



TESIS - BM185407

**PEMILIHAN ALTERNATIF DESIGN JALUR TRANSMISI 150 KV
HOLTEKAM - ANGKASA PAPUA DENGAN PENDEKATAN
METODE TOPSIS**

**HOTMASTERMAN SIMBOLON
6032202206**

**Dosen Pembimbing:
Prof.Dr.Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc**

**PROGRAM STUDI MAGISTER MANAJEMEN TEKNOLOGI
SEKOLAH INTERDISIPLIN MANAJEMEN DAN TEKNOLOGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2022**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Manajemen Teknologi (M.MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Hotmasterman Simbolon

NRP: 6032202206

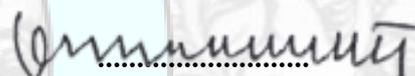
Tanggal Ujian: 9 Juni 2022

Periode Wisuda: September 2022

Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng,Sc
NIP: 195903181987011001

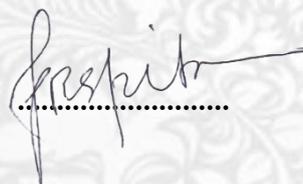


Penguji:

1. Maranatha Wijayaningtyas, S.T.,M.MT.,Ph.D
NIP: 1031500523



2. Dr.Ir. Niniek Fajar Puspita, M.Eng
NIP: 196308051989032002



DEKAN SEKOLAH INTERDISIPLIN MANAJEMEN DAN TEKNOLOGI,



Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D, CSCP
NIP: 196912311994121076



PEMILIHAN ALTERNATIF DESIGN JALUR TRANSMISI 150 KV HOLTEKAM – ANGKASA PAPUA DENGAN PENDEKATAN METODE TOPSIS

Nama : Hotmasterman Simbolon
NRP : 6032202206
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng,Sc

ABSTRAK

Pada umumnya untuk evakuasi daya 150 kV (Tegangan Tinggi) dilakukan dengan transmisi dengan jenis saluran udara tegangan tinggi (SUTT) mempertimbangkan jenis konstruksi dan teknologi yang sederhana dalam pengerjaannya. Target pemerintah sesuai dengan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021-2030 terdapat jalur transmisi Holtekam - GI Angkasa Papua yang ditargetkan selesai pada tahun 2022 dengan tiga jenis opsi pilihan desain transmisi yaitu Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) dan Saluran Kabel Laut Tegangan Tinggi (SKLTT). Hal ini berdampak pada PLN Unit Induk Pembangunan (UIP) yang bertugas dalam pembangunan harus melakukan kajian dengan pertimbangan yang tepat untuk mendapatkan hasil keputusan desain dengan dasar yang kuat. UIP Maluku Papua telah melakukan penugasan kepada konsultan PLN Enjiniring untuk melakukan kajian terhadap hal tersebut namun berdasarkan pengalaman proses kajian yang dilakukan, pilihan cenderung ditetapkan pada salah satu kriteria yang dominan seperti harga termurah, durasi tersingkat sebagai bobot yang terbesar. Tidak sedikit permasalahan yang timbul disebabkan perubahan desain akibat masalah sosial terjadi sebagai faktor penghambat dan keterlambatan sehingga keputusan langsung untuk SUTT masih perlu dikaji lebih lanjut meskipun SUTT adalah tipe desain yang paling banyak digunakan. Bila keputusan langsung diterapkan dengan menggunakan tipe desain SKTT atau SKLTT, terdapat peluang yang lebih cepat untuk penyelesaiannya namun tetap saja hal ini merupakan hal yang baru di daerah Maluku Papua dimana faktor ketidakpastian dalam pelaksanaan juga akan sulit untuk dimitigasi dari sisi waktu. Sehubungan dengan hal tersebut, diperlukan suatu penelitian secara empiris dengan menggunakan metode TOPSIS untuk menganalisis multi kriteria yang telah disepakati dan setelah dilakukan penelitian disimpulkan bahwa metode ini dapat memberikan rekomendasi keputusan. Dalam penelitian ini ditemukan bahwa SUTT merupakan solusi yang dapat direkomendasikan, namun mengingat secara sensitivitas faktor bobot preferensi memiliki pengaruh signifikan dalam keputusan sehingga bilamana dipandang perlu hal ini dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya.

Kata Kunci : TOPSIS, SUTT, SKTT, SKLTT

Halaman ini sengaja dikosongkan

ALTERNATIVE DESIGN SELECTION TRANSMISSION LINE 150 kV *HOLTEKAM-ANGKASA PAPUA* USING TOPSIS METHOD APPROACH

Name : Hotmasterman Simbolon
NRP : 6032202206
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng,Sc

ABSTRACT

Mostly, the evacuation of 150 kV (High Voltage) electricity in Indonesia is carried out by transmission with the type of High Voltage Overhead Line (SUTT) considering the type of simple construction and technology in common. The government's target in accordance with the Electricity Supply Business Plan (RUPTL) 2021-2030 is the *Holtekam – Angkasa* Papua transmission line which is targeted for completion in 2022 with three types of transmission design options, namely High Voltage Overhead Line (SUTT/OHL), High Voltage Underground Line (SKTT/UGC) and High Voltage Marine Cable Channels (SKLTT/Submarine). This has an impact on the PLN Project Development Unit (UIP), which oversees the development of Electricity Infrastructure must conduct a study with proper considerations to obtain the right design decision results to be applied. UIP Maluku Papua has assigned the consultant of PLN Engineering to conduct a study of the three alternative designs using available data. Based on the experience of the study process carried out, the decision tends as the criteria for a faster construction time or a cheaper cost estimate. Meanwhile the cheapest cost is not always be the final solution because UIP has many of experience when constructing SUTT in the Papua area, many problems arise resulting in design changes during the construction process and other social problems that can occur as inhibiting factors and delays, in addition, if the other alternatives directly implemented using SKTT and SKLTT which generally estimate be done faster in construction, also there's no one can guarantee about it because this alternative is categorized as a new thing in Maluku & Papua where there's a lot of uncertainty factor in implementation will also be immeasurable. Based on these things, empirical research using the TOPSIS method is needed to analyze the most appropriate alternative design decisions. The result of the research is SUTT as the recommended decision. But considering the sensitivity analysis, the weight of preference factor has a significant role to change the decision, so if it's deemed necessary, this can be developed in the next comprehensive special research.

Keyword: TOPSIS, OHL, UGC, Submarine, MCDM

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur diucapkan oleh penulis kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat yang melimpah sehingga dapat menyelesaikan Tesis dengan judul :

“Pemilihan Alternatif Design Jalur Transmisi 150 kV *Holtekam-Angkasa Papua* dengan Pendekatan Metode TOPSIS “

Tesis ini disusun sebagai persyaratan Magister Management Teknologi pada Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam proses penyelesaian Tesis ini penulis mendapatkan dukungan dan bimbingan dari banyak pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Hotman Simbolon, MS dan Dra. Bunna Sipayung selaku Orangtua penulis,
2. Rani Dian Sari, S.Psi dan Shannon Elora Simbolon selaku Istri dan anak penulis,
3. Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc selaku pembimbing Tesis,
4. Dr. Ir. Niniek Fajar Puspita, M.Eng selaku penguji Tesis,
5. Maranatha Wijyaningtyas, ST.,MMT.,PhD selaku penguji Tesis

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih membutuhkan banyak penyempurnaan dan kekurangan, sehingga penulis mengharapkan tesis ini dapat disempurnakan pada penelitian selanjutnya sehingga bermanfaat untuk bidang akademis di ITS dan profesionalisme di bidang pekerjaan penulis di PT PLN (Persero).

Jayapura, 12 Juni 2022

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	5
1.3. Maksud dan Tujuan	5
1.4. Manfaat Penelitian.....	6
1.5. Batasan Masalah.....	6
1.6. Sistematika Penulisan.....	8
BAB II	11
TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Transmisi Listrik	11
2.1.1 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT).....	15
2.1.2 Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT).....	21
2.1.3 Saluran Kabel Laut Tegangan Tinggi (SKLTT)/Submarine Cables	25
2.2 Proses Pengambilan Keputusan.....	29
2.2.1 Fase pengambilan keputusan.....	29
2.2.2 Multi Criteria Decision Making (MCDM).....	31
2.2.3 Metode TOPSIS	33
2.3 Penelitian terdahulu terkait perbandingan Alternatif Jalur Transmisi...	36
BAB III	39
METODOLOGI PENELITIAN	39
3.1 Desain Penelitian	39

3.2	Metode Pengumpulan Data	41
3.3	Pengolahan data dengan metode TOPSIS	42
3.3.1	Pengolahan dan Analisis Data Teknis dan Biaya.....	42
3.3.2	Pengolahan dan Analisis Data Durasi Waktu	44
3.3.3	Pengolahan dan Analisis Data Risiko & lingkungan	45
3.4	Data Kuesioner untuk Bobot Preferensi	46
3.5	Perhitungan dengan Metode TOPSIS.....	47
3.5.1	Membuat matriks keputusan dan matriks keputusan ternormalisasi	47
3.5.2	Melakukan Perhitungan matriks keputusan ternormalisasi terbobot	49
3.5.3	Melakukan Perhitungan matriks solusi ideal positif dan negatif	49
3.5.4	Menentukan Separasi Positif dan Negatif	50
3.5.5	Melakukan pengukuran Nilai Preferensi pada setiap alternatif	51
3.6	Rekomendasi Keputusan dan Analisis Sensitivitas.....	51
BAB IV		53
PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS		53
4.1	Profil Organisasi.....	53
4.2	Konsep Desain Transmisi.....	55
4.3	Penyusunan Kriteria Evaluasi	56
4.4	Pengumpulan dan Pengolahan Data Desain	57
4.4.1.	Basic Design SUTT 150 kV.....	58
4.4.2.	Basic Design SKTT 150 kV.....	59
4.4.3.	Basic Design SKLTT 150 kV	61
4.5	Rekapitulasi hasil pengolahan data kriteria.....	66
4.6	Analisis dan Rekomendasi Keputusan	67
4.6.1.	Analisis data hasil kriteria menggunakan TOPSIS	67
4.6.2.	Analisis dan Justifikasi nilai Sensitivitas Kriteria.....	69
BAB V		74
KESIMPULAN.....		74
5.1	Kesimpulan.....	74
5.2	Saran	75
DAFTAR PUSTAKA.....		78

LAMPIRAN I	81
Lampiran Form Survey Kuesioner Bobot Preferensi TOPSIS	81
LAMPIRAN II.....	82
Lampiran Hasil Survey	82
LAMPIRAN III	85
Detail Perhitungan	85
Perhitungan Analisis Sensitivitas Kriteria.....	88

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2.1 konsep penyaluran transmisi tenaga listrik</i>	11
<i>Gambar 2.2 Peta umum Lokasi Rencana Proyek</i>	13
<i>Gambar 2.3 Single Line Diagram Kelistrikan Papua</i>	14
<i>Gambar 2.4 Alternatif Jalur Transmisi SUTT, SKTT, SKLTT</i>	15
<i>Gambar 2.5 SUTT Tower model Lattice (DED SUTT Angkasa 2020)</i>	16
<i>Gambar 2.6 Kabel ACSR untuk SUTT (SPLN 41-7:1981)</i>	17
<i>Gambar 2.7 Konstruksi Kabel XLPE</i>	21
<i>Gambar 2.8 Ilustrasi Metode HDD pada SKTT</i>	23
<i>Gambar 2.9 Ilustrasi Metode Cable Bridge/trench pada SKTT</i>	24
<i>Gambar 2.10 Ilustrasi Model Geometri Kabel laut</i>	26
<i>Gambar 2.11 Ilustrasi multibeam sonar (Glenn MF1970)</i>	27
<i>Gambar 2.12 Ilustrasi skema laying/menggelar SKLTT</i>	27
<i>Gambar 2.13 Fase system keputusan (Turban dkk, 2005)</i>	31
<i>Gambar 3.1 Diagram Alur Kerangka Pikir Penyelesaian</i>	40
<i>Gambar 3.2 Matriks level risiko berdasarkan level kemungkinan</i>	46
<i>Gambar 4.1 Struktur Organisasi UIP Maluku & Papua</i>	54
<i>Gambar 4.2 Struktur Organisasi Direktorat Engineering PLN E</i>	54
<i>Gambar 4.3 Alternatif Rute berdasarkan rencana desain</i>	56
<i>Gambar 4.4 Sampel Potongan Bagian SUTT</i>	58
<i>Gambar 4.5 Sampel Potongan penampang SKTT</i>	61
<i>Gambar 4.6 Sampel Potongan penampang SKTT</i>	62
<i>Gambar 4.7 Grafik Sensitivitas Bobot Preferensi</i>	70
<i>Gambar 4.8 Grafik Sensitivitas Nilai kriteria</i>	71
 <i>Lampiran.</i>	
<i>Gambar II.1 Data Survey kuesioner Bobot Preferensi</i>	83
<i>Gambar III.1 Grafik Sensitivitas Bobot Preferensi</i>	90
<i>Gambar III.2 Grafik Sensitivitas Kriteria</i>	92

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

<i>Tabel 1.1 Target Penyelesaian transmisi sesuai RUPTL 2021-2030.....</i>	<i>2</i>
<i>Tabel 1.2 Matriks Perbandingan Design Transmisi.....</i>	<i>3</i>
<i>Tabel 1.3 Perbandingan metode dalam Multicriteria Decision Making.....</i>	<i>4</i>
<i>Tabel 2.1 Type tower SUTT 150 kV berdasarkan sudut belok.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabel 2.2 Rentang Dasar (Jarak tower) berdasarkan tegangan</i>	<i>18</i>
<i>Tabel 2.3 Jarak Ruang Bebas SUTT 150 kV.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabel 2.4 Spesifikasi Kabel XLPE SKTT 150 kV.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabel 2.5 Kriteria utama dalam instalasi SKLTT.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabel 2.6 Metoda MADM dan MODM.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabel 2.7 Penelitian terdahulu yang berkaitan.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabel 3.1 Tabel Terzaghi & Peck 1984.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabel 3.2 Skala Dampak Risiko berdasarkan level kemungkinan</i>	<i>46</i>
<i>Tabel 3.3 Tabel Matriks keputusan.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabel 3.4 Tabel Matriks keputusan ternormalisasi</i>	<i>48</i>
<i>Tabel 3.5 Tabel Matriks keputusan ternormalisasi terbobot.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabel 4.1 Spesifikasi Konduktor ACSR 150 kV</i>	<i>58</i>
<i>Tabel 4.2 Estimasi harga pekerjaan SUTT</i>	<i>59</i>
<i>Tabel 4.3 Estimasi Durasi pekerjaan SUTT.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabel 4.4 Spesifikasi Kabel Tanah 150 kV.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabel 4.5 Estimasi harga pekerjaan SUTT</i>	<i>60</i>
<i>Tabel 4.6 Estimasi harga pekerjaan SKTT</i>	<i>61</i>
<i>Tabel 4.7 Spesifikasi Kabel Laut 150 kV</i>	<i>62</i>
<i>Tabel 4.8 Estimasi harga pekerjaan SKLTT.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabel 4.9 Estimasi Durasi pekerjaan SKLTT</i>	<i>63</i>
<i>Tabel 4.10 Analisis Risiko</i>	<i>65</i>
<i>Tabel 4.11 Rekap hasil kriteria pada masing-masing alternatif.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabel 4.12 Matriks Keputusan.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabel 4.13 Nilai solusi dari setiap alternatif (tahap pertama).....</i>	<i>68</i>
<i>Tabel 4.14 Nilai solusi dari setiap alternatif (tahap kedua)</i>	<i>69</i>

DAFTAR LAMPIRAN

<i>Tabel II.1</i> Daftar responden untuk bobot preferensi	82
<i>Tabel II.2</i> Hasil Survey Bobot preferensi.....	83
<i>Tabel II.3</i> Nilai Bobot preferensi (tahap pertama) – all data.....	84
<i>Tabel II.4</i> Nilai Bobot preferensi (tahap kedua) – exclude 8 tahun	84
<i>Tabel III.1</i> Rekap hasil kriteria pada masing-masing alternatif.....	85
<i>Tabel III.2</i> Matriks Keputusan	85
<i>Tabel III.3</i> Formulasi Tabel Matriks Keputusan Ternormalisasi.....	86
<i>Tabel III.4</i> Formulasi x_{c_n} pada matriks keputusan ternormalisasi.....	86
<i>Tabel III.5</i> Matriks Keputusan Ternormalisasi	86
<i>Tabel III.6</i> Matriks keputusan ternormalisasi terbobot.....	87
<i>Tabel III.7</i> Separasi terhadap solusi ideal positif dan Negatif	87
<i>Tabel III.8</i> Nilai solusi ideal setiap alternatif.....	88
<i>Tabel III.9</i> Tabel uji sensitivitas dari sisi bobot preferensi.....	88
<i>Tabel III.10</i> Tabel uji sensitivitas dari nilai kriteria.....	91

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT PLN (Persero) merupakan salah satu badan usaha milik negara yang memegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk kepentingan umum yang wajib menyediakan tenaga listrik secara terus menerus dalam jumlah yang cukup dengan mutu dan keandalan yang baik, penugasan ini sesuai dengan Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang ketenagalistrikan. Dalam usaha penyediaan tenaga listrik maka PLN melakukan penambahan dan pembangunan pembangkit, transmisi dan Gardu Induk serta jaringan distribusi yang dimaksudkan untuk mempercepat peningkatan rasio elektrifikasi.

Pemerintah Republik Indonesia selaku pemangku kepentingan telah mencanangkan program 35 ribu Megawatt (MW) yang ditetapkan melalui Peraturan Presiden Nomer 4 tahun 2016 tentang Percepatan Pembangunan Infrastruktur ketenagalistrikan, dimana dalam peraturan tersebut PT Perusahaan Listrik Negara (PLN) ditunjuk sebagai pelaksana pembangunan infrastruktur listrik dalam program tersebut.

Untuk mendukung program pemerintah khususnya di daerah Papua untuk proyek-proyek yang ditargetkan untuk ditangani oleh UIP Papua sesuai dengan program RUPTL 2021-2030 yaitu total kapasitas pembangkit sebesar 431,4 MW, Gardu Induk sebesar 781,8 MW dan Transmisi sepanjang 1.132 KMS. Dari target tersebut terdapat rencana proyek transmisi untuk evakuasi daya dari lokasi pembangkit holtekam menuju daerah angkasa yang ditargetkan tahun 2022. Dengan pertimbangan pengalaman historikal kontrak proyek transmisi saluran udara tegangan tinggi (SUTT) yang selama ini dikerjakan di Papua, untuk jalur transmisi SUTT yang dengan rentang jarak 10-15 km route memiliki waktu rencana

penyelesaian dengan durasi 365 hari kalender (1 tahun), namun banyak faktor non teknis saat pelaksanaan pekerjaan yang dimulai dari proses detailed design sampai dengan proses konstruksi dilapangan yang menyebabkan proyek ini selalu cenderung terlambat dalam proses penyelesaian. Berdasarkan pada hal tersebut, secara khusus untuk Jalur Transmisi Holtekam-Angkasa Papua perlu dipertimbangkan penelitian lebih lanjut terkait desain yang lebih efektif yang dapat diterapkan untuk kondisi jalur transmisi ini mengingat dalam RUPTL terdapat tiga alternatif desain yang dapat digunakan sehingga rencana evakuasi daya yang telah direncanakan untuk beroperasi di tahun 2022 dapat sesuai dengan harapan. Adapun alternatif jalur transmisi yang memungkinkan untuk dilaksanakan sesuai opsi yang tertuang dalam RUPTL yaitu : Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), Saluran Kabel Laut Tegangan Tinggi (SKLTT) dan Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT). Dibawah ini merupakan kutipan informasi yang tertuang di dokumen Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) pada Tabel 1.1 berikut.

Tabel 1.1. Target Penyelesaian transmisi sesuai RUPTL 2021-2030

No	Dari	Ke	Tegangan (kV)	Konduktor	Panjang (kms)	COD	Status
1	PLTMG Timika	GI Timika	150	2 cct, ACSR 1xHawk	60	2021	Konstruksi
2	GI Sentani Baru	Incomer 2 phi (PLTA Genyem- Sentani)	70	4 cct, ACSR 1xHawk	4	2021	Rencana
3	GI Jayapura (Skyland)	GI Angkasa	150	2 cct, ACSR 2xHawk	20	2022	Pengadaan
4	PLTU Holtekamp	GI Angkasa	150	2 cct, SUTT/SKTT/Kabel Laut	60	2022	Rencana
5	PLTU Holtekamp	Keerom	150	2 cct, ACSR 1xHawk	40	2023	Rencana
6	GI Angkasa	GI Sentani Baru	150	2 cct, ACSR 2xHawk	72	2024	Rencana
7	PLTA Baliem	GI Wamena	150	2 cct, ACSR 2xHawk	50	2029	Rencana
8	PLTA Baliem	GI Sumohai	150	2 cct, ACSR 1xHawk	50	2029	Rencana
9	GI Wamena	GI Elelim	150	2 cct, ACSR 1xHawk	122	2029	Rencana
10	GI Wamena	GI Karubaga	150	2 cct, ACSR 1xHawk	140	2029	Rencana
11	GI Karubaga	GI Mulia	150	2 cct, ACSR 1xHawk	120	2029	Rencana
12	GI Mulia	GI Ilaga	150	2 cct, ACSR 1xHawk	80	2029	Rencana
13	Jayapura/Skyland	Sentani Baru	150	Upgrading tegangan 150 kV	56	2030	Rencana
Total					874		

Sehubungan dengan tiga pilihan alternatif yang ditentukan dalam RUPTL 2021-2030 tersebut, maka perlu diketahui perbandingan secara umum sebagai berikut:

Tabel 1.2. Matriks Perbandingan Alternatif Design Transmisi

No	SUTT	SKTT	SKLT
1	Terletak pada areal lahan yang cenderung menjauhi jalur pemukiman	Pada areal perkotaan atau areal yang sulit menemukan lahan	Umumnya digunakan untuk evakuasi daya ke daratan/pulau yang isolated
2	menggunakan kabel konduktor yang terpasang pada menara/tower	menggunakan kabel tanah XLPE	menggunakan kabel laut XLPE
3	Biaya Investasi relatif lebih murah	Biaya Investasi relatif mahal	Biaya Investasi relatif mahal
4	Menggunakan peralatan kerja yang sederhana	menggunakan peralatan yang sederhana kecuali untuk metode HDD	menggunakan peralatan kerja khusus dan kapal
5	Ketersediaan Material Utama lebih terjamin	Ketersediaan Material Utama sesuai pesanan	Ketersediaan Material Utama sesuai pesanan
6	Mudah dalam perawatan ataupun pemeliharaan	perawatan membutuhkan waktu yang panjang dan biaya yang besar	Perawatan membutuhkan waktu yang panjang dan biaya yang besar
7	Proses pemasangan & konstruksi lebih mudah	Proses pemasangan & konstruksi cenderung sulit dan membutuhkan special equipment (HDD)	Proses pemasangan & konstruksi cenderung sulit dan membutuhkan special equipment.
8	Durasi pelaksanaan pekerjaan cenderung lebih lama	Durasi pelaksanaan pekerjaan cenderung lebih cepat	Durasi pelaksanaan pekerjaan cenderung lebih cepat
9	Membutuhkan pembebasan lahan yang banyak	pembebasan lahan hanya seluas lebar area laying cable	Pembebasan lahan hanya pada Landing point cable
10	Pemilihan Rute Jalur Transmisi cenderung mudah	Pemilihan rute jalur cenderung lebih sulit	Pemilihan rute jalur cenderung lebih sulit
11	Permasalahan lingkungan terletak pada persepsi dampak kabel udara	Permasalahan lingkungan terdapat pada intersection jalur kabel dengan infrastruktur lainnya	Permasalahan Lingkungan terdapat pada Organisme Laut dan alur pelayaran
12	Dominan permasalahan sosial	Dominan permasalahan teknis dan rute jalur	Dominan permasalahan teknis dan perizinan

Dari Tabel 1.2 tersebut diatas bila disederhanakan lebih lanjut dan bila ditinjau dari desain SUTT yang lazim digunakan secara umum, dapat dilihat perbandingan utama masing-masing alternatif sebagai berikut:

- a. Biaya Investasi SUTT lebih murah daripada SKTT dan SKLTT , Hal ini dapat terjadi karena material yang digunakan dalam desain SUTT cenderung lebih banyak tersedia dipasaran dalam negeri dan proses pabrikan tidak membutuhkan waktu yang lama sehingga dapat disampaikan bahwa biaya investasi $SUTT < SKTT < SKLTT$.
- b. Durasi pekerjaan SUTT lebih lama daripada SKTT dan SKLTT. Secara khusus untuk daerah Papua, hal ini disebabkan karena dalam proses pekerjaan permasalahan sosial dan lahan akan sering terjadi sehingga dalam pelaksanaannya, sering terjadi perubahan desain tipe tower untuk menindaklanjuti permasalahan tersebut.
- c. Umur Konstruksi SUTT lebih Panjang daripada SKTT dengan SKLTT. Hal ini disebabkan karena untuk perawatan dan pemeliharaan SUTT cenderung lebih mudah untuk dilaksanakan karena berada pada areal terbuka dibanding SKTT yang berada didalam tanah dan SKLTT yang berada didalam perairan/laut.

