



Perencanaan Rute dan Desain Lendutan Kabel Listrik untuk Jalur Transmisi dari PLTS Apung Kutai Lama ke Gardu Induk PLN Sambutan Samarinda

(Route Planning and Sagging Design of Electric Cable for Transmission Line from Kutai Lama Floating Solar Power Plant to Sambutan Samarinda Power Substation)

Dinda Amar Pradana¹, Bambang Kun Cahyono¹

¹Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Penulis Korespondensi : Bambang Kun Cahyono | **Email** : bambangkun@ugm.ac.id

Diterima (*Received*): 19/Aug/2021 Direvisi (*Revised*): 23/11/2022 Diterima untuk Publikasi (*Accepted*): 01/Dec/2022

ABSTRAK

Dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) apung yang direncanakan berada di area galian bekas tambang batubara PT. Alfa Daya Energi di Kutai Lama, diperlukan studi pembangunan berupa *Pre-Feasibility Study*. Salah satunya yaitu daya dukung pembangunan jaringan transmisi yang menghubungkan PLTS apung ke gardu induk terdekat yaitu GI PLN Sambutan dan desain lendutan kabel sepanjang jalur transmisi dengan menggunakan Metode *Desktop Study*. Pelaksanaan kegiatan ini meliputi tahapan identifikasi penutup lahan, ekstraksi *Digital Terrain Model (DTM)* dengan metode *filtering*, pemilihan rute dengan Metode *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, penempatan titik rencana *tower* transmisi, dan juga pembuatan desain lendutan. Titik rencana *tower* transmisi memiliki jarak gawang sebesar 300 meter, dengan memperhatikan ruang bebas dan jarak bebas lendutan kabel terhadap objek di sekitarnya ke arah vertikal dan horizontal (sesuai dengan dokumen SPLN T5.006:2019). Desain lendutan perlu memperhatikan data DTM dan DSM untuk menentukan elevasi tower, dan sudut defleksi dalam penentuan tipe tower. Hasil yang diperoleh dari kegiatan ini yaitu 3 alternatif rute transmisi dengan mempertimbangkan panjang rute, jumlah *tower* pendekatan berdasarkan panjang rute, akses terhadap jaringan jalan utama serta jarak terhadap kawasan permukiman. Berdasarkan pertimbangan tersebut dipilih 1 alternatif rute transmisi yaitu rute kedua yang memiliki panjang 13,5 kilometer dengan jumlah *tower* transmisi sebanyak 44 buah dengan masing-masing jumlah *tower* untuk tipe AA sebanyak 33 *tower*, tipe CC sebanyak 2 *tower*, tipe DD sebanyak 3 *tower*, tipe EE sebanyak 4 *tower* dan tipe DDR sebanyak 2 *tower*. Untuk desain lendutan, diperoleh nilai rasio *sagging* berkisar antara 0,62 sampai 1,49 dengan rata-rata rasio sebesar 0,99.

Kata Kunci: Perencanaan rute transmisi, desain lendutan kabel listrik, jalur transmisi, PLTS Apung Kutai Lama

ABSTRACT

In the development of the floating solar power plant, which is planned to be located in the ex-coal mine excavated area of PT Alfa Daya Energi in Kutai Lama, a Pre-Feasibility Study is needed. One of them is the carrying capacity's construction of a transmission line that connects the floating solar power plant to the nearest substation (GI PLN Sambutan) and the sagging design along the transmission line using the Desktop Study Method. The implementation of this activity includes the stages of land cover identification, extraction of the Digital Terrain Model (DTM) with filtering method, route selection using Analytic Hierarchy Process Method, placing the transmission towers along the route, and the sagging design of the electric cable. The distance interval of the transmission tower is 300 meters by considering the clearance space and the free distance of the cable sagging to the surrounding objects in the vertical and horizontal directions (according to the SPLN document T5.006: 2019). The results obtained from this activity are three alternative transmission routes by considering the length of the route, the number of approach towers based on the length of the route, access to the main road network, and the distance to residential areas. Based on these considerations, only one of the alternative transmission routes was chosen. The second route has a length of 13,5 kilometers with 44 transmission towers with 33 towers for type AA, 2 towers for CC type, 3 DD towers, the EE type has 4 towers, and the DDR type has 2 towers. For the sagging design, the sagging ratio values ranged from 0,62 to 1,49, with an average ratio of 0.99.

Keywords: Electric cable route planning, sagging design of electric cable, transmission line, Kutai Lama floating solar power plant

1. Pendahuluan

Peraturan Menteri ESDM No. 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik menyebutkan bahwa pemerintah melaksanakan percepatan pencapaian tingkat pemanfaatan energi baru dan terbarukan dengan mendorong pemanfaatan energi menjadi tenaga listrik. Pengembangan pembangkit listrik didasari oleh pertimbangan tersedianya energi primer yang dapat menghasilkan listrik dan potensi sumber energi terbarukan yang dimiliki Kalimantan Timur, salah satunya yaitu energi surya untuk selanjutnya dilakukan pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penerapan teknologi PLTS menjadi solusi yang baik dalam memanfaatkan potensi energi surya yang tersedia (Subandi & Hani, 2015).

