beroperasi di wilayah Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan. Di daerah sekitar PT Vale Indonesia terdapat tiga danau yang saling berhubungan yang mengalir ke hilir Sungai Larona yang bermuara di Teluk Ussu. Dengan luas total sekitar 2.800 km<sup>2</sup> yang menjadi daerah tangkapan air hujan yang sangat luas. Sungai Larona bermata air di danau Towuti, dan bermuara ke Teluk Bone. Danau Towuti (El. + 320 m) merupakan satu sistem danau-danau dihulunya, yaitu Danau Mahalona (El. +325 m) dan Danau Matano (El. +390 m). Ketiga danau tersebut merupakan danau alam yang menjadi penyangga ketersediaan air yang berfungsi sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air Larona (PLTA) sebagai pemasok untuk kebutuhan listrik di pabrik peleburan nikel PT Vale Indonesia.



Gambar 1.1 Lokasi 3 Danau dan Bendungan PTVI

Pemanfaatan tampungan yang berada di aliran sungai Larona yang mempunyai karakteristik bertingkat digambarkan seperti yang terlihat pada Gambar 1.2. Mulai

dari danau matano yang paling hulu sampai dengan Bendungan Karebbe yang paling hilir. Dengan kapasitas rata-rata untuk PLTA Larona sebesar 165MW, PLTA Balambano 110 MW, dan terakhir PLTA Karebbe sebesar 90MW. Sehingga total rata-rata yang disuply mencapai 365MW.



Gambar 1.2 Cascade PLTA PT Vale Indonesia

PT Vale Indonesia (PTVI) membutuhkan keandalan pasokan daya yang tinggi dari pembangkit listrik tenaga air (PLTA) ke pembangkit listrik thermal untuk di alirkan ke semua fasilitas produksi sehingga dapat memproduksi nikel sesuai yang diharapkan. Untuk itu *Utilities Departement* sebagai unit yang bertanggung jawab atas ketersediaan listrik harus berupaya agar pasokan listrik untuk produksi nikel harus terpenuhi secara terus menerus. Salah satu peralatan penting untuk menjaga agar ketersediaan listrik dapat terpenuhi adalah menara saluran transmisi. Saat ini PTVI memiliki 153 menara yang terdiri dari 57 menara saluran transmisi Larona yang biasa disebut dengan Line 1 dan 2, 76 menara saluran transmisi Balambano dan 20 menara saluran transmisi Karebbe. Saluran transmisi Balambano dan Karebbe biasa disebut dengan Line 3 dan 4.

Kegagalan menara saluran transmisi akan memiliki efek bencana pada operasi produksi nikel. PT Vale Indonesia akan kehilangan 165 MW jika salah satu jalur Menara saluran transmisi Larona gagal dan sisi lain akan kehilangan 200 MW jika

salah satu jalur transmisi menara Balambano gagal. Sehingga untuk mendukung ketersediaan listrik secara terus menerus pembangunan menara saluran transmisi 150 KV jalur 5 (Line 5) dari gardu induk Lalambano ke gardu induk Barona.

Tabel 1.1 dan 1.2 di bawah adalah skenario kerugian PT. Vale Indonesia jika terjadi kegagalan pada salah satu menara transmisi di Larona (Line 1&2) dan Balambano (line 3&4).

Tabel 1.1 Skenario kerugian jika terjadi kegagalan menara di Line1 dan 2

<b>Operating Time</b>	Hrs	168.00
	% Availability	1.00
<b>Power Set</b>	MW	165
	Effective Power	0.880
	Avg MW	24,394
	Gross energy	455
<b>Production:</b>	Calcine mt/hr	53612.3
	%Ni calcine	2.11
	recovery Ni rkp to Ni Prd	0.89
<b>Equivalent to Ni packed</b>	mt Ni /hr	1,004.36
	lbs Ni	2,214,240
	LME Price	\$6.28
	LME Factor	0.78
	Production Cost	\$4.25
	Benefit/loss Margin	0.65
	<b>Potential Additional Profit/Loss</b>	<b>\$1,435,713.35</b>

Tabel 1.2 Skenario kerugian jika terjadi kegagalan Menara di Line3 dan 4

<b>Operating Time</b>	Hrs	168.00
	% Availability	1.00
<b>Power Set</b>	MW	200
	Effective Power	0.880
	Avg MW	29,568
	Gross energy	455
<b>Production:</b>	Calcine mt/hr	64984.6
	%Ni calcine	2.11
	recovery Ni rkp to Ni Prd	0.89
<b>Equivalent to Ni packed</b>	mt Ni /hr	1,217.41

	lbs Ni	2,683,928
	LME Price	\$6.28
	LME Factor	0.78
	Production Cost	\$4.25
	Benefit/loss Margin	0.65
	<b>Potential Additional Profit/Loss</b>	<b>\$1,740,258.61</b>

Beberapa kejadian, data dan indikasi kegagalan menara saluran transmisi yang pernah dialami oleh PT Vale Indonesia:

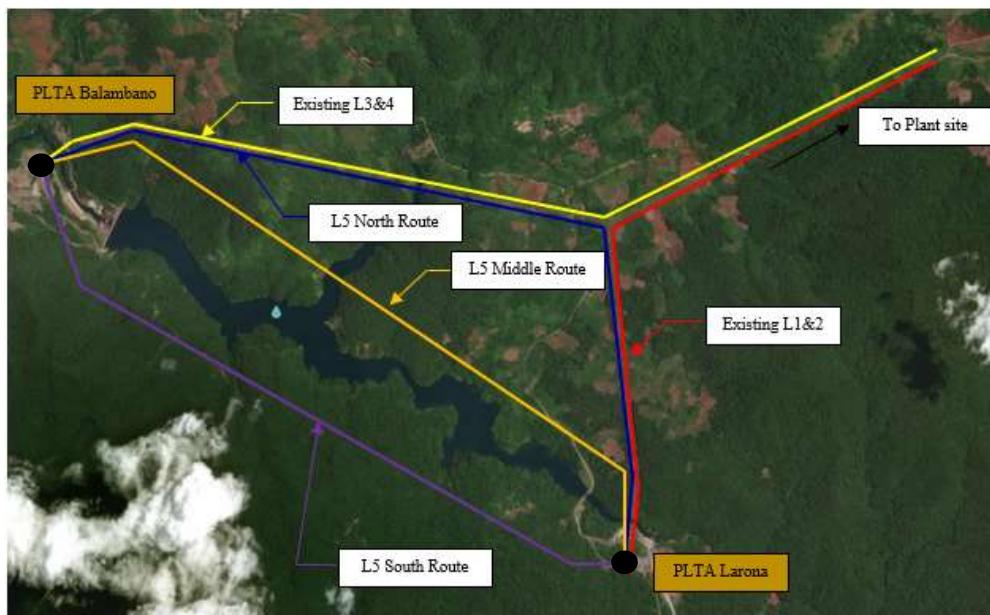
- Kecelakaan ketika kendaraan 777 menabrak struktur menara #73 Balambano sehingga harus dilakukan penggantian.
- Terdapat bending struktur menara#14 Larona.
- Tanah Retak / Geser di menara#56 Balambano.
- Indikasi longsor di daerah menara #7 karebbe karena berada pada daerah yang lawan longsor.
- 3 Tower Larona dan 4 Tower Balambano yang ditemukan memiliki tingkat korosif yang sangat tinggi karena berada pada daerah sulphur.
- Pekerjaan *climb up* pemeriksaan tower yang harus tertunda akibat tidak ada alternatif saluran transmisi karena kebutuhan pabrik yang sangat tinggi.
- Gempa bumi yang merusak beberapa peralatan listrik seperti kawat tanah, isolator, dan sebagainya.

Oleh karena itu, PTVI sedang merencanakan untuk menghubungkan jalur transmisi dari gardu induk Larona ke gardu induk Balambano dengan 150 kV *single circuit transmission line 5* untuk meningkatkan operabilitas dan keandalan sistem catu daya. Catu daya dari *Larona Power Station* dapat mentransmisikan ke lokasi pembangkit melalui Balambano saluran transmisi ketika terjadi kegagalan saluran transmisi Larona atau ada aktivitas pemeliharaan yang diperlukan. Dengan kasus yang sama, catu daya dari Stasiun Balambano juga dapat mentransmisikan melalui jalur transmisi Larona ketika terjadi kegagalan saluran transmisi Larona atau ada aktivitas pemeliharaan yang diperlukan. Jika hal ini bisa terwujud, PT. Vale Indonesia tidak perlu menjalankan peralatan di thermal untuk memenuhi

ketersediaan listrik untuk operasi produksi nikel sehingga bisa menghemat biaya yang cukup besar karena penggunaan bahan bakar.

Berikut adalah 3 jalur alternatif Menara transmisi dari PLTA Larona ke PLTA Balambano yang rencananya akan dibangun ditunjukan pada Gambar 1.3. ketiga jalur alternatif tersebut adalah:

1. L5 *North Route*, jalur ini merupakan jalur dengan rute tenganjang, yaitu 7.505km. jalur ini mengikuti jalur *existing* yang sudah digunakan.
2. L5 *Middle Route*, jalur ini memiliki panjang rute 5.931km. jalur ini mengikuti sebagian jalur yang sudah ada, selebihnya merupakan jalan baru. Jalur ini merupakan lintasan jalur dengan rute terpendek diantara jalur alternatif lainnya.
3. L5 *South Route*, jalur ini memiliki panjang rute 6.292km. jalur ini juga merupakan jalur baru yang belum pernah dilakukan pembukaan lahan sebelumnya.



Gambar 1.3 Jalur Alternatif Menara Transmisi dari PLTA Larona ke PLTA Balambano

Untuk menentukan pembangunan jalur menara transmisi dari PLTA Larona ke PLTA Balambano memiliki banyak pertimbangan yang harus diperhatikan karena masing-masing jalur alternatif mempunyai kelebihan dan kekurangan dari berbagai aspek. Maka, salah satu pendekatan yang sesuai dengan permasalahan ini adalah dengan metode *Analitical Hierarchy Process* (AHP). AHP merupakan alat

pengambilan keputusan multi kriteria dengan pendapat para ahli sebagai penentu kriteria. Namun, Penilaian preferensi dari para pakar sering kali mengalami ambiguitas, ketidak jelasan dalam mendeskripsikan suatu proporsi dalam bentuk informasi linguistic (Dozic *et al*, 2017). Sehingga perlu menggunakan *Fuzzy* untuk menyelesaikan permasalahan ini. *Fuzzy AHP* merupakan penyempurnaan dari permasalahan MCDM (*Multiple Criteria Decision Making*) klasik yang mengatasi ketidak pastian karena disebabkan oleh informasi yang tidak dapat dihitung, informasi yang tidak lengkap dan informasi yang tidak jelas.

Penelitian ini akan menentukan jalur menara transmisi 150kV dari gardu induk Larona ke gardu induk Balambano dengan berbagai kriteria yang menjadi pertimbangan dalam penetapannya dengan menggunakan metode *Fuzzy AHP*.

### **1.2. Rumusan Masalah**

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

1. Apa saja kriteria yang digunakan untuk menentukan pemilihan alternatif jalur menara transmisi dari gardu induk Larona ke gardu induk Balambano?
2. Bagaimana menentukan titik lokasi, jenis menara transmisi, jumlah menara transmisi untuk masing-masing alternatif?
3. Bagaimana merumuskan pemilihan alternatif jalur tower berdasarkan kriteria yang ditentukan dengan metode FAHP (*Fuzzy Analytical Hierarchy Process*)?
4. Bagaimana memilih alternatif jalur tower transmisi yang akan dibangun oleh PT. Vale Indonesia dari gardu induk Larona ke gardu induk Balambano?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

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

1. Menentukan kriteria untuk pemilihan alternatif jalur tower transmisi yang akan dibangun oleh PT. Vale Indonesia dari gardu induk larona ke gardu induk balambano.
2. Menentukan titik lokasi, tipe menara dan jumlah menara untuk masing-masing rute alternatif.

3. Merumuskan pemilihan alternatif jalur menara transmisi berdasarkan kriteria yang ditentukan dengan metode FAHP (*Fuzzy Analytical Hierarchy Process*).
4. Menentukan jalur tower transmisi yang akan dibangun oleh PT. Vale Indonesia dari gardu induk Larona ke Balambano.

#### **1.4. Batasan Masalah**

Batasan-batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Penentuan jumlah menara transmisi didasarkan atas data kontur, jarak antar menara, dan juga jenis menara yang digunakan.
2. Harga masing-masing menara berdasarkan harga yang dimasukkan vendor di tahun 2019.
3. Penentuan pemilihan jalur tower berdasarkan metode FAHP (*Fuzzy Analytical Hierarchy Process*).
4. Aspek biaya yang dimasukkan meliputi harga menara transmisi dan biaya konstruksi. Untuk biaya pemetaan dan komponen elektrikal hanya digunakan sebagai data dan tidak dimasukkan dalam penelitian ini.

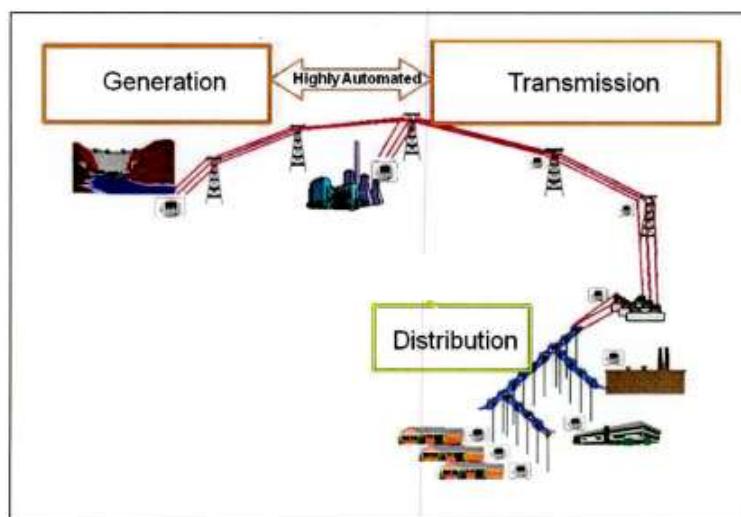
*Halaman ini memang dikosongkan*

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Saluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan atau menyalurkan tenaga listrik dari Generator Station/Pembangkit Listrik sampai distribution station hingga sampai pada konsumen pengguna listrik melalui suatu bahan konduktor (PLN, 2011). Berdasarkan sistem transmisi dan kapasitas tegangan yang disalurkan terdiri dari Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 200 kV-500 kV dan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) memiliki tegangan operasi antara 30 kV sampai 150 kV. Saluran transmisi sangat berkaitan dengan Gardu Induk (*Switchyard*), dimana Gardu Induk merupakan pusat sistem tenaga yang berisi saluran transmisi dan distribusi, perlengkapan hubung, transformator, dan peralatan pengaman serta peralatan kontrol. Fungsi utama dari Gardu induk adalah untuk mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi ke saluran transmisi lainnya yang kemudian didistribusikan ke konsumen, sebagai tempat kontrol, sebagai pengaman sistem operasi dan sebagai tempat untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi. Gambar 2.1 dapat menunjukkan bagaimana distribusi power bisa dijalankan.



Gambar 2.1 Seluruh proses untuk pembangkit listrik hingga distribusi

Menara transmisi merupakan struktur penopang saluran transmisi yang terbuat dari berbagai material seperti baja, kayu, dan beton dan bisa berupa menara atau tiang. Penggunaan material dalam pembuatan menara transmisi tergantung dari penggunaannya. Menara yang terbuat dari baja biasa digunakan untuk SUTET sedang tiang yang terbuat dari baja , beton, dan kayu umumnya digunakan di SUTT di bawah 70 kV.

Secara Umum Menara transmisi terdiri dari beberapa komponen, yaitu:

1. *Structure/Struktur*
2. *Current Carrying/Pembawa Arus*
3. *Insulation/Isolasi*
4. *Junction/Penghubung*

### **2.1.1 Structure/Struktur Menara Transmisi**

#### **2.1.1.1 Besi Siku Tower (Bracing Tower)**

Penggunaan menara transmisi berbeda sesuai dengan fungsinya. Berikut adalah jenis menara transmisi sesuai dengan fungsinya:

1. *Dead end tower*, yaitu menara akhir yang dipasang dekat Gardu Induk (GI).
2. *Section tower*, yaitu menara penyekat antar sejumlah menara penyangga untuk memudahkan saat pembangunan (penarikan kawat).
3. *Suspension tower*, yaitu menara penyangga.



Gambar 2.2 Contoh Suspension Tower

4. *Tension tower*, yaitu menara penegang yang dipasang ketika jalur transmisi belok.



Gambar 2.3 Contoh Tension Tower

5. *Transposition tower*, yaitu menara penegang yang digunakan sebagai tempat untuk melakukan perubahan posisi kawat.



Gambar 2.4 Contoh Transposition Tower

6. *Gantry tower*, menara berbentuk portal yang digunakan pada persilangan antara dua jalur transmisi.



Gambar 2.5 Contoh *Gantry Tower*

7. *Combined tower*, menara yang digunakan oleh dua buah jalur transmisi dengan tegangan yang berbeda.



Gambar 2.6 Contoh *Combined Tower*

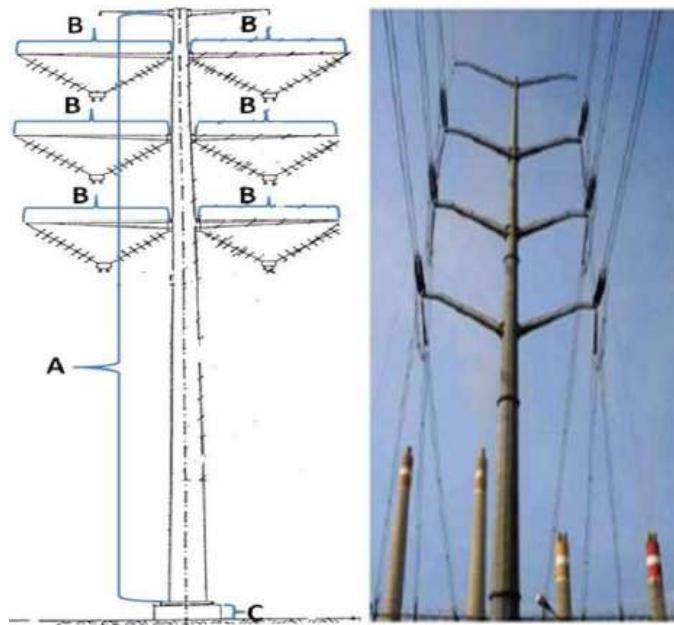
Menara yang digunakan jika jalur transmisi lurus akan berbeda dengan menara yang digunakan jika jalur transmisi belok. Bahkan besar sudut belok suatu jalur mempunyai jenis menara yang berbeda pula. Jenis menara yang dimaksud tersaji dalam Tabel 2.1 di bawah ini :

Tabel 2.1 Jenis dan Fungsi Menara SUTT 150kV (PLN,2007)

Jenis Menara	Fungsi	Sudut
AA	Menara Penyangga	0 <sup>0</sup> - 3 <sup>0</sup>
BB	Menara Penegang atau Menara Penyekat	3 <sup>0</sup> - 20 <sup>0</sup>
CC	Menara Penegang	20 <sup>0</sup> - 40 <sup>0</sup>
DD	Menara Penegang	40 <sup>0</sup> - 60 <sup>0</sup>
EE	Menara Penegang	60 <sup>0</sup> - 90 <sup>0</sup>
FF	Menara Penegang	>90 <sup>0</sup>

Penggunaan menara transmisi berbeda sesuai dengan bentuknya. Berikut adalah jenis menara transmisi sesuai dengan bentuknya:

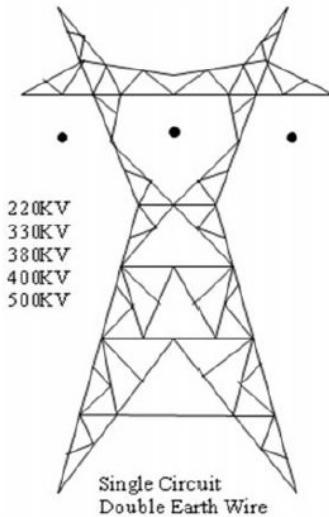
1. Tiang pole. Konstruksi SUTT dengan tiang beton atau tiang baja, pemanfaatannya digunakan pada perluasan SUTT dalam kota yang padat penduduk dan memerlukan lahan relatif sempit.



Gambar 2.7 Konstruksi Tiang Pole.

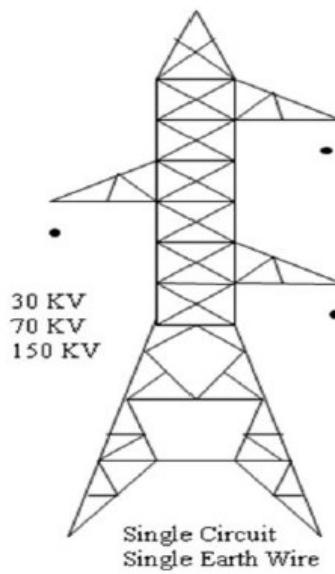
2. Tiang Kisi-kisi (*Lattice Tower*). Tiang ini terbuat dari baja profil yang disusun sedemikian rupa sehingga menjadi suatu menara yang sudah diperhitungkan kekuatannya dan disesuaikan dengan kebutuhannya. Berdasarkan susunan/konfigurasi penghantarnya dibedakan menjadi 3 (tiga) kelompok besar, yaitu:

- a. Tiang delta (*Delta Tower*)



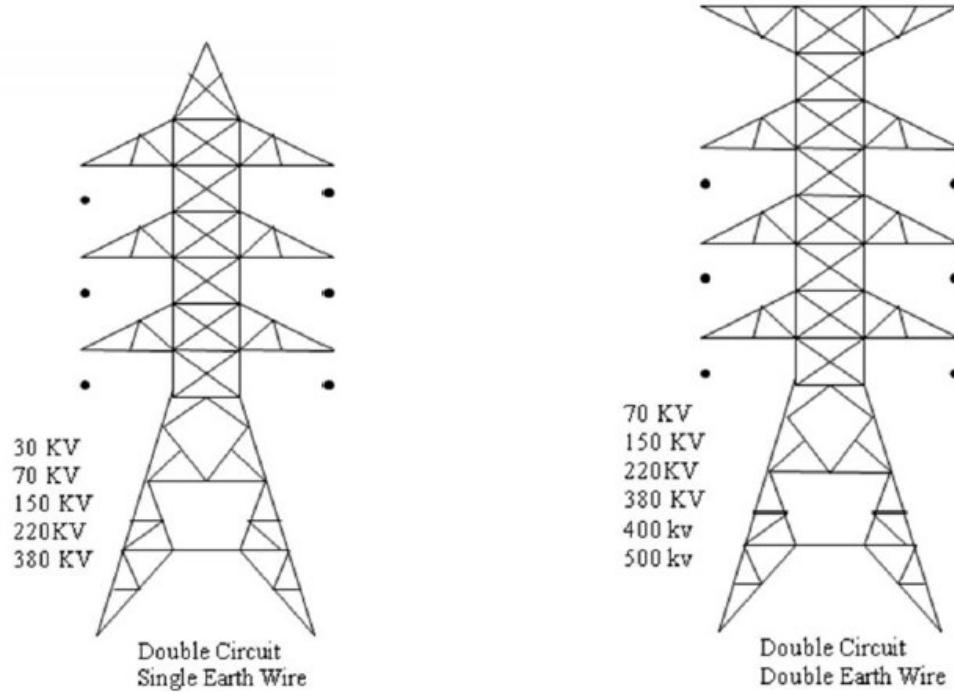
Gambar 2.8 Tiang Delta

- b. Tiang Zig-Zag (*Zig-Zag Tower*)



Gambar 2.9 Tiang Zig-Zag

c. Tiang Piramida (*Pyramid Tower*)



Gambar 2.10 Tiang Piramida

### 2.1.1.2 Pondasi Tower

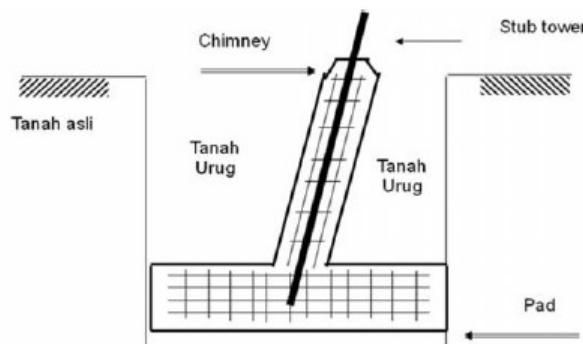
Pondasi adalah konstruksi beton bertulang yang dibuat untuk mengikat kaki tower (*stub*) kedalam tanah. Jenis pondasi tower sendiri beragam menurut kondisi tanah tempat tapak tower berada dan beban yang akan diterima oleh tower. Pondasi tower yang menanggung beban tarik (*tension*) dirancang lebih kuat / besar daripada tower tipe *suspension*. Jenis pondasi, diantaranya:

1. Normal, digunakan pada daerah dengan jenis tanah yang dinilai cukup keras/ memiliki kekuatan tanah yang cukup besar.
2. Tiang pancang (*fabrication and casing*), digunakan pada daerah dengan jenis tanah lembek / memiliki kekuatan tanah yang lemah sehingga diperlukan tiang untuk menembus tanah keras yang lebih dalam.
3. *Raft/Tikar*, digunakan pada daerah yang berawa/berair.