Dalam rangka menemukan alternatif desain yang lebih efektif untuk dilaksanakan, maka penulis bermaksud menggunakan model multi criteria decision making (MCDM) untuk mencapai pendekatan rekomendasi yang tepat. Dengan mengembangkan pemahaman yang terdapat dalam Artikel da Silva (2021) pada Jurnal *Energies* 2021,14, 8281 MDPI, terdapat beberapa metode dalam model MCDM yang menurut penulis dapat digunakan dalam membantu penyelesaian pengambilan keputusan sebagai berikut :

Tabel 1.3. Perbandingan metode dalam Multi Criteria Decision Making

No	Method	Features	Strength	Weakness
1	AHP	Evaluasi keputusan berdasarkan analisis kriteria dengan menggunakan perbandingan berpasangan antar kriteria dan mengutamakan hasil vektor bobot kriteria dan prioritas alternatif berdasarkan masing-masing	1. Terdapat pengecekan nilai batas konsistensi pada setiap pilihan untuk memudahkan pengambil keputusan 2. Permasalahan kompleks menjadi sederhana berdasarkan hirarki	1. Mengandalkan interpretasi hasil kualitatif. 2. Asumsi murni berdasarkan tingkat kepentingan skala yang sama antar masing-masing kriteria berdasarkan pendapat expert
2	TOPSIS	Evaluasi berdasarkan ranking dari hasil perhitungan jarak euclidean ke solusi ideal positif dan negatif, sesuai kategori <i>cost</i> ataupun <i>benefit</i> yang dihasilkan masing-masing kriteria	1. Perhitungan berdasarkan hasil/nilai dari masing-masing kriteria itu sendiri sehingga menghasilkan nilai yang konsisten berdasarkan hasil kriteria 2. Dapat digunakan pada beragam kondisi	1. Tidak menjelaskan cara pengambilan nilai kriteria sehingga perhitungan hanya dapat dilakukan setelah nilai/bobot dari setiap kriteria telah ditentukan. 2. Tidak menghitung korelasi antara masing-masing hasil kriteria
3	ANP	Evaluasi berdasarkan korelasi dan keterkaitan elemen masing-masing kriteria pada tingkat hirarki yang sama yang dihitung dengan pemodelan matematis	1. Perhitungan mengandalkan keterkaitan antar elemen dalam hirarki yang ada pada alternatif	1. Memiliki kelemahan yang sama dengan AHP 2. Semakin banyak kriteria akan menghasilkan ketidakpastian yang tinggi
4	VIKOR	Evaluasi berfokus pada perbandingan perbandingan antar kriteria yang bertentangan melalui proses kompromi yang layak untuk menyeleksi kriteria	1. Proses ranking alternative dengan satuan nilai yang berbeda dapat didapatkan 2. Perhitungan dapat dilakukan tanpa campur tangan secara langsung dari pengambil keputusan	1. Tingkat kemungkinan kesalahan dalam perhitungan sangat tinggi 2. tidak menjelaskan cara pembobotan untuk setiap kriteria dan hanya mengandalkan normalisasi linear
5	PROMETHEE	Evaluasi digunakan dengan mengeliminasi alternatif yang tidak memenuhi batas ketentuan khusus dimana bobot preferensi menggambarkan tingkat kepentingan masing-masing alternatif	1. sangat tepat untuk jenis alternatif keputusan yang sulit untuk dibandingkan. 2. Dapat menggunakan data kualitatif dan kuantitatif	1. Sangat tergantung pada definisi awal yang ditetapkan dalam ketentuan batasan kriteria/alternatif 2. Metode ini tidak menjelaskan cara menentukan bobot untuk kriteria yang berbeda sehingga sulit untuk pengambil keputusan dalam memahami gambaran yang jelas terkait permasalahan ketika menggunakan banyak kriteria (tidak cocok untuk banyak kriteria)

Penulis memahami bahwa untuk permasalahan yang diteliti dalam rencana tesis ini akan mengacu pada hasil parameter kriteria yang sudah pasti berdasarkan hasil perhitungan apa adanya dalam masing-masing kriteria sehingga fungsi alat MCDM dalam penelitian ini sebagai alat bantu perhitungan secara empiris dalam proses pengambilan keputusan. Berdasarkan hal tersebut sesuai dengan Tabel 1.3 maka metode TOPSIS (*Technique for Order Performance by Similiarity to Ideal*

Solution) dianggap lebih layak untuk permasalahan ini karena masing-masing kriteria akan menghasilkan nilai tertentu yang selanjutnya dapat dihitung sesuai dengan masing-masing alternatif yang dituangkan dalam matriks keputusan.

Sehubungan dengan hal tersebut, dalam rencana tesis ini penulis ingin melakukan penelusuran lebih lanjut terkait ***“Pemilihan Alternatif Design Jalur Transmisi 150 kV Holtekam – Angkasa Papua dengan Pendekatan Metode TOPSIS”*** dengan mengacu data-data dan parameter yang ada untuk menjadi pertimbangan dalam pengambilan keputusan penerapan desain alternatif yang lebih efektif.

1.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut diatas maka yang menjadi rumusan masalah dari penelitian tesis ini adalah :

1. Apakah dasar atau metode perhitungan yang dapat digunakan untuk pemilihan alternatif yang akan direkomendasikan ?
2. Dengan menggunakan metode TOPSIS dalam pertimbangan alternatif desain SUTT, SKTT dan SKLTT apakah estimasi biaya terendah, atau estimasi durasi tersingkat dapat secara langsung menjadi rekomendasi ?
3. Apakah ada batasan nilai yang dapat dijadikan batasan dalam kriteria tertentu yang dapat menjadi acuan dalam pertimbangan hasil keputusan ?

1.3. Maksud dan Tujuan

Dengan adanya penelitian ini, penulis bermaksud dan bertujuan untuk mendapatkan output sebagai berikut :

1. Mendapatkan hasil secara empiris dengan metode TOPSIS yang terukur berdasarkan data-data yang ada sehingga diharapkan dapat menjadi pertimbangan dalam pengambilan keputusan alternatif desain yang lebih terukur.

2. Mendapatkan kriteria pertimbangan desain yang menjadi acuan dalam penilaian sehingga memudahkan manajemen dalam proses evaluasi.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Dapat menjadi pertimbangan yang rasional dalam rekomendasi penetapan desain untuk rencana proyek jalur transmisi Holtekam – Angkasa Papua
2. Metode ini dapat menjadi metode tambahan dalam kajian-kajian penetapan/pemilihan infrastruktur ketenagalistrian ditempat kerja penulis.
3. Dapat menjadi tambahan referensi akademis dalam hal pemilihan desain transmisi yang terdapat 3 alternatif seperti SUTT, SKTT dan SKLTT
4. Membantu perusahaan yang sedang mengalami kondisi permasalahan pemilihan desain yang memiliki konsep permasalahan yang sama.
5. Sangat tepat untuk pemilihan project yang sudah memiliki data FS ataupun Detail desain.

1.5. Batasan Masalah

Penulis akan melakukan penelitian dengan menggunakan data-data yang ada (dokumen FS) dengan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Untuk Objek Alternatif Desain (SUTT, SKTT dan SKLTT) yang diteliti dengan ketentuan sebagai berikut:
 - a. Telah dipertimbangkan pada rute jalur transmisi terpendek dan efisien yang sesuai dengan kesesuaian tata ruang dan wilayah (RT/RW), area Kawasan hutan dan rencana perizinan prakonstruksi yang ada (SUTT, SKTT, SKLTT)
 - b. Telah mengacu pada kaidah operasi dan pemeliharaan yang sesuai dengan standar dan acuan yang berlaku di PLN (SUTT, SKTT, SKLTT)

- c. Telah mengacu pada peta laut yang tidak mengganggu kondisi organisme perairan ataupun jalur pelayaran laut berdasarkan peraturan yang berlaku (SKLTT).

Hal tersebut diatas telah diatur dalam dokumen FS sebelumnya, sehingga data yang akan disajikan dalam pembahasan tidak menyajikan lagi alur proses analisis desain secara detail.

2. Dari hasil penelusuran terhadap dokumen FS dari PLN Enjiniring, penulis mendapatkan beberapa kriteria yang dapat digunakan sebagai acuan selanjutnya sebagai kriteria utama dalam penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut :

- a. Aspek Teknis dan Biaya

Penelitian yang dilakukan berdasarkan acuan *Basic Design/Desk Study* yang ada dalam dokumen FS ataupun data lainnya yang dapat digunakan untuk proses hasil perhitungan desain dan esitimasi biaya masing-masing alternatif.

- b. Aspek Durasi Waktu Pekerjaan

Penelitian yang dilakukan dalam aspek ini meliputi hasil estimasi durasi pekerjaan pada masing-masing alternatif desain berdasarkan data basic design proyek yang terdapat pada dokumen Feasibility Study (FS)

- c. Aspek Risiko & Lingkungan

Penelitian yang dilakukan dalam aspek ini mengacu pada hasil kajian risiko yang dilakukan oleh PLN Enjiniring (PLNE) pada dokumen Feasibility Study (FS)

1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan Tesis ini akan disusun dalam 5 BAB dengan komposisi sebagai berikut:

1. BAB I Pendahuluan : Pada BAB ini penulis menguraikan latar belakang, perumusan masalah, maksud dan tujuan, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.
2. BAB II Tinjauan Pustaka : Pada BAB ini penulis akan menguraikan teori-teori pendukung yang terkait dengan penelitian penulis beserta penjelasan secara general terkait pengenalan opsi desain yang akan diteliti beserta kajian dasar dalam aspek alternatif desain dan pertimbangan aspek teknis yang terkait dengan proses perencanaan dan konstruksi. Dalam BAB ini juga penulis akan menyajikan kajian-kajian yang terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini dan bisa menjadi pertimbangan.
3. BAB III Metodologi Penelitian: Pada BAB ini penulis akan menguraikan metode penelitian yang digunakan dalam analisis serta Langkah Langkah dan tahapan yang akan dilakukan dalam proses analisis permasalahan.
4. BAB IV Analisis & Pembahasan: Pada BAB ini penulis akan menguraikan analisis yang dimiliki dengan menggunakan langkah yang telah dituangkan dalam BAB sebelumnya dan menggunakan metode penelitian untuk mendapatkan kuantifikasi yang selanjutnya

dilakukan proses pemodelan yang ada sampai mendapatkan hasil analisis.

5. BAB V Kesimpulan & Saran : Pada BAB ini penulis akan menuliskan kesimpulan terkait hasil analisis dan pemodelan yang sudah dilakukan pada BAB IV dan memberikan rekomendasi saran dari hasil analisis

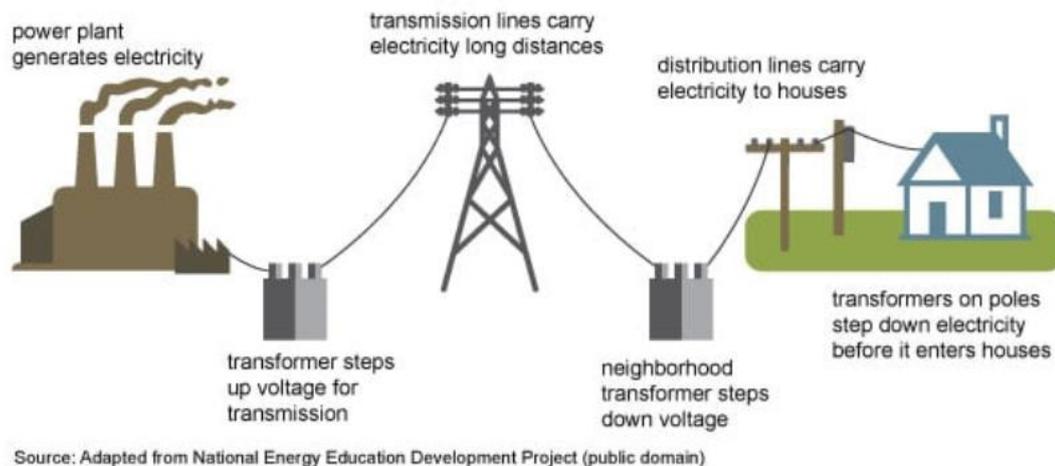
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transmisi Listrik

Transmisi listrik adalah merupakan suatu sistem dan peralatan yang digunakan untuk mengalirkan arus listrik dengan daya dan tegangan tertentu (tegangan rendah, tegangan menengah dan tegangan tinggi) dari suatu pembangkit ataupun pusat listrik menuju gardu induk distribusi dalam rangka mendistribusikan listrik sampai ke pengguna listrik (dalam hal ini konsumen/masyarakat). Ilustrasi penyaluran evakuasi daya dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 konsep penyaluran transmisi tenaga listrik

Pada umumnya lokasi dari suatu pusat listrik berada di daerah yang khusus agar tidak mengganggu dari sisi lingkungan dan mengurangi aspek sosial dari penduduk setempat. Untuk aliran daya listrik yang cenderung berada di sekitar pusat listrik dilakukan dengan menggunakan jalur distribusi khusus di tegangan menengah dan kemudian ditransformasi ke tegangan rendah untuk selanjutnya dialirkan ke masyarakat pengguna listrik melalui gardu-gardu hubung eksisting, namun disatu sisi untuk pusat beban (pengguna listrik) yang berada jauh dari lokasi pembangkit dengan jarak yang panjang dengan evakuasi daya yang besar cenderung menggunakan saluran transmisi listrik tegangan tinggi untuk evakuasi

daya dari pusat listrik menuju pusat beban melalui system gardu induk agar daya yang dievakuasi tidak mengalami penurunan tegangan (drop voltage) ataupun losses sehingga arus listrik yang berada di pusat beban berada dalam keadaan yang andal. Merujuk artikel sarjana terapan teknologi rekayasa elektro departemen Teknik elektro dan informatika Universitas Gajah Mada tanggal 25 juni 2018 (*m.budiyanto, 2018*) dan terdapat pembagian jenis tegangan sesuai kriteria voltase yang ada di indonesia sebagai berikut :

1. Tegangan Sangat Rendah, tegangan berkisar sampai 50 V. Tegangan Rendah (*Low Voltage = LV*), tegangan rendah berkisar antara 50 volt – 1000 volt (1 KV). Jenis kabel yang digunakan juga harus mampu digunakan pada tegangan 50 volt – 1000 volt (1 KV).
2. Tegangan Menengah (*Medium Voltage= MV*), tegangan menengah/MV berkisar 1000 Volt (1 KV) – 36.000 Volt (36 KV). Jenis kabel yang digunakan juga harus mampu digunakan pada tegangan 1 KV – 36 KV.
3. Tegangan Tinggi (*High Voltage =HV*), Tegangan Tinggi (*High Voltage*) berkisar 36 KV – 150.000 Volt (150 KV). Jenis kabel yang digunakan juga harus mampu digunakan pada tegangan diatas 36 KV – 150 KV.
4. Tegangan Ekstra Tinggi (*High Extra Voltage =HEV*), tegangan berkisar antara diatas 150 KV – 750 KV. Jenis kabel yang digunakan juga harus mampu digunakan pada tegangan diatas 150 KV – 750 KV.
5. Tegangan Ultra Tinggi (*High Ultra Voltage =HUV*), Tegangan Ultra Tinggi (*High Voltage*) berkisar diatas 750 KV. Jenis kabel yang digunakan juga harus mampu digunakan pada tegangan diatas 750 KV.

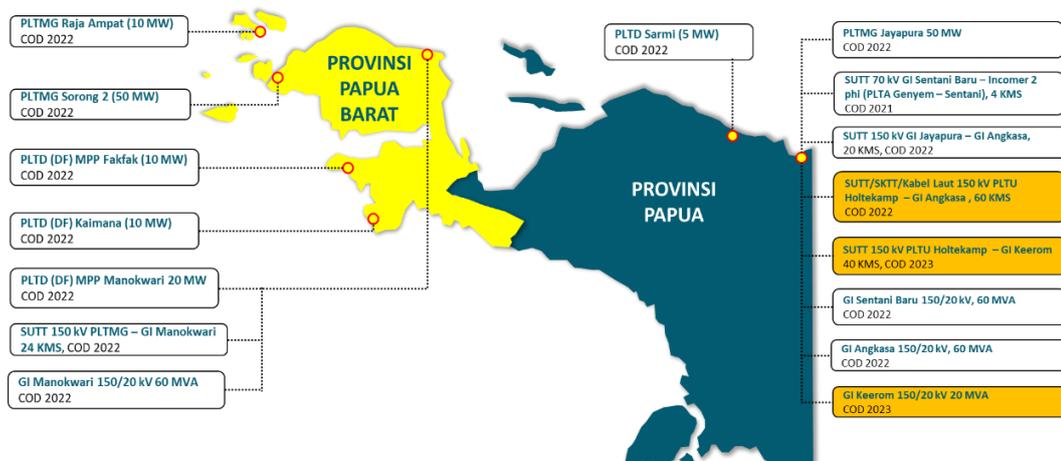
Dari klasifikasi diatas, pada umumnya untuk tegangan tinggi yang digunakan di Indonesia adalah system tegangan 70 kV dan 150 kV sesuai dengan daya yang ingin dievakuasi. Untuk mengurangi penurunan kualitas tegangan dan rugi-rugi daya di sepanjang saluran transmisi, maka dalam penyaluran energi listrik digunakan tegangan tinggi (*Arismunandar, 2001, Jurnal Surya Energy Vol 3 2019*)

Berdasarkan hal tersebut diatas, maka dalam hal evakuasi daya listrik tegangan tinggi dari pembangkit menuju lokasi gardu induk ataupun pusat beban dapat dilakukan dengan beberapa jenis transmisi sebagai berikut :

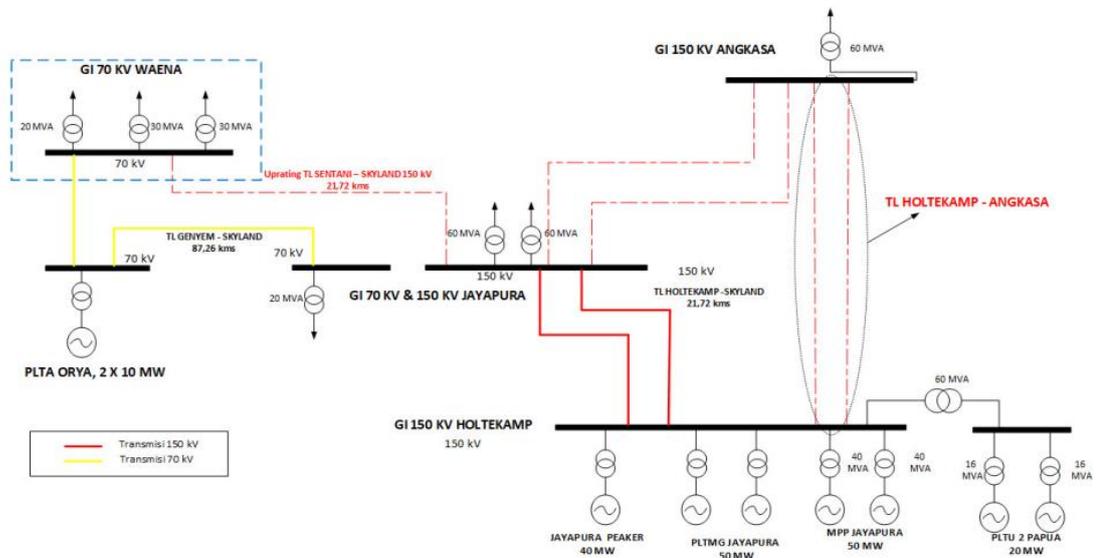
1. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)
2. Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT)
3. Saluran Kabel Laut Tegangan Tinggi (SKLTT)

Beberapa model diatas memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, sebagai contoh untuk bale yan ditanam di permukaan tanah (SKTT), media transmisi ini pada umumnya tidak terpengaruh oleh cuaca buruk, topan, hujan, angin, bahaya petir dan sebagainya. Saluran bawah tanah dipandang lebih estetik karena tidak mengganggu pemandangan sehingga dengan alasan ini saluran bawah tanah pada umumnya lebih sesuai dengan daerah yang padat penduduknya dan kota-kota besar. Beberapa pengalaman terkait biaya menghasilkan biaya yang jauh lebih mahal daripada pembangunan saluran udara. Biaya untuk operasional dan pemeliharaan juga cenderung lebih sulit apabila terjadi gangguan (*Rifal, Sukarno Budi Utomo, Muhamad Haddin, Prosiding Konferensi Ilmiah Unissula (KIMU) 2019*)

Penelitian yang dilakukan oleh penulis dalam tesis ini berdasarkan acuan RUPTL 2021-2023 yang dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.2. Peta umum Lokasi Rencana Proyek Infrastruktur Pembangkit, Gardu Induk dan Transmisi



Gambar 2.3. Single Line Diagram Kelistrikan Papua

Dari gambar 2.2 dan gambar 2.3 diatas dapat dilihat bahwa terdapat rencana pembangunan jaringan transmisi Holtekam – Angkasa dalam rangka keandalan jaringan listrik sehingga proses evakuasi daya dapat langsung dilakukan dari lokasi pembangkit Holtekam menuju daerah Angkasa Jayapura, Papua.

Untung melakukan analisa terkait alternatif yang ada, unit kerja penulis telah bekerjasama dengan konsultan ahli PLN Enjiniring untuk melakukan Kajian *Feasibility Study (FS)* terkait ketiga alternatif yang ada. Dari dokumen FS tersebut didapat rute acuan antara rencana ketiga alternatif yang akan digunakan pada gambar 2.4 dibawah ini. Dalam pembahasan ini, penulis akan melakukan pengembangan dari data FS yang ada untuk dilakukan penelusuran lebih lanjut berdasarkan rute yang telah ditetapkan tersebut. Sehingga dalam pemilihan desain yang lebih efektif harus diikuti dengan pertimbangan empiris dengan menggunakan parameter-parameter yang ada sehingga menghasilkan rekomendasi pilihan desain yang tepat dari sisi Biaya/Teknis, Durasi/waktu dan Risiko dan lingkungan.



Gambar 2.4. Alternatif Jalur Transmisi SUTT, SKTT dan SKLTT

2.1.1 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

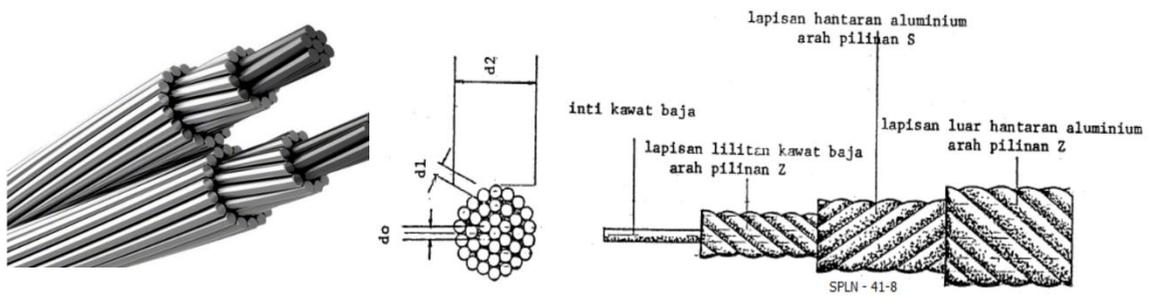
Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) adalah sarana/peralatan yang terbentang di udara yang bertujuan untuk menyalurkan daya tenaga listrik dari pusat pembangkit menuju ke gardu induk (GI) ataupun dari Gardu Induk ke Gardu Induk dengan menggunakan media kabel konduktor yang direntangkan antara tiang ke tiang (tower) melalui insulator-insulator dengan system tegangan tinggi (30 kV, 70 kV, 150 kV) (*symposium nasional RAPI XII-2013 FT UMS*).

Saluran Udara Tegangan Tinggi saat ini merupakan jenis transmisi yang sangat lazim digunakan dan paling banyak digunakan di Indonesia untuk hal evakuasi daya listrik dari pembangkit ataupun dari suatu Gardu Induk menuju Gardu Induk lainnya sampai ke pusat beban. Semua material untuk transmisi jenis ini pada umumnya dapat dengan mudah ditemukan di Indonesia, sehingga untuk bahan material utama yang digunakan seperti material tower dan material konduktor bukan jadi permasalahan utama dalam pelaksanaan pekerjaannya.



Gambar 2.5 SUTT Tower model Lattice (DED SUTT Angka 2020)

Gambar 2.5 diatas adalah ilustrasi gambar desain model SUTT type Lattice tower. Pada umumnya, Jenis Transmisi tegangan tinggi SUTT yang digunakan di Indonesia khususnya di daerah Papua saat ini menggunakan jenis SUTT 150 kV yang terbuat dari Menara Baja (Tower Lattice) atau sering juga disebut dengan Over Head Lines (OHL) dengan menggunakan jenis kawat penghantar ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced Cable). SUTT ini pada umumnya jadi prioritas utama untuk daerah yang memang masih memiliki cakupan area yang masih cukup luas seperti daerah Papua dan lebih ekonomis secara umum. Namun kondisi Papua dengan rawannya masalah sosial belum dapat dipastikan secara spesifik apakah ini dapat menjadi solusi tunggal untuk jalur evakuasi di wilayah ini. Untuk SUTT yang biasa digunakan adalah dengan menggunakan kabel konduktor udara ACSR 2 x Hawk. Kabel ACSR ini merupakan kawat penghantar yang terdiri dari beberapa kabel aluminium berinti kawat baja galvanis. Ilustrasi Gambar dapat dilihat pada Gambar 2.6 sebagai berikut :



Gambar 2.6 Kabel ACSR untuk SUTT (SPLN 41-7:1981)

Dalam kriteria desain tower SUTT mengacu ke SPLN T.5.004.2010, terdapat pengkategorian terkait tipe tipe tower berdasarkan karakteristiknya sebagai berikut:

- a. Tower Gantung (Suspension Tower) : Tower yang digunakan untuk menyangga penghantar atau konduktor pada kedua bentang untuk jalur transmisi yang relatif lurus dengan range sudut belok 0 derajat sampai dengan 3 derajat untuk SUTT
- b. Tower Sudut (Tension Tower) : Tower yang digunakan untuk menyangga penghantar atau konduktor pada kedua bentang untuk jalur transmisi yang mempunyai sudut belok sampai dengan 90 derajat untuk SUTT.
- c. Tower Ujung (Dead End Tower) : Tower yang digunakan untuk menyangga penghantar atau konduktor pada ujung jalur transmisi atau pada jalur transmisi dengan span pendek pada salah satu bentang (slack span) yang mempunyai sudut belok sampai dengan 60 derajat untuk SUTT.
- d. Tower transposisi : Tower sudut (tension tower) yang digunakan untuk merubah posisi fasa penghantar atau konduktor pada kedua bentang untuk jalur transmisi yang lurus.
- e. Type tower : Penggolongan tower berdasarkan pembagian besar sudut belok sebagai berikut :

Tabel 2.1 Type tower SUTT 150 kV berdasarkan sudut belok

No.	Type Tower	Sudut belok Jalur	Type Insulator
1	AA	0° - 3°	Gantung
2	BB	0° - 20°	Tarik
3	CC	20° - 40°	Tarik dengan jumper
4	DD	40° - 60°	Tarik dengan jumper
5	EE	60° - 90°	Tarik dengan jumper
6	DDR	0° - 60°	Tarik dengan jumper

Tabel 2.1 diatas merupakan acuan dalam menentukan tipe tower SUTT berdasarkan sudut rute jalur yang terjadi antara setiap titik tower. Sementara untuk rentang dasar (jarak antar tower) sesuai dengan standar SPLN T.5.004.2010 dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut ini :

Tabel 2.2 Rentang Dasar (Jarak tower) berdasarkan tegangan

No.	Jenis Kawat Penghantar	Tegangan (kV)	Rentang Dasar (m)	MWT (kg)
1	160-A1/SA1A-26/7	66	250	1700
2	250-A1/SA1A-26/7	150	350	2400
3	450-A1/SA1A-54/7	150	350	3400
4	316-A1/SA1A-26/7	150	350	3000
5	450-A1/SA1A-54/7	275	400	4600
6	400-A1/SA1A-54/7	500	500	4300
7	450-A1/SA1A-54/7	500	500	4700

Setelah menentukan type tower berdasarkan karakteristik dan kriteria-kriteria umum yang berlaku sesuai SPLN, maka selanjutnya untuk memitigasi terkait masalah lingkungan yang mungkin dapat terjadi, harus ditentukan area yang tepat dan sesuai dengan ketinggian tower SUTT harus mengacu pada jarak bebas (*Right Of Way/ROW*) yang mengacu pada Permen ESDM No 2, Tahun 2019 dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut :

Tabel 2.3 Jarak Ruang Bebas SUTT 150 kV

No	Lokasi	Jarak Bebas Minimu SUTT (dalam meter)		Jarak Bebas Minimu SUTET (dalam meter)		Jarak Bebas Minimu SUTTAS (dalam meter)	
		66 kV	150 kV	275 kV	500 kV	250 kV	500 kV
1	Lapangan terbuka atau daerah terbuka a)	7,5	8,5	10,5	12,5	7,0	12,5
2	Daerah dengan keadaan tertentu						
	-Bangunan, jembatan b)	4,5	5,0	7,0	9,0	6,0	9,0
	-Tanaman/tumbuhan, hutan, perkebunan b)	4,5	5,0	7,0	9,0	6,0	9,0
	-jalan/jalan raya/rel kereta api a)	8,0	9,0	11,0	15,0	10,0	15,0
	-Lapangan umum a)	12,5	13,5	15,0	18,0	13,0	17,0
	-SUTT lainnya, Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR), Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), Saluran Udara komunikasi, antena dan kereta gantung b)	3,0	4,0	5,0	8,5	6,0	7,0
	-Titik tertinggi pada tiang kapal pada kedudukan air pasang/tertinggal pada lalulintas air b)	3,0	4,0	6,0	8,5	6,0	10,0

- a) Jarak bebas minimum vertikal dihitung dari konduktor ke permukaan bumi atau permukaan jalan/rel
 b) Jarak bebas minimum vertikal dihitung dari konduktor ke titik tertinggi/terdekatnya

f. Pertimbangan sesuai dengan tahapan konstruksi.