Salah satu langkah yang dapat dimulai yaitu aspek perencanaan lokasi. Lokasi pembangkit listrik juga harus mampu mendukung kemudahan kegiatan distribusi listrik sehingga perlu dilakukan *Pre Feasibility Study* yaitu daya dukung pembangunan jaringan transmisi melalui perencanaan rute. Rute tersebut menghubungkan PLTS dengan gardu induk PLN terdekat yaitu GI Sambutan. Rute tersebut ditentukan dengan memperhatikan penggunaan lahan, khususnya keberadaan permukiman dan panjang rute jalur kabel transmisi tersebut.

Selain rute transmisi, juga diperlukan kegiatan perencanaan desain lendutan kabel yang menghubungkan jalur transmisi tersebut sehingga didapatkan perkiraan kebutuhan tower transmisi yang nantinya berguna dalam perhitungan biaya pembangunan yang dibutuhkan. Desain lendutan kabel dihitung dengan memperhatikan jenis dan ukuran kabel, variasi lendutan pada suhu dingin dan panas, ruang bebas vertikal, dan tipe tower yang digunakan. Terkait dengan penetapan ruang bebas vertikal, tinggi tower, dan tipe tower, analisis sangat geospasial tentunya diperlukan. Penentuan tinggi setiap tower akan berbeda-beda tergantung pada jarak aman kabel atau ruang bebas vertikal setiap kabel konduktor. Ruang bebas vertikal akan sangat ditentukan dengan besarnya lendutan kabel konduktor pada saat suhu panas dan kondisi DSM atau DTM di jalur tersebut. Adapun penentuan tipe tower akan ditentukan oleh besarnya sudut defleksi antar tower.

Kegiatan aplikatif ini bertujuan untuk memperoleh suatu rencana jalur transmisi sebagai bentuk kajian kelayakan (*Pre-Feasibility Study*) dalam studi pembangunan PLTS Apung di area galian bekas tambang batubara PT. Alfa Daya Energi di daerah Kutai Lama ke GI PLN Sambutan di Samarinda berdasarkan pada kriteria pembobotan yang ditentukan dengan metode AHP. Salin itu, kegiatan ini juga dimaksudkan untuk memperoleh suatu desain lendutan kabel sepanjang jalur transmisi.

Kegiatan ini dilakukan dengan Metode *Desktop Study* yang mempertimbangkan informasi penutup lahan dengan mengacu pada dokumen SPLN T5.006:2019 tentang Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), dan Saluran Udara Tegangan Tinggi Arus

Searah (SUTTAS) (KESDM, 2019) (PLN, 2019) dengan tegangan yang digunakan yaitu SUTT 66 kV.

2. Data dan Metodologi

2.1. Data dan Lokasi

Data yang digunakan dalam kegiatan aplikatif ini diantaranya adalah :

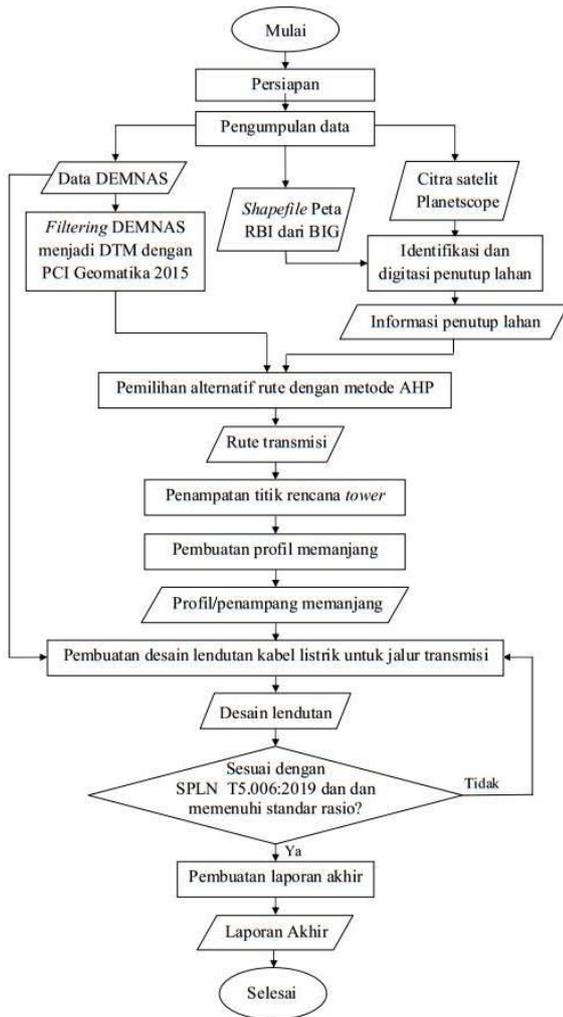
1. Data DEM dari DEMNAS dengan NLP 1915-42, 1915-41, 1915-13 dan 1915-14 (daerah Kota Samarinda) dengan resolusi spasial sebesar 0,27-arcsecond dari laman resmi Badan Informasi Geospasial (BIG).
2. Data koordinat rencana lokasi *power house* PLTS Apung di area galian bekas tambang batubara PT. Alfa Daya Energi di Kutai Lama yang diperoleh dari pengukuran lapangan oleh Tim *Pre-Feasibility Study* PLTS Apung, Pusat Studi Energi UGM.
3. Data koordinat GI PLN Sambutan di Samarinda yang diperoleh dari pengukuran lapangan oleh Tim *Pre-Feasibility Study* PLTS Apung, Pusat Studi Energi UGM.
4. Citra satelit *PlanetScope* resolusi 3 meter tahun 2021 yang mencakup wilayah kajian
5. Data vektor Peta Per Wilayah untuk Wilayah Samarinda dengan format *shapefile* yang diperoleh dari laman resmi Badan Informasi Geospasial (BIG)
6. Dokumen SPLN T5.006:2019 tentang Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum pada SUTT, SUTET, dan SUTTAS dengan tegangan yang digunakan SUTT 66 kV.
7. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 02 Tahun 2019 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 18 Tahun 2015 Tentang Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi, Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi, dan Saluran Udara Tegangan Tinggi Arus Searah Untuk Penyaluran Tenaga Listrik.