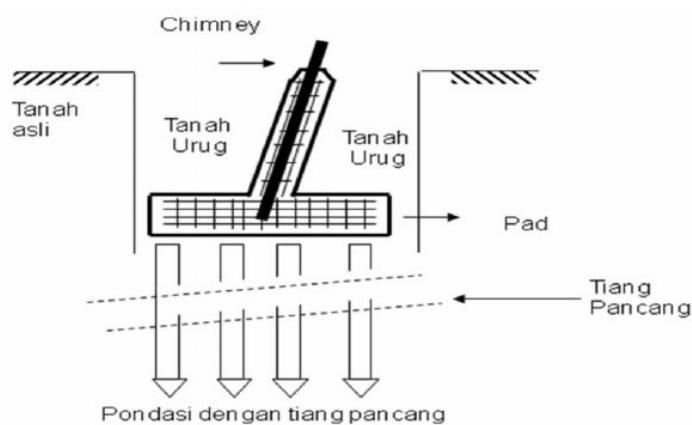
4. *Auger*, digunakan karena mudah penggerjaannya dengan mengebor dan mengisinya dengan semen.
5. *Rockdrilled*, digunakan pada daerah bebatuan.

*Stub* adalah bagian paling bawah dari kaki tower, dipasang bersamaan dengan pemasangan pondasi dan menyatu dengan pondasi. Bagian atas *stub* muncul di permukaan tanah sekitar 0,5 - 1 meter dan dilindungi semen kemudian dicat agar tidak mudah berkarat. Pemasangan *stub* sangat menentukan kualitas pemasangan tower sehingga perlu diperhatikan agar syarat-syaratnya terpenuhi, yaitu:

1. Jarak antar *stub* harus benar.
2. Sudut kemiringan *stub* harus sesuai dengan kemiringan kaki tower.
3. Level titik hubung *stub* dengan kaki tower tidak boleh beda 2 mm (milimeter).



Gambar 2.11 Stub tower pada pondasi normal

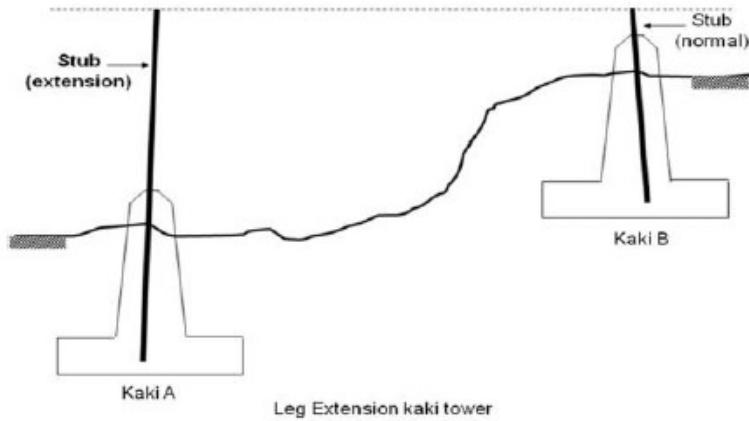


Gambar 2.12 Stub tower pada pondasi tiang pancang

*Leg* adalah kaki tower yang terhubung antara stub dengan tower body. Pada kondisi tanah yang tidak rata perlu dilakukan penambahan atau pengurangan tinggi *leg* sehingga *tower body* tetap sama tinggi permukaannya.

Pengurangan *leg* ditandai: -1; -2; -3

Penambahan *leg* ditandai: +1; +2; +3



Gambar 2.13 *Leg Tower*

### 2.1.2 *Current Carrying/Pembawa Arus Menara Transmisi*

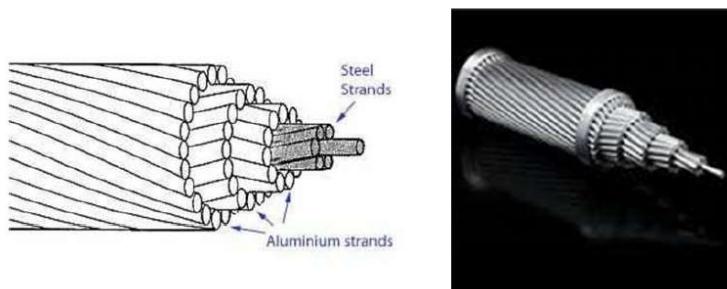
Komponen didalam menara transmisi yang termasuk dalam fungsi pembawa arus adalah komponen SUTT/ SUTET yang berperan dalam proses penyaluran arus listrik dari Pembangkit ke gardu induk satu ke gardu induk lainnya adalah:

#### 2.1.2.1 Konduktor

Berdasarkan jenisnya, konduktor dibedakan menjadi 2 jenis:

1. Konduktor Tembaga, Konduktor ini merupakan penghantar yang baik karena memiliki konduktivitas tinggi dan kekuatan mekanik yang cukup baik.
2. Konduktor Alumunium, Konduktor dengan bahan aluminium lebih ringan daripada konduktor jenis tembaga, konduktivitas dan kekuatan mekaniknya lebih rendah. Jenis-jenis konduktor alumunium antara lain:
  - a. Konduktor ACSR (*Alumunium Conductor Steel Reinforced*)  
Konduktor jenis ini, bagian dalamnya berupa steel yang mempunyai kuat mekanik tinggi, sedangkan bagian luarnya berupa aluminium

yang mempunyai konduktivitas tinggi. Karena sifat elektron lebih menyukai bagian luar konduktor daripada bagian sebelah dalam konduktor, maka pada sebagian besar SUTT maupun SUTET menggunakan konduktor jenis ACSR. Untuk daerah yang udaranya mengandung kadar belerang tinggi dipakai jenis ACSR/AS, yaitu konduktor jenis ACSR yang konduktor steelnnya dilapisi dengan aluminium.



Gambar 2.14 Konduktor ACSR

b. Konduktor TACSR (*Thermal Aluminium Conductor Steel Reinforced*)

Pada saluran transmisi yang mempunyai kapasitas penyaluran / beban sistem tinggi maka dipasang konduktor jenis TACSR. Konduktor jenis ini mempunyai kapasitas lebih besar tetapi berat konduktor tidak mengalami perubahan yang banyak, tapi berpengaruh terhadap sagging.



Gambar 2.15 Konduktor TACSR

Untuk lebih lengkap detail konduktor yang umum digunakan untuk SUTT/SUTET ditampilkan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Daftar konduktor yang dipergunakan untuk SUTT/SUTET

NO.	TYPE KONDUKTOR	JENIS KONDUKTOR	NEGARA ASAL	STANDARD YG. DIGUNAKAN	DATA KONDUKTOR				CURRENT CARRYING CAPACITY ( CCC ) ( Amp )	KETERANGAN
					LUAS PENAMPANG (mm <sup>2</sup> )	DIAMETER ( mm )	R DC 20° C (Ohm/Km)	BERAT ( kg/ Km )		
1.	ACSR	HAWK	USA	ASTM B 232 - 64, T ASTM B 232 - 69	281,03	21,79	0,1199	455	455	150 KV
2.	ACSR	HEN	USA	ASTM B 232 - 64, T ASTM B 232 - 69	298,07	22,40	0,1202	1.112	457	150 KV
3.	ACSR	DOVE	CANADA	CSA C.49 - 1965	327,77	23,55	0,1024	1.137	495	150 KV & 500 KV
4.	ACSR	GANNET	USA	ASTM B 232 - 64, T ASTM B 232 - 69	392,84	25,76	0,0858	1.365	618	150 KV & 500 KV
5.	ACSR	ZEBRA	BRITISH	BS. 215 P.2 - 1966 BS. 215 P.2 - 1970	484,50	28,02	0,0674	1.621	835	150 KV
6.	ACSR	DRAKE	CANADA	CSA C.49 - 1965	488,45	28,11	0,0715	1.624	811	150 KV
7.	ACSR	PEGION	CANADA	CSA C.49-1965	99,22	12,75	0,3366	343	241	70 KV
8.	ACSR	OSTRICH	CANADA	CSA C.49-1965	176,71	17,28	0,1900	613	343	70 KV
9.	ACSR	LINNET	USA CANADA	ASTM B232-69 CSA C49-1965	198,19 198,26	18,31 18,31	0,1599 0,1696	689 897	371 389	70 KV 70 KV
10.	ACSR	AC SR 240/40	GERMANY	DIN 48204	282,60	21,90	0,1188	987	457	150 KV
11.	ACSR	AC SR 340/ 30	INDONESIA	SII 1134 - 1981 SPLN 41 - 7 : 1981	389,10	25	0,0851	1.180	790	150 KV
12.	THERMAL	TAC SR 240	JEPANG	JEC 74 - 1964 JIS C 3110 - 1966 JEC A 234 - 1977	297,60	22,40	0,112	1.024	819	150 KV
13.	THERMAL	TAC SR 410	JEPANG	sda	480,80	28,50	0,0671	1.578	1.149	150 KV
14.	THERMAL	TAC SR 530	JEPANG	sda	379,60	25,30	0,085	1.239	996	150 KV
15.	THERMAL	TAC SR 520	JEPANG	sda	586,85	31,50	0,0588	1.962	1.304	150 KV

### c. Konduktor ACCC

Konduktor jenis ini, bagian dalamnya berupa composite yang mempunyai kuat mekanik tinggi. Untuk konduktor jenis ini tidak mengalami korosi cocok untuk daerah pinggir pantai, sedangkan bagian luarnya berupa aluminium yang mempunyai konduktivitas tinggi. Konduktor jenis ini dipilih karena memiliki karakteristik high conductivity & low sag conductor.



Gambar 2.16 Konduktor ACCC

### 2.1.2.2 Lendutan (Sag)

Penghantar yang direntangkan antara dua menara transmisi mempunyai bentuk lengkung tertentu (*catenary curve*) yang diakibatkan adanya pengaruh gravitasi dan dinyatakan dalam sebuah persamaan. Arismunandar dan Kuwahara (2004) menyebutkan ada dua persamaan untuk menghitung nilai lendutan.

- Lendutan untuk penghantar yang ditunjang oleh menara yang sama tinggi. Karena menara didirikan sama tinggi, maka nilai lendutan didapat berdasarkan rumus parabola

$$D = \frac{ws^2}{8T} \quad (2.1)$$

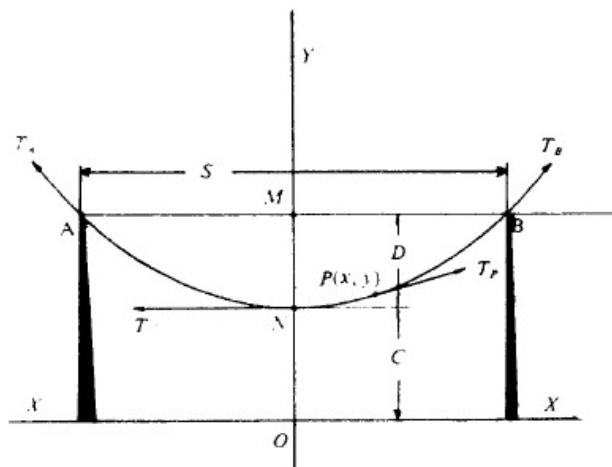
dengan:

D: Lendutan (m)

W: Berat konduktor per satuan panjang (kg/m)

S: Jarak antar menara (m)

T: Kuat tarik konduktor pada suhu 80°C (kg)



Gambar 2.17 Desain lendutan untuk tiang pada ketinggian yang sama (Sumber: Standar perusahaan listrik negara 121:1996)

- Lendutan untuk penghantar yang ditunjang oleh menara yang beda tinggi. Menara yang tidak sama tinggi, lendutan yang miring dinyatakan dalam persamaan berikut

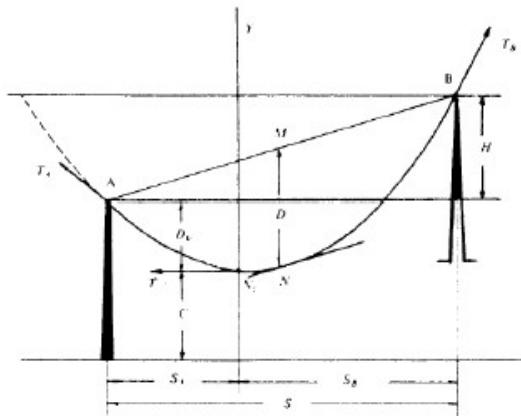
$$D_0 = D \left(1 - \frac{H}{4D}\right)^2 \quad (2.2)$$

dengan:

D: Lendutan (m)

$D_0$ : Besar lendutan yang diakibatkan karena perbedaan ketinggian (m)

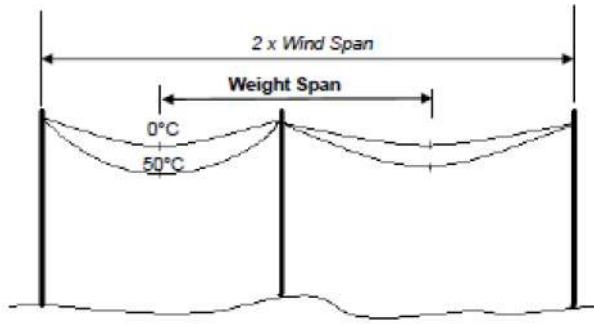
H: Beda tinggi antara dua menara (m)



Gambar 2.18 Desain lendutan untuk tiang pada ketinggian berbeda (Sumber: Standar perusahaan listrik negara 121:1996)

### 2.1.3 Penentuan Jumlah Menara Transmisi

Menentukan jumlah menara dapat dilakukan dengan menggunakan desain lendutan atau desain *sagging*. Berdasarkan *Network Lines Standard Guidelines for Overhead Line Design* dari *Ergon Energy*, desain *sagging* diselesaikan dengan menghitung rasio antara *weight span* dan rata-rata dari dua *wind span* yang berdekatan. *Weight span* adalah jarak titik terendah lendutan penghantar antar dua segmen sedangkan *wind span* merupakan istilah lain dari segmen atau jarak antar menara. Rasio antara *weight span* dan *wind span* harus sesuai dengan rasio yang telah ditetapkan oleh pemberi pekerjaan. Berdasarkan rasio tersebut maka didapatkan jumlah menara pada jalur transmisi. Secara grafis, implementasi desain *sagging* tersaji pada Gambar 2.22. Pada gambar 2.22 terdapat dua penghantar dalam satu segmen atau *wind span* yang merupakan kondisi penghantar pada suhu  $0^\circ$  dan pada suhu  $80^\circ$ . *Weight Span* pada suhu  $50^\circ$  lebih panjang karena penghantar mengalami pemuaian.



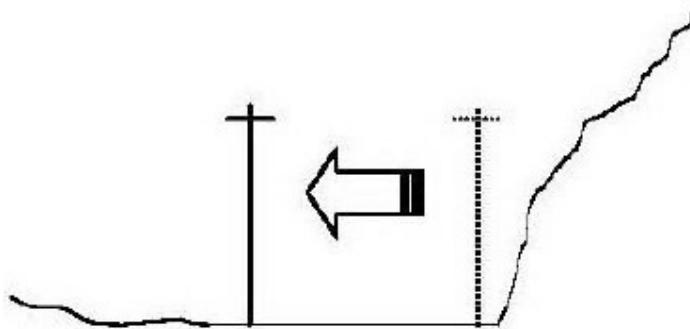
Gambar 2.19 Weight Span and wind span pada jalur transmisi (Sumber: Ergon Energy Reference P56M02R09 ver 1)

#### 2.1.4 Pemilihan rute Transmisi dan Distribusi

Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam sistem transmisi dan distribusi listrik adalah penempatan jalur jaringan. Hal ini sangat penting untuk memastikan kelancaran operasional secara teknis dan non teknisnya terutama faktor keamanan bagi lingkungan. Adapun beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penempatan jalur transmisi adalah sebagai berikut:

1. Jalur transmisi terletak pada lokasi yang mudah untuk diakses sehingga memudahkan dalam pengawasan dan pemeliharaan. Biasanya jalur yang dipilih adalah sepanjang jalan raya dimana mobilitas bisa lebih mudah dilakukan.
2. Ditempatkan pada lokasi tanah yang kokoh dan relative stabil. Kondisi tanah yang labil beresiko pada stabilitas tiang penyangga (*pole*).
3. Legalitas dan pembebasan lahan yang digunakan jalur transmisi tidak mengalami masalah. Ada sebagian penduduk yang tanahnya tidak mau dilewati jaringan listrik dengan alasan keamanan dan ekonomi (pertanian, perkebunan, dll), oleh karena itu sebaiknya sosialisasi dan kompensasi harus dilakukan jika terjadi konflik mengenai lahan yang digunakan.
4. Tempatkan jalur transmisi dengan jarak yang aman dengan gedung dan pohon. Masalah yang cukup banyak terjadi adalah jaringan transmisi yang tertimpa pohon dan kecelakaan yang terjadi pada gedung yang dekat dengan kabel jaringan yang umumnya telanjang. Oleh karena itu pengawasan dan antisipasi akan hal ini harus diperhatikan terutama karena menyangkut keselamatan nyawa manusia.

5. Pilih jalur yang paling pendek. Hal ini menyangkut alasan ekonomi dan teknis dimana dengan jalur yang panjang akan dibutuhkan kabel yang lebih panjang dan tiang yang lebih banyak. Selain hal itu dengan semakin panjangnya jaringan kehilangan daya dan penurunan tegangan (*voltage drop*) akan lebih besar.
6. Jangan tempatkan tiang listrik pada sisi bukit atau bidang yang miring. Hal ini dilakukan untuk mencegah bahaya longsor yang dapat merusak jaringan transmisi



Gambar 2.20 Penempatan tiang listrik dekat dengan bukit atau bidang miring yang perlu dihindari

7. Minimalkan belokan pada jaringan transmisi. Pada kondisi dimana konduktor mengalami perubahan dari lurus menjadi berbelok, maka akan ada gaya menyamping (lateral force) pada tiang yang cenderung akan membuat miring. Oleh karena itu akan dibutuhkan struktur penguat tiang (*guy & anchor*), yang pada akhirnya menambah biaya dan pekerjaan.

## 2.2 Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)

*Analytical Hierarchy Process* (AHP) adalah salah satu metode multi-kriteria pengambilan keputusan (MCDM) yang dikembangkan oleh Saaty (1980). AHP adalah teknik terstruktur untuk mengatur dan menganalisis keputusan atau masalah kompleks yang melibatkan subjektif penilaian. Dengan kata lain, AHP adalah pengambilan keputusan tradisional yang kuat teknik untuk menentukan prioritas di antara kriteria yang berbeda, membandingkan alternatif keputusan untuk setiap kriteria dan menentukan peringkat keseluruhan alternatif keputusan. Keuntungan utama AHP adalah menangani berbagai kriteria, mudah dimengerti

dan berhubungan secara efektif dengan data kualitatif dan kuantitatif. Di dunia nyata, sebagian besar informasi atau data yang diperoleh dari para ahli dimasukkan ketidakpastian dan ketidakjelasan karena informasi yang tidak lengkap, ketidaktepatan penilaian manusia dan ketidakpastian lingkungan keputusan.

Efek gabungan dari teori himpunan fuzzy dan proses hirarki analitis memberikan hirarki analitik fuzzy proses (Fuzzy AHP) sebagai metodologi yang lebih kuat untuk keputusan multi-kriteria pembuatan (MCDM). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa Fuzzy AHP akan menemukan lebih banyak aplikasi dari AHP konvensional dalam waktu dekat. Ada banyak yang ilmiah pendekatan untuk menurunkan bobot (crisp atau fuzzy) dari perbandingan berpasangan fuzzy matriks. Karena bobot fuzzy tidak mudah untuk dihitung sebagai bobot yang tajam, maka bobot sebagian besar aplikasi Fuzzy AHP menggunakan metode analisis tingkat sederhana yang diusulkan oleh Chang [7]. Demikian juga AHP, fuzzy AHP menyediakan struktur hirarkis, memfasilitasi dekomposisi dan perbandingan berpasangan, mengurangi inkonsistensi dan menghasilkan vektor prioritas. Juga, AHP fuzzy dapat memecahkan dan mendukung spasial masalah penalaran dalam sejumlah konteks yang berbeda seperti: menemukan kenyamanan toko dan fasilitas lainnya (Kuo et al., 1999, 2002; Partovi, 2006), situs rumah sakit seleksi (Chi dan Kuo, 2001; Witlox, 2003; H. Vahidnia dan A. Alesheikh, 2009), penyaringan lokasi TPA potensial (Charnpratheeep et al., 1997), pemilihan pemasok (Kahraman et al., 2003) dan perencanaan taman lokal (Zucca et al., 2008).

Metode Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) pertama kali diusulkan oleh seorang peneliti bernama Chang dan merupakan perpanjangan langsung dari metode AHP yang diciptakan oleh Saaty yang terdiri dari unsur-unsur matriks yang diwakili oleh bilangan fuzzy.

Bilangan fuzzy didefinisikan sebagai berikut:

**Definisi 1.** Nilai  $M \in F(R)$  disebut angka *fuzzy*, jika dua kondisi di bawah ini terpenuhi:

- (1) Ada  $x_0 \in R$  sedemikian rupa sehingga  $\mu_M(x_0) = 1$ .
- (2) Untuk  $0 \leq \alpha \leq 1$ ,  $A\alpha = [x, \mu_{A\alpha}(x) \geq \alpha]$  adalah interval tertutup.

di mana  $F(R)$  mewakili keluarga semua himpunan *fuzzy* dan  $R$  adalah himpunan bilangan real.