Dalam pelaksanaannya pekerjaan konstruksi SUTT ini akan meliputi tahapan utama sebagai berikut :

1. Proses Survey dan Penentuan akses jalur masuk ke Titik tower

Dalam hal ini dilakukan survey secara menyeluruh meliputi survey topography disepanjang jalur rute rencana SUTT dan pekerjaan soil investigation di setiap titik lokasi titik tapak tower. Dalam hal ini banyak permasalahan sosial yang terjadi saat proses awal dan membuat jalur akses masuk menuju titik tower dikarenakan pada umumnya jalur ini tidak dibebaskan namun terdapat pekerjaan didalamnya.

2. Proses mobilisasi dan langsir material dan personil

Dalam hal ini dilakukan mobilisasi peralatan-peralatan kerja, material dan supporting ke lokasi titik tower, Sebagian peralatan didatangkan dari luar seperti alat stringing ke lokasi jalur dan tenaga ahli spesialis untuk pekerjaan *erection* (perakitan struktur tower) dan *stringing* (memasang kabel konduktor pada tower).

3. Pekerjaan Pondasi

Setelah peralatan, material sudah dimobilisasi ke lokasi maka akan dilakukan pekerjaan pondasi untuk setiap titik tower beserta dengan persiapan langsir material besi tower untuk persiapan pekerjaan selanjutnya.

4. Pekerjaan *Erection Tower* (Pemasangan Struktur Tower)

Setelah pondasi selesai dikerjakan dan material besi tower sudah dilokasi maka selanjutnya dilakukan pekerjaan erection tower untuk merakit besi-besi tower sampai membentuk satu konstruksi tower yang utuh.

5. Pekerjaan *Right Of Way* (ROW)

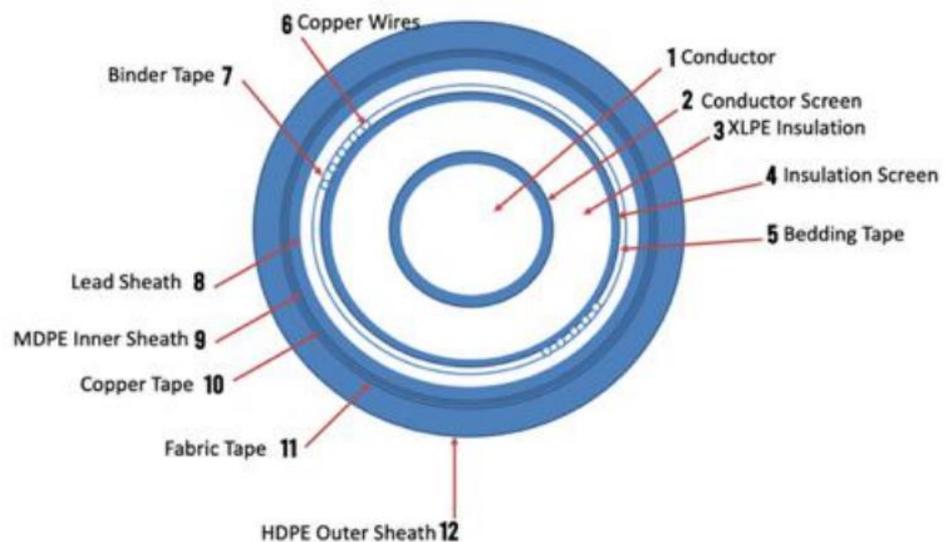
Seiring dengan pekerjaan erection dan pondasi, pada umumnya paralel dilakukan pekerjaan right of way yang meliputi proses pembersihan jalur yang berada dibawah rencana rute transmisi sehingga pada fase ini akan terjadi banyak permasalahan sosial yang harus dipertimbangkan mengingat tanah yang dilalui rute ini tidak dilakukan pembebasan lahan namun hanya berupa kompensasi sesuai dengan peraturan Menteri ESDM No 27 Tahun 2018 terkait kompensasi atas tanah, bangunan dan tanaman yang berada dibawah ruang bebas saluran udara tegangan tinggi dan saluran udara tegangan ekstra tinggi.

6. Pekerjaan Pekerjaan Stringing

Setelah pekerjaan konstruksi tower selesai dilaksanakan dan proses ROW sudah selesai maka akan dilanjutkan dengan proses pekerjaan stringing untuk pemasangan kabel konduktor SUTT kesemua tower sehingga selanjutnya SUTT dapat beroperasi,

2.1.2 Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT)

Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) adalah sarana/peralatan yang disiapkan dalam rangka evakuasi daya listrik dari suatu pembangkit ataupun gardu induk dengan menggunakan kabel yang dibentangkan didalam tanah dengan metode tertentu baik dengan cara pengeboran ditanah (HDD) maupun dengan cara penggalian tanah seperti layaknya drainase (open trench). Di jaman saat ini SKTT dengan kabel XLPE (Cross Linked Poly Ethylene) menjadi pilihan yang menarik untuk jalur transmisi yang berada di daerah yang padat dengan penduduk ataupun daerah kota dalam hal estetika. Berbeda dengan Saluran Udara, SKTT ini dilapisi dengan insulasi yang tahan sampai dengan suhu 90 derajat celcius. Bila ditempatkan pada suhu yang diatas 90 derajat kabel ini akan mengalami percepatan kerusakan (*B Kukharchuck IOP Material Science & Engineering 2018*). Sehingga dalam penerapannya harus dilakukan survey yang detail untuk kondisi eksisting media ataupun tanah. Kegiatan perencanaan dan pelaksanaan SKTT ini harus mengikuti Peraturan Menteri Nomor 10 tahun 2021 tentang Keselamatan Ketenagalistrikan dan SPLN. Ilustrasi penampang kabel tanah dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut ini.



Gambar 2.7 Konstruksi Kabel XLPE

Tabel 2.4 Spesifikasi Kabel XLPE SKTT 150 kV

Deskripsi	Unit	Proposed and Guarantee
Tegangan antar Fasa	kV	150
Jumlah Konduktor (n)	-	1
Jenis Konduktor	-	Tembaga
Luas Penampang Konduktor (A)	mm ²	2000
Diameter Isolasi XLPE (D_i)	mm	98,4
Diameter Konduktor (d_c)	mm	55
Ketebalan Isolasi XLPE (t_1)	mm	19
Ketebalan Pelindung Luar (t_3)	mm	4,5
Diameter MDPE Sheath (D'_a)	mm	119
Diameter terluar kabel (D_e)	mm	130
Tahanan Konduktor pada 20 °C	ohm/m	0,0090 × 10 ⁻³
Suhu Maksimum Operasi	°C	90
Jarak antar Konduktor	mm	200
Tahanan Termal Tanah (ρ_T)	K.m/W	1

Tabel 2.4 diatas menunjukkan spesifikasi kabel tanah yang pada umumnya digunakan untuk tegangan 150 kV. Dalam konsep awal perencanaannya, perhitungan analisa kuat hantar arus dari kabel XLPE 150 kV harus membandingkan antara 2 metode yaitu metode konvensional HDD dengan metode Open Trench ataupun Cable Bridge. Bilamana ditemukan hasil nilai kapasitas hantar arus lebih besar pada salah satu metode maka metode tersebut yang lebih tepat untuk digunakan (Sekararum Adianita Putri, Syamsir Abduh, Ishak Kasim *Jurnal Baut & Manufaktur* 2021).

a. Metode Konvensional (HDD)

Metode konvensional ini adalah metode yang sangat umum dilakukan untuk pekerjaan Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) yang mana penggalaran kabel SKTT yang digunakan dengan cara *Horizontal Directional Drilling (HDD)* yaitu dengan melakukan pengeboran sepanjang jalur yang telah direncanakan. Sehingga dalam pekerjaan ini tidak dibutuhkan media khusus untuk tempat penggalaran kabel seperti

jalur drainase namun langsung masuk melalui titik bor yang telah dilakukan. Ilustrasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2.8 Ilustrasi Metode HDD pada SKTT

Dalam proses ini terlebih dahulu dilakukan pengecekan terkait suhu yang ada pada tanah eksisting jalur yang hendak dilakukan agar memastikan jalur tersebut masih sesuai dengan Batasan yang ditentukan.

Dalam pelaksanaannya, setelah dilakukan proses pemilihan lokasi dan penelitian tanah di rencana jalur SKTT maka dalam hal konstruksi tahapan-tahapan yang dilakukan sebagai berikut :

1. Pilot Hole.

Dalam hal ini dilakukan pengeboran awal di beberapa titik inti dan memasukkan string bor berdiameter tertentu dengan kemiringan sudut bor sesuai dengan yang direncanakan mengikuti karakteristik tanah

2. Reaming.

Setelah lubang pilot berhasil dibor maka dilakukan perbesaran lubang mata bor dengan diameter yang sesuai dengan rencana kabel yang akan dilakukan.

3. Pull Back.

Setelah lubang diperbesar saat fase reaming maka kemudian kabel ditarik melalui pullback. Alat ini menggunakan konsep rotasi untuk

membesarkan lubang ke dalam pipa string dan selanjutnya melanjutkan pengeboran sesuai jalur.

4. Drilling and Steering

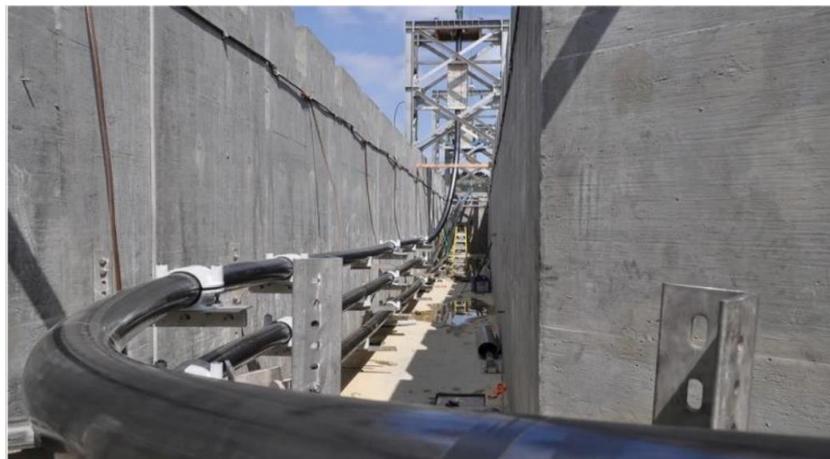
Proses pengeboran dilanjutkan dengan konsep lubang melengkung horizontal dengan alat khusus sehingga bilamana diperlukan adanya perubahan arah, proses drilling bisa tetap dilanjutkan.

5. Tracking

Pada proses ini, dilakukan pengecekan terhadap posisi, kedalaman dan orientasi kepala pengeboran untuk memastikan jalur pengeboran sudah sesuai dengan yang direncanakan.

b. Metode Pemasangan Jembatan (Trench/Cable Bridge)

Metode ini dilakukan dengan cara menggunakan suatu media khusus untuk penggelaran kabel yang bisa berupa open trench (saluran) ataupun duct yang dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut :



Gambar 2.9 Ilustrasi Metode Cable Bridge/trench pada SKTT (Western Transition Station T&D World)

Dalam hal ini pekerjaan penggelaran kabel membutuhkan lahan yang lebih luas dan pekerjaan yang cukup banyak yang meliputi penggalian tanah, pembuatan akses ataupun media seperti duct ataupun drainase beserta dengan penutup cover beton.

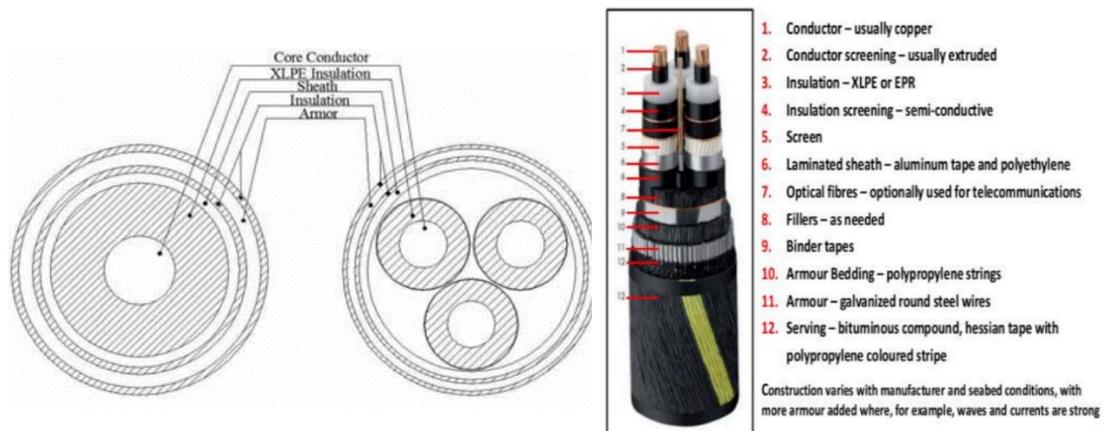
2.1.3 Saluran Kabel Laut Tegangan Tinggi (SKLTT)/Submarine Cables

Saluran Kabel Laut Tegangan Tinggi adalah salah satu jenis transmisi yang digunakan untuk mengalirkan daya listrik dengan tegangan rendah ataupun tegangan tinggi dari suatu pembangkit menuju pusat beban dengan cara meletakkan kabel laut didasar laut. Penggunaan Saluran Kabel Laut Tegangan Tinggi (SKLTT) ini banyak digunakan juga untuk mengalirkan listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Angin Lepas Pantai menuju daratan atau pusat beban terdekat ataupun juga digunakan pada satu system interkoneksi. Pemilihan jenis kabel yang sesuai dengan karakteristik air laut setempat akan mempengaruhi kualitas evakuasi daya listrik dan mempengaruhi rugi rugi daya yang terjadi sehingga parameter kabel ini harus di evaluasi dengan baik agar dapat berfungsi dengan baik. Keandalan performa dari SKLTT ini dipengaruhi oleh variable sebagai berikut :

- a. Kondisi tegangan ujung pusat beban
- b. Kondisi daya aktif
- c. Kondisi daya reaktif
- d. Nilai Efisiensi

Parameter kabel yang digunakan di evaluasi berdasarkan kondisi medan magnet listrik yang ditentukan oleh aliran daya didalam kabel yang ditentukan oleh material geometri kabel itu sendiri. Material tersebut dapat mempengaruhi tingkat keandalan dari daya listrik yang dialirkan. Terdapat beberapa tantangan dalam masalah keandalan juga yang berdasarkan oleh kondisi ketinggian gelombang dan kecepatan arus bawah laut sehingga untuk kondisi dengan tingkat gelombang dan kecepatan arus bawah laut yang tinggi dengan Panjang jalur yang signifikan maka hasil dari daya dialirkan perlu dipertimbangkan dengan menggunakan SUTT bila memungkinkan (*MacNeill, El-Hawary, Molloy Journal of Ocean Technology 2013*).

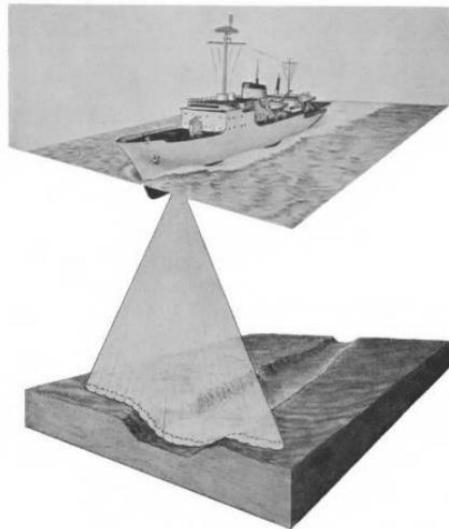
Saluran kabel laut ini harus dilapisi dengan lapisan insulasi untuk memastikan core conductor tidak tersentuh langsung dengan air laut dan tidak terdapat tidak ada toleransi terhadap kebocoran yang menyebabkan air laut masuk kedalam inti kabel konduktor. Pada insulasi kabel pada umumnya dilapisi dengan bahan timbal, alumunium, tembaga ataupun bahan polimer lainnya untuk menjaga air ataupun uap air masuk kedalam celah-celah insulasi. Timbal adalah jenis logam yang lebih efektif yang digunakan sebagai lapisan luar untuk menjaga kelembaban pada lapisan insulasi (Worzyk, 2009; Pieroni and Fellows, 1979; Thue, 1998). Ilustrasi komponen kabel laut dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut :



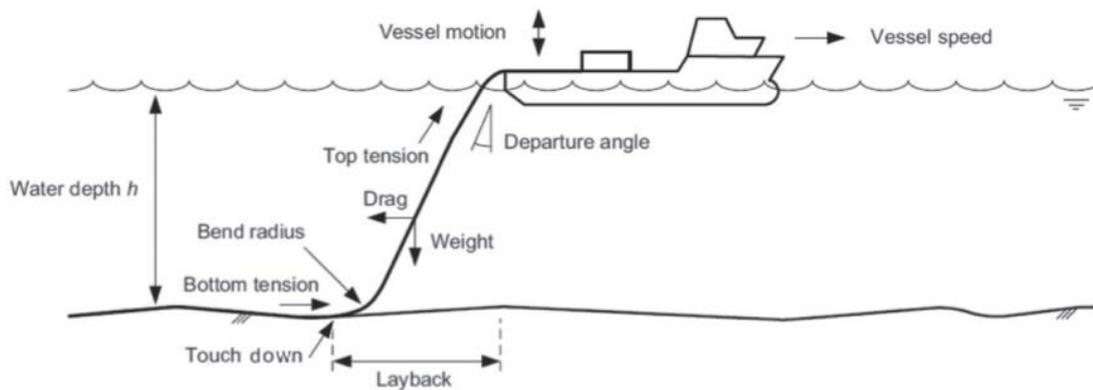
Gambar 2.10 Ilustrasi Model Geometri Kabel laut (Journal of Ocean Technology 2013)

Dalam proses konstruksi, pekerjaan kabel laut ini merupakan hal yang tidak mudah untuk dilaksanakan karena harus mempertimbangkan banyak aspek seperti draft kedalaman dasar laut, panjang kabel yang dibutuhkan dan kondisi tanah eksisting dasar laut. Hal ini dilakukan karena material yang digunakan harus menggunakan material yang solid dan sedapat mungkin untuk menghindarkan sambungan (jointing) untuk jarak yang tidak signifikan sehingga dalam survey dan perencanaan harus dalam keadaan yang matang dan presisi sehingga untuk melakukan desain yang akurat harus membutuhkan banyak data seperti : peta topography, study

bathymetry, peta side scan sonar, anomaly magnetic, dan sub bottom profile untuk mengetahui informasi dasar laut lainnya.



Gambar 2.11 Ilustrasi multibeam sonar (Glenn MF1970)



Gambar 2.12 Ilustrasi skema laying/menggelar SKLTT (Louise Vabeno- Journal of Energy Production 2018)

Pada Gambar 2.11 diatas dapat dilihat ilustrasi pengambilan data kondisi medan yang akan dilalui kabel laut. Pengambilan data tersebut dilakukan dengan alat multibeam sonar untuk data yang akurat, namun untuk data awal dapat diperoleh dari data sekunder yang bersumber dari peta BMKG ataupun kementerian perhubungan terkait. Untuk penggelaran kabel dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 2.12

Tabel 2.5 Kriteria utama dalam instalasi SKLTT (Louise Vabeno-Journal of Energy Production 2018)

Stage	Criteria	Response description
Cable laying	$T < T_{allowable}$	Reduce the top tension, while keeping $T > T_{critical}$. Top tension must never exceed cable or CLV's tension capacity.
	$T_{residual\ bottom\ tension} > 0$	Increase $T > T_{critical}$ to assure no compression in cable and no looping of cable
	$R_{min} > MBR$	Increase tension. No bending in cable smaller than the cables MBR-limit. Tension in cable must always be $T > T_{critical}$
Cable jointing	Cyclic bending < Fatigue limit	Cyclic bending of cable must never exceed fatigue limit
Cable protection	Flat seabed surface (desirable)	Route survey, seabed clearing
	No point load on cable	Reduced bottom tension over irregular seabed to avoid cable suspension, while keeping $R_{min} > MBR$ and $T > T_{critical}$.
	No VIV in cable	$L_s/D < 30^{[1]}$, minimize length of suspensions
	Cable stability	Avoid suspensions if possible. Cable protection: Burial, rock placement, external protection
	No snag- or impact load in cable	Cable protection: Burial, rock placement, external protection
	No exposure of cable ^[2]	Inspection, re-burial, external protection

^[1] Where L_s is the suspension length and D is the outer diameter of the cable.

^[2] Where protection is needed, to ensure stability and safety of the cable.

Beberapa hal utama dalam kriteria desain SKLTT ini dapat dilihat pada Tabel 2.5 diatas. Dari data yang ada diketahui terkait kegagalan kabel bawah laut menunjukkan bahwa resiko eksternalnya seperti faktor alam dan kegiatan manusia mencapai tiga sampai lima kali lebih tinggi dibandingkan resiko internalnya (*Bhawana 2014*). Namun bila kondisi perencanaan yang sudah matang dan kondisi lokasi yang tepat, pekerjaan konstruksi kabel laut ini akan lebih mudah untuk dilaksanakan dengan waktu yang lebih cepat dibanding jenis transmisi lainnya mempertimbangkan faktor sosialnya. Disisi lain bila ditinjau dari sisi regulasi, harus terdapat pertimbangan terkait alur pelayaran laut. Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM 68 tahun 2011 tentang alur pelayaran laut dan Jurnal ECOTIPE Volume 6 No 2 tahun 2019, terdapat pembagian segmen yang perlu diperhatikan dalam proses penggelaran kabel dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Landing Point untuk area pasang tertinggi (HWL)
Di segmen area pantai kabel laut harus diproteksi dengan menggunakan cable duct dengan tinggi concrete duct sekitar 1 – 1,5 meter dan dipendam 1 meter dari permukaan tanah.
2. Area Pasang tertinggi (HWL)- surut terendah (LLWL)
Pada segmen area ini kabel laut harus diproteksi dengan dipendam sedalam 4 meter dibawah sea bed dengan metode plowing.
3. Area Surut terendah (LLWL) – kedalaman laut 20 m
Pada segmen area ini kabel laut harus diproteksi dengan dipendam 4 meter dibawah seabed dengan menggunakan trenching.
4. Kedalaman laut 20 m-kedalaman laut 40 meter.
Pada segmen area ini kabel laut dipendam pada 2 meter dibawah seabed dengan menggunakan trenching
5. Kedalaman laut 40 meter – kedalaman laut 80 meter
Pada bagian ini kabel laut diproteksi dengan pemendaman 1 meter dibawah seabed
6. Kedalaman laut 80 meter – kedalaman laut 200 meter
Pada segmen area ini tidak ada prasyarat khusus terkait pemendaman kabel selain mempertimbangkan historical buang jangkar kapal dan arus bawah laut sehingga untuk kondisi tertentu digunakan concrete matrass untuk proteksi mekanis agar kabel tidak bergerak
7. Kedalaman laut 200 m – kedalaman terdalam
Pada kedalaman ini kabel laut hanya digelar saja diatas permukaan *sea bed*.

2.2 Proses Pengambilan Keputusan

2.2.1 Fase pengambilan keputusan

Dalam proses pengambilan keputusan yang akan digunakan dalam penelitian ini, penulis akan menerapkan pola konsep berpikir sesuai dengan konsep Herbert A Simon (1977) sebagai berikut :

a. Fase Penelusuran (*Intelligence*)

Dalam fase ini dilakukan pemahaman dan identifikasi secara menyeluruh terkait lingkup permasalahan yang akan diselesaikan mengacu pada data-data yang dimiliki.

b. Fase Perancangan (*Design*)

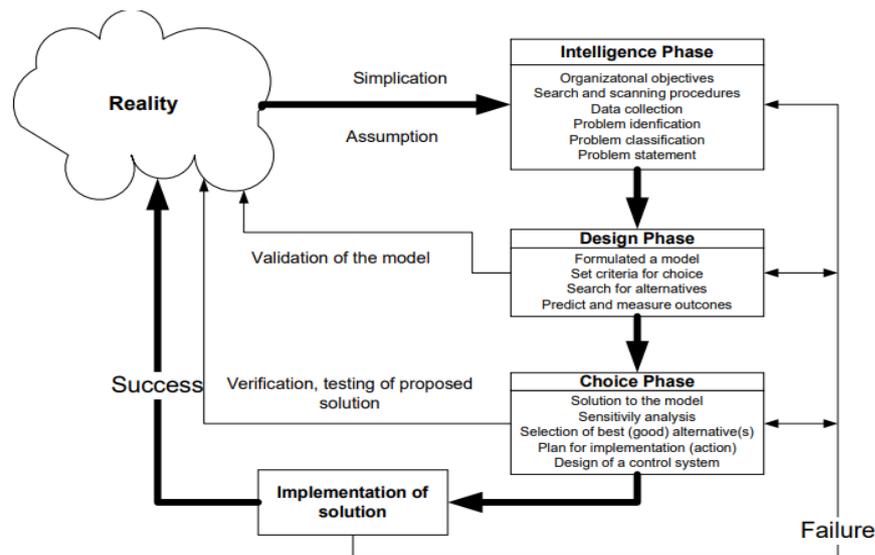
Dalam fase ini dilakukan pemetaan terkait alternatif yang tersedia dan menetapkan objek yang menjadi kriteria penilaian. Dalam hal ini juga akan dilakukan perencanaan terhadap nilai pengukuran yang tepat yang menggambarkan situasi kriteria yang akan dinilai sehingga dengan adanya nilai pengukuran tersebut, selanjutnya dapat dilakukan pemodelan sesuai dengan metode yang dipilih untuk menghasilkan keputusan yang terukur.

c. Fase Pemilihan (*choice*)

Dalam fase ini dilakukan pemilihan terhadap solusi yang ada berdasarkan pemodelan yang sudah dilakukan dengan menggunakan nilai yang ditentukan pada fase design. Hasil yang didapatkan dalam fase ini tentunya sudah merupakan hasil yang lebih rasional, terukur dan berdasar. Oleh sebab itu selanjutnya penulis akan membuat suatu rekomendasi berdasarkan hasil yang didapatkan.