Gambar 1. Lokasi kegiatan
(sumber Gambar: Citra Planet Scope
<https://www.planet.com/basemaps>)

Kegiatan aplikatif ini dilaksanakan di sepanjang wilayah yang menghubungkan rencana lokasi PLTS Apung di area galian bekas tambang batubara PT. Alfa Daya Energi di Kutai Lama dengan GI PLN Sambutan di Samarinda, Kalimantan Timur. Cakupan wilayah kajian pada kegiatan ini tersaji pada Gambar 1.

2.2. Metodologi



Gambar 2. Diagram alir pelaksanaan kegiatan

Tahapan kegiatan disajikan pada Gambar 2, yang diawali dengan persiapan dan pengumpulan data sekunder. Setelah data yang diperlukan terkumpul, selanjutnya dilakukan tahapan identifikasi dan digitasi penutup lahan menggunakan Citra Satelit *Planetscope* pada wilayah kajian dengan metode interpretasi visual menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.3. Interpretasi visual dilakukan berdasarkan pengenalan obyek secara spasial dengan berdasarkan pada unsur interpretasi yaitu warna, bentuk, ukuran, pola, bayangan, tekstur dan asosiasi (Köhl, dkk., 2006). Skema klasifikasi yang digunakan merujuk pada SNI 7645:2010 tentang Klasifikasi Penutup Lahan untuk Skala 1:25.000 yang disesuaikan dengan kenampakan pada area di sepanjang rute jalur transmisi (BSN, 2010) Tahapan digitasi penutup lahan ini dilakukan untuk menghasilkan data vektor dari kelas-kelas penutup lahan untuk selanjutnya dapat menjadi acuan pertimbangan dalam pemilihan rute transmisi.

Sebelum pemilihan rute transmisi dilakukan, perlu terlebih dulu dilakukan tahapan ekstraksi DTM dari data

DEMNAS dengan Metode *Slope Based Filtering*. Untuk melakukan *filtering* dari DSM menjadi DTM dapat ditempuh dengan berbagai cara salah satunya dengan metode *filtering*. Pada kegiatan ini DTM yang digunakan bersumber dari hasil *filtering* data DSM dengan menggunakan Metode *Slope Based Filtering*. Algoritma *filtering* berbasis kemiringan lereng dapat dikembangkan dengan membandingkan kemiringan lereng dengan kemiringan titik tetangganya (Vosselman, 2000). Konsep ini dikembangkan berdasarkan suatu asumsi bahwa nilai perbedaan tinggi dari dua buah sel bertetangga diakibatkan oleh curamnya lereng pada permukaan.

Pambudi, dkk., (2016) menyebutkan bahwa sel yang letaknya lebih tinggi dapat menjadi ground jika jarak dari kedua sel dikurangi. Sebuah sel dapat diklasifikasikan sebagai permukaan tanah jika tidak ada sel lain dalam jangkauan radius pencarian kernel yang ketinggiannya melewati ambang batas (*threshold*). Perangkat lunak yang digunakan pada tahapan ini yaitu PCI Geomatika 2015.

DEM merupakan suatu *database* yang menampung nilai titik-titik dari suatu permukaan bumi yang kemudian dapat dibedakan menjadi *Digital Terrain Model* dan juga *Digital Surface Model* (Jensen, 2007). DSM dibentuk dari nilai elevasi yang berada pada permukaan bumi berikut dengan penutupnya. DSM yang digunakan untuk membentuk DTM secara digital ini menghapus seluruh obyek yang ada di atas permukaan areanya (Purwanto, 2015). Dari DTM pendekatan hasil *filtering* kemudian dilakukan *generate contour* untuk selanjutnya dapat digunakan dalam pembuatan profil memanjang dari rute transmisi yang akan dipilih. DTM adalah representasi statistik sederhana permukaan tanah yang kontinu dari banyak titik yang diketahui koordinat x, y, dan z pada sistem koordinat tertentu (Li, dkk., 2004).