**Definisi 2.** Angka fuzzy M pada R dikatakan bilangan fuzzy segitiga jika itu fungsi keanggotaan  $\mu_M(x): R \rightarrow [0,1]$  didefinisikan sebagai berikut:

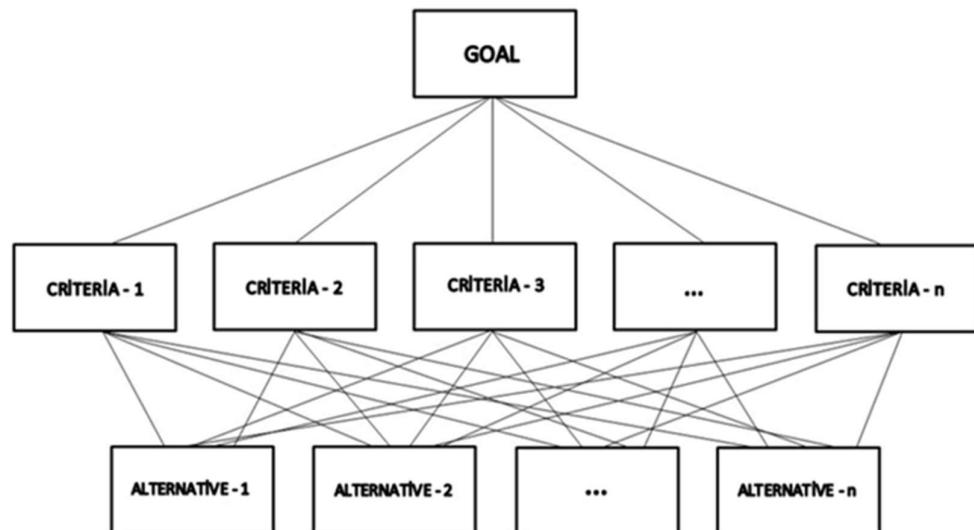
$$\mu_M(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{-x+\mu}{u-m}, & m \leq x \leq u \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.6)$$

di mana l dan u mewakili nilai dukungan M yang lebih rendah dan lebih tinggi, dan m mewakili nilai modal. Angka fuzzy segitiga dapat dilambangkan dengan memesan triplet  $(l, m, u)$  dari bilangan real atau bilangan reguler. Dukungan M adalah set elemen  $\{x \in R \mid l < x < u\}$

**Definisi 3.** Pertimbangkan dua bilangan fuzzy segitiga  $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$  dan  $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$  maka operasi aritmatika berikut dapat didefinisikan sebagai berikut:

- (1)  $(l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$ .
- (2)  $(l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2)$ .
- (3)  $k(l_1, m_1, u_1) = (k l_1, k m_1, k u_1)$ ,  $k > 0$ ,  $k \in R$ .
- (4)  $(l_1, m_1, u_1)^{-1} = (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1)$ , dimana  $l_1 \neq 0$ ,  $m_1 \neq 0$ ,  $u_1 \neq 0$ .

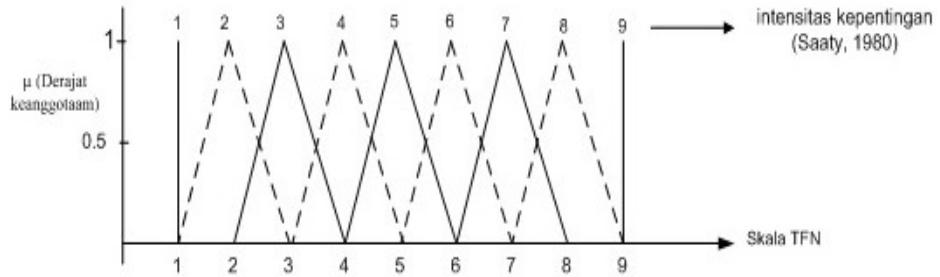
Metode FAHP menggunakan rasio fuzzy yang disebut Triangular Fuzzy Number (TFN) dan digunakan dalam proses fuzzifikasi. TFN terdiri dari tiga fungsi keanggotaan, yaitu nilai terendah (l), nilai tengah (m), dan nilai tertinggi (u). Berikut ini adalah hierarki fuzzy ahp pada gambar 2.25



Gambar 2.21 Hirarki fuzzy AHP

Langkah-langkah metode FAHP adalah sebagai berikut:

1. Membuat struktur hirarki masalah yang akan diselesaikan dan menentukan perbandingan matriks berpasangan antar kriteria dengan skala TFN (*triangle fuzzy number*) yang dapat dilihat pada gambar 2.26 dan tabel 2.6.



Gambar 2.22 Skala himpunan fuzzy segitiga

Perbandingan berpasangan pada metode Fuzzy AHP digambarkan dengan skala rasio yang berhubungan dengan nilai skala *Fuzzy*. Bilangan *Fuzzy* secara lengkap pada semua skala penilaian sesuai pada Tabel 2.7.

Tabel 0.7 Skala Likert Fuzzy AHP

Definisi	Skala Likert	TFN	Skala Likert	TFN
Sama Penting	1	(1,1,3)	1/1	(1/3,1/1,1/1)
	2	(1,2,4)	1/2	(1/4,1/2,1/1)
Cukup lebih penting	3	(1,3,5)	1/3	(1/5,1/3,1/1)
	4	(2,4,6)	1/4	(1/6,1/4,1/2)
Lebih penting	5	(3,5,7)	1/5	(1/7,1/5,1/3)
	6	(4,6,8)	1/6	(1/8,1/6,1/4)
Sangat penting	7	(5,7,9)	1/7	(1/9,1/7,1/5)
	8	(6,8,9)	1/8	(1/9,1/8,1/6)
Paling penting	9	(7,9,9)	1/9	(1/9,1/9,1/7)

(Sumber: Amrullah, 2015)

2. Menentukan nilai rata-rata geometris Fuzzy ( $\tilde{r}$ ) dari masing-masing kriteria, sub kriteria dan alternative dengan metode Buckley. Nilai geometri Fuzzy dapat dihitung dengan persamaan 2.7.

$$\tilde{r}_i = (\prod_{j=1}^n \tilde{d}_{ij})^{1/n}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2.7)$$

3. Menentukan bobot Fuzzy ( $\tilde{w}$ ) untuk tiap kriteria, sub kriteria dan alternative dengan persamaan 2.8.

$$\begin{aligned} \tilde{w}_i &= \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \otimes \tilde{r}_2 \otimes \dots \otimes \tilde{r}_n)^{-1} \\ &= (l w_i, m w_i, u w_i) \end{aligned} \quad (2.8)$$

4. Melakukan defuzzifikasi dengan metode Centre of area (COA) dengan persamaan 2.9.

$$M_i = \frac{(l w_i, m w_i, u w_i)}{3} \quad (2.9)$$

5. Normalisasi bobot vector atau nilai prioritas criteria yang telah diperoleh,

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (2.10)$$

### 2.3 Daftar penilitian yang relevan

Tabel 2.8 di bawah merupakan tabel ringkasan penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian saat ini yang akan digunakan untuk menentukan gap penulisan studi kasus.

Tabel 2.8 Penelitian terdahulu yang relevan

<b>Peneliti (Tahun)</b>	<b>Judul</b>	<b>Metode</b>	<b>Hasil / Keputusan</b>
Widen Lukmantono, Ir. Syarifuddin Mahmudsyah, M. Eng, Ir. Teguh Yuwono (2009)	Studi Perencanaan Saluran Transmisi 150kV Bambe Incomer	<i>Literature review</i>	Untuk melakukan perencanaan penyaluran energi listrik yaitu melalui saluran transmisi (SUTT) 150 kV mulai dari Gardu Induk 150 kV Karangpilang sampai Gardu Induk 150 kV Bambe

Indar Nurrihansyah, Udisubakti Ciptomulyono (2011)	Penentuan Jalur Transmisi Sutet (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi)  Menggunakan Metode Anp-Promethee  (Study Kasus: Gardu Induk Pemalng-Gardu Induk Madirancang)	<i>ANP-Promethee</i>	Paper bertujuan untuk Pengambilan keputusan untuk memilih sebuah jalur transmisi  SUTET menjadi hal yang kompleks, karena melibatkan banyak kriteria dan butuh banyak pertimbangan untuk dapat memilih keputusan jalur yang terbaik.
Kodippilige Nalaka Premanath (2014)	<i>Spatial Model for Electric Transmission Line Routing</i>	Geographic Information Systems (GIS)	Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan rute menara transmisi yang optimal berdasarkan informasi geografis.
Dwi Pupitasari (2009)	Penerapan Metode <i>Fuzzy Analytical Hierarchy Process</i>  Dalam Penentuan Kriteria Penilaian Performa Vendor	<i>Fuzzy Analytical Hierarchy Process</i>	Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kriteria dan subkriteria penilaian performa vendor
Nico Halomoan (2017)	<i>Penentuan Jalur Pipa Sistem Penyaluran Air Limbah Domestik dengan Weighted Ranking Technique (WRT) di Kecamatan Bogor Tengah</i>	<i>Weighted Ranking Technique (WRT)</i>	Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh rute jalur pipa penyaluran air limbah domestik yang optimal.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

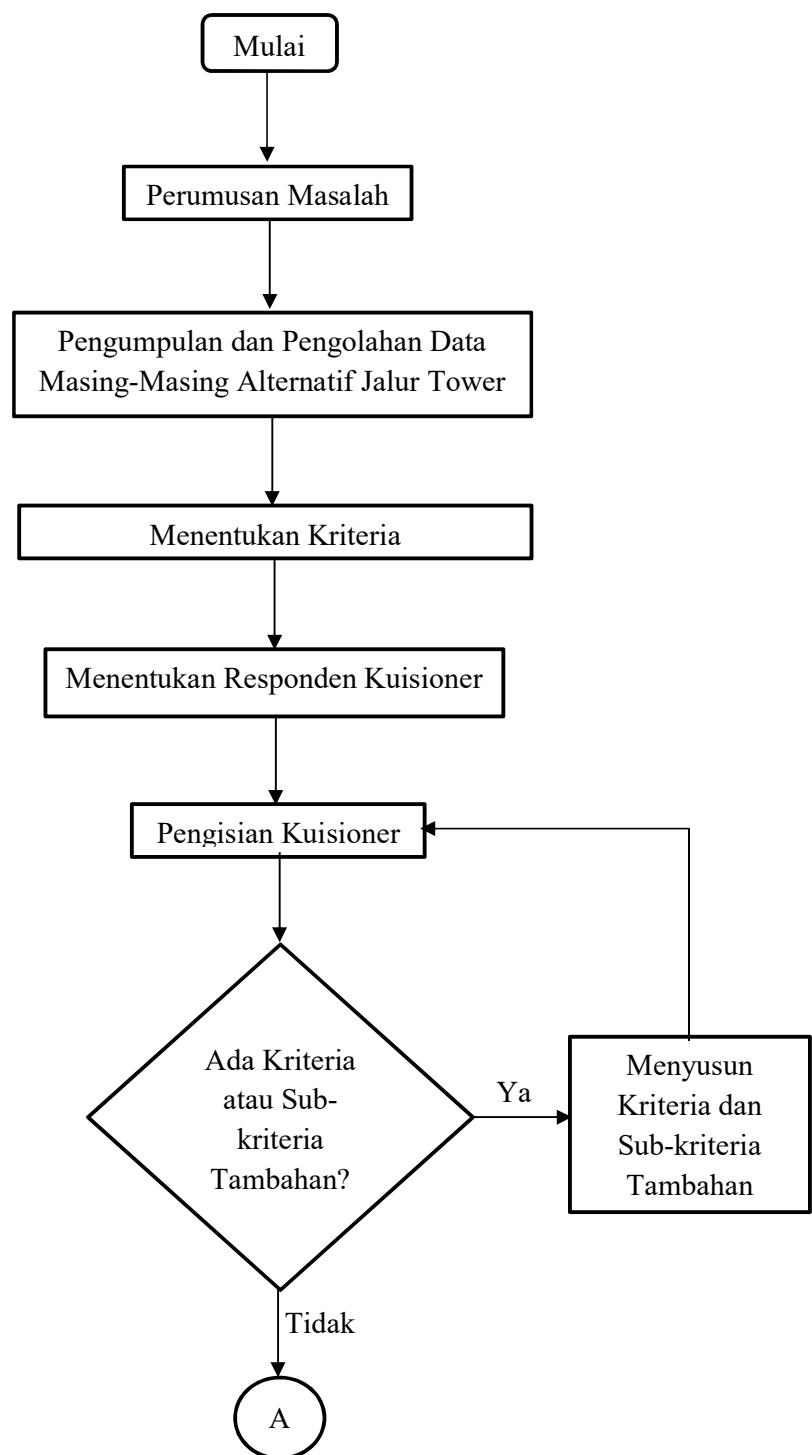
#### **3.1 Diagram Alir Penelitian**

Proses *Flowchart* Metodologi harus dirancang untuk mengidentifikasi semua analitis yang diperlukan teknik, metode, pengumpulan data, dll untuk mencapai tujuan sebagaimana yang telah disebutkan dalam Bab I.

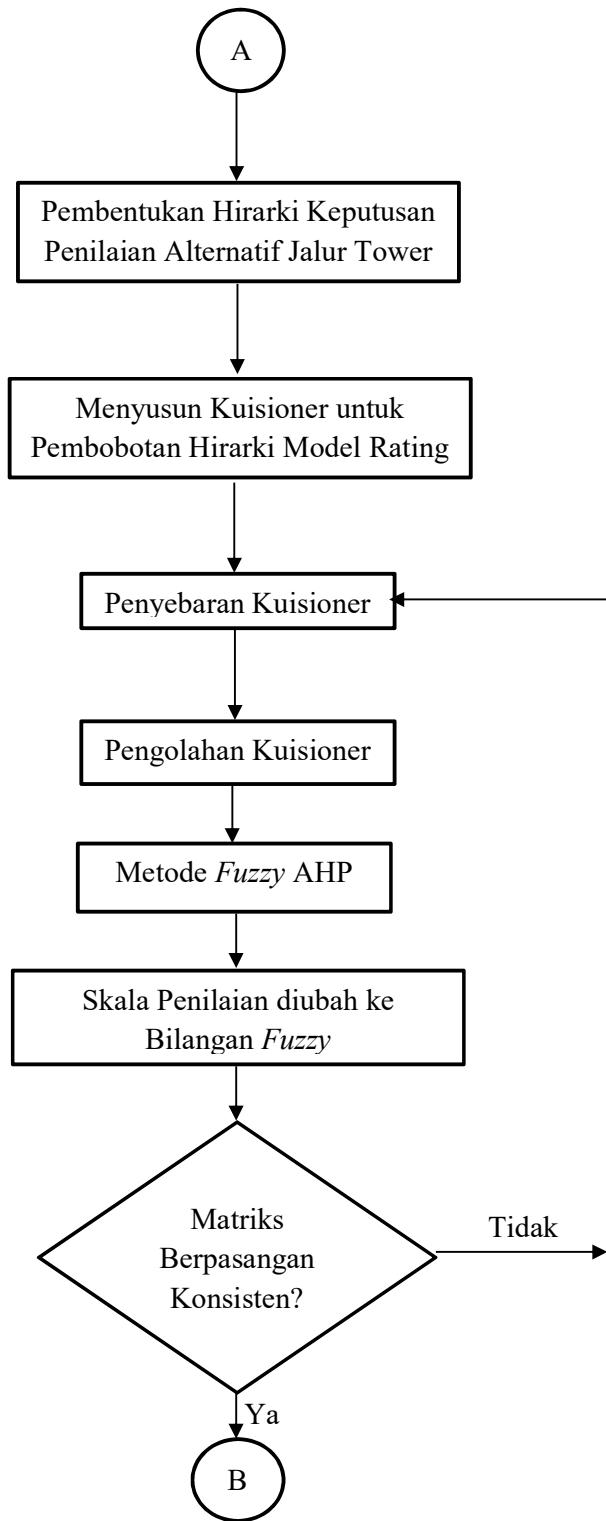
Menurut proses *flowchart* metodologi yang diusulkan, langkah pertama adalah menentukan topik penelitian beserta rumusan masalah dan tujuannya. Langkah selanjutnya adalah pengumpulan dan pengolahan data masing-masing alternatif jalur tower. Kemudian menentukan kriteria dan subkriteria untuk pembuatan kuisioner yang selanjutnya dilakukan penilaian oleh koresponden dalam bentuk kuisioner. Setelah langkah sebelumnya selesai, bagian terpenting adalah memberikan bobot untuk masing-masing kriteria dengan menggunakan metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) berdasarkan hasil kuisioner yang telah diisi oleh koresponden. Kemudian dilanjutkan dengan evaluasi dan validasi model kriteria berdasarkan hasil pembobotan. Setelah semua selesai, penentuan rute terbaik bisa ditentukan untuk dipilih dan segera dilakukan perencanaan pembangunannya.

FAHP sendiri merupakan gabungan metode AHP dengan pendekatan konsep *fuzzy* (Raharjo dkk, 2002). FAHP menutupi kelemahan yang terdapat pada AHP, yaitu permasalahan terhadap kriteria yang memiliki sifat subjektif lebih banyak. Ketidakpastian bilangan direpresentasikan dengan urutan skala. Penentuan derajat keanggotaan FAHP yang dikembangkan oleh Chang (1996) menggunakan fungsi keanggotaan segitiga (Triangular Fuzzy Number/TFN). Fungsi keanggotaan segitiga merupakan gabungan antara dua garis linear (Jasril, etc, 2011).

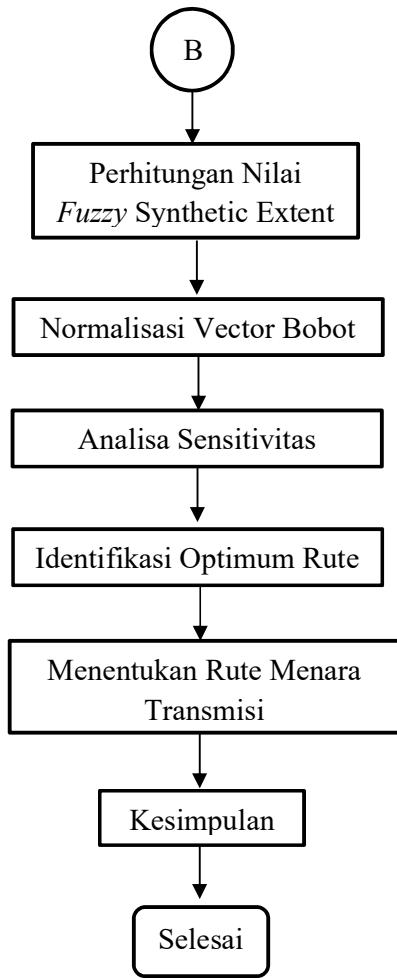
Proses *Flowchart* yang lebih terperinci untuk menentukan jalur menara transmisi listrik telah diilustrasikan pada Gambar 3.1 di bawah.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

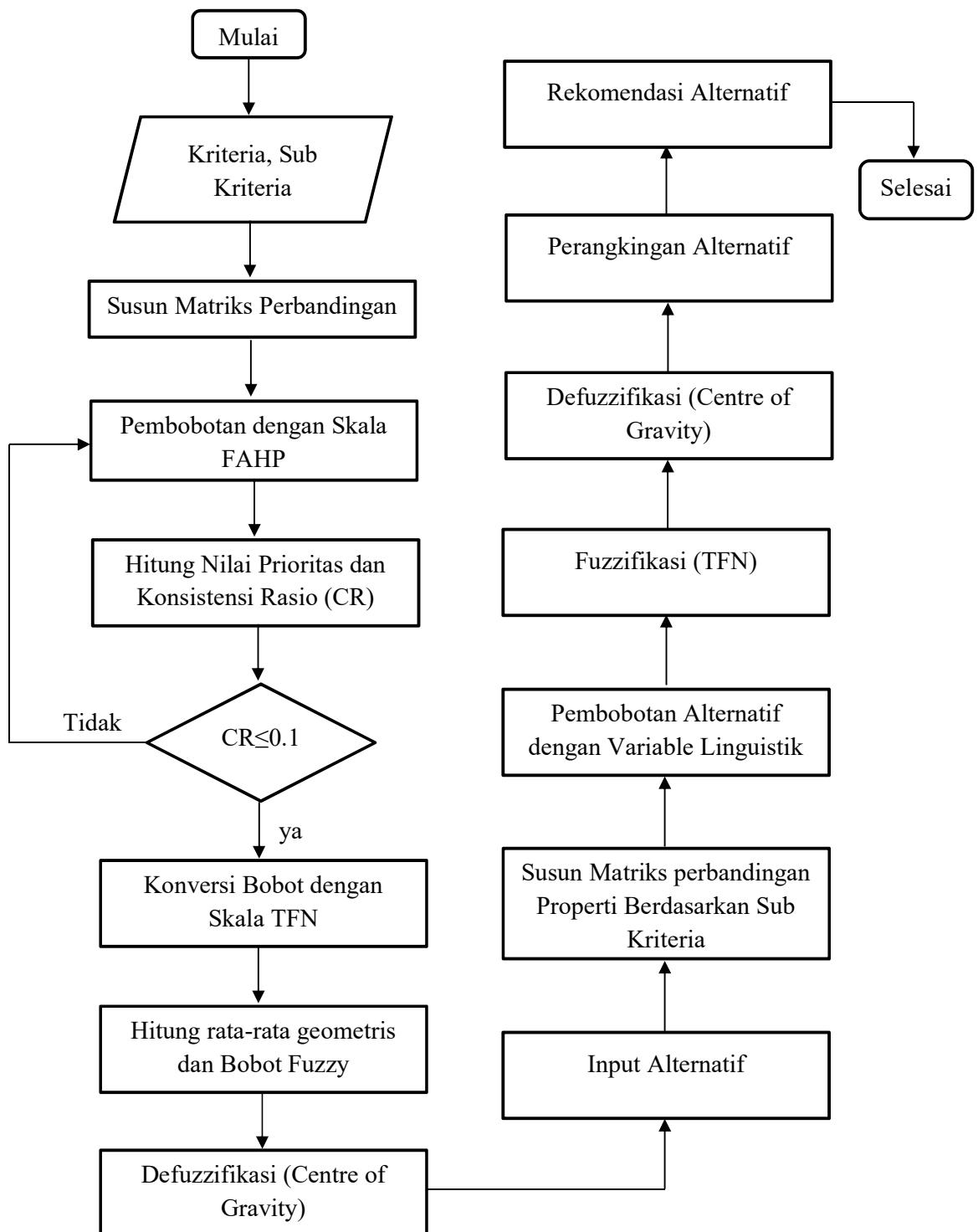


Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

Agar lebih memudahkan, pada Gambar 3.4 di bawah dijabarkan bagaimana proses tahapan pekerjaan dengan menggunakan metode FAHP dari awal proses hingga akhir.



Gambar 3.4 Flowchart Sistem dengan Metode FAHP

### **3.2 Metode Pengumpulan Data**

Tahap pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh data yang diperlukan dalam penelitian ini yang berkaitan dengan pemilihan rute alternatif Line 5 dari gardu induk Larona ke gardu Induk Balambano. Secara garis besar tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan karakteristik design untuk masing-masing jalur alternatif berdasarkan standar yang telah disebutkan pada Bab 2 mengenai Dasar Teori. Adapun karakteristik yang akan diperhitungkan adalah:
  - a. Titik lokasi menara transmisi masing-masing alternatif rute tower transmisi.
  - b. Panjang lintasan masing-masing alternatif rute menara transmisi.
  - c. Jenis menara transmisi yang sesuai pada masing-masing alternatif rute tower transmisi.
  - d. Jumlah Menara transmisi masing-masing alternatif rute tower transmisi.
2. Pemilihan *Expert*.

Pemilihan expert dilakukan untuk menjamin kevalitan dari jawaban yang dihasilkan. Hal ini dilakukan karena kuisioner yang baik adalah ketika hasil yang diperoleh reliable dan valid. Sehingga, penilaian expert harus memenuhi kriteria berikut ini (Herowati et al, 2015):

1. Konsisten, yaitu expert harus memiliki konsistensi selamanya.
2. Diskriminasi, yaitu expert harus memiliki kemampuan untuk membedakan antara kasus yang mirip tetapi tidak sama.

Sebelum kuisioner disebar untuk dinilai para expert, penulis akan melakukan interview singkat dengan masing-masing expert terkait apa saja yang menjadi kriteria dalam pelaksanaan pembangunan menara transmisi yang baru. Hasil dari kriteria yang didapatkan dari para expert akan dikombinasikan dengan referensi kriteria yang diperoleh dari report Birtle Transmission Project 2018.