Dari ke tiga tahapan dan fase tersebut diatas dapat dilihat juga pada ilustrasi Gambar 2.13 dibawah ini. Hal ini menunjukkan sistematika dan tahapan bagaimana suatu keputusan tersebut dilakukan. Sebuah keputusan yang didapatkan tentunya adalah hasil yang terukur dan rasional sehingga diharapkan dengan adanya suatu metode yang akan dilakukan ini dapat menjadi acuan dalam rekomendasi yang akan disajikan oleh penulis kepada penanggung jawab pengambil keputusan (pimpinan unit kerja).

Dalam rangka proses evaluasi dalam menentukan keputusan, peneliti harus dapat menyajikan secara terstruktur bagaimana proses evaluasi keputusan tersebut dapat terjadi dalam setiap tahap sehingga pengambil keputusan dapat dengan optimis dalam menetapkan suatu keputusan. Tidak ada keputusan yang salah, yang ada adalah konsep yang berbeda dalam menentukan alur pemecahan masalah.



Gambar 2.13 Fase system keputusan (Turban dkk, 2005)

Dengan mengacu pada Gambar 2.13 diatas, menurut Ciptomulyono (2010) dalam melakukan pengambilan keputusan yang rasional dapat mengikuti tahapan sebagai berikut :

- a. Melakukan identifikasi situasi keputusan yang terkait dengan masalah yang akan diselesaikan,
- b. Membuat klarifikasi tujuan yang diinginkan oleh pengambil keputusan,
- c. Membangkitkan berbagai alternatif untuk mencapai tujuan yang diinginkan,
- d. Mendapatkan solusi yang tepat dari model dan melakukan evaluasi berdasarkan criteria penilaian yang ditetapkan,
- e. Memilih dan merekomendasikan implementasi alternative solusi keputusan kedalam problem nyata.

2.2.2 Multi Criteria Decision Making (MCDM)

Dalam proses pengambilan keputusan multikriteria (*Multiple Criteria Decision Making*), konsep yang harus dipertimbangkan dalam proses pengambilan keputusan adalah adanya kriteria penyusun pertimbangan keputusan. MCDM merupakan metode dan konsep untuk mendapatkan solusi optimal dari beberapa alternatif yang tersedia. Pada BAB Pendahuluan Tabel 1.3 telah dijelaskan beberapa contoh

metode MCDM yang menurut pemahaman penulis dapat diaplikasikan dalam penelitian ini. Menurut Hwang dan Yoon (1981) membagi taksonomi keilmuan pengambilan keputusan menjadi 2 pendekatan yang berbeda sebagai berikut :

Tabel 2.6 Metoda MADM dan MODM

Elemen Keputusan	Metoda Multiatribut (MADM)	Metoda Multiple Objektif (MODM)
Kriteria	atribut	objektif
Objektif	implisit	eksplisit
Atribut	eksplisit	implisit
Kendala	pasif	aktif
Alternatif	jumlah terbatas	jumlah tidak terbatas dan kontinu (integer)
Interaksi	jarang	lebih sering
Pemakaian	problem seleksi dan pemilihan alternatif	problem konsepsi dan rekayasa

Source: HWANG et Yoon. [1981]

Dari Tabel 2.6 tersebut diatas dapat dilihat perbandingan perspektif utama dalam penggunaan konsep MADM dan MODM. Menurut Ciptomulyono (2010) pada MODM (*Multi Objective Decision Making*), aktivitas keputusan yang dirupakan sebagai variabel keputusan yang dicari (variabel kontinu) tidak ditetapkan terlebih dahulu sehingga dalam penentuan alternatif dalam jumlah tidak terbatas. Fungsi objektif yang berjumlah lebih dari 2 objektif yang harus dioptimalkan secara simultan dan kendala system keputusan dibentuk dari variable ini dalam bentuk fungsi matematis. Bila terdapat dua fungsi objektif yang saling bertentangan maka pencapaian suatu solusi optimal pada fungsi objektif yang satu akan mengurangi pencapaian objektif yang lain. Proses penyelesaian model multiobjektif ini secara teknis memerlukan informasi mengenai preferensi subjektif dari pengambil keputusan (dalam bentuk pembobotan) sehingga persoalan pembobotan dan preferensinya menjadi peranan kunci dalam pengembangan dan riset penyelesaian model MODM. Sementara menurut Ciptomulyono (2010), untuk pendekatan MADM (*Multi Attribute Decision Making*) memiliki konsep permasalahan pemilihan ataupun seleksi, tidak diperlukan pendekatan fungsi matematis kompleks dimana variabel keputusan yang dipertimbangkan merupakan variabel diskrit yang terbatas dan tertentu sehingga MADM ini berfungsi sebagai alat bantu keputusan melalui eksplorasi komponen keputusan itu sehingga mempermudah pengambil

keputusan dalam mengidentifikasi pilihan yang paling terbaik yang terukur. Secara metodologis pada MADM, penggunaannya didasarkan cara melakukan *agregasi* dari kriteria pilihan (Maystre et al, 1994). Pendekatan untuk agregasi tersebut dapat dilakukan dengan metode AHP, ANP, TOPSIS dan metode lainnya.

Berdasarkan teori-teori tersebut diatas maka penulis akan menggunakan jenis pendekatan MADM dengan metode TOPSIS untuk menganalisa variabel keputusan dalam penelitian ini. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya oleh penulis pada BAB Pendahuluan, dari beberapa metode pendekatan MADM yang ada, metode TOPSIS dianggap lebih tepat karena menggunakan hasil secara apa adanya dari perhitungan masing-masing kriteria sehingga menghasilkan perhitungan yang lebih konsisten.

2.2.3 Metode TOPSIS

TOPSIS (*Technique For Others Preference By Similiarity To Ideal Solution*) merupakan salah satu metode MADM yang dilakukan dalam rangka pengambilan keputusan yang tersusun dari beberapa kriteria (multi kriteria). Metode ini diperkenalkan oleh Yonn dan Hwang tahun 1981. TOPSIS ini menggunakan prinsip bahwa alternatif yang dipilih adalah harus mempunyai jarak terdekat dari solusi ideal positif dan memiliki jarak terjauh dari solusi ideal negatif.

Solusi ideal positif didefinisikan sebagai jumlah dari seluruh nilai terbaik yang dapat dicapai untuk setiap atribut, sedangkan solusi ideal negative merupakan seluruh nilai terburuk yang dicapai untuk setiap atribut.

Sehubungan dari jumlah kriteria ataupun atribut yang diteliti sehingga disebut Multiple Criteria Decision Making (MCDM). MCDM ini digunakan sebagai alat untuk mengambil keputusan dengan memilih alternatif yang terbaik dari sejumlah alternatif yang ditawarkan. Metode TOPSIS ini digunakan sebagai upaya menyelesaikan permasalahan Multiple Criteria Decision Making ini. Adapun tahapan yang dilakukan dalam proses TOPSIS sebagai berikut :

a. Menentukan kriteria

Dalam hal ini misalkan $A = \{a_i \mid i = 1, \dots, n\}$ adalah himpunan alternatif-alternatif keputusan dan $C = \{c_j \mid j = 1, \dots, m\}$ adalah himpunan tujuan yang diharapkan, maka akan ditentukan alternatif x^0 yang memiliki derajat harapan tertinggi terhadap tujuan-tujuan yang relevan c_j (Zimmermann, 1991 in Sri Kusumadewi 2006).

b. Normalisasi matriks keputusan

Dalam hal ini Model Multi Atribut Decision Making (MADM) adalah mengevaluasi m alternatif A_i ($i = 1, 2, \dots, m$) terhadap sekumpulan atribut atau kriteria C_j ($j = 1, \dots, n$), dimana setiap atribut saling tidak bergantung satu dengan yang lainnya. Matriks keputusan setiap alternatif terhadap setiap atribut, X diberikan sebagai :

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

c. Menghitung Matriks ternormalisasi

Dalam hal ini dilakukan normalized decision matrix sebagai berikut :

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Elemen r_{ij} hasil dari normalisasi decision matrix R , dimana :

r_{ij} = Matriks ternormalisasi

x_{ij} = nilai/harga alternatif I untuk j kriteria

d. Melakukan pembobotan pada matrix yang telah dinormalisasikan.

Diberikan bobot $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ sehingga *weighted normalized matrix* V sebagai $y_{ij} = w_i r_{ij}$ berikut :

e. Menghitung Matriks Solusi Ideal Positif dan Matriks Solusi Ideal Negatif

Solusi ideal positif dari solusi ideal negative dapat ditentukan berdasarkan rating bobot ternormalisasi.

$$\begin{aligned} A^+ &= (Y_1^+, Y_2^+, Y_3^+, \dots, Y_n^+) \\ A^- &= (Y_1^-, Y_2^-, Y_3^-, \dots, Y_n^-) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

A^+ = Solusi ideal positif

A^- = Solusi ideal negatif

y = Matriks ternormalisasi terbobot

Dalam tahapan ini ditentukan kriteria yang dapat sejalan dengan kriteria cost ataupun kriteria benefit sehingga dapat ditemukan nilai maksimum dan minimum yang tepat yang dapat menjadi solusi ideal positif dan solusi ideal negatif. Untuk kriteria *cost* adalah kriteria yang dapat dianggap menghasilkan nilai output terendahnya sebagai nilai maksimum, sementara untuk kriteria *benefit* adalah kriteria yang hasil outputnya semakin tinggi menjadi nilai maksimumnya.

- f. Menentukan jarak antara nilai setiap alternatif dengan matriks solusi ideal positif dan matrik solusi ideal negatif.

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_i^+)^2} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

D_i^+ adalah jarak alternatif dari solusi ideal positif

Dan jarak terhadap solusi negative-ideal didefinisikan sebagai :

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_i^-)^2} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

D_i^- adalah jarak alternatif dari solusi ideal negative

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

y_{ij} = nilai terbobot

- g. Menghitung kedekatan relative terhadap solusi ideal

$$V = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

V_i = Kedekatan relative terhadap solusi ideal

h. Melakukan ranking Alternatif.

Alternatif dilakukan berdasarkan urutan V_i . Maka dari itu, alternatif terbaik adalah salah satu yang berjarak terpendek terhadap solusi ideal positif dan berjarak terjauh dari solusi ideal negatif.

2.3 Penelitian terdahulu terkait perbandingan Alternatif Jalur Transmisi

Selain beberapa literatur teori yang digunakan untuk melakukan penelitian terkait basic desain masing-masing alternatif yang telah dijelaskan pada pasal 2.1 dan pasal 2.2, juga terdapat beberapa penelitian terdahulu yang menjadi tambahan acuan dalam menambah perspektif pemahaman untuk tambahan acuan dalam penetapan kriteria evaluasi desain yang selanjutnya yang dapat dilihat pada tabel 2.7 berikut.

Tabel 2.7 Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan alternatif

Peneliti	Judul	Variabel	Metode Analisa
Edy Roy A (2021)	Underground Cable Line Construction for Sustainability Electric Power Transmission in City Centers	Perbandingan Overhead Line Transmission (SUTT) dan Underground Cable Line (SKTT) 500 kV	Cost Benefit Analysis
Central Electricity Authority (2018)	Guidelines For Use of Under Ground Cable System and Overhead Conductor system along with Cost Benefit Analysis	Perbandingan Overhead Line Transmission (SUTT) dan Underground Cable Line (SKTT)	Cost Benefit Analysis
Dodi Angga Kusuma (2017)	Model Penilaian Kontraktor pada proyek ketenagalistrikan menggunakan metode AHP dan Fuzzy TOPSIS	Aspek administrasi, teknis dan aspek harga	AHP dan TOPSIS
da Silva et.al (2021)	Deciding a Multicriteria Decision Making (MCDM) Method to Prioritize Maintenance Work Orders of Hydroelectric Power Plants	Jenis-Jenis MCDM berdasarkan pekerjaan	AHP, Decision Question-Answer, Diagram Strengths & Weakness

Dari beberapa penelitian tersebut diatas yang pernah dilakukan tahun 2018 dan 2021 ditemukan bahwa terdapat beberapa persamaan terkait asumsi dalam desain

pada SKTT dalam hal konsep desain yang digunakan oleh penulis untuk tambahan acuan kriteria yang perlu dipertimbangkan yaitu kriteria material dalam negeri dan penilaian risiko.

Posisi penelitian yang dilakukan terletak pada kondisi uraian penilaian mitigasi risiko dari salah satu alternatif yaitu SKTT dan SKLTT. Sehubungan dengan SKTT juga merupakan suatu hal yang baru yang belum pernah dilakukan di Papua sehingga beberapa kriteria acuan dari sisi risiko dapat diadopsi kedalam analisis yang kemudian disepakati bersama dengan konsultan untuk menemukan penilaian yang tepat untuk kriteria tersebut.

Untuk Penelitian terdahulu yang terkait dengan pengambilan keputusan, penulis menggunakan beberapa pertimbangan acuan yang telah dibahas dalam penelitian terdahulu yang pernah dilakukan pada tahun 2017 sesuai dengan tabel 2.7 tersebut diatas secara khusus untuk proses perhitungan TOPSIS. Namun terdapat variasi dari sisi perspektif pengambilan data untuk Bobot Preferensi yang dilakukan. Pada penelitian ini penulis menggunakan tetap konsep penilaian skala preferensi, namun untuk data yang digunakan dalam penelitian ini adalah langsung dari hasil survey kuesioner dari responden yang dianggap ahli di bidangnya sehingga diharapkan nilai bobot preferensi yang digunakan tidak hanya sekedar asumsi dan hal ini sesuai dengan teori yang dibahas pada penelitian terdahulu tahun 2021 sesuai dengan tabel 2.7 diatas.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

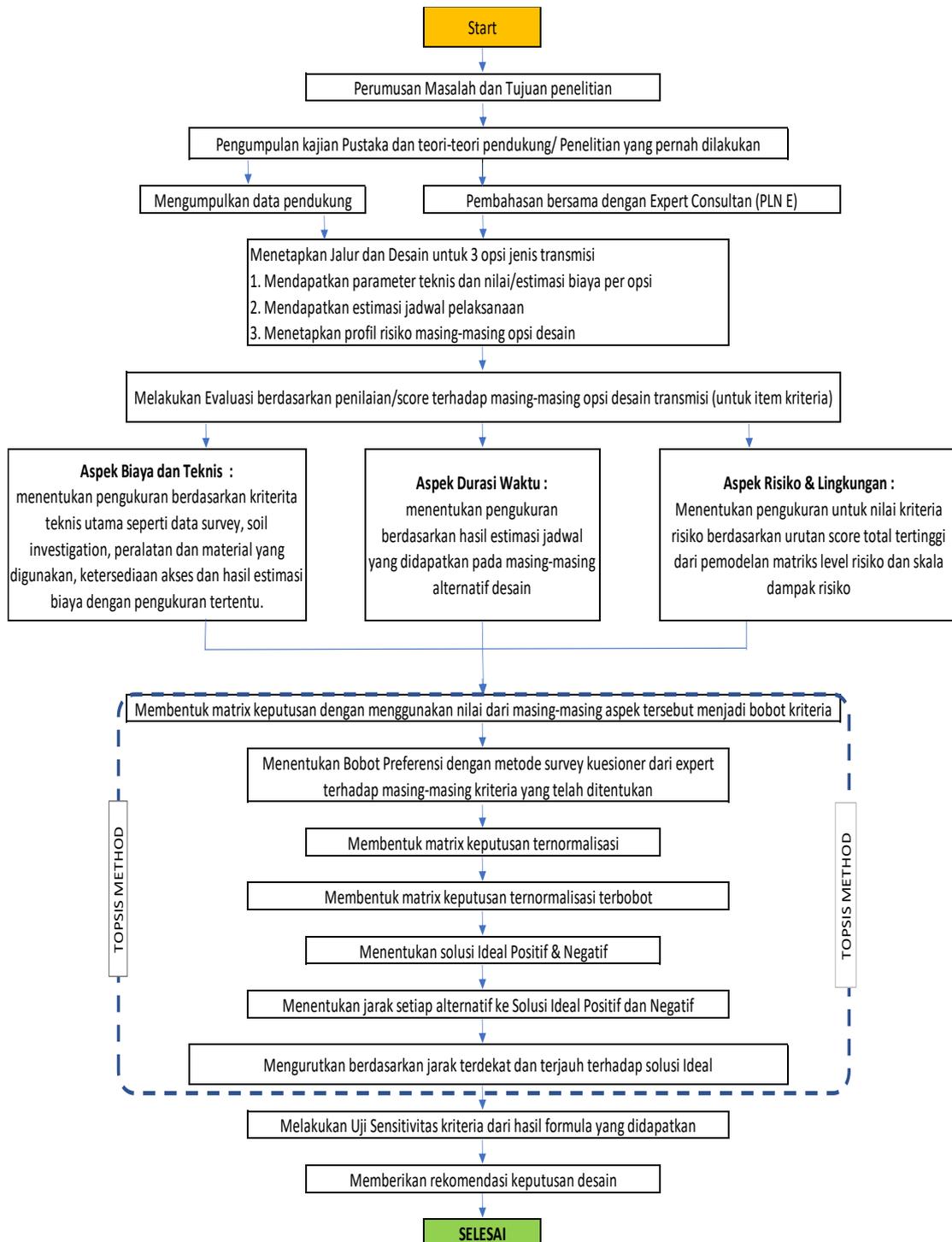
METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian adalah suatu acuan yang dibuat agar penelitian proses penulisan dalam melakukan pembahasan dapat menjadi terstruktur. Dalam membuat metodologi penelitian ini, penulis menjelaskan tahapan-tahapan yang dilakukan secara rinci mulai dari proses pengambilan data, pola pikir, konsep-konsep dan cara pengolahan data yang ada dalam rangka menjelaskan pembahasan yang dilakukan oleh penulis sehingga memudahkan pembaca dalam memahami perspektif dan kerangka pikir penulis dalam membahas suatu kasus yang sedang diteliti. Dalam tesis ini, penulis menyampaikan metodologi penelitian yang dimulai dari pengumpulan data berdasarkan kajian feasibility yang ada di lokasi kerja penulis dan selanjutnya memaparkan data apa saja yang akan diambil dan diolah, bagaimana melakukan pengukuran terhadap analisis yang ada dan selanjutnya dijelaskan bagaimana cara memodelkan matriks keputusan tersebut sampai mendapatkan suatu rekomendasi. Dalam tesis ini menggunakan metode TOPSIS untuk pemodelan parameter keputusan tersebut.

3.1 Desain Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan konsep kuantitatif analysis dengan menggunakan data-data study feasibility yang diterbitkan oleh expert konsultan PLN Enjiniring. Pada awal pembahasan penulis akan mengumpulkan list parameter-parameter inti yang didapatkan dari masing-masing opsi desain mulai dari Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT), dan Saluran Kabel Laut Tegangan Tinggi (SKLTT) selanjutnya dimodelkan dalam bentuk pengukuran untuk masing-masing parameter desain. Hasil pengukuran yang didapatkan dari hasil masing-masing alternatif akan menjadi kriteria yang terukur dan memiliki nilai yang akan digunakan untuk pemodelan selanjutnya sebagai penyusun kriteria matriks keputusan. Dalam rangka menentukan skala preferensi terhadap kriteria selanjutnya akan dilakukan kuesioner

untuk menentukan secara data untuk bobot preferensi yang tepat untuk masing-masing kriteria pada masing-masing alternatif desain. Konsep kerangka berpikir dalam rencana penyelesaian tesis ini dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alur Kerangka Pikir Penyelesaian

3.2 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data untuk pembahasan terkait masalah pemilihan ini diperoleh dari hal sebagai berikut :

a. Data Primer

Data yang digunakan penulis berdasarkan data sebagai berikut :

1. Diskusi (focused group discussion) dengan konsultan ataupun para praktisi yang dianggap ahli yang dituangkan dalam bentuk Risalah Rapat Diskusi teknis yang berkaitan dengan pembahasan pemilihan alternatif desain ini.
2. Data Survey kuesioner terkait analisis berdasarkan praktisi yang dianggap ahli untuk menemukan skala perbandingan dan bobot preferensi.

b. Data Sekunder

Data yang digunakan penulis berupa :

- Data Gambar Rute Jalur transmisi rencana untuk ketiga alternatif desain.
- Data Analisa & Spesifikasi Teknis
- Data Estimasi Anggaran Biaya Konstruksi
- Data Jadwal Pekerjaan untuk Durasi rencana pelaksanaan.
- Data Analisa Risiko Untuk ketiga alternatif desain
- Dokumen Feasibility Study PLN E

Selanjutnya akan dilakukan pendekatan empiris terhadap hasil-hasil kriteria secara apa adanya yang dapat untuk digunakan sebagai matriks keputusan. Agar keputusan yang didapatkan dapat lebih tepat.. Untuk pendekatan secara empiris, penulis akan menggunakan Metode TOPSIS.

3.3 Pengolahan data dengan metode TOPSIS

3.3.1 Pengolahan dan Analisis Data Teknis dan Biaya

Dalam tahapan ini penulis akan menguraikan beberapa kriteria yang menjadi pertimbangan dalam aspek teknis berdasarkan data teknis yang tersedia antara lain sebagai berikut :

1. Survey dan Soil

Dari data ini penulis akan membandingkan dan menganalisis hasil data survey dan soil berdasarkan opsi desain SUTT, SKTT dan SKLTT. Area yang direkomendasikan adalah area dataran yang cenderung pada kondisi medan relatif datar ($0-3^\circ$) dan untuk opsi jalur yang untuk ketiga lokasi ini akan diukur berdasarkan kriteria dan penilaian sebagai berikut :

Kriteria 1/survey (c1) : Ditinjau dari sisi Panjang jalur desain.

1. Panjang jalur yang dibutuhkan pada SUTT
2. Panjang jalur yang dibutuhkan pada SKTT
3. Panjang jalur yang dibutuhkan pada SKLTT

Untuk penggolongan kriteria, item ini termasuk dalam kategori *Cost* yang mana nilai preferensinya adalah hasil yang semakin kecil akan menghasilkan hasil yang maksimal.

Kriteria 2/data soil investigation (c2) : ditinjau dari data soil yang mendekati untuk masing-masing alternatif sebagai berikut :

1. Kondisi tanah untuk SUTT
2. Kondisi tanah SKTT
3. Kondisi tanah untuk SKLTT

Adapun hasil untuk nilai yang digunakan untuk kondisi tanah ini menggunakan pendekatan tabel Terzaghi & Peck, 1984 yang terdapat pada tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 Tabel Terzaghi & Peck, 1984

Konsistensi	Conus Resistance (qc) Kg/cm ²	Friction Ratio (FR) %
Sangat Lunak/ <i>very soft</i>	<5	3.5
Lunak/ <i>Soft</i>	5-10	3.5
Teguh/ <i>Firm</i>	10-35	4.0
Kaku/ <i>stiff</i>	30-60	4.0
Sangat Kaku/ <i>very stiff</i>	60-120	6.0
Keras/ <i>Hard</i>	>120	6.0

.Untuk penggolongan kriteria, item ini termasuk dalam kategori *Benefit* yang mana nilai preferensinya adalah hasil yang semakin besar akan menghasilkan hasil yang maksimal

2. Sumber Material & Peralatan

Untuk kriteria ini, penulis akan melakukan pengukuran berdasarkan material yang akan digunakan dalam pelaksanaan berdasarkan tingkat kesulitan yang mungkin dapat dialami yang bisa saja akibat material yang digunakan bersumber dari luar negeri sebagai berikut:

Kriteria 3 (c3) : Dihitung berdasarkan prosentase jumlah material berdasarkan biaya sebagai berikut :

1. Rencana jumlah Material dalam Negeri untuk SUTT
2. Rencana jumlah Material dalam Negeri untuk SKTT
3. Rencana jumlah Material dalam Negeri untuk SKLTT

Untuk penggolongan kriteria, item ini termasuk dalam kategori *Benefit* yang mana nilai preferensinya adalah hasil yang semakin besar akan menghasilkan hasil yang maksimal

3. Kebutuhan Luasan Pembebasan Lahan

Pada kriteria ini, penulis akan melakukan pengukuran berdasarkan ketersediaan dan kemudahan akses untuk setiap alternatif desain sebagai berikut :

Kriteria 4 (c4) : Dihitung berdasarkan total luasan yang dibutuhkan untuk dibebaskan untuk konstruksi

1. Luas Lahan yang dibutuhkan untuk SUTT

2. Luas Lahan yang tersedia untuk SKTT
3. Luas Lahan yang tersedia untuk SKLTT

Untuk penggolongan kriteria, item ini termasuk dalam kategori *Cost* yang mana nilai preferensinya adalah hasil yang semakin kecil akan menghasilkan hasil yang maksimal

4. Biaya Pekerjaan

Pada kriteria ini, penulis akan melakukan pengukuran terhadap nilai pekerjaan pada setiap alternatif desain berdasarkan nilai aktual harga pada setiap alternatif

Kriteria 5 (c5) : Dihitung dengan menggunakan hasil perkiraan biaya.

1. Nilai perkiraan biaya SUTT
2. Nilai perkiraan biaya SKTT
3. Nilai perkiraan biaya SKLTT

Untuk penggolongan kriteria, item ini termasuk dalam kategori *Cost* yang mana nilai preferensinya adalah hasil yang semakin kecil akan menghasilkan hasil yang maksimal.

3.3.2 Pengolahan dan Analisis Data Durasi Waktu

Dalam tahapan ini penulis akan menguraikan beberapa kriteria yang menjadi pertimbangan dalam aspek durasi waktu pelaksanaan. (Dalam hal ini penulis tidak menghitung waktu yang dibutuhkan dalam proses pengadaan). Berdasarkan data durasi waktu yang tersedia antara lain sebagai berikut :

Kriteria 6 (c6)

1. Durasi waktu pelaksanaan SUTT
2. Durasi waktu pelaksanaan SKTT
3. Durasi waktu pelaksanaan SKLTT

Untuk penggolongan kriteria, item ini termasuk dalam kategori *Cost* yang mana nilai preferensinya adalah hasil yang semakin kecil akan menghasilkan hasil yang maksimal.

3.3.3 Pengolahan dan Analisis Data Risiko & lingkungan

Dalam tahapan ini penulis akan menguraikan pemetaan risiko terhadap semua aspek yang ada dalam setiap alternatif desain mulai dari aspek teknis, aspek ekonomi dan biaya pekerjaan, aspek pelaksanaan, aspek sosial dan aspek keamanan dan lingkungan, selanjutnya dengan menggunakan dilakukan perhitungan pengukuran berdasarkan skala dampak risiko (dapat dilihat pada tabel skala dampak risiko dibawah) dan matriks dari level risiko setiap aspek (dapat dilihat pada gambar dibawah). Setelah didapatkan matriks risiko beserta pengukuran berdasarkan skala dampak risiko, dilakukan scoring nilai terhadap masing-masing alternatif desain sehingga didapatkan score total untuk masing masing alternatif. Dari total score ini, didapatkan nilai tertinggi yang menunjukkan risiko yang paling rendah dari alternatif lainnya. Berdasarkan total score tersebut, selanjutnya nilai risiko diaplikasikan sebagai kriteria dalam perhitungan sebagai berikut :

Kriteria 7 (c7) : Dihitung dengan melakukan pemetaan dan skoring risiko pada masing-masing alternatif desain dimana masing-masing item akan didetailkan lebih lanjut dan dihitung masing-masing point dengan mengacu pada Tabel 3.2 dibawah ini. nilai acuan yang akan diteliti dalam kriteria ini yaitu :

1. Nilai Risiko SUTT
2. Nilai Risiko SKTT
3. Nilai Risiko SKLTT

Untuk penggolongan kriteria, item ini termasuk dalam kategori *Benefit* yang mana nilai preferensinya adalah hasil yang semakin besar akan menghasilkan hasil yang maksimal.