Operation yang dapat digunakan pada DEM *editing* di perangkat lunak PCI Geomatika cukup beragam, salah satunya yaitu jenis operasi *terrain filter (flat)*. Hal ini mempertimbangkan area yang akan di *filter* merupakan *terrain* dengan kondisi yang datar (Pradana, 2021). Dari hasil pemrosesan *terrain filter* kemudian dapat disimpan sebagai file baru dengan format .tif. File hasil filter tersebut selanjutnya digunakan untuk *generate contour* hingga diperoleh informasi garis kontur di wilayah kajian.

Jalur transmisi merupakan kawat-kawat yang dipasang pada *tower*/menara ataupun menggunakan kabel yang dipendam di bawah permukaan tanah dan memiliki fungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit ke gardu induk penurun tegangan (yang memiliki *transformer* untuk menurunkan tegangan) dari tegangan transmisi ke tegangan distribusi (Hasbullah, 2009). Pemilihan rute pada perencanaan suatu jalur transmisi dipilih dengan mempertimbangkan berbagai faktor teknis maupun nonteknis. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan antara lain sebagai berikut (Wiji, 2020) :

- a. Faktor Teknis
 1. Rute dibuat dengan memilih jarak terpendek
 2. Mengupayakan pemilihan jalur yang lurus sehingga memperkecil persentase penggunaan *tower* belok pada jalur transmisi.

3. Menempatkan posisi *tower* belok pada lahan yang relatif stabil dan daya dukung tanah yang tinggi.
 4. Pemilihan daerah dengan topografi yang relatif datar dengan struktur tanah yang baik untuk meminimalisir biaya dalam desain pondasi nantinya.
- b. Faktor Nonteknis
1. Semaksimal mungkin menghindari kawasan permukiman, hutan produktif, hutan lindung dan cagar alam.
 2. Memastikan jalur transmisi tidak berada dalam area/radius KKOP bandara, dan daerah sensitif lainnya.

Pada kegiatan ini, pemilihan rute didasarkan pada hasil pembobotan dengan menggunakan Metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Pembobotan dilakukan dengan mempertimbangkan empat (4) kriteria yaitu panjang rute, jumlah *tower* pendekatan berdasarkan panjang rute, akses terhadap jaringan jalan utama, dan posisi rute terhadap kawasan permukiman (Pradana, 2021).

AHP merupakan metode pengambilan keputusan yang dikembangkan oleh Saaty dengan melakukan pembobotan pada kriteria yang terlebih dulu ditentukan (Basak & Saaty, 1993; Ratnawati & Djojomartono, 2020). Pada metode AHP, penentuan nilai bobot dilakukan dengan mengikuti prosedur berikut (Umbara, 2016) :

1. Menentukan kriteria (parameter) yang digunakan.
2. Mengisi matriks perbandingan berpasangan dengan mengacu pada Tabel 1.
3. Normalisasi matriks.
4. Menghitung rata-rata kriteria untuk mendapatkan vektor bobot atau eigen.
5. Melakukan uji konsistensi dari input parameter yang digunakan dengan mengacu pada Persamaan 1.
6. Mencari rasio konsistensi (CR) dengan menggunakan Persamaan 2, dengan RI mengacu pada
7. Tabel 2 dengan Tingkat konsistensi yang dapat diterima yaitu $CR < 0,1$ (Basak & Saaty, 1993).

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Keterangan Persamaan 1 dan Persamaan 2 :

- CI : indeks konsistensi
 λ : nilai eigen, (rata-rata dari nilai vektor konsistensi)
 n : jumlah elemen
 RI : indeks *random* konsistensi
 CR : rasio konsistensi

Tabel 1. Matriks perbandingan berpasangan (Saaty, 2008)

Kriteria	A1	A2	A3
A1	1		
A2		1	
A3			1

Tabel 2. Indeks inkonsistensi acak (Saaty, 2008)

Jumlah Parameter	Random Index (RI)
1	0,00
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49

Berdasarkan faktor-faktor yang telah diuraikan sebelumnya dan 4 parameter yang telah dipilih, dibuat pembobotan dengan menggunakan metode AHP. Perhitungan dilakukan secara subjektif oleh penulis. Berikut disajikan Tabel 3 yang berisi perhitungan matriks perbandingan berpasangan pada kegiatan ini.