3. Penyebaran Kuisioner. Kegiatan penyebaran dan pengisian kuisioner ini terbagi menjadi 2, yaitu:

- a. Kuisisioner tahap pertama dilakukan untuk membobot elemen-elemen pada model hirarki masing-masing kriteria dengan cara perbandingan berpasangan.

Matrik penilaian yang melihat tingkat kepentingan pada setiap hirarki antara dua elemen berpasangan. Kemudian skala prioritas dalam penentuan nilai pada setiap elemen; contohnya antara atribut A dengan atribut B dengan skala 1 sampai 9 untuk memberikan tingkat kepentingan atau prioritas dari kriteria yang dibandingkan. Adapun penjelasan dari skala penilaian adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Skala Penilaian

Nilai	Penjelasan Tingkat Kepentingan atau Prioritas
1	Kriteria A sama pentingnya dibandingkan dengan Kriteria B
3	Kriteria A sedikit lebih penting dibandingkan dengan Kriteria B
5	Kriteria A lebih penting dibandingkan dengan Kriteria B
7	Kriteria A sangat penting dibandingkan dengan Kriteria B
9	Kriteria A mutlak sangat penting dibandingkan dengan Kriteria B
2, 4, 6, 8	Nilai tengah-tengah diantara masing-masing nilai sebelum dan sesudahnya

(Sumber: Saaty, 1994)

- b. Kuisisioner tahap kedua dilakukan dengan membandingkan masing-masing alternatif rute menara transmisi dengan masing-masing kriteria.

### 3.3 Metode Pengolahan data

Pengolahan data merupakan proses input dan transfer data ke matriks penilaian, adapun pengolahan data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kriteria yang akan dipilih sebagai bahan pertimbangan matriks perbandingan didalam kuisisioner.
2. Mengeliminasi kriteria dengan menggunakan pareto yang menggunakan konsep 80%-20%. Sub-atribut yang berada di bawah 80%, maka sub-atribut tersebut diambil sebagai sub-atribut yang penting dalam penentuan jalur Menara transmisi.

3. Menghitung nilai *consistency ratio* dari hasil kuisioner masing-masing expert.
4. Menghitung nilai rata-rata geometri Fuzzy dengan persamaan 2.7  
Menghitung bobot Fuzzy menggunakan persamaan 2.8, melakukan defuzzifikasi dengan metode Center of Area (COA) dengan persamaan 2.9 dan melakukan normalisasi sebagai bobot akhir dengan persamaan 2.10.
5. Melakukan analisa sensitivitas untuk menentukan apakah ada nilai perubahan bobot kriteria yang dapat mengubah peringkat alternatif yang ada.

Pengolahan data yang dilakukan dalam menyelesaikan *Fuzzy AHP* menggunakan *microsoft excel* 2016.

## **BAB IV**

### **ANALISIS DATA**

Pada Bab penelitian ini akan dibahas mengenai pengumpulan dan pengolahan data untuk mendapatkan bobot dan prioritas dari kriteria-kriteria yang akan digunakan dalam penentuan rute Menara transmisi 150 kV dari gardu induk PLTA Larona ke gardu induk PLTA Balambano. Adapun selanjutnya data-data yang dikumpulkan merupakan data-data yang dibutuhkan dalam pemilihan kriteria, perbandingan berpasangan antar kriteria serta perbandingan alternatif rute berdasarkan masing-masing kriteria.

#### **5.1 Pengumpulan Data**

##### **5.1.1 Pemilihan *Expert* (Responden Ahli)**

Responden dalam penelitian ini adalah responden ahli yang berkompetensi dan dapat mewaliki dalam proses pengambilan keputusan untuk mengevaluasi pemilihan rute alternatif jalur menara transmisi 150kV di PT. Vale Indonesia. Pada Tabel 4.1 di bawah ini adalah data responden ahli yang sangat berpengalaman yang dipilih penulis untuk membantu dalam penelitian ini.

Tabel 4.1 Identitas Responden

<b>Expert</b>	<b>Jabatan</b>	<b>Pengalaman</b>
1	Project Manager	12 Tahun
2	Manager of Civil and Hydro Surveillance	12 Tahun
3	Manager of Energy	16 Tahun
4	Senior Energy Engineer	15 Tahun
5	Manager of Utilities Engineering	16 Tahun

Pemilihan *expert* dilakukan untuk menjamin kevalitan dari jawaban yang dihasilkan. Hal ini dilakukan karena kuisioner yang baik adalah ketika hasil yang diperoleh reliable dan valid. Sehingga, penilaian *expert* harus memenuhi kriteria berikut ini (Herowati et al, 2015):

1. Konsisten, yaitu *expert* harus memiliki konsistensi selamanya.

- Diskriminasi, yaitu *expert* harus memiliki kemampuan untuk membedakan antara kasus yang mirip tetapi tidak sama.

### 5.1.2 Pemilihan Kriteria

Pemilihan kriteria diperoleh dari kombinasi dari referensi jurnal yang sudah disebutkan dalam bab sebelumnya dan interview dari responden ahli yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah.

Tabel 4.2 Referensi kriteria penentuan alternatif jalur menara transmisi 150kV

No	Atribut	Sub Atribut
1	Referensi Jurnal Birtle “Transmission Project 2018”	Habitat Flora dan fauna
		Kondisi/jenis tanah
		Topografi
		Panjang Lintasan
		ROW
		<i>Potential relocate residence</i>
		Akses Maintenance
		<i>River crossing</i>
		Biaya Konstruksi
2	<i>Expert 1</i>	Pembebasan Lahan
		Biaya Konstruksi
		Topografi
		Perizinan
		Kedekatan dengan bangunan lain
		kedekatan dengan sungai
3	<i>Expert 2</i>	Pembebasan lahan
		Perizinan
		Aktivitas penduduk disekitar lokasi
		Biaya Konstruksi
		Topografi
4	<i>Expert 3</i>	Perizinan
		Topografi

		Pembebasan lahan
		Kedekatan dengan bangunan lain
		Biaya Konstruksi
5	<i>Expert 4</i>	Kemudahan pekerjaan
		Biaya Konstruksi
		Topografi
		Pembebasan lahan
		Kedekatan dengan bangunan lain
6	<i>Expert 5</i>	Akses Maintenance
		Perizinan
		Pembebasan lahan
		Biaya Konstruksi
		Kondisi/jenis tanah

Dari hasil referensi jurnal dan interview dari expert, maka semua alternatif di atas akan dimasukkan dalam pemilihan matriks perbandingan dalam kuisioner yang akan disebar kecuali ada beberapa kriteria yang tidak terpilih dengan alasan sebagai berikut:

1. Panjang lintasan, kriteria ini tidak dimasukkan karena terangkum dalam biaya konstruksi.
2. ROW (*Right of Way*), kriteria ini tidak dimasukkan karena sudah masuk dalam kriteria perizinan.
3. *Potential relocate residence*, kriteria ini tidak dimasukkan karena tidak relevan dengan situasi dan kondisi lokasi semua rute alternatif.

Dengan demikian, kriteria yang akan digunakan untuk pemilihan alternatif rute menara transmisi 150kV yang ada di PT. Vale Indonesia menjadi 11 kriteria seperti dalam Tabel 4.3 di bawah.

Tabel 4.3 Kriteria penentuan alternatif jalur menara transmisi 150kV

No	Alternatif	Kode
1	Biaya Konstruksi	T-01
2	Akses Maintenance	T-02

3	Kondisi/jenis tanah	T-03
4	Topografi	T-04
5	Perizinan	T-05
6	Pembebasan lahan	T-06
7	Kemudahan pekerjaan	T-07
8	Aktivitas penduduk disekitar lokasi	T-08
9	Kedekatan dengan bangunan lain	T-09
10	kedekatan dengan sungai	T-10
11	Habitat Flora dan fauna	T-11

Salah satu kriteria diatas sifatnya adalah kuantitatif. Seperti pada kriteria Biaya Konstruksi, penulis akan menghitung biaya konstruksi ini sebagai bahan pertimbangan karena perhitungan ini bisa menjadi salah satu alasan bagi sebuah perusahaan yang orientasinya adalah untuk mencari profit atau keuntungan. Para *expert* nanti akan menilai sejauh mana total biaya konstruksi ini berpengaruh untuk masing-masing alternatif jalur menara transmisi 150kV.

## 5.2 Pengolahan Data

Pengolahan data terdiri atas tiga tahap. Tahapan pertama, melakukan pengolahan data berdasarkan hasil penilaian expert terhadap matriks perbandingan antara masing-masing kriteria. Hasil pembobotan kriteria tahap pertama akan dilakukan penjaringan untuk digunakan pada tahap kedua. Tahapan kedua melakukan hasil penilaian expert terhadap hasil dari tahapan sebelumnya. Semua pembobotan baik pada tahap pertama dan kedua dilakukan dengan menggunakan metode *Fuzzy AHP*.

### 5.2.1 Hasil penilaian *expert* tahap-1

#### 5.2.1.1 Matriks Perbandingan

Dalam tahap pertama ini, ke-5 *expert* diberikan kuisioner berupa matriks perbandingan masing-masing kriteria. Dalam pembahasan BAB ini, penulis menjabarkan hasil penilaian matriks perbandingan dari *expert-1*. Adapun tahapan-tahapan pembobotan kriteria dengan menggunakan *Fuzzy AHP* adalah sebagai berikut:

Tahap ini dilakukan Perbandingan berpasangan antar kriteria dengan menggunakan AHP yang diperoleh dari hasil kuisioner pertama. Hasil penilaian yang ditampilkan pada Tabel 4.4 di bawah adalah perbandingan berpasangan AHP dari kuisioner *expert-1*. Matriks perbandingan berpasangan dilakukan menggunakan skala penilaian berdasarkan Tabel 3.2 pada bab 3. Hasil dari matrik berpasangan antar kriteria dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah.

Tabel 4.4 Matrik Perbandingan Antar Kriteria

Kriteria	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05	T-06	T-07	T-08	T-09	T-10	T-11
T-01	1	7	3	1/3	1/5	7	2	1/3	3	4	5
T-02	1/7	1	1/5	1/7	1/9	2	1/4	1/7	1/4	1/4	1/3
T-03	1/3	5	1	1/3	1/5	5	2	1/5	3	3	3
T-04	3	8	3	1	1/2	8	5	1	4	5	6
T-05	5	9	5	2	1	9	5	3	6	7	7
T-06	1/7	1/2	1/5	1/8	1/9	1	1/6	1/4	1/5	1/5	1/3
T-07	1/2	4	1/2	1/5	1/5	6	1	3	3	3	4
T-08	3	7	5	1	1/3	4	1/3	1	5	5	5
T-09	1/3	4	1/3	1/4	1/6	5	1/3	1/5	1	1	1/2
T-10	1/4	4	1/3	1/5	1/7	5	1/3	1/5	1	1	1
T-11	1/5	3	1/3	1/6	1/7	3	1/4	1/5	2	1	1

### 5.2.1.2 Konsistensi

Pengukuran tingkat konsistensi dilakukan pada setiap matrik perbandingan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui konsistensi responden dalam melakukan penilaian berpasangan. Nilai konsistensi dihitung menggunakan excel. Ringkasan hasil perhitungan rasio konsistensi (CR) ditunjukkan pada Tabel 4.5. Matriks rasio konsistensi dari nilai kriteria masing-masing *expert* menunjukkan konsistensi yang baik atau dapat diterima karena semua nilai lebih kecil dari 0,1 (10%). Nilai rata-rata CR adalah 0,0939 juga lebih kecil dari 0,1 (10%).

Tabel 4.5 Konsistensi rasio matriks Perbandingan Masing-Masing *Expert*

	Expert-1	Expert-2	Expert-3	Expert-4	Expert-5
CR	0.0938	0.0989	0.0957	0.0910	0.0899

### **5.2.1.3 Pembobotan Kriteria dengan Metode Fuzzy AHP**

Pada tahapan ini, dilakukan konversi dari matriks perbandingan ke skala TFN. Karena terdapat 5 expert yang melakukan penilaian matriks berpasangan, maka dilakukan metode rata-rata geometri digunakan untuk mewakili hasil penilaian dari semua *expert* seperti pada Tabel 4.6 dibawah.

Tabel 4.6 Konversi Nilai matriks perbandingan ke bilangan Fuzzy menggunakan metode rata-rata geometri

Kriteria	Biaya			Akses Maintenance				Kondisi/jenis tanah				Topografi			Perizinan			Pembebasan lahan			Kemudahan pekerjaan			Aktivitas penduduk disekitar lokasi		Kedekatan dengan bangunan lain			Kedekatan dengan sungai			Habitat Flora dan fauna		
Biaya Konstruksi	1.00	1.00	1.00	1.78	3.09	4.90	0.65	1.38	2.81	0.60	1.21	2.61	0.15	0.22	0.35	0.32	0.47	0.87	1.04	1.61	2.70	0.51	0.85	1.70	2.05	4.23	6.28	2.05	4.13	6.15	2.67	4.83	6.88	
Akses Maintenance	0.20	0.32	0.56	1.00	1.00	1.00	0.23	0.40	0.67	0.22	0.30	0.43	0.12	0.13	0.19	0.23	0.33	0.55	0.32	0.62	1.07	0.29	0.44	0.86	0.46	0.84	1.77	0.59	1.08	1.88	0.90	1.58	2.69	
Kondisi/jenis tanah	0.36	0.72	1.53	1.48	2.51	4.36	1.00	1.00	1.00	0.49	1.12	2.11	0.13	0.17	0.29	0.27	0.38	0.58	0.90	1.82	3.55	0.56	1.10	2.09	0.76	2.10	3.62	0.83	1.89	3.59	1.43	2.83	4.02	
Topografi	0.38	0.82	1.66	2.64	3.63	4.66	0.47	0.89	2.04	1.00	1.00	1.00	0.16	0.24	0.38	0.33	0.48	0.90	1.08	1.76	3.30	0.83	1.52	3.25	1.43	3.25	5.30	1.25	3.06	5.11	2.83	5.01	7.07	
Perizinan	2.83	4.62	6.76	5.36	7.43	8.56	3.50	5.81	7.61	2.63	4.28	6.19	1.00	1.00	1.00	1.65	2.41	3.18	5.01	7.07	8.56	3.02	5.27	7.07	4.94	7.02	8.36	5.36	7.43	8.56	5.93	7.95	9.00	
Pembebasan lahan	1.15	2.12	3.12	1.72	3.20	4.75	1.72	2.63	3.76	1.11	2.08	3.05	0.37	0.56	0.89	1.00	1.00	1.00	1.51	2.07	2.56	1.66	2.84	4.27	1.91	2.95	4.07	1.93	2.95	4.00	2.91	4.10	5.80	
Kemudahan pekerjaan	0.37	0.62	0.96	0.94	1.62	3.12	0.28	0.55	1.11	0.30	0.57	0.93	0.12	0.14	0.20	0.39	0.48	0.66	1.00	1.00	1.00	0.80	1.67	2.69	0.76	2.10	3.62	0.72	1.93	3.62	1.29	2.51	4.30	
Aktivitas penduduk disekitar lokasi	0.59	1.18	1.96	1.16	2.29	3.50	0.48	0.91	1.77	0.38	0.66	1.50	0.14	0.19	0.33	0.23	0.35	0.60	0.37	0.60	1.25	1.00	1.00	1.00	1.43	3.25	5.30	1.25	2.83	4.89	1.93	3.76	5.85	
Kedekatan dengan bangunan lain	0.16	0.24	0.49	0.56	1.19	2.19	0.28	0.48	1.32	0.19	0.31	0.70	0.12	0.15	0.20	0.24	0.34	0.52	0.28	0.48	1.32	0.19	0.31	0.70	1.00	1.00	1.00	0.76	0.87	1.00	0.76	1.00	1.32	
Kedekatan dengan sungai	0.16	0.24	0.49	0.53	0.92	1.70	0.28	0.53	1.20	0.20	0.33	0.80	0.12	0.14	0.19	0.25	0.34	0.52	0.28	0.52	1.38	0.20	0.35	0.80	1.00	1.15	1.32	1.00	1.00	1.00	1.43	1.82		
Habitat Flora dan fauna	0.15	0.21	0.37	0.37	0.63	1.11	0.25	0.35	0.70	0.14	0.20	0.35	0.11	0.13	0.17	0.17	0.25	0.36	0.23	0.40	0.77	0.17	0.27	0.52	0.76	1.00	1.32	0.55	0.70	1.25	1.00	1.00		

Ada beberapa tahapan yang harus dilakukan sebelum menentukan bobot masing-masing kriteria, yaitu:

1. Menghitung nilai rata-rata Geometris *Fuzzy* pada Kriteria

Langkah awal adalah menentukan rata-rata geometris terhadap bilangan Fuzzy.

Cara perhitungan dalam menentukan rata-rata geometris sesuai dengan persamaan (2.7) pada Bab 2. Berikut adalah contoh perhitungan nilai rata-rata geometris pada kriteria T-01 (Biaya Konstruksi)

$$\tilde{r}_i = \left( \prod_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} \right)^{1/n}$$

$$\tilde{r}_i = \begin{bmatrix} (1 * 1.78 * 0.65 * 0.6 * 0.15 * 0.32 * 1.04 * 0.51 * 2.05 * 2.05 * 2.67)^{\frac{1}{11}}; \\ (1 * 3.09 * 1.38 * 1.21 * 0.22 * 0.47 * 1.61 * 0.85 * 4.23 * 4.13 * 4.83)^{\frac{1}{11}}; \\ (1 * 4.9 * 2.81 * 2.61 * 0.35 * 0.87 * 2.7 * 1.7 * 6.28 * 6.15 * 6.88)^{\frac{1}{11}} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{r}_i = [0.863 ; 1.452 ; 2.373]$$

Perhitungan di atas menghasilkan nilai geometris kriteria T-01 (Biaya Konstruksi) dengan 0.863 sebagai batas bawah (l), 1.452 sebagai batas tengah (m), dan 2.373 sebagai batas atas (u). perhitungan ini juga dilakukan pada setiap kriteria untuk mendapatkan nilai rata rata geometris Fuzzy. Adapun rekap perhitungan nilai rata-rata geometris Fuzzy adalah seperti Tabel 4.7 di bawah.

Tabel 4.7 Nilai Geometris Masing-Masing Kriteria

Kriteria	r <sub>i</sub>		
<b>T-01</b>	0.863	1.452	2.373
<b>T-02</b>	0.336	0.515	0.834
<b>T-03</b>	0.608	1.105	1.856
<b>T-04</b>	0.822	1.399	2.332
<b>T-05</b>	3.323	4.808	5.960
<b>T-06</b>	1.391	2.143	2.967
<b>T-07</b>	0.521	0.915	1.455
<b>T-08</b>	0.622	1.078	1.811
<b>T-09</b>	0.324	0.472	0.829
<b>T-10</b>	0.343	0.505	0.866
<b>T-11</b>	0.272	0.377	0.606

<b>Total</b>	9.423	14.768	21.888
<b>Reverse</b>	0.106	0.068	0.046
<b>Increasing Order</b>	0.046	0.068	0.106

## 2. Pembobotan Fuzzy pada Kriteria

Setelah mendapatkan nilai rata-rata geometris Fuzzy, langkah selanjutnya adalah menentukan bobot Fuzzy berdasarkan persamaan (2.8) pada bab 2. Berikut ini adalah contoh perhitungan bobot untuk kriteria T-01 (Biaya Konstruksi).

$$\widetilde{w}_i = \widetilde{r}_i \otimes (\widetilde{r}_1 \otimes \widetilde{r}_2 \otimes \dots \otimes \widetilde{r}_n)^{-1}$$

$$\widetilde{w}_i = (l w_i, m w_i, u w_i)$$

$$\widetilde{w}_i = [(0.863 * 0.046); (1.452 * 0.068); (2.373 * 0.106)]$$

$$\widetilde{w}_i = (0.039; 0.098; 0.252)$$

Perhitungan di atas menghasilkan kriteria T-01 (Biaya Konstruksi) dengan 0.039 sebagai batas bawah (l), 0.098 sebagai batas tengah (m), dan 0.252 sebagai batas atas (u). perhitungan ini juga dilakukan pada setiap kriteria untuk mendapatkan nilai rata rata geometris Fuzzy. Adapun rekap pembobotan adalah seperti Tabel 4.8 di bawah.

Tabel 4.8 Nilai Pembobotan Fuzzy untuk Masing-Masing Kriteria

Kriteria	wi		
<b>T-01</b>	0.039	0.098	0.252
<b>T-02</b>	0.015	0.035	0.088
<b>T-03</b>	0.028	0.075	0.197
<b>T-04</b>	0.038	0.095	0.247
<b>T-05</b>	0.152	0.326	0.632
<b>T-06</b>	0.064	0.145	0.315
<b>T-07</b>	0.024	0.062	0.154
<b>T-08</b>	0.028	0.073	0.192
<b>T-09</b>	0.015	0.032	0.088
<b>T-10</b>	0.016	0.034	0.092
<b>T-11</b>	0.012	0.026	0.064

## 3. Defuzzifikasi dengan metode *Centre of area* (COA) pada kriteria

Pada perhitungan sebelumnya didapatkan nilai bobot Fuzzy, maka harus dilakukan defuzzifikasi dengan menggunakan metode *centre of area* dengan

persamaan (2.9) Pada Bab 2. Adapun contoh perhitungan defuzifikasi untuk kriteria T-01 (Biaya Konstruksi) adalah sebagai berikut:

$$M_i = \frac{(lw_i, mw_i, uw_i)}{3}$$

$$M_i = \frac{(0.039 * 0.098 * 0.252)}{3}$$

$$M_i = 0.130$$

Perhitungan defuzzifikasi dengan *centre of area* dihasilkan nilai non-*Fuzzy* kriteria T-01 (Biaya Konstruksi) senilai 0.130. Nilai tersebut harus dinormalisasi untuk mendapatkan bobot akhir menggunakan persamaan (2.10) pada bab 2. Contoh perhitungan normalisasi adalah sebagai berikut:

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i}$$

$$N_i = \frac{0.130}{1.251}$$

$$N_i = 0.104$$

Perhitungan juga dilakukan pada masing masing kriteria ( $N_i$ ), sehingga hasil dari perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut ini.