Tabel 3.2 Skala dampak resiko berdasarkan level kemungkinan

Skala Level Kemungkinan	Skala Dampak
A = Sangat Jarang (Seldom)	1 = Sangat Ringan (Low)
B = Jarang (Not Often)	2 = Ringan (Minor)
C = Sedang (Roughly)	3 = Sedang (Medium)
D = Sering (Often)	4 = Berat (Major)
E = Sangat Sering (Most Often)	5 = Sangat Berat (Disaster)

Kemungkinan	Sangat Sering	E	Sedang	Sedang	Tinggi	Ekstrim	Ekstrim
	Sering	D	Rendah	Sedang	Tinggi	Ekstrim	Ekstrim
	Sedang	C	Rendah	Sedang	Tinggi	Tinggi	Ekstrim
	Jarang	B	Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Ekstrim
	Sangat Jarang	A	Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Tinggi
			1	2	3	4	5
			Sangat Ringan	Ringan	Sedang	Berat	Sangat Berat
Resiko							

Informasi	Rendah	Sedang	Tinggi	Ekstrim
-----------	--------	--------	--------	---------

Gambar 3.2 Matriks level risiko berdasarkan level kemungkinan

3.4 Data Kuesioner untuk Bobot Preferensi

Untuk mendapatkan beberapa data terkait bobot preferensi yang dapat untuk semua kriteria tersebut diatas berdasarkan urgensi dan peruntukannya, penulis akan melakukan survey kuesioner kepada para ahli di lingkungan PLN dan Konsultan yang meliputi unsur Management dan Spesialist yang dianggap kompeten yang telah memiliki pengalaman kerja minimal 8 tahun (sesuai dengan prasyarat umum pada Kerangka Acuan Kerja untuk kategori personil ahli/expert di PT PLN (Persero)) pada proyek transmisi SUTT, SKTT dan SKLTT yang direncanakan sebagai berikut:

- a. Senior Manager Perencanaan UIP MPA, 1 orang
- b. Manager Unit Pelaksana Proyek Papua – UIP MPA,1 orang
- c. Manager Perencanaan Sipil UIP MPA, 1 orang

- d. Asisten Manager Perencanaan UIP MPA, 1 orang
- e. Manager Senior Transmisi & Distribusi PLN Enjiniring, 1 orang
- f. Manager Transmisi & Distribusi PLN Enjiniring, 1 orang
- g. Project Team Leader Feasibility Study PLN Enjiniring, 2 orang
- h. Spesialist Civil Engineer PLN E, 3 orang
- i. Spesialist Elektromekanik Engineer PLN E, 3 orang
- j. Spesialist Contract Engineer PLN E, 1 orang

Untuk spesifik kompetensi dan pengalaman dari responden survey akan dijelaskan pada BAB IV . Adapun isi rencana Kuesioner Survey untuk bagian ini adalah sesuai dengan lampiran 1.

Setelah dilakukan pengumpulan Data kuesioner tersebut, semua data akan dikumpulkan dan dilakukan rata-rata penilaian dari hasil survey sebagai bobot preferensi yang paling memenuhi untuk pemodelan selanjutnya (dalam case ini dalam perhitungan akan menggunakan symbol C1-C7).

3.5 Perhitungan dengan Metode TOPSIS

Setelah didapatkan hasil dari seluruh kriteria dari sisi biaya dan teknis, analisa durasi pelaksanaan dan aspek risiko telah ditemukan selanjutnya penulis akan melakukan perhitungan matriks keputusan dengan Metode TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). Adapun Tahapan metode TOPSIS yang akan dilakukan sebagai berikut.

3.5.1 Membuat matriks keputusan dan matriks keputusan ternormalisasi

Dari kriteria yang didapatkan pada pasal 3.3.1 sampai dengan 3.3.3 diatas dilakukan penyusunan matriks berdasarkan alternatif yang ditawarkan terhadap kriteria-kriteria yang telah diukur dengan menggunakan tabel 3.3 sebagai berikut :

Tabel 3.3 Tabel Matriks keputusan

NO	Alternatif	Kriteria berdasarkan Biaya/Teknis					kriteria durasi	kriteria Risiko
		c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
1	SUTT (A1)	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}
2	SKTT (A2)	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	x_{27}
3	SKLT (A3)	x_{31}	x_{32}	x_{33}	x_{34}	x_{35}	x_{36}	x_{37}

Dimana : x_{11} sampai x_{37} tersebut diatas adalah merupakan hasil dari pengukuran kriteria sesuai dengan penjelasan penulis pada pasal. 3.3.1 sampai dengan 3.3.3.

Setelah dilakukan matriks keputusan, selanjutnya dilakukan matriks keputusan yang ternormalisasi sebagai berikut :

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana x_{ij} adalah kriteria yang didapatkan dari masing-masing alternatif. untuk $\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}$ akan dikerjakan dan ditentukan permasing-masing baris dengan menggunakan Tabel 3.3 sebagai berikut :

- $|x_{c1}| = \{\sqrt{(x_{11}^2 + x_{21}^2 + x_{31}^2)}\}$: untuk baris c1
- $|x_{c2}| = \{\sqrt{(x_{12}^2 + x_{22}^2 + x_{32}^2)}\}$: untuk baris c2
- $|x_{c3}| = \{\sqrt{(x_{13}^2 + x_{23}^2 + x_{33}^2)}\}$: untuk baris c3
- $|x_{c4}| = \{\sqrt{(x_{14}^2 + x_{24}^2 + x_{34}^2)}\}$: untuk baris c4
- $|x_{c5}| = \{\sqrt{(x_{15}^2 + x_{25}^2 + x_{35}^2)}\}$: untuk baris c5
- $|x_{c6}| = \{\sqrt{(x_{16}^2 + x_{26}^2 + x_{36}^2)}\}$: untuk baris c6
- $|x_{c7}| = \{\sqrt{(x_{17}^2 + x_{27}^2 + x_{37}^2)}\}$: untuk baris c7

Sehingga selanjutnya didapatkan matriks keputusan ternormalisasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut :

Tabel 3.4 Tabel Matriks keputusan ternormalisasi

NO	Alternatif	Kriteria berdasarkan Biaya/Teknis					kriteria durasi	kriteria Risiko
		c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
1	SUTT (A1)	$x_{11}/ x_{c1} $	$x_{12}/ x_{c2} $	$x_{13}/ x_{c3} $	$x_{14}/ x_{c4} $	$x_{15}/ x_{c5} $	$x_{16}/ x_{c6} $	$x_{17}/ x_{c7} $
2	SKTT (A2)	$x_{21}/ x_{c1} $	$x_{22}/ x_{c2} $	$x_{23}/ x_{c3} $	$x_{24}/ x_{c4} $	$x_{25}/ x_{c5} $	$x_{26}/ x_{c6} $	$x_{27}/ x_{c7} $
3	SKLT (A3)	$x_{31}/ x_{c1} $	$x_{31}/ x_{c2} $	$x_{33}/ x_{c3} $	$x_{34}/ x_{c4} $	$x_{35}/ x_{c5} $	$x_{36}/ x_{c6} $	$x_{37}/ x_{c7} $

3.5.2 Melakukan Perhitungan matriks keputusan ternormalisasi terbobot

Pada tahapan ini, akan dilakukan perkalian antara bobot preferensi dengan tabel matriks keputusan ternormalisasi (Tabel 3.3). Bobot Preferensi merupakan bobot yang telah didapatkan sebelumnya melalui proses survey dan kuesioner sesuai dengan penjelasan sebelumnya pada pasal 3.5.1 Sehingga setelah dilakukan pemodelan perkalian matriks keputusan ternormalisasi dengan bobot preferensi didapatkan matriks pada tabel 3.5:

Tabel 3.5 Tabel Matriks keputusan ternormalisasi terbobot

NO	Alternatif	Kriteria berdasarkan Biaya/Teknis					kriteria durasi	kriteria Risiko
		c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
1	SUTT (A1)	$(x_{11}/ x_{c1})*C1$	$(x_{12}/ x_{c2})*C2$	$(x_{13}/ x_{c3})*C3$	$(x_{14}/ x_{c4})*C4$	$(x_{15}/ x_{c5})*C5$	$(x_{16}/ x_{c6})*C6$	$(x_{17}/ x_{c7})*C7$
2	SKTT (A2)	$(x_{21}/ x_{c1})*C1$	$(x_{22}/ x_{c2})*C2$	$(x_{23}/ x_{c3})*C3$	$(x_{24}/ x_{c4})*C4$	$(x_{25}/ x_{c5})*C5$	$(x_{26}/ x_{c6})*C6$	$(x_{27}/ x_{c7})*C7$
3	SKLT (A3)	$(x_{31}/ x_{c1})*C1$	$(x_{31}/ x_{c2})*C2$	$(x_{33}/ x_{c3})*C3$	$(x_{34}/ x_{c4})*C4$	$(x_{35}/ x_{c5})*C5$	$(x_{36}/ x_{c6})*C6$	$(x_{37}/ x_{c7})*C7$

3.5.3 Melakukan Perhitungan matriks solusi ideal positif dan negatif

Setelah didapatkan matriks keputusan ternormalisasi terbobot selanjutnya dilakukan perhitungan solusi ideal positif dan negative sebagai berikut :

a. Matriks Solusi Ideal Positif (A_i^+)

Untuk menentukan hal ini, dilakukan penelusuran angka maksimum dari hasil tiap masing masing alternatif pada setiap baris mulai dari c1 sampai dengan c7 (MAX (C1) s.d MAX (C7)). Bila diberikan dalam simbol notasi $A_i^+ = a^+ | b^+ | c^+ | d^+ | e^+ | f^+ | g^+ |$, dimana masing-masing notasi merepresentasikan angka maksimum, sebagai contoh : $a^+ =$ maksimum angka yang terdapat di baris C1, dan seterusnya sampai C7

b. Matriks Solusi Ideal Negatif (A_i^-)

Untuk menentukan hal ini, dilakukan penelusuran angka minimum dari hasil tiap masing masing alternatif pada setiap baris mulai dari c_1 sampai dengan c_7 (MIN (C1) s.d MIN (C7)). Bila diberikan dalam simbol notasi $A_i^- = a^- | b^- | c^- | d^- | e^- | f^- | g^-$, dimana masing-masing notasi merepresentasikan angka maksimum, sebagai contoh : $a^- =$ minimum angka yang terdapat di baris C1, dan seterusnya sampai C7

Nilai maksimum dan minimum pada setiap kriteria akan mengacu pada ketentuan cost dan benefit sesuai dengan yang ditetapkan pada point 3.3.1 sampai dengan 3.3.3 diatas.

3.5.4 Menentukan Separasi Positif dan Negatif

Setelah dilakukan perhitungan matriks solusi ideal positif dan negatif, selanjutnya dilakukan perhitungan separasi untuk mengukur jarak antara nilai setiap alternatif yang ada dengan matriks solusi ideal positif dan negatif yang telah didapatkan. Hal ini didapatkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (A_i^+ - A_{ij})^2} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (A_i^- - A_{ij})^2} \dots\dots\dots (3.3)$$

dimana A_i^+ dan A_i^- adalah hasil yang didapatkan pada pasal 3.5.3, untuk A_{ij} adalah hasil dari perhitungan matriks keputusan ternormalisasi terbobot.

3.5.5 Melakukan pengukuran Nilai Preferensi pada setiap alternatif

Setelah dilakukan pengukuran pada tahap sebelumnya (Nilai Seperasi/ D_i^+ dan D_i^-), selanjutnya dilakukan perhitungan nilai preferensi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$RC_i^+ = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \dots\dots\dots (3.4)$$

Langkah ini dilakukan dengan cara membagi nilai solusi ideal positif dan hasil nilai solusi ideal negatif disetiap baris pada setiap alternatif. Untuk studi kasus ini diambil nilai tertinggi sebagai jawaban utama dalam rekomendasi pengambilan keputusan versi TOPSIS ini.

3.6 Rekomendasi Keputusan dan Analisis Sensitivitas

Setelah dilakukan perhitungan dan mengurutkan alternatif dari hasil perhitungan tersebut diatas maka dari ranking yang dari dari TOPSIS ini, selanjutnya adalah memberikan rekomendasi keputusan kepada tim management terkait alternatif Desain yang terpilih dengan mengusulkan hasil dengan urutan paling atas. Dalam rangka mendapatkan Batasan-batasan terhadap kriteria, maka sebelum diambil kesimpulan diperlukan analisis uji sensitivitas untuk melihat tingkat sensitivitas hasil dari kriteria dan bobot preferensi yang didapatkan dari survey terhadap perubahan hasil yang mungkin dapat terjadi. Analisis sensitivitas ini akan dilakukan dengan melakukan perubahan secara iterasi pada nilai bobot preferensi dan nilai masing-masing kriteria yang didapatkan. Perlu dilakukan pencatatan untuk setiap nilai yang menyebabkan perubahan rekomendasi keputusan dengan membandingkan nilai preferensi akhir. Hasil dari batasan ini akan digunakan sebagai pertimbangan pengambil keputusan untuk mengambil keputusan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS

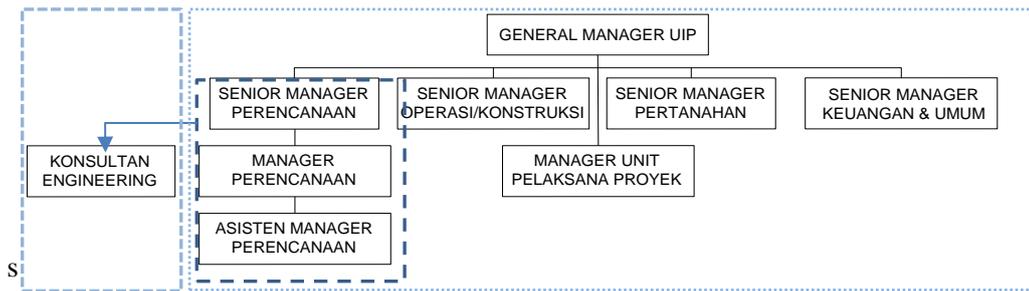
Bab ini berisi terkait penjelasan terhadap hasil yang ditemukan oleh penulis dalam rangka menemukan rekomendasi keputusan Pemilihan Alternatif Desain Jalur Transmisi 150 kV Holtekam Angkasa Papua dengan opsi SUTT, SKTT ataupun SKLTT dengan menggunakan metodologi dan skema yang telah diuraikan pada pada BAB III yaitu metode TOPSIS.

4.1 Profil Organisasi

Secara umum, pada dasarnya PLN Unit Induk Pembangunan (UIP) memiliki tugas utama untuk memastikan dan mengelola proyek-proyek yang telah ditentukan targetnya sesuai dengan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) yang diterbitkan oleh Pemerintah.

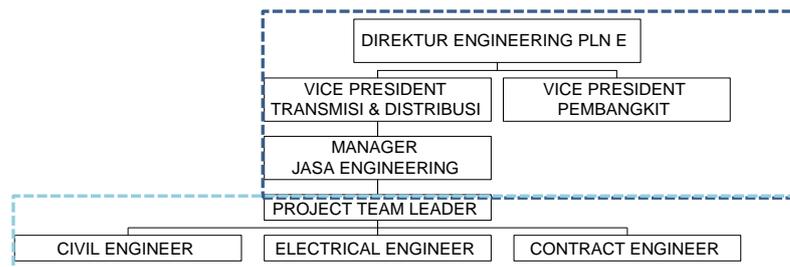
Didalam proses penyediaan sebagaimana yang dimaksud dalam RUPTL tersebut, sesuai dengan visi korporasi yaitu menjadi perusahaan listrik terkemuka se-Asia Tenggara dan #1 Pilihan Pelanggan untuk Solusi Energi sehingga PLN memiliki tanggung jawab dan tuntutan untuk menyiapkan listrik yang tidak hanya sekedar murah dari sisi biaya, namun juga menghasilkan energi listrik yang andal untuk masyarakat.

Untuk memenuhi target tersebut secara khusus untuk rencana proyek Jalur Transmisi Holtekam-Angkasa Papua yang terdapat pada RUPTL 2021-2030, dimana terdapat 3 alternatif desain jalur transmisi yang ditentukan dalam target yaitu SUTT/SKTT/SKLTT sehingga untuk hal ini UIP Maluku & Papua tidak hanya bertugas untuk menemukan alternatif yang memiliki biaya yang murah namun juga memastikan aspek-aspek lainnya yang dapat memicu target proyek transmisi jalur ini tercapai dengan risiko yang minimal, tepat waktu dan andal. Dalam menjalankan proses bisnisnya, UIP Maluku & Papua memiliki struktur organisasi sebagai berikut



Gambar 4.1 Struktur Organisasi UIP Maluku & Papua

Gambar 4.1 diatas merupakan struktur utama dari UIP Maluku & Papua (UIP MPA), dimana secara khusus dan spesifik untuk perihal evaluasi dan pemilihan alternatif desain transmisi yang akan digunakan, General Manager UIP MPA sebagai pimpinan tertinggi di UIP memberikan disposisi kepada Senior Manager Perencanaan (SRM REN) untuk mengawal proses ini untuk menemukan rekomendasi desain yang akan diaplikasikan. Sehubungan dengan hal tersebut, SRM REN memberikan penugasan kepada konsultan PT PLN Enjiniring (PLN E) untuk membantu Manager Perencanaan UIP MPA untuk melakukan pengumpulan data, koordinasi dan evaluasi dalam penyusunan dokumen yang dibutuhkan untuk proses evaluasi per masing-masing alternatif desain dalam bentuk dokumen Feasibility Study yang saat ini menjadi acuan oleh penulis dalam penelitian ini. Adapun struktur organisasi dari konsultan PLN E yang secara khusus menangani hal ini adalah dari Direktorat Engineering yang dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut :



Gambar 4.2 Struktur Organisasi Direktorat Engineering PLN E

Dari gambar 4.2 tersebut diatas dapat dilihat terdapat struktur inti dari konsultan PLN E yang menangani proyek ini adalah mulai dari Vice President Transmisi & Distribusi sampai dengan Manager Jasa Engineering. Manager Jasa Engineering menunjuk Project Team Leader (PTL) khusus untuk mengkoordinasikan pekerjaan penyusunan dokumen yang dibutuhkan dan bekerja

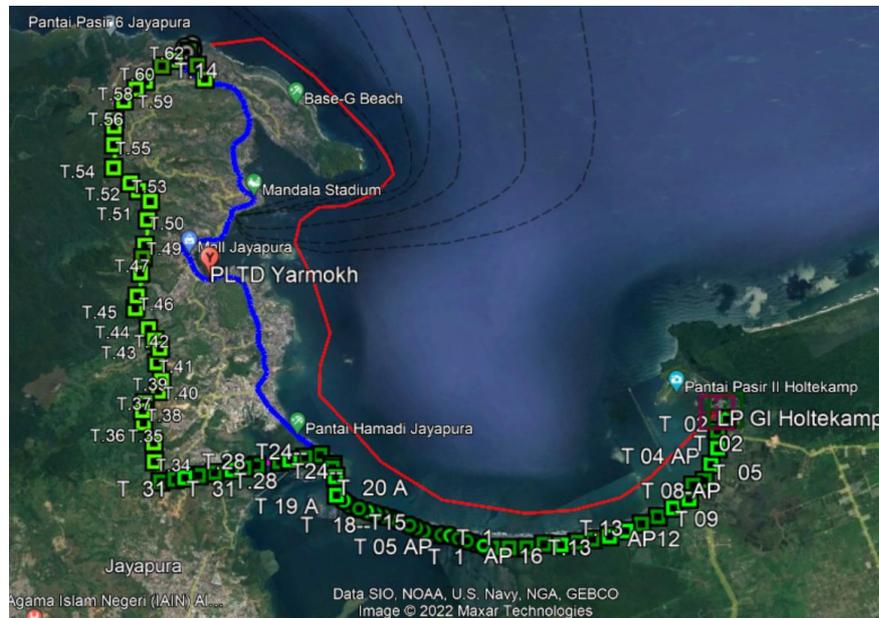
bersama tim proyek spesialis yang bertugas didalamnya yaitu civil engineer, electrical engineer dan contract engineer sebagai tim ahli yang akan memberikan petunjuk dan panduan dalam pengumpulan data-data serta pertimbangan engineering yang dibutuhkan. Tim proyek ini bekerja bersama dengan Asisten Manager Perencanaan UIP MPA (AMN REN) untuk menyusun dokumen teknis yang akan digunakan sebagai hasil pekerjaan akhir konsultan. Dalam perjalanan penyusunan dokumen ini, PLN UIP juga berkoordinasi dan menerima arahan dari Divisi Konstruksi PLN Pusat sebagai perwakilan direksi PLN terkait batasan-batasan secara teknis, operasional dan risiko yang akan muncul dalam proyek tersebut.

4.2 Konsep Desain Transmisi

Dari tiga alternatif desain transmisi yang telah ditentukan pada RUPTL 2021-2023, saat dilakukan peninjauan langsung (*Direct Inspection*) bersama dengan tim konsultan PLN Enjiniring, didapatkan kondisi konsep desain transmisi masing-masing alternatif yang dapat dilakukan yaitu sebagai berikut :

1. Alternatif – I yaitu SUTT 150 kV yang dimulai dari titik lokasi Gardu Induk Holtekam menyusuri jalan baru menuju Jembatan Youtefa dan terus menuju kearah skyland dengan menggunakan konfigurasi 2 sirkit dan selanjutnya dari Skyland direncanakan 4 circuit untuk mempertimbangkan area pengembangan kesentani baru dan kemudian sampai titik lokasi rencana Gardu Induk Angkasa dengan panjang rute sekitar 29,8 km.route (Garis hijau pada Gambar 4.3) yang menggunakan tower Lattice dan beberapa section menggunakan Steel Pole.
2. Alternatif – II yaitu SKTT 150 kV yang dimulai dari titik lokasi Gardu Induk Holtekam dengan menggunakan 2 sirkit sepanjang 24 km route (Garis biru pada gambar 4.3). Oleh karena terdapat bagian area terbatas pada area gardu induk holtekam dan gardu induk angkasa, terdapat beberapa titik menggunakan tower dan konstruksi cable sealing end untuk jalur ini.secara spesifik pada bagian titik awal evakuasi di Gardu Induk Holtekam dan titik akhir yaitu daerah Gardu Induk Angkasa.

3. Alternatif – III yaitu SKLTT 150 kV yang dimulai dari titik lokasi Gardu Induk Holtekamp dengan menyusuri garis pantai pada sepanjang 21 km. route (Garis merah pada gambar 4.3). Pada alternatif ini kabel laut dari titik bay line Gardu Induk Holtekamp menggunakan Cable sealing End (CSE) menuju kearah laut melalui Landing Point. Disisi lain di area Gardu Induk Angkasa juga terdapat Cable Sealing End dan landing point dari arah pantai Pasir Tiga. Sehubungan dengan medan yang dari arah pantai (tempat CSE) menuju area Gardu Induk Angkasa memiliki beda elevasi yang cukup signifikan (± 20 m) sehingga menggunakan bantuan 1 lattice tower dari CSE menuju Bay Line Gardu Induk Angkasa.



Gambar 4.3 Alternatif Rute berdasarkan rencana desain

4.3 Penyusunan Kriteria Evaluasi

Dalam proses penyusunannya, tim PLN dan konsultan PLN Enjiniring melakukan beberapa kali diskusi terkait pilihan kriteria yang dapat dilakukan sebagai acuan evaluasi dalam perhitungan. Kondisi ini dimulai dengan mengembangkan 3 Aspek kriteria yang telah disepakati di awal sesuai dengan BAB I pasal 1.5 terkait batasan masalah awal yaitu aspek teknis dan biaya, aspek durasi waktu dan aspek risiko dan lingkungan. Dari hasil *focused group*

discussion (FGD) yang dilakukan melalui hasil kesepakatan rapat (MOM) yang dalam penelitian ini tidak dapat dilampirkan mengingat terdapat beberapa hal yang bersifat rahasia. Namun hasil dalam pembahasan diterangkan bahwa untuk studi penelitian ini disepakati terdapat beberapa bagian dari aspek teknis yang terkait dengan faktor-faktor penyusun inti dari perhitungan *basic design* yang meliputi:

- a. kriteria panjang jalur,
- b. kriteria data tanah
- c. kriteria material dalam negeri
- d. kriteria kebutuhan lahan
- e. kriteria estimasi biaya

Selanjutnya untuk aspek durasi waktu pekerjaan hanya terdiri kriteria estimasi biaya dan untuk aspek resiko dan lingkungan terdiri dari kriteria risiko yang mencakup penilaian risiko berdasarkan hasil risk assessment yang dilakukan oleh konsultan.

4.4 Pengumpulan dan Pengolahan Data Desain

Dari kapasitas pembangkit yang terpasang di lokasi Pembangkit Holtekam Papua sesuai dengan RUPTL 2021-2030 pada tahun 2027 terdiri dari Pembangkit PLTU 2 Papua dengan kapasitas 20 MW, MPP PLTMG dengan kapasitas 50 MW, PLTMG Jayapura Peaker dengan kapasitas 40 MW, dan PLTMG Jayapura 2 dengan kapasitas 50 MW sehingga total kapasitas terpasang rencana di tahun tersebut untuk lokasi Pembangkit Holtekam yang perlu dievakuasi dengan total Daya sebesar 160 MW. Dengan mempertimbangkan konsep desain yang telah ditemukan pada pasal 4.2 dan dengan menggunakan hasil data survey dari beberapa parameter desain maka agar evakuasi daya dapat dilakukan dengan baik, perlu dilakukan pengolahan data desain tersebut dengan hasil Basic Desain sebagai berikut.