Tabel 3. Perhitungan matriks perbandingan

Parameter	a	b	c	d
a	1	0,143	0,2	0,333
b	7	1	5	5
c	5	0,2	1	3
d	3	0,2	0,333	1
jumlah	16	1,543	6,533	9,333

Keterangan: (a) panjang rute; (b) posisi rute terhadap kawasan permukiman; (c) akses terhadap jaringan jalan utama; dan (d) jumlah *tower* pendekatan berdasarkan panjang rute. (Sumber: hasil pengolahan Penulis)

Setelah diperoleh perbandingan berpasangan masing-masing kriteria selanjutnya perlu dilakukan normalisasi matriks. Normalisasi matriks dilakukan untuk seluruh kriteria yang digunakan, diperoleh nilai hasil normalisasi sebagaimana tersaji pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan normalisasi matriks perbandingan berpasangan

Parameter	a	b	c	d
a	0,062	0,092	0,030	0,035
b	0,437	0,648	0,765	0,535
c	0,312	0,130	0,153	0,321
d	0,187	0,130	0,051	0,107
Jumlah	1	1	1	1

(Sumber: hasil pengolahan Penulis)

Tahapan yang perlu dilakukan setelah normalisasi matriks yaitu menghitung rata-rata kriteria untuk mendapatkan vektor bobot atau *eigen*. Rata-rata dari setiap kriteria diperoleh dari nilai rata-rata baris matriks yang sudah dinormalisasi. Rata-rata diperoleh dari jumlah elemen tiap baris dibagi dengan jumlah kriteria (Tabel 5.)

Tabel 5. Vektor bobot dari masing-masing kriteria

No	Parameter	Vektor Bobot (B)
1	a	B1 = 0,055
2	b	B2 = 0,596
3	c	B3 = 0,229
4	d	B4 = 0,119

(Sumber: hasil pengolahan Penulis)

Selanjutnya dibuat matriks perbandingan berpasangan dari masing-masing kriteria terhadap alternatif rute yang sudah dibuat, yaitu rute 1, rute 2, dan rute 3 yang dilanjutkan dengan normalisasi matriks perbandingan berpasangan masing-masing kriteria untuk diperoleh nilai bobot dari masing-masing alternatif rute. Tahapan perhitungan selanjutnya yaitu menentukan rasio konsistensi. Tahapan diawali dengan menentukan vektor jumlah bobot (V) dengan cara mengalikan bobot dengan matriks perbandingan berpasangan dengan perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Perhitungan vektor jumlah bobot

Parameter	Vektor Jumlah Bobot (V)
a	$V1 = (0,055*1) + (0,5969*0,142) + (0,229*0,2) + (0,118*0,333) = 0,226$
b	$V2 = (0,055*7) + (0,596*1) + (0,229*5) + (0,118*5) = 2,724$
c	$V3 = (0,055*5) + (0,596*0,2) + (0,229*1) + (0,118*3) = 0,981$
d	$V4 = (0,055*3) + (0,596*0,2) + (0,229*0,333) + (0,118*1) = 0,480$

(Sumber: hasil pengolahan Penulis)

Selanjutnya dilakukan penentuan vektor konsistensi. Cara perhitungannya yaitu membagi vektor jumlah bobot dengan bobot parameter seperti ditunjukkan pada Tabel 7. Dari perhitungan-perhitungan yang dilakukan, selanjutnya dapat dihitung nilai rata-rata konsistensi (λ), indeks konsistensi (CI) dan rasio konsistensi (CR) dengan mengacu pada Persamaan 1 dan Persamaan 2.

Tabel 7. Perhitungan vektor konsistensi

Parameter	Vektor Konsistensi (K)
a	$K1 = V1/B1 = 0,226/0,055 = 4,083$
b	$K2 = V2/B2 = 2,7245/0,596 = 4,565$
c	$K3 = V3/B3 = 0,981/0,229 = 4,284$
d	$K4 = V4/B4 = 0,480/0,118 = 4,044$

(Sumber: hasil pengolahan Penulis)

$$\lambda = (K1 + K2 + K3 + K4)/4$$

$$= 16,97761051/4$$

$$= 4,244$$

$$CI = (4,244-4)/(4-1)$$

$$= 0,081$$

$$CR = 0,081/0,9$$

$$= 0,09$$

Berdasarkan perhitungan, diperoleh nilai $0 < CR < 0,1$. Maka hasil vektor bobot tersebut dikatakan memenuhi standar dan dapat digunakan untuk menentukan rute dengan bobot paling tinggi. Setelah pemilihan rute, dilakukan penempatan titik rencana *tower* transmisi. Penempatan titik mengacu pada rute yang dipilih dengan jarak antar *tower* mengikuti peraturan yang termuat dalam SPLN T5.06 : 2019 untuk SUTT dengan tegangan 66 kV. Berdasarkan rute tersebut, dapat diidentifikasi sudut belok jalur rute dan tipe *tower* transmisi yang akan digunakan. Berdasarkan sudut beloknya, tipe *tower* dibedakan menjadi enam tipe. Enam tipe tersebut yaitu tipe *tower* AA, BB, CC, DD, EE, dan DDR. Tipe *tower* dan masing-masing sudut beloknya tersaji pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Tipe *tower* berdasarkan sudut belok (PLN, 2010)

No	Tipe Tower	Sudut Belok Jalur	Tipe Insulator
1	AA	0° - 3°	Gantung
2	BB	3° - 20°	Tarik
3	CC	20° - 40°	Tarik dengan <i>jumper</i>
4	DD	40° - 60°	Tarik dengan <i>jumper</i>
5	EE	60° - 90°	Tarik dengan <i>jumper</i>
6	DDR	0° - 60°	Tarik dengan <i>jumper</i>

Dari titik rencana *tower* transmisi yang ditempatkan kemudian dibuat profil memanjang dari DTM hasil *filtering*. Sehingga didapatkan profil memanjang yang mengikuti rute yang telah dipilih sebelumnya.