Tabel 4.9 Bobot Akhir untuk Masing-Masing Kriteria

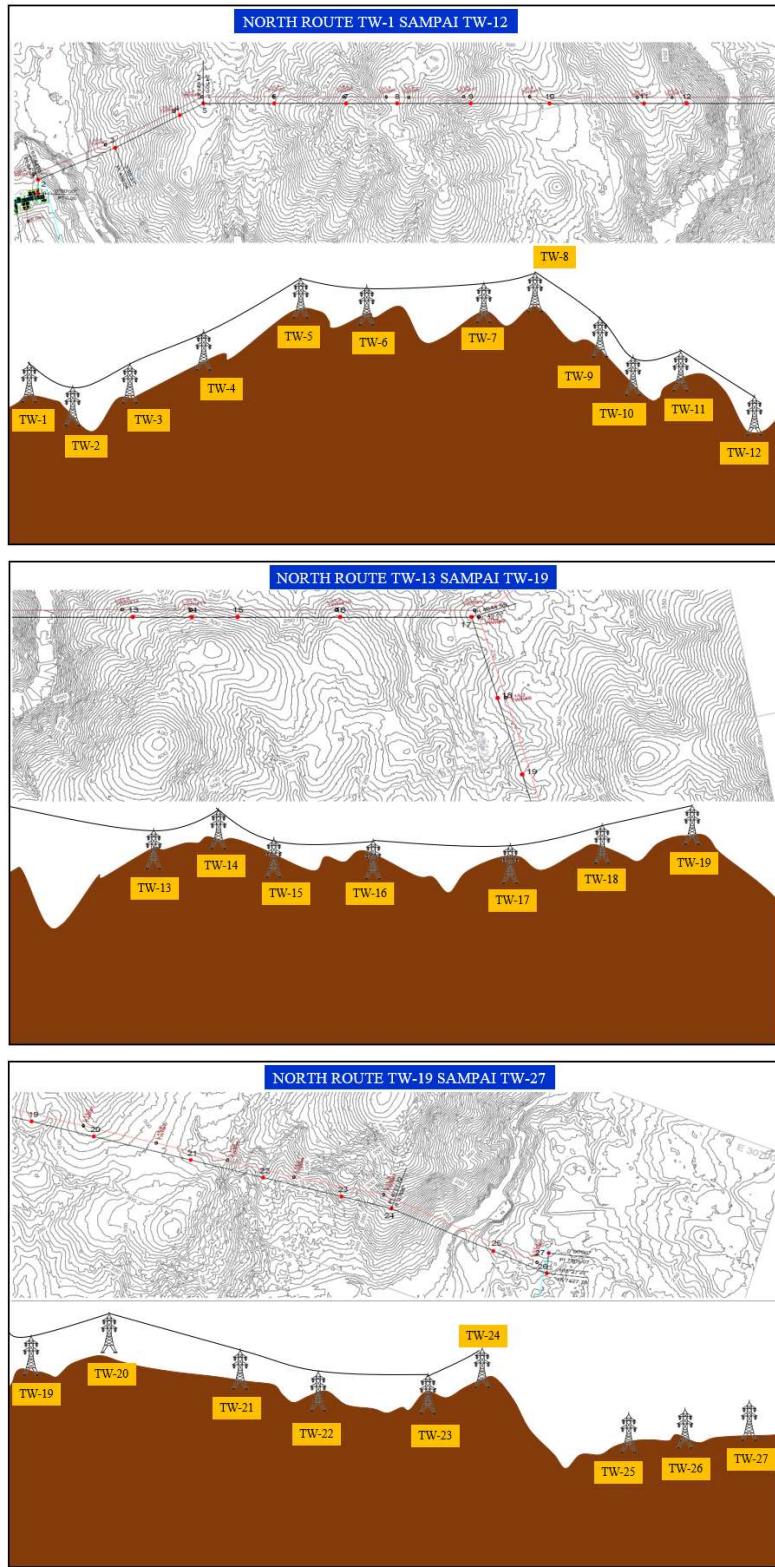
<b>Kriteria</b>	<b>M<sub>i</sub></b>	<b>N<sub>i</sub></b>
<b>T-01</b>	0.130	0.104
<b>T-02</b>	0.046	0.037
<b>T-03</b>	0.100	0.080
<b>T-04</b>	0.127	0.101
<b>T-05</b>	0.370	0.296
<b>T-06</b>	0.174	0.139
<b>T-07</b>	0.080	0.064
<b>T-08</b>	0.098	0.078
<b>T-09</b>	0.045	0.036
<b>T-10</b>	0.047	0.038
<b>T-11</b>	0.034	0.027
<b>Total</b>	1.251	1

### 1. North Route

Jalur ini merupakan jalur dengan rute tenganjang, yaitu 7.505km. jalur ini mengikuti jalur *existing* yang sudah ada. Tabel 4.10 dan Gambar 4.2 menunjukkan detail lokasi dari semua menara yang ada di *North Route*. Ada 27 menara transmisi yang akan melewati rute ini.

Tabel 4.10 Rekapitulasi lokasi menara pada *North Route*

No. Tower	Station (m)	X Easting (m)	Y Northing (m)	Elevasi (m)	Span (m)	Angle (deg)
TW-1	0.00	301,559.69	9,708,104.69	114.85	0.00	0.00
TW-2	54.36	301,571.75	9,708,157.69	111.45	54.36	67.90
TW-3	409.09	301,921.84	9,708,214.87	161.75	354.73	-3.92
TW-4	716.66	302,221.28	9,708,285.11	271.50	307.57	0.00
TW-5	827.87	302,329.56	9,708,310.51	295.72	111.21	24.53
TW-6	1,133.97	302,629.73	9,708,250.54	308.93	306.10	0.00
TW-7	1,444.33	302,934.07	9,708,189.73	397.22	310.36	0.00
TW-8	1,665.35	303,150.81	9,708,146.42	412.39	221.02	0.00
TW-9	1,983.41	303,462.70	9,708,084.11	337.26	318.06	0.00
TW-10	2,323.76	303,796.46	9,708,017.42	271.37	340.35	0.00
TW-11	2,731.92	304,196.71	9,707,937.45	290.95	408.16	0.00
TW-12	2,915.16	304,376.39	9,707,901.55	277.78	183.24	0.00
TW-13	3,231.05	304,882.28	9,707,800.47	276.15	315.89	0.00
TW-14	3,642.09	305,089.23	9,707,759.12	291.32	411.04	0.00
TW-15	3,806.44	305,250.40	9,707,726.92	280.14	164.35	0.00
TW-16	4,173.82	305,610.65	9,707,654.94	275.86	367.38	0.00
TW-17	4,544.59	306,072.30	9,707,562.71	263.11	370.77	72.75
TW-18	4,959.56	306,104.92	9,707,249.43	274.90	414.97	0.00
TW-19	5,256.65	306,135.69	9,706,953.94	294.17	297.09	0.00
TW-20	5,515.04	306,162.45	9,706,696.93	313.29	258.39	0.00
TW-21	5,917.75	306,204.16	9,706,296.39	282.83	402.71	0.00
TW-22	6,218.66	306,235.32	9,705,997.10	267.02	300.91	0.00
TW-23	6,544.89	306,369.11	9,705,672.63	270.66	326.23	0.00
TW-24	6,751.72	306,290.53	9,705,466.91	287.96	206.83	8.55
TW-25	7,195.90	306,270.32	9,705,023.19	200.78	444.18	0.00
TW-26	7,427.78	306,259.77	9,704,791.55	202.71	231.88	-105.46
TW-27	7,505.07	306,335.13	9,704,808.74	219.74	77.29	0.00



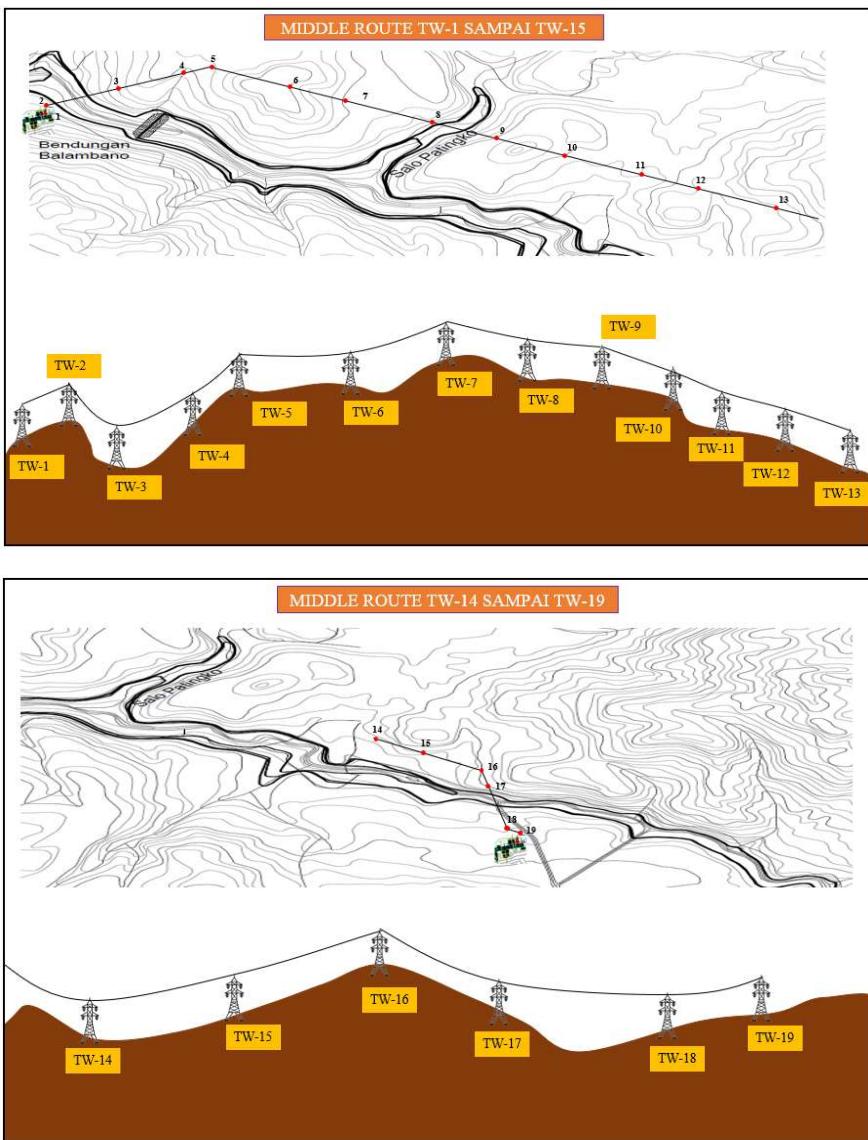
Gambar 4.1 Potongan Memanjang Menara Transmisi North Route

## 2. Middle Route

Jalur ini memiliki panjang rute 5.931km. jalur ini merupakan jalur baru yang belum pernah dilakukan pembukaan lahan sebelumnya dan merupakan jalur terpendek. Tabel 4.11 dan Gambar 4.3 menunjukkan detail lokasi dari semua menara yang ada di *Middle Route*. Ada 19 menara transmisi yang akan melewati rute ini.

Tabel 4.11 Rekapitulasi lokasi menara pada *Middle Route*

No. Tower	Station (m)	X Easting (m)	Y Northing (m)	Elevasi (m)	Span (m)	Angle (deg)
TW-1	0.00	301,559.69	9,708,104.69	114.85	0.00	0.00
TW-2	54.36	301,571.75	9,708,157.69	111.45	54.36	67.90
TW-3	409.09	301,921.84	9,708,214.87	161.75	354.73	-3.92
TW-4	716.66	302,221.28	9,708,285.11	271.50	307.57	0.00
TW-5	827.87	302,329.56	9,708,310.51	295.72	111.21	24.53
TW-6	1,262.89	302,329.56	9,707,889.73	297.17	435.02	0.00
TW-7	1,649.14	302,329.56	9,707,483.75	301.21	386.25	0.00
TW-8	2,150.50	302,329.56	9,707,184.11	298.88	501.36	0.00
TW-9	2,605.51	303,126.57	9,706,815.61	297.58	455.01	0.00
TW-10	3,045.62	303,726.47	9,706,719.05	283.65	440.11	0.00
TW-11	3,480.70	304,296.11	9,706,403.58	279.16	435.08	0.00
TW-12	3,881.47	304,351.39	9,706,203.17	272.06	400.77	0.00
TW-13	4,381.56	304,692.25	9,706,000.12	268.93	500.09	0.00
TW-14	4,709.11	305,089.23	9,705,821.74	266.35	327.55	0.00
TW-15	4,970.56	305,240.40	9,705,614.77	277.11	261.45	0.00
TW-16	5,177.89	306,290.53	9,705,466.91	287.96	207.33	8.55
TW-17	5,622.07	306,270.32	9,705,023.19	200.78	444.18	0.00
TW-18	5,853.95	306,259.77	9,704,791.55	202.71	231.88	-105.46
TW-19	5,931.24	306,335.13	9,704,808.74	219.74	77.29	0.00



Gambar 4.2 Potongan Memanjang Menara Transmisi Middle Route

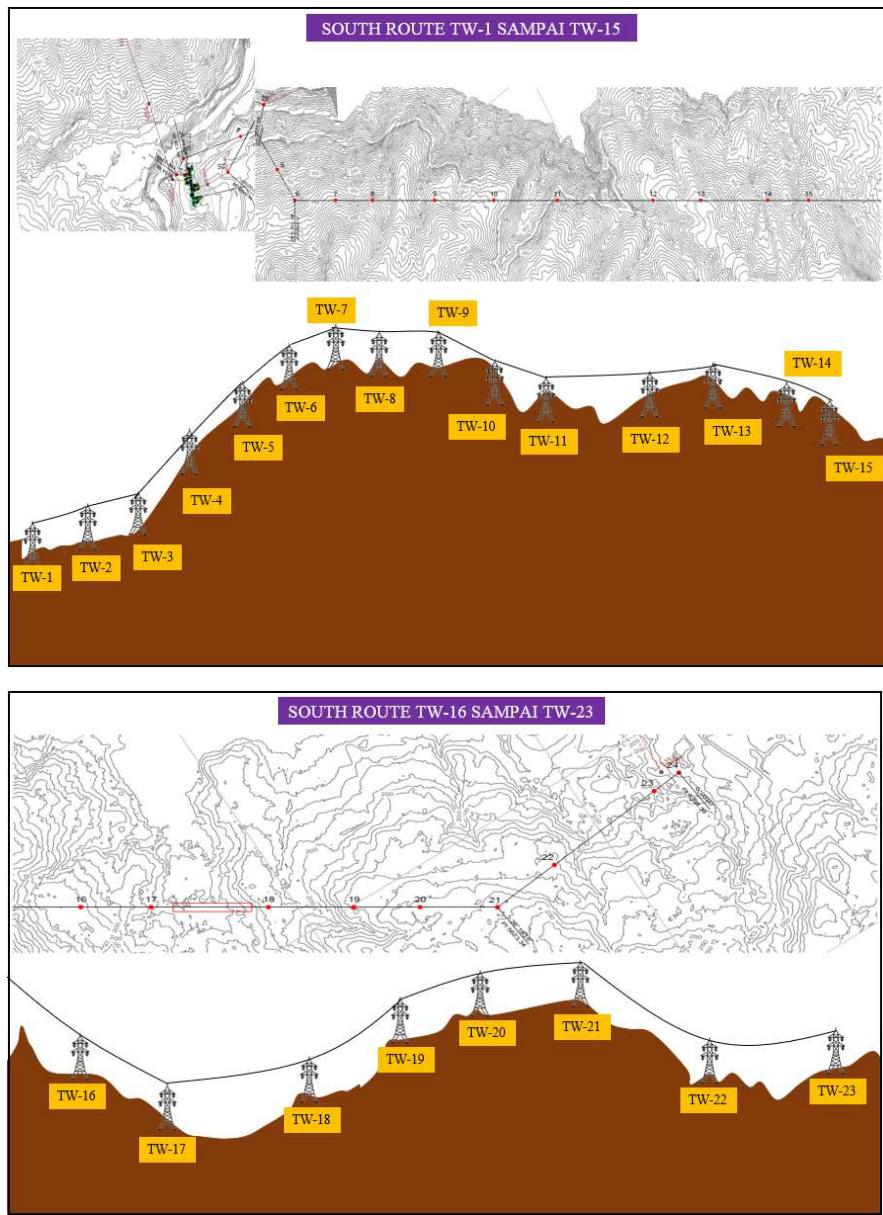
### 3. South Route

Jalur ini memiliki panjang rute 6.292km. jalur ini juga merupakan jalur baru yang belum pernah dilakukan pembukaan lahan sebelumnya. Jalur ini merupakan lintasan jalur dengan rute terpendek diantara jalur alternatif lainnya. Tabel 4.12 dan Gambar 4.4 menunjukkan detail lokasi dari semua menara yang ada di *South Route*.

Ada 23 menara transmisi yang akan melewati rute ini.

Tabel 4.12 Rekapitulasi lokasi menara pada *South Route*

No. Tower	Station (m)	X Easting (m)	Y Northing (m)	Elevasi (m)	Span (m)	Angle (deg)
TW-1	0.00	301,559.69	9,708,104.69	114.85	0.00	0.00
TW-2	54.36	301,571.75	9,708,157.69	111.45	54.36	119.38
TW-3	128.20	301,626.45	9,708,108.08	107.99	73.84	43.98
TW-4	441.15	301,647.28	9,707,795.83	128.20	312.95	0.00
TW-5	859.14	301,675.11	9,707,378.77	287.53	417.99	0.00
TW-6	1,013.80	301,685.40	9,707,224.45	336.42	154.66	-53.47
TW-7	1,227.97	301,865.60	9,707,108.70	366.79	214.17	0.00
TW-8	1,422.08	302,028.92	9,707,003.80	376.17	194.11	0.00
TW-9	1,748.70	302,303.73	9,706,827.27	373.38	326.62	0.00
TW-10	2,059.47	302,565.21	9,706,659.32	370.95	310.77	0.00
TW-11	2,393.26	302,846.05	9,706,478.92	321.48	333.79	0.00
TW-12	2,896.95	303,369.84	9,706,206.71	320.17	503.69	0.00
TW-13	3,148.39	303,481.40	9,706,070.82	350.18	251.44	0.00
TW-14	3,499.50	303,776.81	9,705,881.06	319.91	351.11	0.00
TW-15	3,714.31	303,957.55	9,705,764.96	308.41	214.81	0.00
TW-16	4,226.28	304,388.31	9,705,488.27	206.55	511.97	0.00
TW-17	4,462.08	304,586.71	9,705,360.83	183.30	235.80	0.00
TW-18	4,856.01	304,918.15	9,705,147.94	198.46	393.93	0.00
TW-19	5,142.00	305,158.78	9,704,993.37	225.33	285.99	0.00
TW-20	5,364.04	305,345.60	9,704,873.37	237.68	222.04	0.00
TW-21	5,623.35	305,563.77	9,704,733.23	242.46	259.31	-38.30
TW-22	5,866.38	305,805.65	9,704,756.91	228.59	243.03	0.00
TW-23	6,292.61	306,229.85	9,704,798.43	196.82	426.23	0.00



Gambar 4.3 Potongan Memanjang Menara Transmisi South Route

#### 5.2.1.4 Summary Rute Alternatif Menara Transmisi Berdasarkan Kriteria Terpilih

Tabel 4.13 Ringkasan Gambaran Umum Masing-Masing Kriteria dan Alternatif.

No.	Kriteria	Rute Alternatif Menara Transmisi 150kV		
		North Route	Middle Route	South Route
1	Biaya Konstruksi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Panjang lintasan tower <b>7.505 km</b> dengan <b>total tower 27</b>. terdiri dari <b>21 Tower suspension</b> dan <b>6 Tower tension</b>.</li> <li>- Total biaya procurement dan konstruksi adalah <b>\$ 3,921,720.88</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Panjang lintasan tower <b>5.931 km</b> dengan <b>total tower 19</b>. terdiri dari <b>14 Tower suspension</b> dan <b>5 Tower tension</b>.</li> <li>- Total biaya procurement dan konstruksi adalah <b>\$ 2,723,549.05</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Panjang lintasan tower <b>6.292 km</b> dengan <b>total tower 23</b>. terdiri dari <b>19 Tower suspension</b> dan <b>4 Tower tension</b>.</li> <li>- Total biaya procurement dan konstruksi adalah <b>\$ 3,359,136.95</b></li> </ul>
2	Kondisi/jenis tanah	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Karena jalur ini berdekatan dengan jalur eksisting, maka kondisi/jenis tanah bisa didapatkan. Namun data mengenai kondisi/jenis tanah yang PT. Vale punya saat ini tidak lengkap untuk semua daerah tower tetapi bisa sedikit membantu memberikan gambaran umum mengenai tahapan design dari tower.</li> <li>- Perlu juga dipertimbangkan ada 2 tower yang jaraknya berdekatan dengan sungai patingko dengan jarak 75m dari bibir sungai. Hal ini juga bisa menjadi pertimbangan mengenai tanah disekitar tower. Lebar sungai adalah 130m.</li> <li>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Belum pernah dilakukan penelitian mengenai kondisi/jenis tanah daerah ini. Jadi memang perlu dilakukan sebelum tahapan design dimulai.</li> <li>- Perlu juga dipertimbangkan ada 2 tower yang jaraknya berdekatan dengan sungai patingko dengan jarak 75m dari bibir sungai. Hal ini juga bisa menjadi pertimbangan mengenai tanah disekitar tower. Lebar sungai adalah 130m.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Belum pernah dilakukan peneleitian mengenai kondisi/jenis tanah daerah ini. Jadi memang perlu dilakukan sebelum tahapan design dimulai.</li> <li>- tidak ada sungai yang dilalui pada jalur ini.</li> </ul>

3	<b>Topografi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevasi terendah adalah 111.45 m dan tertinggi adalah 412.39m.</li> <li>- beda elevasi antar tower yang paling rendah adalah 2.93m dan paling tinggi adalah 109.75m.</li> <li>- secara rata-rata beda tinggi antar tower pada jalur ini adalah 28.72m.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevasi terendah adalah 111.45 m dan tertinggi adalah 301.21m.</li> <li>- beda elevasi antar tower yang paling rendah adalah 3.40m dan paling tinggi adalah 109.75m.</li> <li>- secara rata-rata beda tinggi antar tower pada jalur ini adalah 19.77m.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevasi terendah adalah 111.45 m dan tertinggi adalah 503.691m.</li> <li>- beda elevasi antar tower yang paling rendah adalah 1.31m dan paling tinggi adalah 159.33m.</li> <li>- secara rata-rata beda tinggi antar tower pada jalur ini adalah 28.76m.</li> </ul>	
4	<b>Pembebasan lahan</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Walaupun merupakan rute terpanjang, penebangan pohon pada jalur ini relatif lebih sedikit dibanding jalur yang lain. Hal ini dikarenakan berdampingan dengan tower eksisting yang mana pemeliharaan area sekitar towernya sangat dijaga agar terbebas dari kontak langsung ke konduktor maupun tower.</li> <li>- Sudah banyak pembukaan lahan yang terjadi pada jalur ini. beberapa penduduk telah berkebun merica pada daerah ini dengan luasan sekitar 11ha. kegiatan sosialisasi terkait pembangunan ini juga perlu dilakukan berdasarkan hasil analisa resiko dan kompensasi penggantian jika ada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penebangan pohon pada jalur ini sedikit lebih banyak dibanding jalur yang utara namun lebih sedikit jika dibanding jalur selatan.</li> <li>- Sudah banyak juga pembukaan lahan yang terjadi pada jalur ini. beberapa penduduk telah berkebun merica pada daerah ini dengan luasan sekitar 11ha. kegiatan sosialisasi terkait pembangunan ini juga perlu dilakukan berdasarkan hasil analisa resiko dan kompensasi penggantian jika ada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penebangan pohon pada jalur ini paling banyak diantara jalur lain, karena belum banyak aktivitas yang dilakukan penduduk disekitar area ini.</li> <li>- Pembukaan lahan sangat sedikit didaerah ini, hanya saja ada akses jalan yang dibuat ke arah sungai.</li> </ul>	

5	<p><b>Aktivitas penduduk disekitar lokasi</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aktivitas penduduk pada jalur ini kebanyakan adalah berkebun. Sudah mulai banyak pondok-pondok yang didirikan bahkan ada yang sampai tinggal dipondok selama beberapa hari. Rumah tinggal juga sudah ada beberapa, tapi masih sangat sedikit yang dalam radius yang dekat.</li> <li>- Aktivitas penebangan liar ada di tempat ini, namun sangat jarang ditemukan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sama halnya Aktivitas penduduk pada jalur utara, pada jalur ini juga kebanyakan adalah berkebun. Sudah mulai banyak pondok-pondok yang didirikan bahkan ada yang sampai tinggal dipondok selama beberapa hari. Rumah tinggal juga sudah ada beberapa, tapi masih sangat sedikit yang dalam radius yang dekat. aktifitas lainnya adalah kebanyakn pada jalur ini banyak dilalu sebagai akses jalan menuju ke kebun dan rumah-rumah penduduk karena lebih pendek jalurnya.</li> <li>- Aktivitas penebangan liar didalam hutan juga lumayan banyak di tempat ini karena aksesnya yang lebih dekat dan mudah dilalui.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aktivitas penduduk di tempat ini juga rata-rata berkebun. Kalau pada jalur lain kebanyakan adalah berkebun merica, pada jalur ini lebih banyak yang berkebun damar. Bahkan untuk masuk ke jalur ini dibolehkan oleh security perusahaan dan mendapat izin masuk.</li> <li>- Aktivitas penebangan liar didalam hutan juga lumayan banyak di tempat ini karena masih banyak pohon-pohon besar dan belum banyak aktivitas pembukaan lahan.</li> </ul>
---	---	---	---