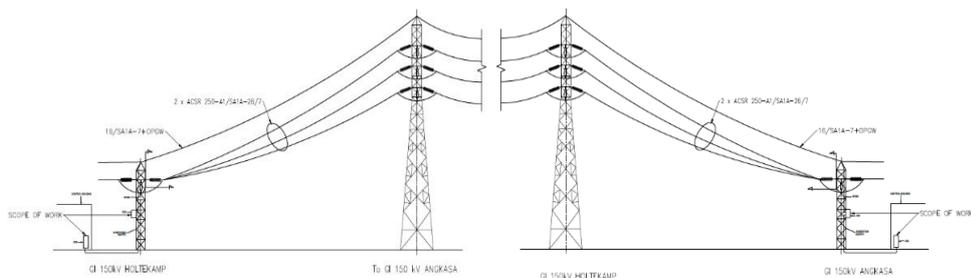
4.4.1. Basic Design SUTT 150 kV

- Konstruksi ini menggunakan tower type Lattice tower 2 circuit sepanjang 29,8 km route yang bervariasi sepanjang jalur dengan basic span antar tower sebesar 350 meter dengan ketinggian 25-30 meter
- Kondisi tanah disekitar lokasi bervariasi dengan data hasil pengujian lapangan dan mengacu pada data tanah lahan transmisi eksisting yang mendekati pada rentang 10 kg/cm² – 200 kg/cm², namun mayoritas titik lahan masuk kategori Kaku dengan nilai qc = 30-60 kg/cm²
- Kebutuhan lahan yang dibutuhkan untuk dibebaskan sebesar 24.080 m² untuk pembebasan titik tapak tower keseluruhan
- Insulator yang digunakan disesuaikan untuk fasilitas 150 kV
- Konduktor yang digunakan adalah jenis ACSR/AS 1x240 mm² per fasa dengan kawat tanah 16 mm² / SA1A-7+OPGW dengan spesifikasi kabel seperti tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Spesifikasi Konduktor ACSR 150 kV

No	Code Name	Conductor Size	Number/Diameter of Wire		Calculated Sectional Area		Approx. Overall Diameter	Approx. Weight of Conductor	Max. DC Resistance at 20°C	Max. Current Carrying Capacity ^(*)	Calculated Breaking Load	Standar Length per Drum
			Al Clad Steel	Al	Al Clad Steel	Al						
		CM or AWG	o / mm		mm ²		mm	kg / km	ohm / km	A	kg	m
1	FLICKER	477,000	7 / 2.388	24 / 4.135	31.4	322.3	23.7	1,103	0.1148	885	7,57	2,000
2	HAWK	477,000	7 / 2.675	26 / 3.439	39.3	241.5	21.8	932	0,1137	700	8,59	2,000
3	HEN	477,500	7 / 3.203	30 / 3.203	56.4	241.7	22.4	1,046	0.1114	715	10,61	2,000

- Konstruksi pondasi rencana dengan menggunakan mutu standar pondasi K-225 dan untuk bagian sampel potongan melintang pada sisi gardu induk dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 4.4 Sampel Potongan Bagian SUTT

Tabel 4.4 Spesifikasi Kabel Tanah 150 kV

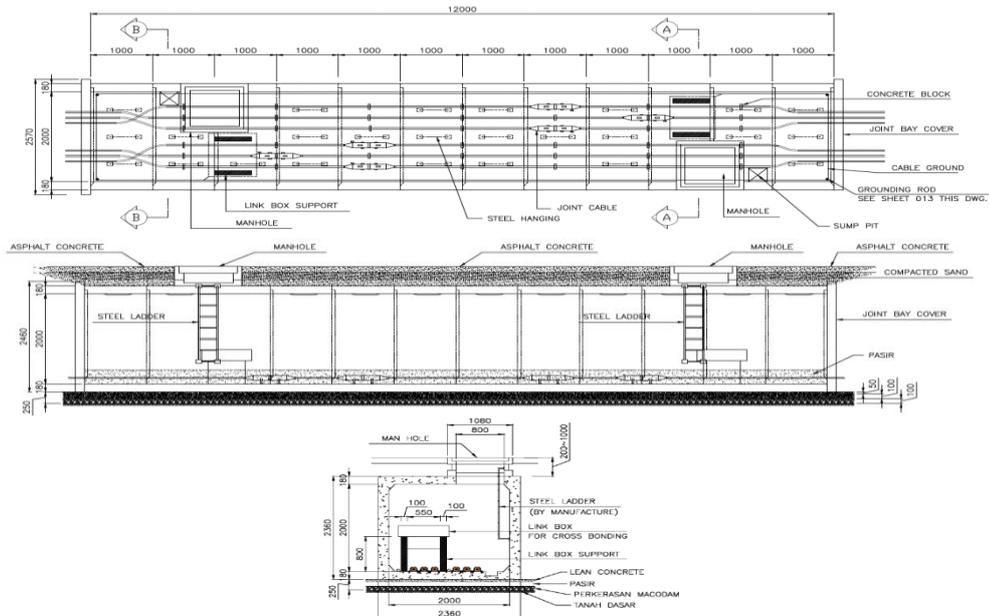
No	Cross Section	Approx. Outer Diameter	Approx. Cable Weight	Capacitance	Impedance (90°C, 50 Hz)	Surge Impedance	Min. Bending Radius	Max. Pulling Force	Current Carrying Capacity	
									Burned in Soil (0-0-0) 1 m	In Free Air (0-0-0) 1 m
	mm ²	mm	kg/m	uF/km	u/km	u	Mm	kN	A	A
1	240	73	6	0.13	0.26	59	1500	14	569	698
2	300	76	7	0.14	0.25	49	1550	18	642	799
3	400	77	8	0.16	0.23	49	1600	24	737	936
4	500	83	9	0.16	0.22	49	1700	30	836	1074

- b. Kabel dipasang sejajar rata (horizontal) paralel 2 sirkuit.
- c. Kondisi tanah jalur yang dilalui SKTT ini dilakukan dengan pengamatan visual dimana kondisi tanah disepanjang jalur SKTT masuk ke kondisi sangat kaku dengan range 60-120 kg/cm².
- d. Kebutuhan lahan yang dibutuhkan untuk pembebasan sebesar 9180 m² yang terdiri dari kebutuhan gantry, tower di awal dan diakhir bentang.
- e. Arus maksimum hubung singkat 31,5 kA
- f. Estimasi durasi pelaksanaan pekerjaan dengan alternatif desain SKTT pada kondisi ini adalah 34 bulan dengan rincian yang dapat dilihat pada yang dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5 Estimasi Durasi pekerjaan SUTT

Alternatif Transmisi	No	Uraian Pekerjaan	Bulan ke -																																					
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34				
SKTT	1	Perijinan	█	█	█	█																																		
	2	Dokumen Lingkungan			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█		
	3	Pengadaan Lahan					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
	4	Survey & Soil Investigation																																						
	5	Bid Doc, DED & HPE																																						
	6	Proses Pengadaan																																						
	7	Konstruksi																																						

- g. Kabel Optik ; Fiber Optic Armour 24 Core



Gambar 4.5 Sampel Penampang Potongan SKTT

- h. Estimasi nilai pekerjaan yang diperoleh dengan konsep desain SKTT ini dengan mempertimbangkan medan yang dilalui mencapai 351 Milyar dengan rincian utama pekerjaan yang dapat dilihat pada tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4.6 Estimasi harga pekerjaan SKTT

NO	URAIAN PEKERJAAN	ESTIMATE RAB
1	PREPARATION WORK	2.809.283.766
2	SURVEY AND JOINT PITS ALLOCATION	967.202.240
3	CIVIL WORK FACILITIES FOR LAYING CABLES	60.837.387.074
4	DESIGN AND AS BUILT DRAWING	363.204.000
5	UGC 150 kV GIS Holtekamp - Angkasa, XLPE Cu 300 mm ² (2 cct)	168.259.390.925
6	2-circuit OHL 2 x ACSR/AS 250-A1/SA1A-26/7 mm ² per phase-LATTICE	48.244.445.169
7	2-circuit OHL 2 x ACSR/AS 250-A1/SA1A-26/7 mm ² per phase-STEEL POLE	37.836.609.095
	NILAI PEKERJAAN	319.317.522.269
	PPN 10%	31.931.752.227
	TOTAL NILAI PEKERJAAN	351.249.274.496

- i. Dari rincian komponen item pekerjaan tersebut diatas estimasi nilai pekerjaan dalam negeri yang diperoleh yaitu sebesar 47,30%

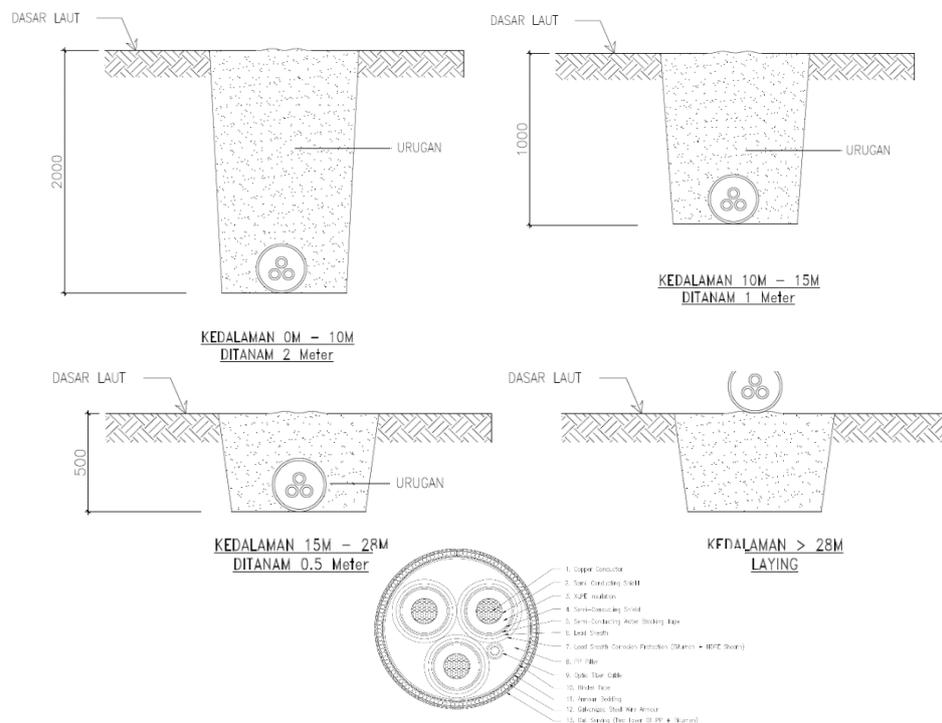
4.4.3. Basic Design SKLTT 150 kV

- a. Konstruksi yang digunakan adalah jenis 3 (tiga) inti (three core) dengan 2 sirkuit dengan menggunakan Kabel Laut XLPE, 3 x 400 mm² Cu, + FO 24 core, tanpa sambungan sepanjang 21 km route dengan spesifikasi dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah ini

Tabel 4.7 Spesifikasi Kabel Laut 150 kV

No	Cross Section of Conductor	Diameter of Conductor	Insulation Thickness	Diameter over Insulation	Lead Sheath Thickness	Outer Diameter of Cable	Cable Weight		Capacitance	Inductance	Charging Current per Phase at 50 Hz	Current Rating	
							Al	Cu				A	Al
	mm ²	mm	Mm	Mm	mm	mm	kg/m	kg/m	uF/km	mH/km	A/km	A	A
1	240	18.1	21	62.5	2.4	184	51.1	55.5	0.13	0.47	3.4	-	-
2	300	20.4	20	62.8	2.4	185	51.7	57.3	0.14	0.44	3.7	530	430
3	400	23.2	19	73,6	2.4	187	52.9	60.5	0.15	0.42	4.1	590	485
4	500	26.2	18	65.0	2.5	190	55.7	65.1	0.17	0.42	4.7	655	540
5	630	29.8	17	66.6	2.5	194	57.8	69.7	0.19	0.40	5.3	715	600
6	800	33.7	17	70,5	2.7	204	64.7	79,8	0.21	0.38	5.7	775	660
7	1000	37.9	17	75.3	2.8	215	71.6	90.5	0.23	0.37	6.3	825	720

- b. kondisi tanah pada lokasi ini ditinjau dengan melakukan pengamatan visual dan data sekunder yaitu peta pushidrosal dengan termasuk kategori tanah teguh yang berkisar antara qc : 10-35 kg/cm²
- c. Kebutuhan lahan untuk pembebasan sebesar 500 m² yang akan digunakan untuk konstruksi Landing Point Cable dan Gantry tower
- d. Arus maksimum hubung singkat 31,5 kA



Gambar 4.6 Sampel Potongan Penampang SKLTT

- a. Permasalahan pemantauan lingkungan dimana diperlukan pembuatan UKL/UPL/AMDAL yang disetujui oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan serta Direktorat Jenderal Perhubungan Laut.
- b. Permasalahan Perizinan pembangunan proyek memerlukan perizinan dari Pemda setempat, Direktorat Jenderal Perhubungan Laut (Hubla), Pelindo dan KSOP yang membutuhkan waktu yang panjang.
- c. Untuk masing-masing alternatif dilakukan identifikasi mulai dari masa pra konstruksi, masa konstruksi dan masa pasca konstruksi (operasi) dimana masing-masing kriteria risiko diuraikan dan dihitung berdasarkan hasil kesepakatan yang dilakukan oleh tim ahli (*expert judgement*) dengan hasil score yang dapat dilihat secara detail pada tabel 4.10 dibawah ini.

Tabel 4.10 Analisis Risiko

NO	IDENTIFIKASI	OBJECTIVE	RESIKO	SKLT								SKTT								SUTT							
				Level Kemungkinan		Scala Dari Resiko		Risk Level		Skor	Level Kemungkinan		Scala Dari Resiko		Risk Level		Skor	Level Kemungkinan		Scala Dari Resiko		Risk Level		Skor			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
Masa Pra Konstruksi																											
I	Aspek Legal	Mengurus izin pembangunan dari PEMDA, HUBLA (Penyebrangan Laut) dan Instansi terkait	Proyek tidak dapat memperoleh izin atau ada masalah dengan pengembangan proyek dari pemerintah daerah	B	Jarang	3	Sedang	B 3	Sedang	3	D	Sering	3	Sedang	D 3	Tinggi	2	D	Sering	4	Berat	D 4	Ekstrim	1			
	Aspek Teknis	Survei Topografi, Bathymetri (SKLT), Georadar (SKTT) Kajian Teknis menyangkut Basic Desain & Spesifikasi Teknis	Hasil survei dan kajian teknis tidak mewakili kondisi site	C	Sedang	3	Sedang	C 3	Tinggi	2	C	Sedang	3	Sedang	C 3	Tinggi	2	D	Sering	3	Sedang	D 3	Tinggi	2			
		Pembebasan Lahan untuk tapak tower dan ROW	Tidak mendapatkan lahan yang sesuai direncanakan	A	Sangat Jarang	1	Sangat Ringan	A 1	Rendah	4	D	Sering	4	Berat	D 4	Ekstrim	1	E	Sangat Sering	5	Sangat Berat	E 5	Ekstrim	1			
	Aspek Ekonomis	Kajian Finansial	Investasi Besar	D	Sering	4	Berat	D 4	Ekstrim	1	D	Sering	4	Berat	D 4	Ekstrim	1	C	Sedang	2	Ringan	C 2	Sedang	3			
	Aspek Sosial, Keamanan dan Lingkungan	Studi UKL-UPL dan Sosialisasi	UKL-UPL tidak disetujui dan tidak ada kesepakatan dengan masyarakat	B	Jarang	2	Ringan	B 2	Rendah	4	D	Sering	4	Berat	D 4	Ekstrim	1	D	Sering	5	Sangat Berat	D 5	Ekstrim	1			
	Aspek Pendanaan	APLN	Pendanaan APLN tidak ada	C	Sedang	3	Sedang	C 3	Tinggi	2	C	Sedang	3	Sedang	C 3	Tinggi	2	B	Jarang	2	Ringan	B 2	Rendah	4			
	Aspek Pengadaan Jasa Konstruksi	Pelelangan dilakukan oleh pihak PLN	Pelelangan gagal dilakukan	B	Jarang	2	Ringan	B 2	Rendah	4	B	Jarang	2	Ringan	B 2	Rendah	4	B	Jarang	2	Ringan	B 2	Rendah	4			
Masa Konstruksi																											
II	Aspek Teknis	Review Detail Desain	Perubahan Detail Desain akibat kondisi lapangan	D	Sering	3	Sedang	D 3	Tinggi	2	D	Sering	3	Sedang	D 3	Tinggi	2	C	Sedang	3	Sedang	C 3	Tinggi	2			
	Aspek Ekonomis	On schedule project disbursement	Proyek tidak sesuai dengan schedule	B	Jarang	2	Ringan	B 2	Rendah	4	D	Sering	4	Berat	D 4	Ekstrim	1	D	Sering	4	Berat	D 4	Ekstrim	1			
	Aspek Sosial dan Keamanan	Sosialisasi kepada masyarakat	Sosialisasi tidak berhasil	B	Jarang	2	Ringan	B 2	Rendah	4	D	Sering	4	Berat	D 4	Ekstrim	1	D	Sering	4	Berat	D 4	Ekstrim	1			
	Manufacture	Kesesuaian dengan mutu spesifikasi dan kuantitas	Material yang dibutuhkan tidak ada/tidak sesuai spesifikasi	C	Sedang	3	Sedang	C 3	Tinggi	2	C	Sedang	3	Sedang	C 3	Tinggi	2	B	Jarang	2	Ringan	B 2	Rendah	4			
	Installation	Kesesuaian dengan waktu, kualitas dan jumlah	Keterlambatan pelaksanaan pekerjaan/ tidak sesuai dengan schedule	B	Jarang	3	Sedang	B 3	Sedang	3	D	Sering	4	Berat	D 4	Ekstrim	1	D	Sering	4	Berat	D 4	Ekstrim	1			
	Commissioning	Kesesuaian dengan waktu, kualitas dan jumlah	Waktu, Kualitas dan Biaya untuk commissioning tidak sesuai dengan perencanaan	C	Sedang	3	Sedang	C 3	Tinggi	2	C	Sedang	3	Sedang	C 3	Tinggi	2	B	Jarang	2	Ringan	B 2	Rendah	4			
Masa Pasca Konstruksi (Operasi)																											
III	Aspek Legal	Menerbitkan RLB dan SLO	Tidak terbitnya RLB dan SLO	B	Jarang	2	Ringan	B 2	Rendah	4	B	Jarang	2	Ringan	B 2	Rendah	4	B	Jarang	2	Ringan	B 2	Rendah	4			
	Aspek Teknis	Dilakukan pemeliharaan	Pemeliharaan peralatan khusus	C	Sedang	3	Sedang	C 3	Tinggi	2	D	Sering	3	Sedang	D 3	Tinggi	2	D	Sering	2	Ringan	D 2	Sedang	3			
	Aspek Ekonomis	Anggaran Operasi	Tidak adanya anggaran Operasi	B	Jarang	2	Ringan	B 2	Rendah	4	C	Sedang	3	Sedang	C 3	Tinggi	2	B	Jarang	2	Ringan	B 2	Rendah	4			
	Aspek Sosial	Menyediakan layanan informasi untuk masyarakat sekitar	Sosialisasi tidak terlaksana	B	Jarang	4	Berat	B 4	Tinggi	2	C	Sedang	4	Berat	C 4	Tinggi	2	C	Sedang	3	Sedang	C 3	Tinggi	2			
	Aspek Keamanan dan Lingkungan	Pemasangan rambu-rambu tentang bahaya listrik	Rambu-rambu hilang/rusak	C	Sedang	3	Sedang	C 3	Tinggi	2	C	Sedang	3	Sedang	C 3	Tinggi	2	C	Sedang	3	Sedang	C 3	Tinggi	2			
51										34										44							

4.5 Rekapitulasi hasil pengolahan data kriteria

Dari uraian penjelasan yang terdapat pada pembahasan 4.3.1 sampai 4.3.2 diatas, serta melalui hasil kesepakatan dan diskusi dari tim ahli (*expert judgement*) berdasarkan penelitian yang dilakukan sehingga diperoleh kriteria-kriteria yang dapat dilihat pada tabel 4.11 berikut ini yang selanjutnya akan digunakan sebagai data kriteria yang akan digunakan pada tahapan berikutnya (Tahap analisis dan pengambilan keputusan/*Decision Making*).

Tabel 4.11 Rekap hasil kriteria pada masing-masing alternatif

Uraian Kriteria	Kriteria	Kategori	Hasil							
			SUTT	x_n	SKTT	x_n	SKLT	x_n	Satuan	
Panjang Jalur	Kriteria 1	(c1)	Cost	29,8	x_{11}	25,7	x_{21}	21	x_{31}	km
Data tanah	Kriteria 2	(c2)	Benefit	30	x_{12}	60	x_{22}	10	x_{32}	kg/cm ²
Porsi Material Dalam Negeri	Kriteria 3	(c3)	Benefit	100	x_{13}	47,3	x_{23}	8,88	x_{33}	%
Kebutuhan Lahan Bebas	Kriteria 4	(c4)	Cost	24.080	x_{14}	9.180	x_{24}	500	x_{34}	m ²
Estimasi Biaya Pekerjaan	Kriteria 5	(c5)	Cost	183.600.392.324	x_{15}	351.249.274.496	x_{25}	705.549.192.081	x_{35}	Rupiah
Durasi Pekerjaan	Kriteria 6	(c6)	Cost	32	x_{16}	34	x_{26}	28	x_{36}	Bulan
Analisis Risiko	Kriteria 7	(c7)	Benefit	44	x_{17}	34	x_{27}	51	x_{37}	satuan

Dari tabel 4.11 diatas dapat dilihat bahwa bilamana dipandang dari sisi biaya, peluang terbesar untuk dipilih adalah alternatif SUTT, namun dari sisi durasi waktu SKLTT memiliki estimasi waktu yang lebih cepat dan penilaian risiko SKLTT memiliki penilaian resiko yang lebih baik dari sisi mitigasinya, dengan kata lain, SUTT masih lebih beresiko daripada SKLTT. Bila dilihat dari kriteria Kebutuhan lahan bebas, transmisi jenis SUTT ini memiliki kebutuhan luasan lahan yang jauh lebih besar daripada alternatif lainnya sehingga menjadi salah satu penyebab dari tingkat level risiko yang tinggi dan meningkatkan biaya yang tidak terduga dalam proses pembebasannya. Bila ditinjau dari sisi lain tingkat kandungan dalam negeri juga sangat berpengaruh dimana alternatif SUTT memiliki estimasi porsi dalam negeri yang lebih besar dari alternatif lainnya dan ini menjadi salah satu kelebihan utama dari proyek ini dan hal ini sesuai dengan program pemerintah untuk meningkatkan tingkat produksi dalam negeri.

Mempertimbangkan beberapa kelebihan dan kekurangan setiap atribut kriteria tersebut sehingga dibutuhkan pemodelan secara empiris untuk memudahkan rekomendasi yang lebih tepat untuk mencapai solusi optimum.

Setiap atribut kriteria dipisahkan antara kategorinya yang mana yang masuk kedalam item benefit dan cost. Dari data tersebut juga dapat dilihat bahwa yang masuk kategori cost berarti bahwa bila nilai semakin tinggi semakin tidak baik.

4.6 Analisis dan Rekomendasi Keputusan

4.6.1. Analisis data hasil kriteria menggunakan TOPSIS

Dalam tahapan ini penulis melakukan perhitungan dan formulasi terhadap data yang telah dikumpulkan pada tahap pengolahan data yang dilihat pada pasal 4.2 sampai 4.4 diatas dengan menggunakan perhitungan TOPSIS seperti yang telah dijelaskan pada BAB III.

Adapun tahapan yang dilakukan pada fase ini mengacu pada tahapan yang sesuai dengan diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.1 sehingga dengan menggunakan formulasi yang terdapat pada tabel 3.3 BAB III diperoleh matriks keputusan yang dapat dilihat pada tabel 4.12 berikut :

Tabel 4.12 Matriks Keputusan

No	Alternatif	Kriteria Biaya/Teknis					Kriteria Durasi Waktu	Kriteria Risiko
		c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
1	SUTT	29,80	30	100	24.080	183.600.392.324	32	44
2	SKTT	25,70	60	47,30	9.180	351.249.274.496	34	34
3	SKLT	21	10	8,88	500	705.549.192.081	28	51

Setelah didapatkan matriks keputusan sesuai dengan tabel 4.12 diatas selanjutnya dilakukan perhitungan lebih rinci dengan mengikuti kaidah dan persamaan yang telah ditetapkan sesuai dengan persamaan 3.1 sampai dengan 3.4 pada BAB III sebelumnya. Dari proses analisis ini, dilakukan survey kuesioner dengan menggunakan google form dengan hasil survey yang dapat dilihat pada Lampiran II dimana pada umumnya sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan pada BAB III pasal 3.4 terkait penjelasan data kuesioner untuk bobot preferensi dimana responden yang dibutuhkan adalah dengan minimal pengalaman kerja selama 8 tahun sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan sebelumnya pada BAB III pasal 3.4 yang kemudian dilanjutkan dengan perhitungan yang dapat dilihat lebih rinci pada Lampiran III. Untuk perhitungan ini akan dibagi menjadi 2 tahap dimana pada tahap pertama adalah dengan

menggunakan data hasil survey bobot preferensi seluruh responden apa adanya dan tahap kedua adalah mengingat hasil dari data responden (lampiran III) bahwa terdapat gap pengalaman yang signifikan antara responden yang memiliki pengalaman minimal 8 tahun dengan pengalaman 10 tahun keatas sehingga untuk perhitungan ini akan dievaluasi menjadi hasil perhitungan dari tahap kedua.

Untuk tahap pertama sesuai dengan hasil perhitungan dengan menggunakan data dari seluruh responden dari tahun pengalaman minimal sampai tahun pengalaman yang paling tinggi, didapati nilai bobot preferensi sebagai berikut :

- C1 = Panjang jalur = 4 C5 = Estimasi Biaya = 4
 C2 = Data Soil = 4 C6 = Estimasi Durasi = 3
 C3= Material dalam Negeri = 4 C7 = Risiko = 4
 C4 = Kebutuhan Lahan = 5

Dengan menggunakan nilai bobot preferensi tersebut diatas ditemukan hasil perhitungan solusi ideal yang menjadi rekomendasi yang dapat dilihat pada tabel 4.13 sebagai berikut :

Tabel 4.13 Nilai solusi dari setiap alternatif tahap pertama

V1	0,612304	SUTT
V2	0,399136	SKTT
V3	0,601292	SKLT

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa nilai solusi yang paling mendekati dengan menggunakan metode ini adalah V1 yaitu pada alternatif SUTT. Berdasarkan hal tersebut maka SUTT secara prinsip dapat direkomendasikan sebagai alternatif yang dipilih.

Untuk tahap kedua dengan cara memisahkan hasil survey bobot preferensi dari responden dengan pengalaman minimum (8 tahun) didapati nilai bobot preferensi sebagai berikut :

- C1 = Panjang jalur = 4 C5 = Estimasi Biaya = 4
 C2 = Data Soil = 4 C6 = Estimasi Durasi = 5
 C3= Material dalam Negeri = 5 C7 = Risiko = 4
 C4 = Kebutuhan Lahan = 5

Dengan menggunakan nilai bobot preferensi tersebut diatas didapat solusi ideal yang menjadi rekomendasi yang dapat dilihat pada tabel 4.14 sebagai berikut :

Tabel 4.14 Nilai solusi dari setiap alternatif tahap kedua

V1	0,62301	SUTT
V2	0,39964	SKTT
V3	0,576543	SKLT

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa nilai solusi yang paling mendekati dengan menggunakan metode ini adalah V1 yaitu pada alternatif SUTT.