Pembuatan profil memanjang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak AutoDesk CIVIL 3D 2022. Profil memanjang yang diperlukan pada pekerjaan ini yaitu profil yang dibentuk berdasarkan data DTM hasil pendekatan yang kemudian dengan data DSM dijadikan acuan terhadap penetapan ruang bebas vertikal (*vertical clearance*) sepanjang rute dari jalur transmisi.

Ruang bebas minimum pada kegiatan ini terdiri dari jarak bebas minimum vertikal dan jarak bebas minimum horisontal. Jarak bebas minimum vertikal merupakan jarak terpendek secara vertikal antara konduktor SUTT maupun SUTET dengan permukaan bumi atau benda di atas permukaan bumi yang tidak boleh kurang dari jarak yang telah ditetapkan demi keselamatan manusia, makhluk hidup dan benda lainnya serta keamanan operasi SUTT. Jarak bebas minimum horisontal merupakan jarak terpendek secara horisontal dari sumbu vertikal menara ke bidang vertikal ruang bebas. Bidang vertikal tersebut sejajar dengan sumbu vertikal menara dan konduktor. (PLN, 2019). Dasar penetapan jarak bebas minimum vertikal dari konduktor pada SUTT 66 kV tersaji pada Tabel 9.

Tabel 9. Jarak gawang dasar (PLN, 2019)

No	Tipe Tower / Tiang	Jarak Gawang Dasar (meter)
1	SUTT 66 kV Tiang Baja	160
2	SUTT 66 kV Tiang Beton	60
3	SUTT 66 kV Tower Rangka Baja	300

Profil memanjang yang telah dibuat sebelumnya merupakan profil memanjang dari *center line* atau as dari jalur transmisi yang telah terlebih dulu direncanakan. Dalam prosesnya, garis as tersebut harus terlebih dulu didefinisikan sebagai *alignment* untuk kemudian ditampilkan profilnya. *Long profile* ini kemudian digunakan untuk menentukan tinggi masing-masing *tower* untuk memasang konduktor sepanjang jalur transmisi sehingga dapat dihasilkan desain lendutan yang paling optimal sesuai dengan topografi dan penutup lahan di wilayah kajian.

Tahapan terakhir kegiatan ini yaitu pembuatan desain lendutan dengan mempertimbangkan *ground clearance* atau ruang bebas, rasio *sagging* yang diperoleh setelah melakukan perhitungan dari masing-masing *tower*, dan juga kondisi topografi sepanjang jalur transmisi yang telah ditentukan. Lendutan atau *sagging* merupakan jarak vertikal yang diukur dari titik menara transmisi ke titik berat konduktor (Douglass & Thrash, 2007). *Sagging* penghantar dua menara ditentukan oleh berat penghantar, jarak rentang dan kuat tarik penghantar. *Sagging* disebabkan adanya berat pada konduktor yang menghubungkan antara dua menara transmisi (PLN, 2019).

Pembuatan desain *sagging* mempengaruhi tipe *tower* yang akan digunakan. Penentuan posisi *tower* dilakukan dengan mempertimbangkan rasio lendutan yang diperoleh dari perbandingan nilai *weight span* dan nilai *wind span* yang disajikan dalam Gambar 3 dengan Persamaan 3 berikut (Brooks & Chapman, 2013).

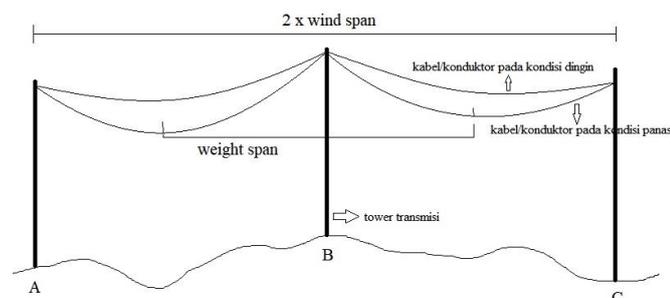
$$\text{Rasio lendutan} = \frac{WT}{(dAB + dBC) / 2} \quad (3)$$

Keterangan Persamaan 3 :