6	<b>Perizinan</b>	<p>Perizinan yang harus dipenuhi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (IUPTL)</b> =&gt; Permohonan IUPTL dibuat pertama kali untuk ditujukan kepada Gubernur dan Kementerian ESDM Provinsi.</li> <li>- <b>Izin prinsip dan AMDAL</b> =&gt; Perizinan ini ditujukan kepada Kementerian Lingkungan Hidup. Referensi AMDAL eksisting bisa digunakan karena jaraknya yang berdekatan, hanya saja perlu disesuaikan dengan perubahan yang terjadi sesuai dengan kondisi dilapangan.</li> <li>- <b>Izin Mendirikan Bangunan</b> =&gt; ditujukan kepada pemerintah daerah dengan pertimbangan RAB. semakin banyak tower yang akan dibangun, semakin banyak pula biaya</li> </ul>	<p>Perizinan yang harus dipenuhi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (IUPTL)</b> =&gt; Permohonan IUPTL dibuat pertama kali untuk ditujukan kepada Gubernur dan Kementerian ESDM Provinsi.</li> <li>- <b>Izin prinsip dan AMDAL</b> =&gt; Perizinan ini ditujukan kepada Kementerian Lingkungan Hidup. belum pernah ada pembangunan di daerah ini, sehingga belum ada referensi AMDAL yang bisa dijadikan acuan.</li> <li>- <b>Izin Mendirikan Bangunan</b> =&gt; ditujukan kepada pemerintah daerah dengan pertimbangan RAB. semakin banyak tower yang akan dibangun, semakin banyak pula biaya</li> </ul>	<p>Perizinan yang harus dipenuhi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (IUPTL)</b> =&gt; Permohonan IUPTL dibuat pertama kali untuk ditujukan kepada Gubernur dan Kementerian ESDM Provinsi.</li> <li>- <b>Izin prinsip dan AMDAL</b> =&gt; Perizinan ini ditujukan kepada Kementerian Lingkungan Hidup. belum pernah ada pembangunan di daerah ini, sehingga belum ada referensi AMDAL yang bisa dijadikan acuan.</li> <li>- <b>Izin Mendirikan Bangunan</b> =&gt; ditujukan kepada pemerintah daerah dengan pertimbangan RAB. semakin banyak tower yang akan dibangun, semakin banyak pula biaya</li> </ul>
---	------------------	--	---	---

		<p>banyak tower yang akan dibangun, semakin banyak pula biaya kompensasi yang harus diberikan.</p> <p><b>- Izin Pinjam Pakai Tanah Kawasan Hutan Produksi =&gt;</b></p> <p>Perizinan ini ditujukan kepada Kementerian Kehutanan. Penerima izin harus membayar kompensasi sebesar luasan yang digunakan. pada jalur ini luasan yang dibutuhkan adalah 20.325ha.</p> <p><b>- Izin Pinjam Pakai Tanah Kawasan Hutan Lindung =&gt;</b> Pada jalur ini tidak ada kawasan hutan lindung yang dilalui. Tidak perlu melakukan izin peminjaman hutan lindung.</p>	<p>kompensasi yang harus diberikan.</p> <p><b>- Izin Pinjam Pakai Tanah Kawasan Hutan Produksi =&gt;</b></p> <p>Perizinan ini ditujukan kepada Kementerian Kehutanan. Penerima izin harus membayar kompensasi sebesar luasan yang digunakan. pada jalur ini luasan yang dibutuhkan adalah 23.3ha.</p> <p><b>- Izin Pinjam Pakai Tanah Kawasan Hutan Lindung =&gt;</b> Pada jalur ini tidak ada kawasan hutan lindung yang dilalui. Tidak perlu melakukan izin peminjaman hutan lindung.</p>	<p>kompensasi yang harus diberikan.</p> <p><b>- Izin Pinjam Pakai Tanah Kawasan Hutan Produksi =&gt;</b></p> <p>Perizinan ini ditujukan kepada Kementerian Kehutanan. Penerima izin harus membayar kompensasi sebesar luasan yang digunakan. pada jalur ini luasan yang dibutuhkan adalah 34.7ha.</p> <p><b>- Izin Pinjam Pakai Tanah Kawasan Hutan Lindung =&gt;</b> Pada jalur ini ada sedikit area hutan lindung yang terlintas, maka wajib disiapkan dokumen untuk perizinan peminjaman kawasan hutan lindung.</p>
--	--	--	---	--

## 5.2.2 Hasil penilaian *expert* tahap-2

### 5.2.2.1 Matriks Perbandingan

Dalam tahap ke-2 ini, 5 *expert* kembali diberikan kuisioner untuk melakukan penilaian matriks perbandingan masing-masing alternatif rute Menara transmisi berdasarkan masing-masing kriteria. Penulis menjabarkan hasil penilaian matriks perbandingan dari *expert-1*. Adapun tahapan-tahapan pembobotan kriteria dengan menggunakan Fuzzy AHP adalah sebagai berikut:

1. Perbandingan berpasangan antar alternatif rute menara transmisi

Tahap ini dilakukan Perbandingan berpasangan antar alternatif rute menara transmisi dengan menggunakan AHP. Hasil penilaian yang ditampilkan pada Tabel 4.14 di bawah adalah perbandingan berpasangan AHP adalah hasil dari kuisioner *expert-1* untuk kriteria T-01 (Biaya Konstruksi).

Tabel 4.14 Matriks Perbandingan antar Alternatif

<b>Alternatif</b>	<b>North Route</b>	<b>Middle Route</b>	<b>South Route</b>
<b>North Route</b>	1	1/7	1/3
<b>Middle Route</b>	7	1	5
<b>South Route</b>	3	1/5	1

2. Konversi Perbandingan berpasangan antar alternatif dengan *Fuzzy Number*

Pada tahap ini dilakukan perubahan matriks perbandingan AHP menjadi Fuzzy AHP yang diperoleh dari fungsi keanggotaan Fuzzy. Cara melakukan perubahan matrik perbandingan adalah dengan metode rata-rata geometric untuk 5 *expert* sehingga bisa mewakili untuk semua *expert*. Berikut adalah hasil konversi Fuzzy Number untuk kriteria Biaya Konstruksi

Tabel 4.15 Konversi Kriteria Biaya Konstruksi pada alternatif dengan *Fuzzy*

<b>Alternatif</b>	<b>North Route</b>	<b>Middle Route</b>	<b>South Route</b>
<b>North Route</b>	1,1,1	0.114,0.136,0.188	0.180,0.282,0.699
<b>Middle Route</b>	5.335,7.354,8.790	1,1,1	2.930,4.959,6.971
<b>South Route</b>	1.431,3.519,5.547	0.264,	1,1,1

### 5.2.2.2 Pembobotan Rute Alternatif dengan Metode Fuzzy AHP

Ada beberapa tahapan yang harus dilakukan sebelum menentukan bobot masing-masing alternatif, yaitu:

1. Menghitung nilai rata-rata Geometris *Fuzzy* pada alternatif

Langkah awal adalah menentukan rata-rata geometris terhadap bilangan *Fuzzy*.

Cara perhitungan dalam menentukan rata-rata geometris sesuai dengan persamaan (2.7) pada Bab 2. Berikut adalah contoh perhitungan nilai rata-rata geometris pada alternatif *North Route* untuk kriteria T-01 (Biaya Konstruksi) dari hasil kuisioner *expert-1*.

$$\tilde{r}_i = \left( \prod_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} \right)^{1/n}$$

$$\tilde{r}_i = \left[ (1 * 0.114 * 0.180)^{\frac{1}{3}}; (1 * 0.136 * 0.282)^{\frac{1}{3}}; (1 * 0.188 * 0.699)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$\tilde{r}_i = [0.274 ; 0.337 ; 0.508]$$

Perhitungan di atas menghasilkan nilai geometris pada alternatif *North Route* untuk kriteria T-01 (Biaya Konstruksi) dengan 0.274 sebagai batas bawah (l), 0.337 sebagai batas tengah (m), dan 0.508 sebagai batas atas (u). perhitungan ini juga dilakukan pada setiap alternatif dan kriteria yang lain untuk mendapatkan nilai rata-rata geometris *Fuzzy*. Adapun rekap perhitungan nilai rata-rata geometris *Fuzzy* adalah seperti Tabel 4.16 di bawah.

Tabel 4.16 Nilai Geometris Masing-Masing Alternatif

Alternatif	$r_i$		
<b><i>North Route</i></b>	0.274	0.337	0.508
<b><i>Middle Route</i></b>	2.500	3.316	3.943
<b><i>South Route</i></b>	0.723	1.106	1.514
<b>Total</b>	3.497	4.759	5.965
<b>Reverse</b>	0.286	0.210	0.168
<b><i>Increasing Order</i></b>	0.168	0.210	0.286

## 2. Pembobotan Fuzzy pada Alternatif

Setelah mendapatkan nilai rata-rata geometris Fuzzy, langkah selanjutnya adalah menentukan bobot Fuzzy berdasarkan persamaan (2.8) pada bab 2. Berikut ini adalah contoh perhitungan bobot untuk masing-masing alternatif berdasarkan kriteria T-01 (Biaya Konstruksi) dari hasil kuisioner *expert-1*.

$$\widetilde{w}_i = \widetilde{r}_i \otimes (\widetilde{r}_1 \otimes \widetilde{r}_2 \otimes \dots \otimes \widetilde{r}_n)^{-1}$$

$$\widetilde{w}_i = (l w_i, m w_i, u w_i)$$

$$\widetilde{w}_i = [(0.274 * 0.168); (0.337 * 0.210); 0.508 * 0.286]$$

$$\widetilde{w}_i = (0.0459; 0.0709; 0.1453)$$

Perhitungan di atas menghasilkan kriteria T-01 (Biaya Konstruksi) dengan 0.0459 sebagai batas bawah (l), 0.0709 sebagai batas tengah (m), dan 0.1453 sebagai batas atas (u). perhitungan ini juga dilakukan pada setiap kriteria untuk mendapatkan nilai rata rata geometris Fuzzy. Adapun rekap pembobotan adalah seperti Tabel 4.17 di bawah.

Tabel 4.17 Nilai Pembobotan Fuzzy untuk Masing-Masing Altenatif

Alternatif	wi		
<b>North Route</b>	0.0459	0.0709	0.1453
<b>Middle Route</b>	0.4192	0.6968	1.1275
<b>South Route</b>	0.1212	0.2323	0.4331

## 3. Defuzzifikasi dengan metode *Centre of area* (COA) pada alternatif

Pada perhitungan sebelumnya didapatkan nilai bobot Fuzzy, maka harus dilakukan defuzzifikasi dengan menggunakan metode *centre of area* dengan persamaan (2.9) Pada Bab 2. Adapun contoh perhitungan defuzifikasi untuk bobot untuk masing-masing alternatif berdasarkan kriteria T-01 (Biaya Konstruksi) adalah sebagai berikut:

$$M_i = \frac{(l w_i, m w_i, u w_i)}{3}$$

$$M_i = \frac{(0.0459 * 0.0709 * 0.1453)}{3}$$

$$M_i = 0.087$$

Perhitungan defuzzifikasi dengan *centre of area* dihasilkan nilai non-Fuzzy kriteria

transparansi senilai 0.004. nilai tersebut harus dinormalisasi untuk mendapatkan bobot akhir menggunakan persamaan (2.10) pada Bab 2. Contoh perhitungan normalisasi adalah sebagai berikut:

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i}$$

$$N_i = \frac{0.087}{1.097}$$

$$N_i = 0.080$$

Perhitungan juga dilakukan pada masing masing kriteria ( $N_i$ ), sehingga hasil dari Tabel 4.18 Bobot Akhir Kriteria Biaya Konstruksi untuk Masing-Masing Alternatif

Alternatif	$M_i$	$N_i$
<b>North Route</b>	0.087	0.080
<b>Middle Route</b>	0.748	0.681
<b>South Route</b>	0.262	0.239
<b>Total</b>	1.097	1

Hal yang sama berulang dilakukan untuk setiap kriteria dari hasil penilaian masing-masing *expert*. Rangkuman rata-rata nilai bobot masing-masing kriteria dan masing-masing expert ditampilkan pada Tabel 4.19 sampai Tabel 4.28 berikut

Tabel 4.19 Bobot Akhir Kriteria Kondisi/Jenis Tanah untuk Masing-Masing Alternatif

Alternatif	$M_i$	$N_i$
<b>North Route</b>	0.689	0.625
<b>Middle Route</b>	0.126	0.114
<b>South Route</b>	0.287	0.260
<b>Total</b>	1.102	1

Tabel 4.20 Bobot Akhir Kriteria Topografi untuk Masing-Masing Alternatif

Alternatif	$M_i$	$N_i$
<b>North Route</b>	0.276	0.237
<b>Middle Route</b>	0.759	0.650
<b>South Route</b>	0.132	0.113
<b>Total</b>	1.167	1

Tabel 4.21 Bobot Akhir Kriteria Perizinan untuk Masing-Masing Alternatif

Alternatif	$M_i$	$N_i$

<b>North Route</b>	0.875	0.594
<b>Middle Route</b>	0.548	0.372
<b>South Route</b>	0.050	0.034
<b>Total</b>	1.473	1

Tabel 4.22 Bobot Akhir Kriteria Pembebasan Lahan untuk Masing-Masing Alternatif

Alternatif	<b>M<sub>i</sub></b>	<b>N<sub>i</sub></b>
<b>North Route</b>	0.918	0.657
<b>Middle Route</b>	0.264	0.189
<b>South Route</b>	0.215	0.154
<b>Total</b>	1.398	1

Tabel 4.23 Bobot Akhir Kriteria Aktivitas Penduduk disekitar Lokasi untuk Masing-Masing Alternatif

Alternatif	<b>M<sub>i</sub></b>	<b>N<sub>i</sub></b>
<b>North Route</b>	0.851	0.682
<b>Middle Route</b>	0.191	0.153
<b>South Route</b>	0.206	0.165
<b>Total</b>	1.248	1

Tabel 4.24 Bobot Akhir Kriteria Akses Maintenance untuk Masing-Masing Alternatif

Alternatif	<b>M<sub>i</sub></b>	<b>N<sub>i</sub></b>
<b>North Route</b>	0.694	0.553
<b>Middle Route</b>	0.392	0.312
<b>South Route</b>	0.170	0.135
<b>Total</b>	1.256	1

Tabel 4.25 Bobot Akhir Kriteria Kemudahan Pekerjaan untuk Masing-Masing Alternatif

Alternatif	<b>M<sub>i</sub></b>	<b>N<sub>i</sub></b>
<b>North Route</b>	0.470	0.429
<b>Middle Route</b>	0.526	0.480
<b>South Route</b>	0.100	0.091
<b>Total</b>	1.096	1

Tabel 4.26 Bobot Akhir Kriteria Kedekatan dengan Bangunan Lain untuk Masing-Masing Alternatif

<b>Alternatif</b>	<b>M<sub>i</sub></b>	<b>N<sub>i</sub></b>
<i>North Route</i>	0.071	0.020
<i>Middle Route</i>	1.209	0.335
<i>South Route</i>	2.327	0.645
<b>Total</b>	3.067	1

Tabel 4.27 Bobot Akhir Kriteria Kedekatan dengan Sungai untuk Masing-Masing Alternatif

<b>Alternatif</b>	<b>M<sub>i</sub></b>	<b>N<sub>i</sub></b>
<i>North Route</i>	0.727	0.236
<i>Middle Route</i>	0.425	0.138
<i>South Route</i>	1.934	0.627
<b>Total</b>	3.087	1

Tabel 4.28 Bobot Akhir Kriteria Flora dan Fauna untuk Masing-Masing Alternatif

<b>Alternatif</b>	<b>M<sub>i</sub></b>	<b>N<sub>i</sub></b>
<i>North Route</i>	2.544	0.612
<i>Middle Route</i>	1.585	0.381
<i>South Route</i>	0.031	0.007
<b>Total</b>	4.160	1

Dari Ringkasan bobot masing-masing alternatif dan masing-masing kriteria pada Tabel 4.19 sampai 4.28 dan Nilai bobot akhir kriteria pada Tabel 4.11, Bobot akhir dari masing-masing alternatif bias kita dapatkan seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.29 di bawah.

Tabel 4.29 Nilai Bobot Akhir Masing-Masing Alternatif.

Kriteria	Bobot	<i>North Route</i>		<i>Middle Route</i>		<i>Soute Route</i>	
		Bobot	Total	Bobot	Total	Bobot	Total
<b>Biaya Konstruksi</b>	0.104	0.080	0.008	0.681	0.071	0.239	0.025
<b>Akses Maintenance</b>	0.037	0.553	0.020	0.312	0.012	0.135	0.005
<b>Kondisi/jenis tanah</b>	0.080	0.625	0.050	0.114	0.009	0.260	0.021
<b>Topografi</b>	0.101	0.237	0.024	0.650	0.066	0.113	0.011
<b>Perizinan</b>	0.296	0.594	0.176	0.372	0.110	0.034	0.010
<b>Pembebasan lahan</b>	0.139	0.657	0.092	0.189	0.026	0.154	0.021
<b>Kemudahan pekerjaan</b>	0.064	0.429	0.027	0.480	0.031	0.091	0.006
<b>Aktivitas penduduk disekitar lokasi</b>	0.078	0.682	0.053	0.153	0.012	0.165	0.013
<b>Kedekatan dengan bangunan lain</b>	0.036	0.020	0.001	0.335	0.012	0.645	0.023
<b>kedeekatan dengan sungai</b>	0.038	0.236	0.009	0.138	0.005	0.627	0.024
<b>Habitat Flora dan fauna</b>	0.027	0.612	0.017	0.381	0.010	0.007	0.000
<b>Total</b>		<b>0.477</b>		<b>0.364</b>		<b>0.159</b>	

### 5.2.3 Analisis Sensitivitas Model

Analisis sensitivitas umumnya merupakan pendekatan yang digunakan untuk memeriksa konsistensi dan ketahanan (*robustness*) suatu pilihan. Hal ini dicapai dengan parameter faktor, dan mengamati perubahan rangking. Salah satu cara yang digunakan untuk menguji kerentanan hasil terhadap perubahan rangking adalah metode penyesuaian bobot. Pada tahap analisis sensitifitas dilakukan dengan penambahan bobot kriteria dari 5% hingga 50% pada setiap kriteria. Hal ini dilakukan untuk melihat tingkat sensitivitas dari kriteria yang sudah ditentukan.

Adapun hasil dari analisis sensitivitas hasil penilaian *expert* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.30 Hasil Analisis Sensitivitas

Alternatif		North Route (N)	Middle Route (M)	South Route (S)	Rangking Alternatif
Eksisting		0.477	0.364	0.159	N>M>S
Kriteria Biaya Konstruksi	+5%	0.47728	0.36728	0.16062	N>M>S
	+10%	0.47770	0.37082	0.16186	N>M>S
	+20%	0.47852	0.37790	0.16434	N>M>S
	+30%	0.47935	0.38497	0.16682	N>M>S
	+40%	0.48017	0.39204	0.16930	N>M>S
	+50%	0.48100	0.39912	0.17178	N>M>S
Kriteria Akses Maintenance	+5%	0.47789	0.36432	0.15963	N>M>S
	+10%	0.47891	0.36490	0.15988	N>M>S
	+20%	0.48095	0.36605	0.16038	N>M>S
	+30%	0.48299	0.36721	0.16088	N>M>S
	+40%	0.48504	0.36836	0.16138	N>M>S
	+50%	0.48708	0.36951	0.16188	N>M>S
Kriteria Kondisi/Jenis Tanah	+5%	0.47936	0.36420	0.16042	N>M>S
	+10%	0.47936	0.36466	0.16146	N>M>S
	+20%	0.47936	0.36557	0.16354	N>M>S
	+30%	0.47936	0.36649	0.16562	N>M>S
	+40%	0.47936	0.36740	0.16769	N>M>S
	+50%	0.47936	0.36831	0.16977	N>M>S
Kriteria Topografi	+5%	0.47807	0.36704	0.15996	N>M>S
	+10%	0.47926	0.37033	0.16053	N>M>S
	+20%	0.48166	0.37690	0.16167	N>M>S
	+30%	0.48406	0.38348	0.16281	N>M>S
	+40%	0.48645	0.39006	0.16396	N>M>S
	+50%	0.48885	0.39664	0.16510	N>M>S
Kriteria Perizinan	+5%	0.48565	0.36924	0.15989	N>M>S
	+10%	0.49443	0.37474	0.16040	N>M>S
	+20%	0.51200	0.38574	0.16141	N>M>S
	+30%	0.52956	0.39673	0.16242	N>M>S
	+40%	0.54713	0.40773	0.16343	N>M>S
	+50%	0.56469	0.41872	0.16444	N>M>S
Kriteria Pembebasan Lahan	+5%	0.48145	0.36506	0.16046	N>M>S
	+10%	0.48603	0.36638	0.16153	N>M>S

	+20%	0.49520	0.36901	0.16368	N>M>S
	+30%	0.50436	0.37165	0.16583	N>M>S
	+40%	0.51353	0.37428	0.16798	N>M>S
	+50%	0.52269	0.37692	0.17013	N>M>S
Kriteria Kemudahan Pekerjaan	+5%	0.47824	0.36528	0.15968	N>M>S
	+10%	0.47961	0.36682	0.15997	N>M>S
	+20%	0.48235	0.36989	0.16055	N>M>S
	+30%	0.48510	0.37296	0.16114	N>M>S
	+40%	0.48784	0.37603	0.16172	N>M>S
	+50%	0.49058	0.37910	0.16231	N>M>S
Kriteria Aktivitas Penduduk disekitar Lokasi	+5%	0.47954	0.36434	0.16003	N>M>S
	+10%	0.48220	0.36494	0.16068	N>M>S
	+20%	0.48754	0.36614	0.16197	N>M>S
	+30%	0.49287	0.36733	0.16326	N>M>S
	+40%	0.49821	0.36853	0.16456	N>M>S
	+50%	0.50354	0.36972	0.16585	N>M>S
Kriteria Kedekatan dengan Bangunan Lain	+5%	0.47690	0.36435	0.16054	N>M>S
	+10%	0.47694	0.36495	0.16170	N>M>S
	+20%	0.47701	0.36615	0.16401	N>M>S
	+30%	0.47708	0.36736	0.16633	N>M>S
	+40%	0.47715	0.36856	0.16864	N>M>S
	+50%	0.47722	0.36976	0.17096	N>M>S
Kriteria Kedekatan dengan Sungai	+5%	0.47731	0.36401	0.16057	N>M>S
	+10%	0.47776	0.36427	0.16175	N>M>S
	+20%	0.47865	0.36479	0.16412	N>M>S
	+30%	0.47954	0.36531	0.16648	N>M>S
	+40%	0.48043	0.36583	0.16885	N>M>S
	+50%	0.48132	0.36635	0.17121	N>M>S
Kriteria Habitat Flora dan Fauna	+5%	0.47770	0.36427	0.15939	N>M>S
	+10%	0.47854	0.36479	0.15940	N>M>S
	+20%	0.48020	0.36582	0.15942	N>M>S
	+30%	0.48187	0.36686	0.15944	N>M>S
	+40%	0.48353	0.36790	0.15946	N>M>S
	+50%	0.48520	0.36894	0.15948	N>M>S

Berdasarkan hasil dari analisis sensitivitas model berdasarkan penilaian *expert* dapat disimpulkan bahwa semua kriteria Biaya Konstruksi, Akses Maintenance, Kondisi/Jenis Tanah, Topografi, Perizinan, Pembebasan Lahan, Kemudahan Pekerjaan, Aktivitas Penduduk disekitar Lokasi, Kedekatan dengan bangunan lain, Kedekatan dengan sungai, dan Habitat Flora/Fauna tidak mengalami perubahan urutan prioritas strategi alternatif. Maka, dapat disimpulkan bahwa semua kriteria tersebut merupakan kriteria yang robust.