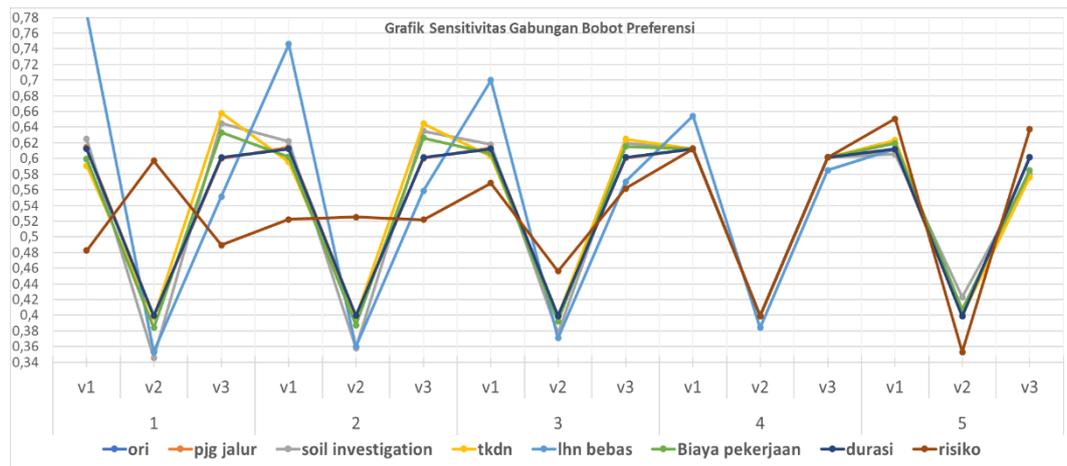
Berdasarkan hal tersebut dengan mempertimbangkan kedua tahapan yang dihitung berdasarkan pendekatan nilai hasil survey responden terhadap bobot preferensinya dengan hasil yang sama (v1 sebagai solusi) maka pada penelitian ini SUTT secara prinsip dapat direkomendasikan sebagai alternatif yang dipilih.

4.6.2. Analisis dan Justifikasi nilai Sensitivitas Kriteria

Analisis sensitivitas dibutuhkan untuk melihat seberapa besar nilai batasan yang perlu diperhatikan dalam nilai kriteria tersebut. Sehubungan dengan rumusan permasalahan yang terjadi ada BAB I pasal 1.5 point ke 3 terkait batasan nilai kriteria yang menjadi acuan dalam keputusan, perlu dipertimbangkan untuk melakukan justifikasi terkait dasar acuan nilai yang akan dipertimbangkan. Dalam studi ini setelah didapatkan hasil alternatif yang akan direkomendasikan sesuai hasil yang didapat pada pasal 4.6.1 diatas, selanjutnya dilakukan analisis sensitivitas dengan melakukan iterasi terhadap nilai yang didapatkan dari masing-masing kriteria untuk menguji tingkat sensitivitas dari solusi alternatif beserta kriteria yang telah dihitung dengan justifikasi sebagai berikut :

- a. Analisis sensitivitas dengan Iterasi pada nilai bobot preferensi yaitu dengan cara melakukan simulasi perubahan terhadap nilai bobot preferensi yang telah didapatkan dengan menambahkan dan atau mengurangi nilainya sesuai dengan nilai Bobot Preferensi yang telah ditetapkan sesuai dengan acuan nilai Bobot kuesioner pada Lampiran III. Dalam hal ini penulis melakukan pemeriksaan terhadap masing-masing nilai bobot preferensi (satu persatu)

yang dapat dilihat secara detail pada Lampiran III yaitu dengan mengganti nilai preferensi pada setiap kriteria mulai dari nilai terendah (1) sampai dengan nilai tertinggi (5) dan kemudian melihat hasil perubahan keputusan yang dapat terjadi. Dari perhitungan ditemukan bahwa akan terjadi perubahan keputusan jika terdapat perubahan pada salah satu variabel bobot preferensi yang dapat direpresentasikan pada gambar 4.7 berikut ini.



Gambar 4.7 Grafik Sensitivitas Bobot Preferensi

Dari gambar 4.7 diatas dapat dilihat bahwa bisa saja terjadi perubahan solusi ideal bilamana nilai bobot preferensi berubah. Terdapat beberapa interpretasi dari grafik tersebut yang bisa dilihat sebagai berikut :

- Untuk garis grafik yang berwarna cokelat (atribut risiko) dimana terlihat bahwa bilamana nilai bobot preferensi bergeser ke nilai 1, maka solusi ideal akan berubah sehingga nilai v2 (SKTT) menunjukkan angka yang lebih tinggi dan menjadi solusi yang direkomendasikan, namun bila berada pada bobot preferensi 2 sampai 5 masih menunjukkan nilai v1 (SUTT) sebagai solusi optimal.
- Untuk garis grafik yang berwarna abu-abu (attribut soil investigation), garis grafik yang berwarna kuning (atribut TKDN) dan garis grafik yang berwarna hijau (atribut biaya pekerjaan) dapat terlihat bahwa untuk atribut ini cenderung akan menghasilkan nilai solusi ideal v3 (SKLTT) yang lebih tinggi bila bobot preferensi berada pada nilai 1 sampai 3, sedangkan pada nilai bobot preferensi 4 dan 5 tetap pada solusi awal yaitu v1 (SUTT)

- Untuk garis grafik yang berwarna biru muda (atribut lahan bebas), garis grafik cokelat muda (atribut panjang jalur) dan garis grafik yang berwarna biru tua (durasi) cenderung memiliki solusi yang sama disetiap nilai bobot preferensi (1 sampai 5) yang menghasilkan solusi v1 (SUTT) sebagai nilai maksimal .
- Untuk mengetahui nilai lengkap dapat dilihat pada Lampiran III.

b. Analisis sensitivitas pada Iterasi nilai hasil dari masing-masing kriteria dengan cara melakukan simulasi perubahan nilai tersebut dengan menambahkan dan/atau mengurangi nilainya secara iterasi sampai menghasilkan perubahan solusi optimumnya dan selanjutnya melakukan pencatatan pada nilai berapa masing-masing kriteria akan menyebabkan perubahan tersebut. Dari iterasi yang dilakukan berikut merupakan sampel dari hasil dari kriteria yang berubah seperti yang dapat kita lihat pada gambar 4.8 berikut ini, data lengkap terdapat pada Lampiran III :



Gambar 4.8 Grafik Sensitivitas Nilai kriteria

Dari gambar 4.8 tersebut diatas dapat diketahui hal-hal sebagai berikut :

- Perubahan nilai pada kriteria Panjang Jalur dari 29,8 km menjadi 41 km akan menyebabkan perubahan rekomendasi keputusan menjadi v3(SKLTT) sebagai solusi optimum.

- ii. Perubahan nilai pada kriteria Estimasi Biaya Pekerjaan dari 183 M menjadi 249 M akan menyebabkan perubahan rekomendasi keputusan menjadi v3 (SKLTT) sebagai nilai solusi optimum.
- iii. Perubahan nilai pada kriteria Kebutuhan Lahan Bebas dari 24.080 M2 menjadi 34.000 M2 akan menyebabkan perubahan rekomendasi keputusan menjadi v3 (SKLTT) sebagai solusi optimum.
- iv. Perubahan nilai pada kriteria Durasi Pekerjaan dari 32 Bulan menjadi 110 bulan akan menyebabkan perubahan rekomendasi keputusan menjadi v3 (SKLTT) sebagai solusi optimum.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengambilan Keputusan dengan pendekatan metode TOPSIS pada penelitian ini dapat dimungkinkan menjadi dasar perhitungan untuk pemilihan alternatif dalam studi ini sehingga dapat menjawab permasalahan pada rumusan masalah pertama pada BAB I.
2. Untuk menjawab permasalahan dalam rumusan masalah kedua yang terkait kepastian solusi terhadap keputusan untuk estimasi waktu yang tercepat ternyata tidak dapat langsung dilakukan dengan pertimbangan sebagai berikut:
 - a. Dari hasil penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan ditemukan bahwa alternatif SUTT 150 kV ACSR/AS, 1 x Hawk, 2 Circuit sepanjang 29,8 km merupakan rekomendasi keputusan yang paling mendekati sebagai alternatif solusi yang terpilih untuk rencana transmisi Holtekam – Jayapura.
 - b. Dari kesimpulan 2a tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa durasi tercepat (dalam studi ini merupakan SKLTT) tidak selalu langsung menjadi solusi ideal untuk rekomendasi keputusan.
3. Terdapat beberapa hal yang menjadi batasan pertimbangan untuk menjawab permasalahan pada rumusan masalah ketiga sebagai berikut :
 - a. Dari analisis sensitivitas yang dilakukan ditemukan bahwa nilai bobot preferensi sangat mempengaruhi hasil daripada TOPSIS yang telah dilakukan, dimana perubahan dominan yang dominan dalam iterasi yaitu perubahan solusi keputusan menjadi alternatif SKLTT daripada SKTT.
 - b. Dari perhitungan dan iterasi yang dilakukan pada kondisi ini, solusi alternatif terpilih yaitu transmisi SUTT akan tetap menjadi rekomendasi

solusi keputusan bilamana masih dalam batasan sensitivitas pada nilai berikut :

1. Panjang Jalur < 41 km
2. Biaya Pekerjaan < 249 M
3. Kebutuhan Lahan Bebas < 34.000 m²
4. Durasi Pekerjaan < 110 Bulan

5.2 Saran

Selama proses penelitian dan pembuatan tesis ini, terdapat beberapa hal yang dapat disarankan sebagai berikut :

- a. Secara khusus untuk alternatif SKLTT, secara desain diperlukan perhitungan yang lebih detail terhadap desain yang akan diaplikasikan mencakup data bathymetry dan pasang surut laut agar estimasi terkait desain laydown cable dapat lebih akurat karena hal ini berdampak pada nilai estimasi biaya pekerjaan yang terjadi, sehingga ketelitian perhitungan terkait estimasi biaya dapat lebih tepat.
- b. Saran untuk umum :
 1. Berdasarkan hasil analisis sensitivitas pada bobot preferensi, didapat bahwa terdapat beberapa pola perubahan keputusan yang diakibatkan oleh perubahan nilai bobot preferensi. Untuk percobaan dengan memisahkan hasil nilai kuesioner responden dengan pengalaman minimum, didapat bahwa nilai solusi yang dihasilkan tetap SUTT sebagai solusi ideal, namun setelah dilakukan iterasi dengan mengubah beberapa nilai bobot preferensi kriteria, didapat beberapa hasil yang dapat mengubah keputusan yang beragam (Lampiran III). Sehubungan dengan hal tersebut maka terkait bobot preferensi ini dapat dikembangkan dan diteliti kembali sebagai objek penelitian baru bila diperlukan secara khusus untuk hal mendapatkan skala bobot preferensi dengan nilai akurasi yang lebih tinggi. Sehingga terkait hal ini dapat membuka peluang untuk penelitian tersendiri yang lebih komprehensif.

2. Metode ini dapat digunakan sebagai referensi studi lainnya yang memiliki kondisi karakteristik rumusan masalah yang sama untuk pengambilan keputusan.

c. Saran untuk PT PLN (Persero) :

1. Penelitian ini dapat direkomendasikan menjadi suatu model acuan baru untuk pengembangan analisis sistem keputusan di perusahaan secara khusus untuk pemilihan proyek.
2. Untuk jangka panjang perusahaan dapat mengembangkan sistem keputusan dengan metode TOPSIS untuk berbagai bidang dengan berbasis aplikasi untuk memudahkan penggunaan pengambil keputusan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Adianita putri, s., abduh, s., & kasim, i. (2021). *Analisis kuat hantar arus kabel xlpe 150 kv yang melewati sungai pada gi muara karang analysis of the current carrying capacity of 150 kv xlpe cable which crosses the river at muara karang substation*. Jurnal baut dan manufaktur, 03(1).
- Aronson, J. E. (1998). *Efrain Turban dan Decision Support Systems and Intelligent Systems, Efrain Turban and.*
- C.L. Hwang and K. Yoon (1981), *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer-Verlag, New York,
- Central Electricity Authority (2018), *Guidelines for use of under ground cable system and overhead conductor system along with cost benefit analysis.*
- Ciptomulyono. U, ITS (2010), *Paradigma Pengambilan Keputusan Multikriteria Dalam Perspektif Pengembangan Proyek dan Industri yang Berwawasan Lingkungan*, Surabaya
- Da Silva et.al (2021), *Deciding a Multikriteria Decision-Making (MCDM) Method to Prioritize Maintenance Work Orders of Hydroelectric Power Plants*
- Elektro FTI Unissula Jl Raya Kaligawe Km, T. (2019). Prosiding KONFERENSI ILMIAH MAHASISWA UNISSULA (KIMU) 2 *Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Daya pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Gardu Induk Tambak Lorok-Bawen dengan menggunakan Etap 12.6.0 Rifa1 1) , Sukarno Budi Utomo 2) , Muhamad Haddin 3).*
- F. Himmah dan U Ciptomulyono, ITS (2009), *Implementasi Metode AHP TOPSIS dalam perangkingan prioritas Pengerjaan Order dan Penentuan Lintasan Kritis dengan Fuzzy Pert (Studi Kasus : PT.Meco Inoxprima)*
- Ferdian, T., Aji Pranata, Y., & Simatupang, R. (2013). Simposium Nasional RAPI XII FT UMS Perencanaan Struktur Menara Listrik Tegangan Tinggi.
- KemenESDM (2021), *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021-2030*
- Kukharchuk, I. B., Kazakov, A. v., & Trufanova, N. M. (2018). Investigation of heating of 150 kV underground cable line for various conditions of laying. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 327(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/2/022041>
- Macneill, A., & El-Hawary, M. E. (2013). The resonance of transmission Sue Molloy. In *The Journal of Ocean Technology* (Vol. 8, Issue 1).

- Olson, D. L. (2004). Comparison of weights in TOPSIS models. *Mathematical and Computer Modelling*, 40(7–8), 721–727. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2004.10.003>
- Parida, P K, & Sahoo, S K. (2013.). *Multiple Attributes Decision Making Approach by TOPSIS Technique*. www.ijert.org
- Pomerol, J.-C., & Adam, F. (n.d.). *Practical Decision Making-From the Legacy of Herbert Simon to Decision Support Systems*.
- PT PLN (Persero) (1981)., & Baja, B. (n.d.). SPLN TI-7:1981.
- PT PLN (Persero) (2010), SPLN T50042010-tower HAL 15 Kriteria Desain Lattice.
- PT PLN Enjiniring (2020), Feasibility Study Jalur Transmisi Holtekam Angkasa
- Roy, E., & Sidabutar, A. (2021). 500-kV XLPE Underground Cable Line Construction for Sustainability Electric Power Transmission in City Centers. In *PROC. INTERNAT. CONF. SCI. ENGIN* (Vol. 4).
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. In *Int. J. Services Sciences* (Vol. 1, Issue 1).
- Siouti, A., & Ali, A. B. (2019). *Evaluation of Solar Energy Potential for the Red Sea Project, Kingdom of Saudi Arabia*. *Natural Resources*, 10(04), 96–114. <https://doi.org/10.4236/nr.2019.104007>
- VåbenØ, L., & Gudmestad, O. T. (2018). Design and installation of high voltage cables at sea. *International Journal of Energy Production and Management*, 3(3), 201–213. <https://doi.org/10.2495/EQ-V3-N3-201-213>

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN I

Lampiran Form Survey Kuesioner Bobot Preferensi TOPSIS

Survey kuesioner ini bertujuan untuk mengetahui bobot preferensi dalam hal Pekerjaan Proyek Transmisi (SUTT, SKTT, SKLT) yang paling mendekati berdasarkan tingkat pemahaman dan pengalaman para respondent. Adapun hasil yang didapatkan nantinya akan digunakan dalam hal akademis dengan menggunakan pemodelan TOPSIS untuk menemukan pertimbangan keputusan secara empiris. Selanjutnya mohon dapat diisi bobot masing-masing kriteria dibawah ini sesuai dengan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki dengan ketentuan sebagai berikut :

Keterangan	Bobot
Sangat Signifikan	5
Cukup Signifikan	4
Signifikan	3
Tidak Signifikan	2
Netral / Tidak diperlukan	1

No	Uraian Pekerjaan yang dinilai	Bobot	Keterangan
1	Panjang Jalur Transmisi		
2	Data Soil Investigation		
3	Material impor ataupun lokal (TKDN)		
4	Kebutuhan Lahan Bebas		
5	Biaya Pekerjaan		
6	Durasi Pekerjaan		
7	Analisis Risiko		

Data Responden

Nama :
Jabatan :
Unit :
Pengalaman kerja :
Tanggal :
Tandatangan :

LAMPIRAN II

Lampiran Hasil Survey

Penulis melakukan survey kuesioner melalui link google form sebagai berikut :

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSf0FMX14HeqhsrSgNS58Y9UbmOysoEIT3iV7tLbxjiE5RjqQ/viewform?usp=sf_link

Adapun personil yang telah melakukan pengisian data kuesioner dapat dilihat pada tabel II.1 sebagai berikut :

Tabel II.1 Daftar responden untuk bobot preferensi

No	Nama Responden	Posisi/Jabatan	Instansi	Pengalaman kerja
1	Lomo Turnip	Sr.Manager Perencanaan	PLN UIP MPA	28
2	Donald Silaen	Manager UPP	PLN UIP MPA	15
3	Hotmasterman Simbolon	Manager Perencanaan Sipil	UIP MPA	12
4	Santo Perdana Putra	Asman Ren Sipil	PLN UIP MPA	8
5	Buyung Sofiarto Munir	VP Transmisi & Distribusi	PLN Enjiniring	19
6	Rizal Agung Widhodho	Manager Jasa Engineering	PLN Enjiniring	25
7	kiswantoro	Project Team Leader	PLN Enjiniring	15
8	Andi Listiyarso	Sr.Civil Engineer	PLN Enjiniring	15
9	Maria Amzhelmia Fernandes	Sr.Electrical Engineer	PLN Enjiniring	10
10	Dipa Nuklerangga	Sr.Civil Engineer	PLN Enjiniring	10
11	Ammar Syahid Rabbani	Electrical Engineer	PLN Enjiniring	8
12	Ade Septia Putra	Project Team Leader	PLN Enjiniring	8
13	Hans Zwingly	Electrical Engineer	PLN Enjiniring	8
14	Ade Febriandasari	Civil Engineer	PLN Enjiniring	8
15	Rio Dwi Fadri	Contract Engineer	PLN Enjiniring	8

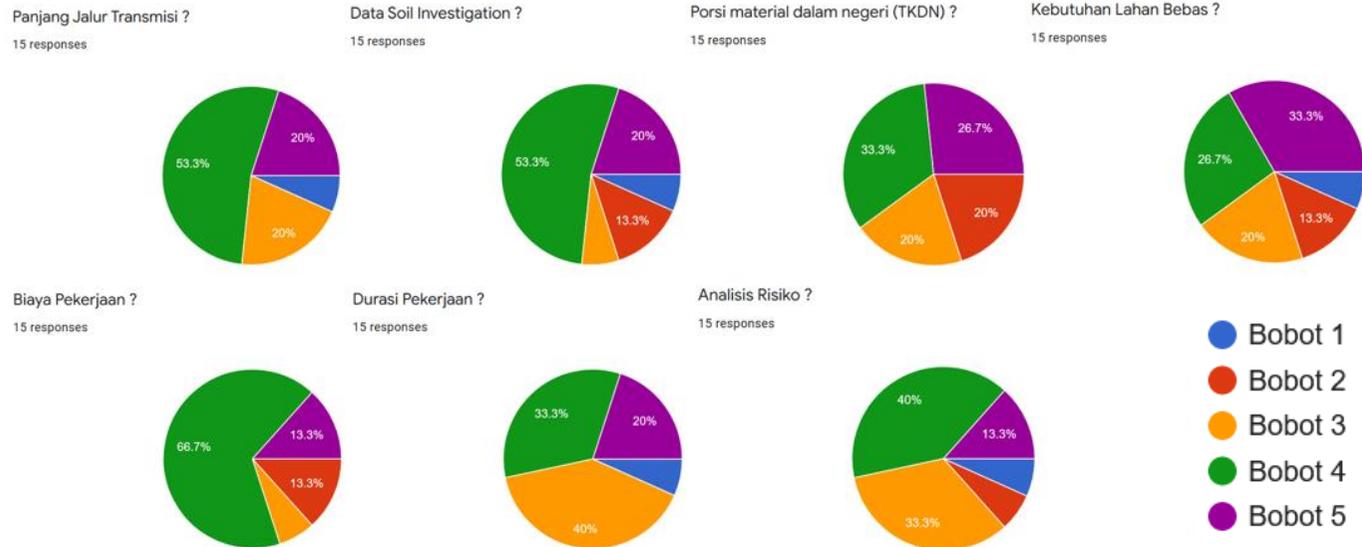
Rekapitulasi dari hasil yang dominan dari masing-masing kriteria sebagai berikut

- Panjang Jalur (C1) : Bobot 4
- Data Soil Investigation (C2) : Bobot 4
- Porsi Material dalam Negeri(C3) : Bobot 4
- Kebutuhan Lahan Bebas (C4) : Bobot 5
- Estimasi Biaya Pekerjaan (C5) : Bobot 4
- Durasi Waktu Pekerjaan (C6) : Bobot 3
- Analisis risiko (C7) : Bobot 4

Data lengkap dari hasil survey dapat dilihat pada tabel II.2 berikut ini.

Tabel II.2 Hasil Survey Bobot preferensi

No	Nama Responden	Posisi/Jabatan	Instansi	Pengalaman kerja	Waktu Pengisian kuesioner	Panjang Jalur	Data Soil Investigatio	Porsi material	Kebutuhan Lahan	Biaya Pekerjaan ?	Durasi Pekerjaan ?	Analisis Risiko ?
1	Lomo Turnip	Sr.Manager Perencanaan	PLN UIP MPA	28	2022/03/08 3:31:01 PM GMT+9	5	4	5	3	4	5	5
2	Donald Silaen	Manager UPP	PLN UIP MPA	15	2022/03/10 7:47:55 AM GMT+9	3	5	5	5	5	5	4
3	Hotmasterman Simbolon	Manager Perencanaan Sipil	UIP MPA	12	2022/03/10 12:01:40 PM GMT+9	4	3	4	5	4	3	4
4	Santo Perdana Putra	Asman Ren Sipil	PLN UIP MPA	8	2022/03/08 4:27:36 PM GMT+9	4	4	5	5	4	4	4
5	Buyung Sofiarto Munir	VP Transmisi & Distribusi	PLN Enjiniring	19	2022/03/08 3:34:41 PM GMT+9	4	5	3	4	5	5	5
6	Rizal Agung Widhodho	Manager Jasa Engineering	PLN Enjiniring	25	2022/03/08 9:52:30 AM GMT+9	1	1	2	1	2	1	1
7	kiswanto	Project Team Leader	PLN Enjiniring	15	2022/03/08 3:49:46 PM GMT+9	4	4	5	3	4	3	3
8	Andi Listiyarso	Sr.Civil Engineer	PLN Enjiniring	15	2022/03/08 4:00:56 PM GMT+9	4	4	4	4	4	3	3
9	Maria Amzhelmia Fernandes	Sr.Electrical Engineer	PLN Enjiniring	10	2022/03/08 3:37:37 PM GMT+9	5	5	4	5	4	4	4
10	Dipa Nuklerangga	Sr.Civil Engineer	PLN Enjiniring	10	2022/03/07 5:37:27 PM GMT+9	3	2	2	2	2	3	2
11	Ammar Syahid Rabbani	Electrical Engineer	PLN Enjiniring	8	2022/03/08 11:55:51 AM GMT+9	4	4	2	4	4	4	4
12	Ade Septia Putra	Project Team Leader	PLN Enjiniring	8	2022/03/04 10:06:53 AM GMT+9	4	4	4	5	4	4	4
13	Hans Zwingly	Electrical Engineer	PLN Enjiniring	8	2022/03/08 1:41:18 PM GMT+9	5	4	3	3	4	3	3
14	Ade Febriandasari	Civil Engineer	PLN Enjiniring	8	2022/03/08 11:38:39 PM GMT+9	4	4	3	4	4	4	3
15	Rio Dwi Fadjri	Contract Engineer	PLN Enjiniring	8	2022/03/08 11:02:09 PM GMT+9	3	2	4	2	3	3	3



Gambar II.1 Data Survey kuesioner Bobot Preferensi

Tabel II.3 Nilai Bobot preferensi (tahap pertama) – all data

No	Nama Responden	Posisi/Jabatan	Instansi	Pengalaman kerja	Waktu Pengisian kuesioner	Panjang Jalur	Data Soil Investigatio	Porsi material	Kebutuhan Lahan	Biaya Pekerjaan ?	Durasi Pekerjaan ?	Analisis Risiko ?
1	Lomo Turnip	Sr.Manager Perencanaan	PLN UIP MPA	28	2022/03/08 3:31:01 PM GMT+9	5	4	5	3	4	5	5
2	Donald Silaen	Manager UPP	PLN UIP MPA	15	2022/03/10 7:47:55 AM GMT+9	3	5	5	5	5	5	4
3	Santo Perdana Putra	Asman Ren Sipil	PLN UIP MPA	8	2022/03/08 4:27:36 PM GMT+9	4	4	5	5	4	4	4
4	Buyung Sofiarso Munir	VP Transmisi & Distribusi	PLN Enjiniring	19	2022/03/08 3:34:41 PM GMT+9	4	5	3	4	5	5	5
5	Rizal Agung Widhodho	Manager Jasa Engineering	PLN Enjiniring	25	2022/03/08 9:52:30 AM GMT+9	1	1	2	1	2	1	1
6	kiswanto	Project Team Leader	PLN Enjiniring	15	2022/03/08 3:49:46 PM GMT+9	4	4	5	3	4	3	3
7	Andi Listiyarso	Sr.Civil Engineer	PLN Enjiniring	15	2022/03/08 4:00:56 PM GMT+9	4	4	4	4	4	3	3
8	Maria Amzhelmia Fernandes	Sr.Electrical Engineer	PLN Enjiniring	10	2022/03/08 3:37:37 PM GMT+9	5	5	4	5	4	4	4
9	Dipa Nuklerangga	Sr.Civil Engineer	PLN Enjiniring	10	2022/03/07 5:37:27 PM GMT+9	3	2	2	2	2	3	2
10	Ammar Syahid Rabbani	Electrical Engineer	PLN Enjiniring	8	2022/03/08 11:55:51 AM GMT+	4	4	2	4	4	4	4
11	Ade Septia Putra	Project Team Leader	PLN Enjiniring	8	2022/03/04 10:06:53 AM GMT+	4	4	4	5	4	4	4
12	Hans Zwingly	Electrical Engineer	PLN Enjiniring	8	2022/03/08 1:41:18 PM GMT+9	5	4	3	3	4	3	3
13	Ade Febriandarasari	Civil Engineer	PLN Enjiniring	8	2022/03/08 11:38:39 PM GMT+	4	4	3	4	4	4	3
14	Rio Dwi Fadri	Contract Engineer	PLN Enjiniring	8	2022/03/08 11:02:09 PM GMT+	3	2	4	2	3	3	3
Hasil Bobot Preferensi yang digunakan						4,000	4,000	4,000	5,000	4,000	3,000	4,000

Tabel II.4 Nilai Bobot preferensi (tahap kedua) – diluar 8 tahun

No	Nama Responden	Posisi/Jabatan	Instansi	Pengalaman kerja	Waktu Pengisian kuesioner	Panjang Jalur	Data Soil Investigatio	Porsi material	Kebutuhan Lahan	Biaya Pekerjaan ?	Durasi Pekerjaan ?	Analisis Risiko ?
1	Lomo Turnip	Sr.Manager Perencanaan	PLN UIP MPA	28	2022/03/08 3:31:01 PM GMT+9	5	4	5	3	4	5	5
2	Donald Silaen	Manager UPP	PLN UIP MPA	15	2022/03/10 7:47:55 AM GMT+9	3	5	5	5	5	5	4
3	Santo Perdana Putra	Asman Ren Sipil	PLN UIP MPA	8	2022/03/08 4:27:36 PM GMT+9	4	4	5	5	4	4	4
4	Buyung Sofiarso Munir	VP Transmisi & Distribusi	PLN Enjiniring	19	2022/03/08 3:34:41 PM GMT+9	4	5	3	4	5	5	5
5	Rizal Agung Widhodho	Manager Jasa Engineering	PLN Enjiniring	25	2022/03/08 9:52:30 AM GMT+9	1	1	2	1	2	1	1
6	kiswanto	Project Team Leader	PLN Enjiniring	15	2022/03/08 3:49:46 PM GMT+9	4	4	5	3	4	3	3
7	Andi Listiyarso	Sr.Civil Engineer	PLN Enjiniring	15	2022/03/08 4:00:56 PM GMT+9	4	4	4	4	4	3	3
8	Maria Amzhelmia Fernandes	Sr.Electrical Engineer	PLN Enjiniring	10	2022/03/08 3:37:37 PM GMT+9	5	5	4	5	4	4	4
9	Dipa Nuklerangga	Sr.Civil Engineer	PLN Enjiniring	10	2022/03/07 5:37:27 PM GMT+9	3	2	2	2	2	3	2
10	Ammar Syahid Rabbani	Electrical Engineer	PLN Enjiniring	8	2022/03/08 11:55:51 AM GMT+	4	4	2	4	4	4	4
11	Ade Septia Putra	Project Team Leader	PLN Enjiniring	8	2022/03/04 10:06:53 AM GMT+	4	4	4	5	4	4	4
12	Hans Zwingly	Electrical Engineer	PLN Enjiniring	8	2022/03/08 1:41:18 PM GMT+9	5	4	3	3	4	3	3
13	Ade Febriandarasari	Civil Engineer	PLN Enjiniring	8	2022/03/08 11:38:39 PM GMT+	4	4	3	4	4	4	3
14	Rio Dwi Fadri	Contract Engineer	PLN Enjiniring	8	2022/03/08 11:02:09 PM GMT+	3	2	4	2	3	3	3
Hasil Bobot Preferensi yang digunakan						4,000	4,000	5,000	5,000	4,000	5,000	4,000

LAMPIRAN III

Detail Perhitungan

Dalam tahapan ini penulis melakukan perhitungan dan formulasi terhadap data yang telah dikumpulkan pada tahap pengolahan data yang dilihat pada pasal 4.2 sampai 4.4 diatas dengan menggunakan perhitungan TOPSIS seperti yang telah dijelaskan pada BAB III.