WT : *weight span*

dAB : jarak horisontal antara titik A dan titik B

dBC : jarak horisontal antara titik B dan titik C



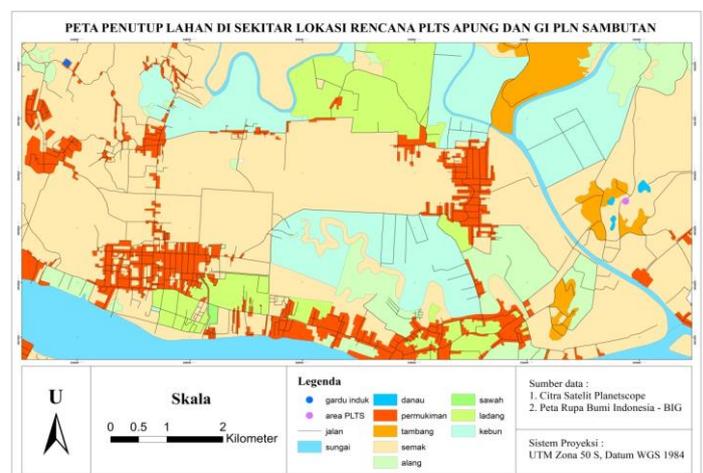
Gambar 3. Desain lendutan (Sumber: Dimodifikasi dari PLN, 2010)

Weight span diukur dari titik berat (diilustrasikan sebagai titik terendah) kabel atau konduktor ke kabel atau konduktor setelahnya. Nilai rasio lendutan yang memenuhi kriteria harus memiliki rentang antara 0,5 sampai 1,5. Dari seluruh tahapan selanjutnya dibuat laporan akhir.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Digitasi Penutup Lahan

Dari digitasi penutup lahan yang telah dilakukan menghasilkan peta penutup lahan wilayah Kutai Lama hingga Sambutan, Samarinda, Kalimantan Timur. Peta tersebut memuat informasi penutup lahan yang meliputi kawasan permukiman, jaringan jalan, sungai, area perkebunan, persawahan, dan lain sebagainya seperti yang tersaji pada Gambar 4.

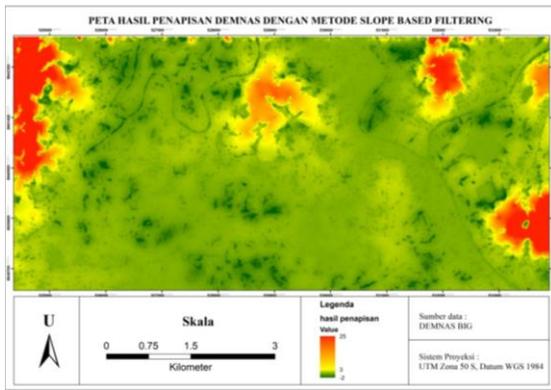


Gambar 4. Peta penutup lahan di sekitar wilayah kajian (Sumber: hasil pengolahan Penulis)

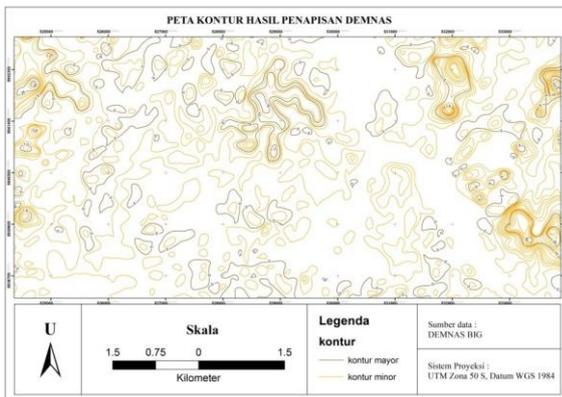
Sesuai dengan yang tersaji pada Gambar 4, dapat diketahui bahwa pada wilayah kajian, didominasi oleh permukiman yang juga sangat dekat dengan akses jaringan jalan yang kemudian digunakan sebagai acuan dalam identifikasi penutup lahan, yang dalam perencanaan suatu rute transmisi diperlukan untuk mengetahui kondisi topografi dan juga akses terhadap jaringan jalan maupun sungai dari wilayah kajian tersebut.

3.2. Ekstraksi DTM dengan Metode *Filtering*

Tahapan ini menghasilkan DTM pendekatan (seperti yang selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan untuk analisis awal dan perencanaan. Gambar 5 merupakan hasil dari proses *filtering* pada data DEMNAS. Berikut disajikan Gambar 6 yang merupakan visualisasi garis kontur yang berhasil diturunkan untuk tahapan selanjutnya.



Gambar 5. DTM pendekatan hasil *filtering* obyek dari data DEMNAS (Sumber: hasil pengolahan Penulis)

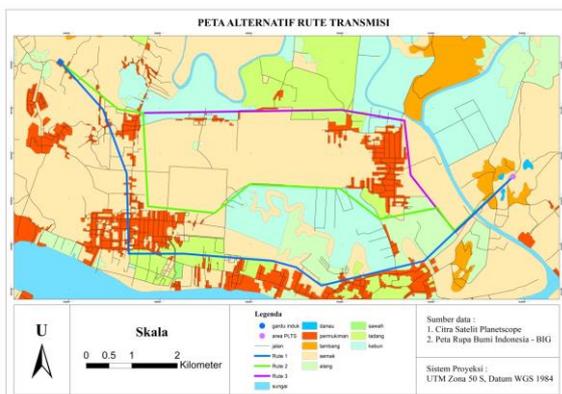


Gambar 6. Garis kontur hasil *generate* dari data DTM pendekatan (Sumber: hasil pengolahan Penulis)

Kontur yang diperoleh dari hasil *filtering* cenderung kurang rapi. Ketinggian masing-masing garis kontur yang diekstrak dapat diatur mengikuti kebutuhan. Dari kontur pendekatan selanjutnya dapat dibuat profil atau penampang sesuai dengan rute yang ditentukan.