*Halaman ini memang dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan evaluasi untuk menentukan pilihan alternatif rute menara transmisi 150kV dari gardu Induk Larona ke gardu Induk Balambano dengan metode FAHP (*Fuzzy Analytical Hierarchy Process*), dapat disimpulkan bahwa:

1. Urutan bobot kriteria untuk menentukan rute terbaik menara transmisi 150kV adalah sebagai berikut:
  - a. Kriteria Perizinan dengan bobot 0.296
  - b. Kriteria Pembebasan lahan dengan bobot 0.139
  - c. Kriteria Biaya Konstruksi dengan bobot 0.104
  - d. Kriteria Topografi dengan bobot lokal 0.101
  - e. Kriteria Kondisi/Jenis tanah dengan bobot 0.080
  - f. Kriteria aktivitas penduduk disekitar lokasi dengan bobot 0.078
  - g. Kriteria Kemudahan pekerjaan dengan bobot 0.064
  - h. Kriteria Kedekatan dengan sungai dengan bobot 0.038
  - i. Kriteria Akses Maintenance dengan bobot 0.037
  - j. Kriteria Kedekatan dengan bangunan lain dengan bobot 0.036
  - k. Kriteria Habitat Flora dan Fauna dengan bobot 0.036
2. Dari hasil analisa berdasarkan data topografi, persyaratan lendutan dan jarak antar menara transmisi, berikut rangkuman dari masing-masing alternatif rute menara transmisi:
  - a. *North Route*, dengan panjang jalur 7.505 km dibutuhkan pembangunan sebanyak 27 menara transmisi dengan total biaya konstruksi sebesar \$3,921,720.88
  - b. *Middle Route*, dengan panjang jalur 5.931 km dibutuhkan pembangunan sebanyak 19 menara transmisi dengan total biaya konstruksi sebesar \$2,723,549.05
  - c. *South Route*, dengan panjang jalur 6.292 km dibutuhkan pembangunan sebanyak 23 menara transmisi dengan total biaya konstruksi sebesar \$3,359,136.95

3. Hasil akhir penilaian expert untuk masing-masing rute alternatif berdasarkan 11 kriteria adalah 0.477 untuk *North Route*, 0.364 untuk *Middle Route*, dan 0.159 untuk *South Route*.
4. Dari penilaian seperti yang disebutkan di atas, dapat disimpulkan juga bahwa panjang rute menara transmisi tidak menjamin pilihan rute terbaik karena banyak pertimbangan kriteria lainnya yang mempengaruhi rencana pembangunan menara transmisi. Oleh karena itu, penulis merekomendasikan manajemen PT. Vale Indonesia, sebagai pemilik dan operator pembangkit listrik tenaga air, memilih *North Route* untuk rencana pembangunan menara transmisi 150kV dari gardu induk Larona ke gardu induk Balambano.

### 5.2 Saran

Pada suatu penelitian pasti memiliki beberapa kekurangan dan kelemahan. Kekurangan dan kelemahan tersebut dikarenakan kurangnya waktu yang diperlukan dalam melakukan penelitian sehingga adanya keterbatasan kemampuan peneliti dalam mengembangkan penelitian tersebut. Adapun penelitian ini memiliki beberapa saran diantaranya:

1. *Expert* yang terpilih untuk melakukan penelitian ini adalah orang-orang yang bekerja sebagai karyawan di PT. Vale Indonesia. *Expert* tersebut adalah orang-orang yang cukup kompeten, namun tidak fokus pada bidang perencanaan pembangunan Menara transmisi. Sebaiknya melibatkan pakar/praktisi yang benar-benar berkecimpung di pembangunan Menara transmisi.
2. Menggunakan metode lainnya dalam pengambilan keputusan untuk kasus seperti penentuan jalur menara transmisi 150kV ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amrullah, Haidar Natsir. (2015)."Model Integrasi QFD dan Fuzzy AHP untuk Pemilihan Sub-Kontraktor di Perusahaan Galangan Kapal dengan Mempertimbangkan K3". Tesis Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. Indonesia.
- Apriansyah Putra, D. Y. H. (2011). *Penentuan Penerima Beasiswa Dengan Menggunakan Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*. Universitas SriwijayaIII (1), 286-293.
- Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy sets and systems*, 17(3), 233-247.
- BSN. (2000). SNI 04-0225-2000. Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL), Standar Perusahaan Listrik Negara.
- Deng, H. (1999). Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison. *International journal of approximate reasoning*, 21(3), 215-231.
- Dwi Pupitasari (2009) *Penerapan Metode Fuzzy Analytical Hierarchy Process Dalam Penentuan Kriteria Penilaian Performa Vendor*.
- Ergon Energy (2015) *Reference P56M02R09 ver 1 Standard for Low Voltage EG Connections – Energex*.
- Hasan EROGLU, Musa AYDIN,(2015) *Optimization of electrical power transmission lines' routing using AHP, fuzzy AHP, and GIS*, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences.
- Heri Septiadi Alius, Nasrun Hariyanto, Syahrial. (2014) *Perancangan Sistem Transmisi Daya Listrik Bertegangan 150 KV dan Berkapasitas 35 MVA di Kabupaten Bulungan Kalimantan Timur*. Jurnal Reka Elkomika Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Holland H. Farr. (1980) *Transmission Line Design Manual*. Water and Power Resources Service Denver, Colorado 1980.
- Iftikhar, Musher Ahmad, Anwar Shahzad Siddqui ,(2010) *A Study on Fuzzy AHP method and its applications in a “tie-breaking procedure”*. Global Journal of Pure and Applied Mathematics, ISSN 0973-1768 Volume 13, Number 6 (2017), pp. 1619-1630.
- Indar Nurtrihansyah, Udisubakti Ciptomulyono (2011) *Penentuan Jalur Transmisi Sutet (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) Menggunakan Metode An-Promethee (Study Kasus: Gardu Induk Pemalang-Gardu Induk Madirancang)*.

- Juho Yli-Hannuksela. (2011) *The transmission line cost calculation*, vaasan ammattikorkeakoulu university of applied sciences.
- Kahraman, C. (Ed.). (2008). *Fuzzy multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments* (Vol. 16). Springer Science & Business Media.
- Kodippilige Nalaka Premanath (2014) *Spatial Model for Electric Transmission Line Routing*.
- Kusumadewi, Sri., & Hari Purnomo. (2006) *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*, Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu.
- Manitoba Hydro, (2018) *Transmission Planning & Design Division Licensing & Environmental Assessment*. Birtle Transmission Project Appendix A Transmission Line Routing.
- Nico Halomoan (2017) *Penentuan Jalur Pipa Sistem Penyaluran Air Limbah Domestik dengan Weighted Ranking Technique (WRT) di Kecamatan Bogor Tengah*.
- Permatavitri, Dian Eka., Gunarta, I Ketut., dan Ciptomulyomo, Udisubakti. (2013). *Perancangan model pengambilan keputusan pemberian kredit usaha rakyat dengan metode Fuzzy AHP-DEA*. Thesis ITS.
- PT. PLN (Persero), (2014) *Buku Pedoman Pedoman Pengawasan dan Asesmen*, Dokumen nomor:PDM/STT/23:2014.
- PT. PLN (Persero), (2014) *Buku Pedoman Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Tinggi Dan Ekstra Tinggi* (Sutt/Sutet), Dokumen nomor:PDM/STT/10:2014.
- Puspitasari, Dwi. (2009). *Penerapan Metode Fuzzy Analytical Hierarchy Process dalam penentuan kriteria penilaian performa vendor*. Skripsi Universitas Indonesia.
- Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process: planning. *Priority Setting. Resource Allocation*, MacGraw-Hill, New York International Book Company, 287.
- Saaty, T.L., & Vargas, L.G. (2000) *Models, methods, concepts, & application of the analytical hierarchy process*.
- Serkan Şahin. (2016) *Cad – Integrated Size And Shape Optimization Of Steel Lattice Energy Transmission Line Towers Using Simulated Annealing*. Middle East Technical University.

- Sultan, A., AlArfaj, K. A., & AlKutbi, G. A. (2012). Analytic hierarchy process for the success of egovernment. *Business Strategy Series*, 13(6), 295-306.
- Suryadi, K., & Ramdhani, M. A. (1998). Sistem Pendukung Keputusan. *PT Remaja Rosdakarya, Bandung*.
- Syaifullah, 2010, *Pengenalan Model AHP (Analytic Hierarchy Process)*, Tersedia: [http://syaifullah08.files.wordpress.com/2010/02/pengenalan\\_Analytic\\_hierarchy\\_process.pdf](http://syaifullah08.files.wordpress.com/2010/02/pengenalan_Analytic_hierarchy_process.pdf) , Tanggal akses 05 Oktober 2017.
- Tektomo, Kardi. (1999) *Penggunaan Metode Analytical Hierarchy process dalam menganalisis Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pemilihan Moda Kekampus*. Dimensi Teknik Sipil. Vol 1. Maret 1999.
- Vatansever, K., & Akgul, Y. (2014) Applying fuzzy analytic hierarchy process for evaluating service quality of private shopping website quality: A case study in Turkey. *Journal of Business Economics and Finance*, 3(3), 283-301.
- Widen Lukmantono, Ir. Syariffuddin Mahmudsyah, M. Eng, Ir. Teguh Yuwono (2009) *Studi Perencanaan Saluran Transmisi 150kV Bambe Incomer*.

*Halaman ini memang dikosongkan*

## LAMPIRAN

### A. Lampiran Hasil Kuisioner Expert-1

1. Matriks berpasangan antar kriteria

Kriteria	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05	T-06	T-07	T-08	T-09	T-10	T-11
T-01	1	7	3	1/3	1/5	7	2	1/3	3	4	5
T-02	1/7	1	1/5	1/7	1/9	2	1/4	1/7	1/4	1/4	1/3
T-03	1/3	5	1	1/3	1/5	5	2	1/5	3	3	3
T-04	3	8	3	1	1/2	8	5	1	4	5	6
T-05	5	9	5	2	1	9	5	3	6	7	7
T-06	1/7	1/2	1/5	1/8	1/9	1	1/6	1/4	1/5	1/5	1/3
T-07	1/2	4	1/2	1/5	1/5	6	1	3	3	3	4
T-08	3	7	5	1	1/3	4	1/3	1	5	5	5
T-09	1/3	4	1/3	1/4	1/6	5	1/3	1/5	1	1	1/2
T-10	1/4	4	1/3	1/5	1/7	5	1/3	1/5	1	1	1
T-11	1/5	3	1/3	1/6	1/7	3	1/4	1/5	2	1	1

2. Matriks berpasangan antar alternatif

a. Kriteria Biaya Konstruksi

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	1/7	1/3
Middle Route	7	1	5
South Route	3	1/5	1

b. Kriteria Akses Maintenance

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	12	7

Middle Route	$\frac{1}{2}$	1	5
South Route	1/7	1/5	1

c. Kriteria Kondisi/Jenis Tanah

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	7	7
Middle Route	1/7	1	1/2
South Route	1/7	2	1

d. Kriteria Topografi

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	1/3	3
Middle Route	3	1	4
South Route	1/3	1/4	1

e. Kriteria Perizinan

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	5	7
Middle Route	1/5	1	3
South Route	1/7	1/3	1

f. Kriteria Pembebasan Lahan

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	5	6

Middle Route	1/5	1	3
South Route	1/6	1/3	1

g. Kriteria kemudahan Pekerjaan

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	½	5
Middle Route	2	1	7
South Route	1/5	1/7	1

h. Kriteria Aktivitas penduduk disekitar lokasi

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	4	3
Middle Route	1/4	1	1/3
South Route	1/3	3	1

i. Kriteria Kedekatan dengan Bangunan Lain

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	¼	1/7
Middle Route	4	1	1/3
South Route	7	3	1

j. Kriteria Kedekatan dengan Sungai

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	5	1

Middle Route	1/5	1	1/5
South Route	1	5	1

k. Kriteria Habitat Flora dan Fauna

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	4	3
Middle Route	1/4	1	1/3
South Route	1/3	3	1

**B. Lampiran Hasil Kuisioner Expert-2**

1. Matriks berpasangan antar kriteria

Kriteria	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05	T-06	T-07	T-08	T-09	T-10	T-11
T-01	1	5	3	3	1/6	1/3	8	4	5	4	5
T-02	1/5	1	1/6	1/6	1/9	1/8	3	1/3	3	2	3
T-03	1/3	6	1	3	1/9	1/9	5	3	3	2	3
T-04	1/3	8	1/3	1	1/8	1/5	6	2	2	2	3
T-05	6	9	9	8	1	1/2	8	6	7	8	8
T-06	3	8	9	5	2	1	9	7	8	9	9
T-07	1/8	1/3	1/5	1/6	1/8	1/9	1	1/7	1/2	1/3	1/3
T-08	1/4	3	1/3	1/2	1/2	1/7	7	1	2	2	2
T-09	1/5	1/3	1/3	1/2	1/7	1/8	2	1/2	1	1	1
T-10	1/4	1/2	1/2	1/2	1/8	1/9	3	1/2	1	1	2
T-11	1/5	1/3	1/3	1/3	1/8	1/9	3	1/2	1	1/2	1

2. Matriks berpasangan antar alternatif

a. Kriteria Biaya Konstruksi

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	1/8	1/4
Middle Route	8	1	5
South Route	4	1/5	1

b. Kriteria Akses Maintenance

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	3	7
Middle Route	1/3	1	5
South Route	1/7	1/5	1

c. Kriteria Kondisi/Jenis Tanah

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	6	8
Middle Route	1/6	1	3
South Route	1/8	1/3	1

d. Kriteria Topografi

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	1/8	2
Middle Route	8	1	9
South Route	½	1/9	1

e. Kriteria Perizinan

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	1/7	2
Middle Route	7	1	8
South Route	1/2	1/8	1

f. Kriteria Pembebasan Lahan

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	5	7
Middle Route	1/5	1	3
South Route	1/7	1/3	1

g. Kriteria Kemudahan Pekerjaan

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	1	5
Middle Route	1	1	5
South Route	1/5	1/5	1

h. Kriteria Aktivitas penduduk disekitar lokasi

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	2	3
Middle Route	1/2	1	2
South Route	1/3	1/2	1

i. Kriteria Kedekatan dengan Bangunan Lain

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$
Middle Route	4	1	$\frac{1}{2}$
South Route	5	2	1

j. Kriteria Kedekatan dengan Sungai

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	3	1
Middle Route	$\frac{1}{3}$	1	3
South Route	1	$\frac{1}{3}$	1

k. Kriteria Habitat Flora dan Fauna

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	$\frac{1}{2}$	4
Middle Route	2	1	3
South Route	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	1

### C. Lampiran Hasil Kuisioner Expert-3

1. Matriks berpasangan antar kriteria

Kriteria	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05	T-06	T-07	T-08	T-09	T-10	T-11
T-01	1	3	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$	5	5	5
T-02	$\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	3	2

T-03	3	5	1	3	1/3	1/2	2	4	3	4	5
T-04	5	7	1/3	1	1/5	1/3	1/3	3	3	3	5
T-05	5	8	3	5	1	2	7	5	9	9	9
T-06	5	7	2	3	1/2	1	1	3	4	5	7
T-07	3	5	1/2	3	1/7	1	1	3	3	3	5
T-08	5	3	1/4	1/3	1/5	1/3	1/3	1	3	3	3
T-09	1/5	3	1/3	1/3	1/9	1/4	1/3	1/3	1	1	1
T-10	1/5	1/3	1/4	1/3	1/9	1/5	1/3	1/3	1	1	1
T-11	1/5	1/2	1/5	1/5	1/9	1/7	1/5	1/3	1	1	1

2. Matriks berpasangan antar alternatif

a. Kriteria Biaya Konstruksi

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	1/6	1/3
Middle Route	6	1	5
South Route	3	1/5	1

b. Kriteria Akses Maintenance

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	½	5
Middle Route	2	1	5
South Route	½	½	1

c. Kriteria Kondisi/Jenis Tanah

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route

North Route	1	7	2
Middle Route	1/7	1	1/5
South Route	½	5	1

d. Kriteria Topografi

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	½	3
Middle Route	2	1	5
South Route	1/3	1/5	1

e. Kriteria Perizinan

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	1/3	4
Middle Route	3	1	6
South Route	¼	1/6	1

f. Kriteria Pembebasan Lahan

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	5	7
Middle Route	1/5	1	2
South Route	1/7	1/2	1

g. Kriteria Kemudahan Pekerjaan

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route

North Route	1	$\frac{1}{2}$	5
Middle Route	2	1	7
South Route	1/5	1/7	1

h. Kriteria Aktivitas penduduk disekitar lokasi

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	4	7
Middle Route	$\frac{1}{4}$	1	2
South Route	1/7	1/2	1

i. Kriteria Kedekatan dengan Bangunan Lain

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	1/3	5
Middle Route	3	1	7
South Route	1/5	1/7	1

j. Kriteria Kedekatan dengan Sungai

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	3	$\frac{1}{2}$
Middle Route	1/3	1	4
South Route	2	1/4	1

k. Kriteria Habitat Flora dan Fauna

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route

North Route	1	3	5
Middle Route	1/3	1	3
South Route	1/5	1/3	1

#### D. Lampiran Hasil Kuisioner Expert-4

##### 1. Matriks berpasangan antar kriteria

Kriteria	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05	T-06	T-07	T-08	T-09	T-10	T-11
T-01	1	8	5	4	1/2	1/4	1	5	6	5	7
T-02	1/8	1	1/2	1/7	1/7	1/6	1/5	1/5	1/3	1/5	1
T-03	1/5	2	1	1/5	1/7	1/7	1/3	1/3	1/2	1/3	1
T-04	1/4	7	5	1	1/2	1/3	5	4	3	3	5
T-05	2	7	7	2	1	1	7	5	5	5	7
T-06	4	6	7	3	1	1	5	7	5	5	8
T-07	1	5	3	1/5	1/7	1/5	1	5	3	3	5
T-08	1/5	5	3	1/4	1/5	1/7	1/5	1	4	2	5
T-09	1/6	3	2	1/3	1/5	1/5	1/3	1/4	1	1/2	2
T-10	1/5	5	3	1/3	1/5	1/5	1/3	1/2	2	1	3
T-11	1/7	1	1	1/5	1/7	1/8	1/5	1/5	1/2	1/3	1

##### 2. Matriks berpasangan antar alternatif

###### a. Kriteria Biaya Konstruksi

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	1/8	1/3
Middle Route	8	1	6

South Route	3	1/6	1
-------------	---	-----	---

b. Kriteria Akses Maintenance

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	3	5
Middle Route	1/3	1	3
South Route	1/5	1/3	1

c. Kriteria Kondisi/Jenis Tanah

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	8	7
Middle Route	1/8	1	1/3
South Route	1/7	3	1

d. Kriteria Topografi

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	½	2
Middle Route	2	1	5
South Route	½	1/5	1

e. Kriteria Perizinan

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	5	7
Middle Route	1/5	1	2

South Route	1/7	1/2	1
-------------	-----	-----	---

f. Kriteria Pembebasan Lahan

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	4	6
Middle Route	$\frac{1}{4}$	1	2
South Route	1/6	$\frac{1}{2}$	1

g. Kriteria Kemudahan Pekerjaan

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	1	5
Middle Route	1	1	5
South Route	1/5	1/5	1

h. Kriteria Aktivitas penduduk disekitar lokasi

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	6	8
Middle Route	1/6	1	2
South Route	1/8	1/2	1

i. Kriteria Kedekatan dengan Bangunan Lain

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	$\frac{1}{4}$	1/5
Middle Route	4	1	1/3

South Route	5	3	1
-------------	---	---	---

j. Kriteria Kedekatan dengan Sungai

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	2	1/3
Middle Route	½	1	¼
South Route	3	4	1

k. Kriteria Habitat Flora dan Fauna

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	2	5
Middle Route	½	1	4
South Route	1/5	1/4	1

## E. Lampiran Hasil Kuisioner Expert-5

### 1. Matriks berpasangan antar kriteria

Kriteria	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05	T-06	T-07	T-08	T-09	T-10	T-11
T-01	1	1/3	1/3	2	1/7	1/5	2	1/3	3	3	3
T-02	3	1	3	5	1/5	1/3	3	5	5	5	5
T-03	3	1/3	1	3	1/7	1/5	3	2	3	3	4
T-04	1/2	1/5	1/3	1	1/9	1/7	1/3	1/3	5	3	7
T-05	7	5	7	9	1	2	9	9	9	9	9
T-06	5	3	5	7	1/2	1	5	5	7	5	7
T-07	1/2	1/3	1/3	3	1/9	1/5	1	2	3	3	3

T-08	3	1/5	1/2	3	1/9	1/5	1/2	1	3	3	5
T-09	1/3	1/5	1/3	1/5	1/9	1/7	1/3	1/3	1	1	1
T-10	1/3	1/5	1/3	1/3	1/9	1/5	1/3	1/3	1	1	1
T-11	1/3	1/5	1/4	1/7	1/9	1/7	1/3	1/5	1	1	1

2. Matriks berpasangan antar alternatif

a. Kriteria Biaya Konstruksi

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	1/8	1/5
Middle Route	8	1	4
South Route	5	1/4	1

b. Kriteria Akses Maintenance

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	2	5
Middle Route	½	1	2
South Route	1/5	½	1

c. Kriteria Kondisi/Jenis Tanah

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	3	1/7
Middle Route	1/3	1	1/8
South Route	7	8	1

d. Kriteria Topografi

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	1/5	3
Middle Route	5	1	7
South Route	1/3	1/7	1

e. Kriteria Perizinan

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	3	7
Middle Route	1/3	1	5
South Route	1/7	1/5	1

f. Kriteria Pembebasan Lahan

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	3	$\frac{1}{4}$
Middle Route	1/3	1	1/5
South Route	4	5	1

g. Kriteria Kemudahan Pekerjaan

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	2	5
Middle Route	$\frac{1}{2}$	1	4
South Route	1/5	$\frac{1}{4}$	1

h. Kriteria Aktivitas penduduk disekitar lokasi

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	3	1/3
Middle Route	1/3	1	1/5
South Route	3	5	1

i. Kriteria Kedekatan dengan Bangunan Lain

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	1/4	1/5
Middle Route	4	1	1/3
South Route	5	3	1

j. Kriteria Kedekatan dengan Sungai

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	3	1
Middle Route	1/3	1	1/3
South Route	1	3	1

k. Kriteria Habitat Flora dan Fauna

Alternatif	North Route	Middle Route	South Route
North Route	1	1/2	5
Middle Route	2	1	5
South Route	1/5	1/5	1