Ditahap awal perhitungan setelah ditemukan semua data hasil desain yang didapatkan baik dari hasil survey lapangan ataupun hasil dari hasil kesepakatan pendekatan engineering, Langkah awal adalah melakukan rekapitulasi atribut yang akan digunakan dalam perhitungan TOPSIS sebagai berikut

Tabel III.1 Rekap hasil kriteria pada masing-masing alternatif

Uraian Kriteria	Kriteria	Kategori	Hasil						
			SUTT	x_n	SKTT	x_n	SKLT	x_n	Satuan
Panjang Jalur	Kriteria 1 (c1)	Cost	29,8	x_{11}	25,7	x_{21}	21	x_{31}	km
Data tanah	Kriteria 2 (c2)	Benefit	30	x_{12}	60	x_{22}	10	x_{32}	kg/cm ²
Porsi Material Dalam Negeri	Kriteria 3 (c3)	Benefit	100	x_{13}	47,3	x_{23}	8,88	x_{33}	%
Kebutuhan Lahan Bebas	Kriteria 4 (c4)	Cost	24.080	x_{14}	9.180	x_{24}	500	x_{34}	m ²
Estimasi Biaya Pekerjaan	Kriteria 5 (c5)	Cost	183.600.392.324	x_{15}	351.249.274.496	x_{25}	705.549.192.081	x_{35}	Rupiah
Durasi Pekerjaan	Kriteria 6 (c6)	Cost	32	x_{16}	34	x_{26}	28	x_{36}	Bulan
Analisis Risiko	Kriteria 7 (c7)	Benefit	44	x_{17}	34	x_{27}	51	x_{37}	satuan

Selanjutnya tabel diatas dimasukkan kedalam formula matriks keputusan sebagai berikut.

Tabel III.2 Matriks Keputusan

No	Alternatif	Kriteria Biaya/Teknis					Kriteria Durasi Waktu	Kriteria Risiko
		c1	c2	c3	c4	c5		
1	SUTT	29,80	30	100	24.080	183.600.392.324	32	44
2	SKTT	25,70	60	47,30	9.180	351.249.274.496	34	34
3	SKLT	21	10	8,88	500	705.549.192.081	28	51

c1 = Panjang Jalur

c5 = Estimasi Biaya Pekerjaan

c2 = Data Soil Investigation

c6 = Durasi Waktu Pekerjaan

c3 = Porsi Material dalam Negeri

c7 = Analisis risiko & Lingkungan

c4 = Kebutuhan Lahan Bebas

Selanjutnya dilakukan matriks keputusan ternormalisasi sebagai berikut :

Tabel III.3 Formulasi Tabel Matriks Keputusan Ternormalisasi

NO	Alternatif	Kriteria berdasarkan Biaya/Teknis					kriteria durasi	kriteria Risiko
		c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
1	SUTT (A1)	x_{11}/x_{c1}	x_{12}/x_{c2}	x_{13}/x_{c3}	x_{14}/x_{c4}	x_{15}/x_{c5}	x_{16}/x_{c6}	x_{17}/x_{c7}
2	SKTT (A2)	x_{21}/x_{c1}	x_{22}/x_{c2}	x_{23}/x_{c3}	x_{24}/x_{c4}	x_{25}/x_{c5}	x_{26}/x_{c6}	x_{27}/x_{c7}
3	SKLT (A3)	x_{31}/x_{c1}	x_{32}/x_{c2}	x_{33}/x_{c3}	x_{34}/x_{c4}	x_{35}/x_{c5}	x_{36}/x_{c6}	x_{37}/x_{c7}

dimana :

x_{11} sampai dengan x_{37} merupakan notasi simbol hasil kriteria sesuai tabel III.1 untuk x_{c1} sampai x_{c7} dapat dilihat pada rumus sebagai berikut :

Tabel III.4 Formulasi x_{cn} pada matriks keputusan ternormalisasi

$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$	$\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}$
x_{c1}	44,60
x_{c2}	67,82
x_{c3}	110,9781258
x_{c4}	25,775
x_{c5}	809.249.540.835
x_{c6}	54,44263036
x_{c7}	75,45

sehingga selanjutnya dengan menggabungkan hasil pada tabel III.3 dan tabel III.4 didapatkan matriks keputusan ternormalisasi sebagaimana pada tabel III.5 sebagai berikut :

Tabel III.5 Matriks Keputusan Ternormalisasi

No	Alternatif	Kriteria Biaya/Teknis					Kriteria Durasi Waktu	Kriteria Risiko
		c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
1	SUTT	0,668	0,442	0,901	0,934	0,227	0,588	0,583
2	SKTT	0,576	0,885	0,426	0,356	0,434	0,625	2,219
3	SKLT	0,471	0,147	0,080	0,019	0,872	0,514	0,676

Setelah didapatkan Matriks Keputusan Ternormalisasi sesuai dengan Tabel III.5 tersebut diatas, maka selanjutnya akan dilakukan perhitungan Matriks keputusan

ternormalisasi terbobot. Untuk mendapatkan matriks ini diperlukan nilai bobot preferensi untuk faktor pengali pada matriks keputusan ternormalisasi. Untuk nilai bobot ini digunakan hasil survey bobot preferensi yang telah didapatkan pada Lampiran II diatas dan selanjutnya menghasilkan matriks keputusan ternormalisasi terbobot sebagai berikut :

Tabel III.6 Matriks keputusan ternormalisasi terbobot

No	Alternatif	Kriteria Biaya/Teknis					Kriteria Durasi Waktu	Kriteria Risiko
		c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
1	SUTT	2,672	1,769	3,604	4,671	0,908	1,763	2,333
2	SKTT	2,305	3,539	1,705	1,781	1,736	1,874	8,877
3	SKLT	1,883	0,590	0,320	0,097	3,487	1,543	2,704

Langkah selanjutnya setelah dilakukan penelusuran terhadap masing-masing baris kriteria (dari c1 sampai c7) untuk menemukan angka yang paling maksimum dan minimum dari setiap baris terlebih dahulu dikategorikan mana atribut yang masuk ke kategori *benefit* ataupun *cost* sesuai dengan rekapitulasi yang sudah disampaikan pada tabel III.1 sehingga selanjutnya didapatkan solusi ideal positif dan negatif sebagai berikut:

$$\text{Solusi Ideal Positif } (A_i^+) = 1,883 \quad 3,539 \quad 3,604 \quad 0,097 \quad 0,908 \quad 1,543 \quad 2,333$$

$$\text{Solusi Ideal Negatif } (A_i^-) = 2,672 \quad 0,590 \quad 0,320 \quad 4,671 \quad 3,487 \quad 1,874 \quad 8,877$$

Kemudian setelah itu dengan menggunakan formula persamaan 3.2 dan 3.3 dari pasal 3.5.4 (BAB III), kemudian didapatkan separasi ideal positif negatif sebagai berikut.

Tabel III.7 Separasi terhadap solusi ideal positif dan Negatif

D1(+)	4,972377	D1(-)	7,85308
D2(+)	7,088153	D2(-)	4,70845
D3(+)	5,125976	D3(-)	7,730505

Selanjutnya setelah ditemukan nilai seperasi sesuai dengan tabel III.7 diatas maka selanjutnya nilai ini diolah Kembali dengan menggunakan persamaan 3.4 dari pasal 3.5.5 (bab sebelumnya) sehingga didapatkan nilai hasil solusi ideal yang dapat dilihat pada tabel III.8 berikut:

Tabel III.8 Nilai solusi ideal setiap alternatif

V1	0,612304	SUTT
V2	0,399136	SKTT
V3	0,601292	SKLT

Sehingga dari hasil ini dapat diketahui bahwa nilai preferensi terbesar adalah V1 yaitu pada alternatif SUTT. Sehingga dengan perhitungan diketahui bahwa secara prinsip didapatkan hasil SUTT menjadi rekomendasi keputusan.

Perhitungan Analisis Sensitivitas Kriteria

- Pada tahapan ini dilakukan iterasi perhitungan dengan merubah (mengurangi ataupun menambah) nilai dari nilai original (sesuai perhitungan) sebagai berikut

Tabel III.9 Tabel uji sensitivitas dari sisi bobot preferensi

Bobot preferensi		Jarak terhadap solusi ideal positif		kedekatan setiap alternatif terhadap solusi ideal		
panjang jalur	C1 4	D1(+)	5,141189	v1	0,604	SUTT
soil investigation	C2 4	D2(+)	7,104453	v2	0,402	SKTT
tkdn	C3 4	D3(+)	5,125976	v3	0,605	SKLT
kebutuhan lahan	C4 5,2	Jarak terhadap solusi ideal negatif				
Biaya pekerjaan	C5 4	D1(-)	7,85308			
durasi waktu	C6 3	D2(-)	4,780293			
risiko lingkungan	C7 4	D3(-)	7,840153			

dengan menambahkan +0,2 pada bobot preferensi (kebutuhan lahan bebas) akan mengubah hasil dari keputusan dari SUTT menjadi SKLT

Bobot preferensi	
panjang jalur	C1 4
soil investigation	C2 11
tkdn	C3 4
kebutuhan lahan	C4 5
Biaya pekerjaan	C5 4
durasi waktu	C6 3
risiko lingkungan	C7 4

Jarak terhadap solusi ideal positif

D1(+)	6,72815
D2(+)	7,088153
D3(+)	9,129121

kedekatan setiap alternatif terhadap solusi ideal

v1	0,556	SUTT
v2	0,557	SKTT
v3	0,459	SKLT

dengan menambahkan +7 pada bobot preferensi (soil investigation) akan mengubah hasil dari keputusan dari SUTT menjadi SKTT

Bobot preferensi	
panjang jalur	C1 4
soil investigation	C2 2
tkdn	C3 4
kebutuhan lahan	C4 5
Biaya pekerjaan	C5 4
durasi waktu	C6 3
risiko lingkungan	C7 4

Jarak terhadap solusi ideal positif

D1(+)	4,730402
D2(+)	7,088153
D3(+)	4,444535

kedekatan setiap alternatif terhadap solusi ideal

v1	0,622	SUTT
v2	0,358	SKTT
v3	0,635	SKLT

dengan menambahkan -2 pada bobot preferensi (soil investigation) akan mengubah hasil dari keputusan dari SUTT menjadi SKLT

Bobot preferensi	
panjang jalur	C1 7,9
soil investigation	C2 4
tkdn	C3 4
kebutuhan lahan	C4 5
Biaya pekerjaan	C5 4
durasi waktu	C6 3
risiko lingkungan	C7 4

Jarak terhadap solusi ideal positif

D1(+)	5,150823
D2(+)	7,124409
D3(+)	5,125976

kedekatan setiap alternatif terhadap solusi ideal

v1	0,604	SUTT
v2	0,400	SKTT
v3	0,605	SKLT

dengan menambahkan +3,9 pada bobot preferensi (panjang jalur) akan mengubah hasil dari keputusan dari SUTT menjadi SKLT

Bobot preferensi	
panjang jalur	C1 4
soil investigation	C2 4
tkdn	C3 2
kebutuhan lahan	C4 5
Biaya pekerjaan	C5 4
durasi waktu	C6 3
risiko lingkungan	C7 4

Jarak terhadap solusi ideal positif

D1(+)	4,972377
D2(+)	6,894629
D3(+)	4,264493

kedekatan setiap alternatif terhadap solusi ideal

v1	0,595	SUTT
v2	0,398	SKTT
v3	0,644	SKLT

dengan menambahkan -2 pada bobot preferensi (TKDN) akan mengubah hasil dari keputusan dari SUTT menjadi SKLT

Bobot preferensi	
panjang jalur	C1 4
soil investigation	C2 4
tkdn	C3 4
kebutuhan lahan	C4 5
Biaya pekerjaan	C5 3
durasi waktu	C6 3
risiko lingkungan	C7 4

Jarak terhadap solusi ideal positif

D1(+)	4,972377
D2(+)	7,066929
D3(+)	4,833596

kedekatan setiap alternatif terhadap solusi ideal

v1	0,607	SUTT
v2	0,392	SKTT
v3	0,615	SKLT

dengan menambahkan -1 pada bobot preferensi (Biaya Pekerjaan) akan mengubah hasil dari keputusan dari SUTT menjadi SKLT

Bobot preferensi	
panjang jalur	C1 4
soil investigation	C2 4
tkdn	C3 4
kebutuhan lahan	C4 5
Biaya pekerjaan	C5 4
durasi waktu	C6 3
risiko & lingkungan	C7 2

Jarak terhadap solusi ideal positif

D1(+)	4,972377
D2(+)	4,257117
D3(+)	5,115892

kedekatan setiap alternatif terhadap solusi ideal

v1	0,522	SUTT
v2	0,525	SKTT
v3	0,522	SKLT

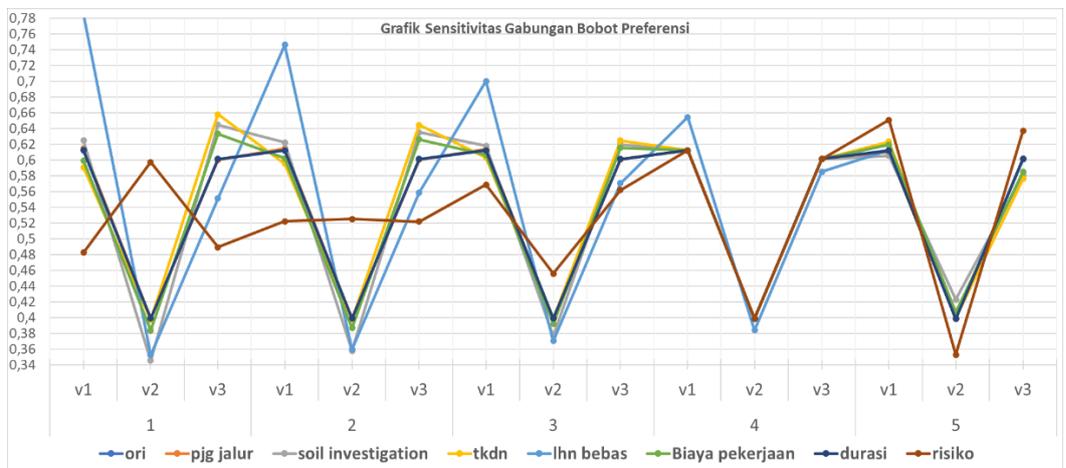
Jarak terhadap solusi ideal negatif

D1(-)	5,436175
D2(-)	4,70845
D3(-)	5,584021

dengan menambahkan -2 pada bobot preferensi (risiko & lingkungan) akan mengubah hasil dari keputusan dari SUTT menjadi SKTT

		ori	pgj jalur	soil investigation	tkdn	lhn bebas	Biaya pekerjaan	durasi	risiko
0	v1	0,612304	0,615327805	0,625576618	0,589253896	0,801097636	0,493710286	0,612514	0,466113
	v2	0,399136	0,398827435	0,341177924	0,397225309	0,350579408	0,606665188	0,399397	0,633553
	v3	0,601292	0,600036024	0,648349881	0,66264386	0,548689768	0,399292888	0,601073	0,476497
0,2	v1	0,612304	0,61532016	0,625540938	0,589318009	0,800398257	0,598700959	0,612513	0,466818
	v2	0,399136	0,398828211	0,341359131	0,397230492	0,350678609	0,383091273	0,399396	0,631887
	v3	0,601292	0,600039183	0,64820899	0,662449412	0,548796441	0,63563861	0,601074	0,477043
1	v1	0,612304	0,61513681	0,624688681	0,590845719	0,784770761	0,599569264	0,612491	0,482669
	v2	0,399136	0,398846812	0,345635987	0,397354214	0,353032059	0,384125979	0,399368	0,597106
	v3	0,601292	0,600114976	0,644871322	0,657865644	0,551328083	0,633303941	0,601097	0,489483
2	v1	0,612304	0,614565453	0,622074595	0,595488194	0,745999587	0,602238996	0,612421	0,52228
	v2	0,399136	0,398904874	0,358182632	0,397732867	0,360065896	0,387298046	0,399281	0,52517
	v3	0,601292	0,600351488	0,634946974	0,644477359	0,558904836	0,626259785	0,601171	0,521875
3	v1	0,612304	0,613618583	0,617875732	0,602814296	0,6999381	0,606547633	0,612304	0,568552
	v2	0,399136	0,399001417	0,376789603	0,398338324	0,37082837	0,392388538	0,399136	0,456181
	v3	0,601292	0,600744537	0,619883799	0,624767226	0,570528326	0,61528517	0,601292	0,561799
4	v1	0,612304	0,612304127	0,612304127	0,612304127	0,654453582	0,612304127	0,612141	0,612304
	v2	0,399136	0,399136103	0,399136103	0,399136103	0,384214353	0,399136103	0,398933	0,399136
	v3	0,601292	0,601292435	0,601292435	0,601292435	0,585038853	0,601292435	0,601463	0,601292
5	v1	0,612304	0,610632881	0,605614346	0,623381731	0,612304127	0,619276081	0,611932	0,650646
	v2	0,399136	0,399308459	0,423265703	0,400084786	0,399136103	0,407230245	0,398673	0,353222
	v3	0,601292	0,601992847	0,5806629	0,576147079	0,601292435	0,585222217	0,601682	0,637062
5,2	v1	0,612304	0,610256952	0,604165893	0,625738198	0,604349505	0,620794431	0,611884	0,657628
	v2	0,399136	0,399347401	0,428174071	0,400288785	0,402220882	0,40898205	0,398614	0,345168
	v3	0,601292	0,602150981	0,576401377	0,571054689	0,60466411	0,581834837	0,601731	0,643677
7,9	v1	0,612304	0,603901752	0,582318522	0,659748885	0,511980882	0,64409597	0,611066	0,732762
	v2	0,399136	0,400015282	0,492701876	0,403297723	0,443736862	0,435408661	0,397599	0,262795
	v3	0,601292	0,604856747	0,518590978	0,504684152	0,650557436	0,533802556	0,602586	0,716444
11	v1	0,612304	0,593998053	0,555677741	0,698302445	0,433791792	0,673651941	0,609724	0,788273
	v2	0,399136	0,401092097	0,556700688	0,406767864	0,485080924	0,467787791	0,395937	0,205523
	v3	0,601292	0,609194902	0,458521726	0,439671741	0,697805909	0,480321494	0,603987	0,771497

Dari tabel III.8 diatas, untuk kondisi bobot preferensi antara 1 sampai dengan 5 dapat juga digambarkan kedalam grafik sebagai berikut.



Gambar III.1 Grafik Sensitivitas Bobot Preferensi

- Tahap selanjutnya adalah melakukan iterasi perhitungan terhadap hasil nilai desain kriteria yang mungkin juga dapat merubah hasil solusi ideal ataupun rekomendasi keputusan sebagai berikut.

Tabel III.10 Tabel uji sensitivitas dari nilai kriteria

uraian kriteria	original value	iterasi		
Panjang Jalur	29,80	41		
Data tanah	30	v1	0,604	SUTT
Porsi Material Dalam Negeri	100	v2	0,406	SKTT
Kebutuhan Lahan Bebas	24.080	v3	0,605	SKLT
Estimasi Biaya Pekerjaan	183.600.392.324			
Durasi Pekerjaan	32			
Analisis Risiko	44			

uraian kriteria	original value	iterasi		
Panjang Jalur	29,80			
Data tanah	30	v1	0,609	SUTT
Porsi Material Dalam Negeri	100	v2	0,400	SKTT
Kebutuhan Lahan Bebas	24.080	v3	0,610	SKLT
Estimasi Biaya Pekerjaan	183.600.392.324	249.000.000.000		
Durasi Pekerjaan	32			
Analisis Risiko	44			

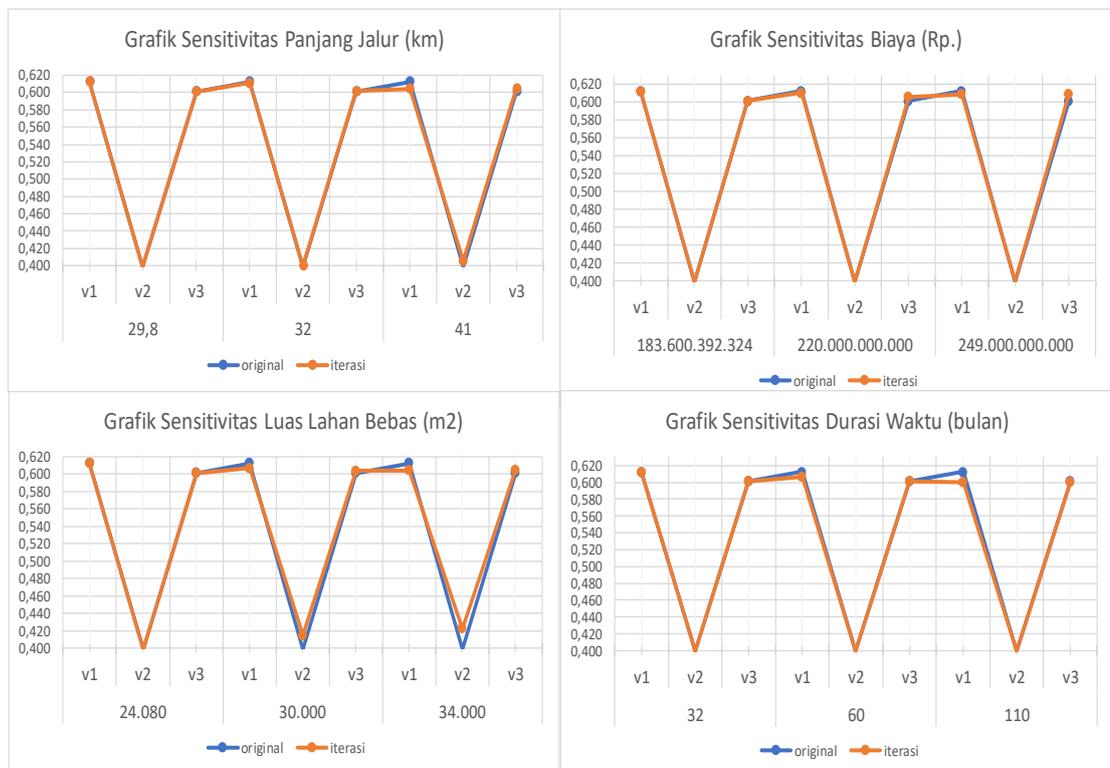
uraian kriteria	original value	iterasi		
Panjang Jalur	29,80	v1	0,604	SUTT
Data tanah	30	v2	0,423	SKTT
Porsi Material Dalam Negeri	100	v3	0,605	SKLT
Kebutuhan Lahan Bebas	24.080	34.000		
Estimasi Biaya Pekerjaan	183.600.392.324			
Durasi Pekerjaan	32			
Analisis Risiko	44			

uraian kriteria	original value	iterasi		
Panjang Jalur	29,80	v1	0,600	SUTT
Data tanah	30	v2	0,399	SKTT
Porsi Material Dalam Negeri	100	v3	0,601	SKLT
Kebutuhan Lahan Bebas	24.080			
Estimasi Biaya Pekerjaan	183.600.392.324			
Durasi Pekerjaan	32	110		
Analisis Risiko	44			

c		original	iterasi			original	iterasi
29,8	v1	0,612	0,612	183.600.392.324	v1	0,612	0,612
	v2	0,399	0,399		v2	0,399	0,399
	v3	0,601	0,601		v3	0,601	0,601
32	v1	0,612	0,611	220.000.000.000	v1	0,612	0,610
	v2	0,399	0,400		v2	0,399	0,399
	v3	0,601	0,602		v3	0,601	0,606
41	v1	0,612	0,604	249.000.000.000	v1	0,612	0,609
	v2	0,399	0,406		v2	0,399	0,400
	v3	0,601	0,605		v3	0,601	0,610

		original	iterasi			original	iterasi
24.080	v1	0,612	0,612	32	v1	0,612	0,612
	v2	0,399	0,399		v2	0,399	0,399
	v3	0,601	0,601		v3	0,601	0,601
30.000	v1	0,612	0,607	60	v1	0,612	0,607
	v2	0,399	0,415		v2	0,399	0,399
	v3	0,601	0,604		v3	0,601	0,601
34.000	v1	0,612	0,604	110	v1	0,612	0,600
	v2	0,399	0,423		v2	0,399	0,399
	v3	0,601	0,605		v3	0,601	0,601

Dari tabel III.9 diatas bila dilihat secara grafik dapat dilihat pada Gambar III.2 berikut:



Gambar III.2 Grafik Sensitivitas Kriteria