**F. Lampiran Hasil Perhitungan Tower Transmisi North Route**

No. Tower	Station	X Easting	Y Northing	Elevasi	Span	Angle (deg)	Tipe Struktur	Body	Leg	D	ΔH	D0	Wts	Wds	Ratio	Ket.
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(deg)		Ext.	Ext.	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
TW-1	0.00	301,559.69	9,708,104.69	114.85	0.00	0.00	Suspension	-	1.5	0.00	0.00	0.00	-	-	-	OK
TW-2	54.36	301,571.75	9,708,157.69	111.45	54.36	67.90	Tension	6.0	1.5	0.46	3.40	0.34	53.677	54.360	1.01	OK
TW-3	409.09	301,921.84	9,708,214.87	161.75	354.73	-3.92	Tension	4.5	3.0	19.40	50.30	2.40	404.289	409.090	1.01	OK
TW-4	716.66	302,221.28	9,708,285.11	271.50	307.57	0.00	Suspension	-	6.0	14.58	109.75	11.33	684.956	662.300	0.97	OK
TW-5	827.87	302,329.56	9,708,310.51	295.72	111.21	24.53	Tension	-	4.5	1.91	24.22	9.03	400.729	418.780	1.05	OK
TW-6	1,133.97	302,629.73	9,708,250.54	308.93	306.10	0.00	Suspension	-	3.0	14.44	13.21	8.60	400.12	417.310	1.04	OK
TW-7	1,444.33	302,934.07	9,708,189.73	397.22	310.36	0.00	Suspension	-	1.5	14.85	88.29	3.51	609.434	616.460	1.01	OK
TW-8	1,665.35	303,150.81	9,708,146.42	412.39	221.02	0.00	Suspension	-	1.5	7.53	15.17	1.86	527.668	531.380	1.01	OK
TW-9	1,983.41	303,462.70	9,708,084.11	337.26	318.06	0.00	Suspension	-	3.0	15.60	75.13	0.65	537.778	539.080	1.00	OK
TW-10	2,323.76	303,796.46	9,708,017.42	271.37	340.35	0.00	Suspension	-	4.5	17.86	65.89	0.11	658.195	658.410	1.00	OK
TW-11	2,731.92	304,196.71	9,707,937.45	290.95	408.16	0.00	Suspension	4.5	3.0	25.68	19.58	16.83	782.163	748.510	0.96	OK
TW-12	2,915.16	304,376.39	9,707,901.55	277.78	183.24	0.00	Suspension	-	3.0	5.18	13.17	0.69	590.029	591.400	1.00	OK
TW-13	3,231.05	304,882.28	9,707,800.47	276.15	315.89	0.00	Suspension	-	3.0	15.38	1.63	14.58	469.971	499.130	1.06	OK
TW-14	3,642.09	305,089.23	9,707,759.12	291.32	411.04	0.00	Suspension	-	4.5	26.05	15.17	19.01	764.959	726.930	0.95	OK
TW-15	3,806.44	305,250.40	9,707,726.92	280.14	164.35	0.00	Suspension	-	6.0	4.16	11.18	0.45	574.49	575.390	1.00	OK
TW-16	4,173.82	305,610.65	9,707,654.94	275.86	367.38	0.00	Suspension	-	4.5	20.81	4.28	18.72	494.285	531.730	1.08	OK
TW-17	4,544.59	306,072.30	9,707,562.71	263.11	370.77	72.75	Tension	6.0	6.0	21.19	12.75	15.30	768.746	738.150	0.96	OK
TW-18	4,959.56	306,104.92	9,707,249.43	274.90	414.97	0.00	Suspension	-	6.0	26.55	11.79	20.98	827.7	785.740	0.95	OK
TW-19	5,256.65	306,135.69	9,706,953.94	294.17	297.09	0.00	Suspension	-	6.0	13.61	19.27	5.68	700.705	712.060	1.02	OK
TW-20	5,515.04	306,162.45	9,706,696.93	313.29	258.39	0.00	Suspension	4.5	6.0	10.29	19.12	2.95	549.574	555.480	1.01	OK
TW-21	5,917.75	306,204.16	9,706,296.39	282.83	402.71	0.00	Suspension	4.5	6.0	25.00	30.46	12.09	636.917	661.100	1.04	OK
TW-22	6,218.66	306,235.32	9,705,997.10	267.02	300.91	0.00	Suspension	-	6.0	13.96	15.81	7.17	689.273	703.620	1.02	OK
TW-23	6,544.89	306,369.11	9,705,672.63	270.66	326.23	0.00	Suspension	-	3.0	16.41	3.64	14.64	656.416	627.140	0.96	OK
TW-24	6,751.72	306,290.53	9,705,466.91	287.96	206.83	8.55	Tension	-	6.0	6.60	17.30	0.78	531.497	533.060	1.00	OK
TW-25	7,195.90	306,270.32	9,705,023.19	200.78	444.18	0.00	Suspension	6.0	6.0	30.42	87.18	2.44	646.123	651.010	1.01	OK
TW-26	7,427.78	306,259.77	9,704,791.55	202.71	231.88	-105.46	Tension	6.0	6.0	8.29	1.93	7.35	661.355	676.060	1.02	OK
TW-27	7,505.07	306,335.13	9,704,808.74	219.74	77.29	0.00	Suspension	-	1.5	0.92	17.03	12.09	284.994	309.170	1.08	OK

**G. Lampiran Hasil Perhitungan Tower Transmisi Middle Route**

No. Tower	Station	X Easting	Y Northing	Elevasi	Span	Angle	Tipe Struktur	Body	Leg	D	ΔH	D0	Wts	Wds	Ratio	Ket.
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(deg)		Ext.	Ext.	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
TW-1	0.00	301,559.69	9,708,104.69	114.85	0.00	0.00	Suspension	-	1.5	0.00	0.00	0.00	-	-	-	OK
TW-2	54.36	301,571.75	9,708,157.69	111.45	54.36	67.90	Tension	6.0	1.5	0.46	3.40	0.34	53.677	54.360	1.01	OK
TW-3	409.09	301,921.84	9,708,214.87	161.75	354.73	-3.92	Tension	4.5	3.0	19.40	50.30	2.40	404.289	409.090	1.01	OK
TW-4	716.66	302,221.28	9,708,285.11	271.50	307.57	0.00	Suspension	-	6.0	14.58	109.75	11.33	639.644	662.300	1.04	OK
TW-5	827.87	302,329.56	9,708,310.51	295.72	111.21	24.53	Tension	-	4.5	1.91	24.22	9.03	400.729	418.780	1.05	OK
TW-6	1,262.89	302,329.56	9,707,889.73	297.17	435.02	0.00	Suspension	-	-	29.17	1.45	28.45	603.139	546.230	0.91	OK
TW-7	1,649.14	302,329.56	9,707,483.75	301.21	386.25	0.00	Suspension	4.5	1.5	23.00	4.04	21.02	863.319	821.270	0.95	OK
TW-8	2,150.50	302,329.56	9,707,184.11	298.88	501.36	0.00	Suspension	-	-	38.75	2.33	37.60	962.801	887.610	0.92	OK
TW-9	2,605.51	303,126.57	9,706,815.61	297.58	455.01	0.00	Suspension	-	-	31.92	1.30	31.27	1018.91	956.370	0.94	OK
TW-10	3,045.62	303,726.47	9,706,719.05	283.65	440.11	0.00	Suspension	-	-	29.86	13.93	23.30	941.725	895.120	0.95	OK
TW-11	3,480.70	304,296.11	9,706,403.58	279.16	435.08	0.00	Suspension	4.5	3.0	29.18	4.49	26.98	929.152	875.190	0.94	OK
TW-12	3,881.47	304,351.39	9,706,203.17	272.06	400.77	0.00	Suspension	-	-	24.76	7.10	21.34	878.528	835.850	0.95	OK
TW-13	4,381.56	304,692.25	9,706,000.12	268.93	500.09	0.00	Suspension	-	-	38.56	3.13	37.01	974.873	900.860	0.92	OK
TW-14	4,709.11	305,089.23	9,705,821.74	266.35	327.55	0.00	Suspension	-	-	16.54	2.58	15.28	858.191	827.640	0.96	OK
TW-15	4,970.56	305,240.40	9,705,614.77	277.11	261.45	0.00	Suspension	-	-	10.54	10.76	5.84	577.31	589.000	1.02	OK
TW-16	5,177.89	306,290.53	9,705,466.91	287.96	207.33	8.55	Tension	-	6.0	6.63	10.85	2.31	464.156	468.780	1.01	OK
TW-17	5,622.07	306,270.32	9,705,023.19	200.78	444.18	0.00	Suspension	6.0	6.0	30.42	87.18	2.44	646.623	651.510	1.01	OK
TW-18	5,853.95	306,259.77	9,704,791.55	202.71	231.88	-105.46	Tension	6.0	6.0	8.29	1.93	7.35	661.355	676.060	1.02	OK
TW-19	5,931.24	306,335.13	9,704,808.74	219.74	77.29	0.00	Suspension	-	1.5	0.92	17.03	12.09	284.994	309.170	1.08	OK

**H. Lampiran Hasil Perhitungan Tower Transmisi South Route**

No. Tower	Station	X Easting	Y Northing	Elevasi	Span	Angle (deg)	Tipe Struktur	Body	Leg	D (m)	ΔH (m)	D0 (m)	Wts (m)	Wds (m)	Ratio	Ket.
		(m)	(m)	(m)	(m)	(deg)										
TW-1	0.00	301,559.69	9,708,104.69	114.85	0.00	0.00	Suspension	-	1.5	0.00	0.00	0.00	-	-	-	OK
TW-2	54.36	301,571.75	9,708,157.69	111.45	54.36	119.38	Tension	-	1.5	0.46	3.40	0.34	53.677	54.360	1.01	OK
TW-3	128.20	301,626.45	9,708,108.08	107.99	73.84	43.98	Tension	6.0	3.0	0.84	3.46	0.00	128.199	128.200	1.00	OK
TW-4	441.15	301,647.28	9,707,795.83	128.20	312.95	0.00	Suspension	6.0	6.0	15.10	20.21	6.68	373.421	386.790	1.04	OK
TW-5	859.14	301,675.11	9,707,378.77	287.53	417.99	0.00	Suspension	-	3.0	26.94	159.33	6.18	718.589	730.940	1.02	OK
TW-6	1,013.80	301,685.40	9,707,224.45	336.42	154.66	-53.47	Tension	-	3.0	3.69	48.89	19.75	612.157	572.650	0.94	OK
TW-7	1,227.97	301,865.60	9,707,108.70	366.79	214.17	0.00	Suspension		3.0	7.07	30.37	0.04	368.753	368.830	1.00	OK
TW-8	1,422.08	302,028.92	9,707,003.80	376.17	194.11	0.00	Suspension	4.5	3.0	5.81	9.38	2.07	404.149	408.280	1.01	OK
TW-9	1,748.70	302,303.73	9,706,827.27	373.38	326.62	0.00	Suspension	4.5	6.0	16.45	2.79	15.08	550.892	520.730	0.95	OK
TW-10	2,059.47	302,565.21	9,706,659.32	370.95	310.77	0.00	Suspension	4.5	3.0	14.89	2.43	13.70	609.992	637.390	1.04	OK
TW-11	2,393.26	302,846.05	9,706,478.92	321.48	333.79	0.00	Suspension	4.5	4.5	17.18	49.47	1.35	641.867	644.560	1.00	OK
TW-12	2,896.95	303,369.84	9,706,206.71	320.17	503.69	0.00	Suspension	4.5	6.0	39.11	1.31	38.46	914.401	837.480	0.92	OK
TW-13	3,148.39	303,481.40	9,706,070.82	350.18	251.44	0.00	Suspension	4.5	4.5	9.75	30.01	0.52	754.097	755.130	1.00	OK
TW-14	3,499.50	303,776.81	9,705,881.06	319.91	351.11	0.00	Suspension	-	6.0	19.01	30.27	6.88	588.783	602.550	1.02	OK
TW-15	3,714.31	303,957.55	9,705,764.96	308.41	214.81	0.00	Suspension	-	6.0	7.11	11.50	2.53	560.869	565.920	1.01	OK
TW-16	4,226.28	304,388.31	9,705,488.27	206.55	511.97	0.00	Suspension	-	4.5	40.41	101.86	5.53	715.727	726.780	1.02	OK
TW-17	4,462.08	304,586.71	9,705,360.83	183.30	235.80	0.00	Suspension	4.5	6.0	8.57	23.25	0.89	745.993	747.770	1.00	OK
TW-18	4,856.01	304,918.15	9,705,147.94	198.46	393.93	0.00	Suspension	-	3.0	23.92	15.16	16.94	663.618	629.730	0.95	OK
TW-19	5,142.00	305,158.78	9,704,993.37	225.33	285.99	0.00	Suspension	-	4.5	12.61	26.87	2.75	674.414	679.920	1.01	OK
TW-20	5,364.04	305,345.60	9,704,873.37	237.68	222.04	0.00	Suspension	-	3.0	7.60	12.35	2.68	502.67	508.030	1.01	OK
TW-21	5,623.35	305,563.77	9,704,733.23	242.46	259.31	-38.30	Tension	-	4.5	10.37	4.78	8.11	465.122	481.350	1.03	OK
TW-22	5,866.38	305,805.65	9,704,756.91	228.59	243.03	0.00	Suspension	4.5	6.0	9.11	13.87	3.49	495.358	502.340	1.01	OK
TW-23	6,292.61	306,229.85	9,704,798.43	196.82	426.23	0.00	Suspension	-	1.5	28.01	31.77	14.38	698.01	669.260	0.96	OK

**I. Lampiran Hasil Perhitungan Biaya Konstruksi Tower Transmisi *North Route***

Item	Deskripsi	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total
Procurement					<b>\$2,215,427.69</b>
1	Suspension Tower				
	Common part	21	Tower	\$50,932.40	\$1,069,580.40
	4.50 m body ext.	3	Set	\$20,373.00	\$61,119.00
	6.00 m body ext.	1	Set	\$23,473.20	\$23,473.20
	Leg ext +1.50 m	4	Set	\$4,685.78	\$18,743.12
	Leg ext +3.00 m	6	Set	\$5,500.70	\$33,004.20
	Leg ext +4.50 m	3	Set	\$7,945.45	\$23,836.35
	Leg ext +6.00 m	8	Set	\$8,556.64	\$68,453.12
	Tower climbing incl. barbed wire	21	Set	\$2,037.30	\$42,783.30
2	Tension Tower				
	Common part	6	Set	\$109,837.00	\$659,022.00
	4.50 m body ext.	1	Set	\$18,601.40	\$18,601.40
	6.00 m body ext.	3	Set	\$21,258.70	\$63,776.10
	Leg ext +1.50 m	1	Set	\$11,001.40	\$11,001.40
	Leg ext +3.00 m	1	Set	\$15,687.20	\$15,687.20
	Leg ext +4.50 m	1	Set	\$20,169.20	\$20,169.20
	Leg ext +6.00 m	3	Set	\$24,651.30	\$73,953.90
	Tower climbing incl. barbed wire	6	Set	\$2,037.30	\$12,223.80
Construction					<b>\$1,706,293.19</b>
3	Suspension Tower				
	Common part	21	Tower	\$46,946.37	\$985,873.77
	4.50 m body ext.	3	Set	\$12,000.00	\$36,000.00
	6.00 m body ext.	1	Set	\$12,500.00	\$12,500.00
	Leg ext +1.50 m	4	Set	\$5,000.00	\$20,000.00
	Leg ext +3.00 m	6	Set	\$6,000.00	\$36,000.00
	Leg ext +4.50 m	3	Set	\$7,000.00	\$21,000.00
	Leg ext +6.00 m	8	Set	\$8,000.00	\$64,000.00
	Tower climbing incl. barbed wire	21	Set	\$1,000.00	\$21,000.00
4	Tension Tower				

	Common part	6	Set	\$68,736.57	\$412,419.42
	4.50 m body ext.	1	Set	\$12,000.00	\$12,000.00
	6.00 m body ext.	3	Set	\$12,500.00	\$37,500.00
	Leg ext +1.50 m	1	Set	\$5,000.00	\$5,000.00
	Leg ext +3.00 m	1	Set	\$6,000.00	\$6,000.00
	Leg ext +4.50 m	1	Set	\$7,000.00	\$7,000.00
	Leg ext +6.00 m	3	Set	\$8,000.00	\$24,000.00
	Tower climbing incl. barbed wire	6	Set	\$1,000.00	\$6,000.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$3,921,720.88</b>	

**J. Lampiran Hasil Perhitungan Biaya Konstruksi Tower Transmisi *Middle Route***

Item	Deskripsi	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total
Procurement					<b>\$1,559,117.02</b>
1 Suspension Tower					
	Common part	14	Tower	\$50,932.40	\$713,053.60
	4.50 m body ext.	2	Set	\$20,373.00	\$40,746.00
	6.00 m body ext.	1	Set	\$23,473.20	\$23,473.20
	Leg ext +1.50 m	3	Set	\$4,685.78	\$14,057.34
	Leg ext +3.00 m	1	Set	\$5,500.70	\$5,500.70
	Leg ext +4.50 m	0	Set	\$7,945.45	\$0.00
	Leg ext +6.00 m	2	Set	\$8,556.64	\$17,113.28
	Tower climbing incl. barbed wire	14	Set	\$2,037.30	\$28,522.20
2 Tension Tower					
	Common part	5	Set	\$109,837.00	\$549,185.00
	4.50 m body ext.	1	Set	\$18,601.40	\$18,601.40
	6.00 m body ext.	2	Set	\$21,258.70	\$42,517.40
	Leg ext +1.50 m	1	Set	\$11,001.40	\$11,001.40
	Leg ext +3.00 m	1	Set	\$15,687.20	\$15,687.20
	Leg ext +4.50 m	1	Set	\$20,169.20	\$20,169.20
	Leg ext +6.00 m	2	Set	\$24,651.30	\$49,302.60
	Tower climbing incl. barbed wire	5	Set	\$2,037.30	\$10,186.50
Construction					<b>\$1,164,432.03</b>
3 Suspension Tower					
	Common part	14	Tower	\$46,946.37	\$657,249.18

	4.50 m body ext.	2	Set	\$12,000.00	\$24,000.00
	6.00 m body ext.	1	Set	\$12,500.00	\$12,500.00
	Leg ext +1.50 m	3	Set	\$5,000.00	\$15,000.00
	Leg ext +3.00 m	1	Set	\$6,000.00	\$6,000.00
	Leg ext +4.50 m	0	Set	\$7,000.00	\$0.00
	Leg ext +6.00 m	2	Set	\$8,000.00	\$16,000.00
	Tower climbing incl. barbed wire	14	Set	\$1,000.00	\$14,000.00
4	Tension Tower				
	Common part	5	Set	\$68,736.57	\$343,682.85
	4.50 m body ext.	1	Set	\$12,000.00	\$12,000.00
	6.00 m body ext.	2	Set	\$12,500.00	\$25,000.00
	Leg ext +1.50 m	1	Set	\$5,000.00	\$5,000.00
	Leg ext +3.00 m	1	Set	\$6,000.00	\$6,000.00
	Leg ext +4.50 m	1	Set	\$7,000.00	\$7,000.00
	Leg ext +6.00 m	2	Set	\$8,000.00	\$16,000.00
	Tower climbing incl. barbed wire	5	Set	\$1,000.00	\$5,000.00
<b>TOTAL</b>					<b>\$2,723,549.05</b>

**K. Lampiran Hasil Perhitungan Biaya Konstruksi Tower Transmisi *Middle Route***

Item	Deskripsi	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total
<b>Procurement</b>					<b>\$1,881,709.64</b>
1	Suspension Tower				
	Common part	19	Tower	\$50,932.40	\$967,715.60
	4.50 m body ext.	8	Set	\$20,373.00	\$162,984.00
	6.00 m body ext.	2	Set	\$23,473.20	\$46,946.40
	Leg ext +1.50 m	2	Set	\$4,685.78	\$9,371.56
	Leg ext +3.00 m	6	Set	\$5,500.70	\$33,004.20
	Leg ext +4.50 m	4	Set	\$7,945.45	\$31,781.80
	Leg ext +6.00 m	7	Set	\$8,556.64	\$59,896.48
	Tower climbing incl. barbed wire	19	Set	\$2,037.30	\$38,708.70
2	Tension Tower				
	Common part	4	Set	\$109,837.00	\$439,348.00
	4.50 m body ext.	0	Set	\$18,601.40	\$0.00
	6.00 m body ext.	1	Set	\$21,258.70	\$21,258.70

	Leg ext +1.50 m	1	Set	\$11,001.40	\$11,001.40
	Leg ext +3.00 m	2	Set	\$15,687.20	\$31,374.40
	Leg ext +4.50 m	1	Set	\$20,169.20	\$20,169.20
	Leg ext +6.00 m	0	Set	\$24,651.30	\$0.00
	Tower climbing incl. barbed wire	4	Set	\$2,037.30	\$8,149.20
<b>Construction</b>					<b>\$1,477,427.31</b>
3	Suspension Tower				
	Common part	19	Tower	\$46,946.37	\$891,981.03
	4.50 m body ext.	8	Set	\$12,000.00	\$96,000.00
	6.00 m body ext.	2	Set	\$12,500.00	\$25,000.00
	Leg ext +1.50 m	2	Set	\$5,000.00	\$10,000.00
	Leg ext +3.00 m	6	Set	\$6,000.00	\$36,000.00
	Leg ext +4.50 m	4	Set	\$7,000.00	\$28,000.00
	Leg ext +6.00 m	7	Set	\$8,000.00	\$56,000.00
	Tower climbing incl. barbed wire	19	Set	\$1,000.00	\$19,000.00
4	Tension Tower				
	Common part	4	Set	\$68,736.57	\$274,946.28
	4.50 m body ext.	0	Set	\$12,000.00	\$0.00
	6.00 m body ext.	1	Set	\$12,500.00	\$12,500.00
	Leg ext +1.50 m	1	Set	\$5,000.00	\$5,000.00
	Leg ext +3.00 m	2	Set	\$6,000.00	\$12,000.00
	Leg ext +4.50 m	1	Set	\$7,000.00	\$7,000.00
	Leg ext +6.00 m	0	Set	\$8,000.00	\$0.00
	Tower climbing incl. barbed wire	4	Set	\$1,000.00	\$4,000.00
<b>TOTAL</b>					<b>\$3,359,136.95</b>

## DAFTAR RIWAYAT PENULIS



**Abdul Muis**

Penulis dilahirkan di Wonorejo, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan pada tanggal 14 April 1988 anak dari pasangan ayahanda Abdul Hamid dan Ibunda Hj. Nahasi, S.Ag. Penulis merupakan anak bungsu dari 3 (tiga) bersaudara. Penulis berasal dari Desa Sorowako Kecamatan Nuha Kabupaten Luwu Timur Sulawesi Selatan. Adapun perjalanan penulis dalam menuntut Ilmu Pengetahuan, penulis telah mengikuti pendidikan formal sebagai berikut:

Tahun 1992	Memasuki Taman Kanak-Kanak (TK) Dharmawanita Kec. Mangkutana Kab. Luwu Timur, Dan Menyelesaikan Pendidikan SD Pada Tahun 1994.
Tahun 1994	Memasuki Sekolah Dasar Negeri 207 Wonorejo Kec. Mangkutana Kab. Luwu Timur, Dan Menyelesaikan Pendidikan SD Pada Tahun 2000.
Tahun 2000	Memasuki Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama 1 Negeri Mangkutana, dan Menyelesaikan Pendidikan Pada Tahun 2003.
Tahun 2003	Memasuki Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Mangkutana, Kabupaten Luwu Timur, dan Menyelesaikan Pendidikan Pada Tahun 2006.
Tahun 2006	Terdaftar Sebagai Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, Jurusan Teknik Sipil. Menyelesaikan Masa Studi Pada Tahun 2010.
Tahun 2018	Terdaftar Sebagai Mahasiswa Program Pascasarjana Bidang Kerjasama Industri, Departemen Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

	Nopember (ITS) Surabaya Dan Menyelesaikan Masa Studi Pada Tahun 2020.
Nomor Handpone	0812-4404-3808
E-Mail	muisabeng@gmail.com
Judul Penelitian Tesis	Menentukan Rute Menara Transmisi 150kV Menggunakan Metode FAHP ( <i>Fuzzy Analytical Hierarchy Process</i> ) dari Gardu Induk PLTA Larona ke Gardu Induk PLTA Balambano di PT. Vale Indonesia Tbk