3.3. Pemilihan Rute

Berdasarkan data yang dimiliki, berikut ini disajikan Gambar 7 yang menampilkan informasi alternatif rute transmisi sesuai dengan pertimbangan yang dimiliki.



Gambar 7. Alternatif pemilihan rute transmisi (Sumber: hasil pengolahan Penulis)

Sesuai dengan informasi yang tersaji pada Gambar 7, dapat diketahui bahwa alternatif rute 1 (fitur garis berwarna biru tua) dominan berada mengikuti jaringan jalan utama sehingga dominan melewati kawasan permukiman, karena kawasan permukiman cenderung berada di sekitar jaringan jalan utama. Untuk memenuhi syarat ruang bebas, rute pertama kurang cocok untuk dipilih. Alternatif rute kedua lebih sedikit melewati kawasan permukiman dibandingkan rute pertama. Alternatif rute 2 (fitur garis berwarna hijau) juga relatif lebih pendek dibanding rute 1. Untuk alternatif rute 3 (fitur garis berwarna ungu), karena melalui jalan setapak yang relatif sempit, rute 3 tidak melalui banyak kawasan permukiman. Namun untuk kemudahan aksesnya di kemudian hari menjadi kurang baik. Pertimbangan dalam pemilihan rute disederhanakan pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10. Pertimbangan pemilihan rute

No	a	Alternatif Rute		
		Rute 1	Rute 2	Rute 3
1	b	14,06	13,5	12,52
2	c	47	45	42
3	d	Hampir keseluruhan rute mengikuti jaringan jalan utama pada wilayah tersebut.	Sebagian rute mengikuti jaringan jalan utama, sebagian lainnya mengikuti jaringan jalan yang lebih kecil.	Alternatif rute ini meng-ikuti jaringan jalan desa yang relatif sempit.
4	e	Sepanjang ±2 kilometer dari rute melintasi 3 kawasan permukiman.	Secara tidak langsung, sepanjang ± 0,8 kilometer dari rute melintasi 1 kawasan permukiman.	Sepanjang ± 1,6 kilometer dari rute melintasi 2 kawasan permukiman.

Keterangan: a: pertimbangan pemilihan rute; b: panjang rute; c: posisi rute terhadap permukiman; d: akses terhadap jaringan jalan utama; e: jumlah *tower* pendekatan berdasarkan panjang rute. (Sumber: hasil pengolahan Penulis)

3.4. Sintesis Penentuan Alternatif Rute dengan AHP

Sintesis prioritas merupakan tahapan akhir yang dilakukan dalam metode AHP. Sintesis prioritas diperoleh melalui penjumlahan dari bobot yang diperoleh di setiap pilihan pada masing-masing kriteria, sebagaimana tersaji pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. Nilai *eigen* untuk masing-masing alternatif rute

Nilai <i>Eigen</i>	a	b	c	d
Rute 1	0,0785	0,068	0,428	0,2
Rute 2	0,426	0,776	0,428	0,2
Rute 3	0,495	0,155	0,143	0,6

(Sumber: hasil pengolahan Penulis)

Selanjutnya dengan mengacu pada Tabel 6 yaitu nilai vektor bobot masing-masing parameter kriteria dan juga Tabel 11, diperoleh nilai akhir bobot untuk masing-masing alternatif rute dengan cara mengalikan kedua matriks dari tabel tersebut sehingga diperoleh hasil sebagaimana tersaji pada Tabel 12 berikut.

Tabel 12. Hasil bobot akhir untuk masing-masing alternatif rute

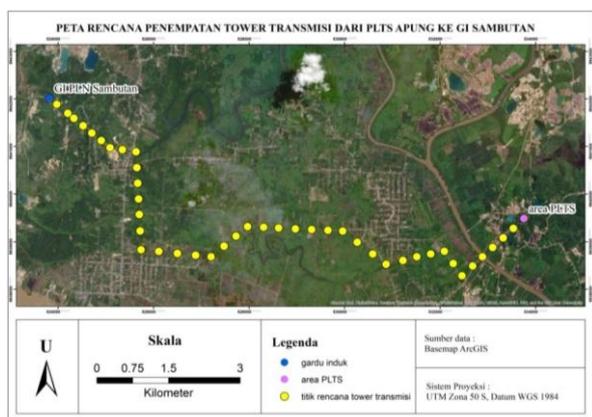
No	Alternatif Rute	Bobot Akhir
1	Rute 1	0,167
2	Rute 2	0,608
3	Rute 3	0,224

(Sumber: hasil pengolahan Penulis)

Dari perhitungan, diperoleh bobot akhir rute 2 dengan nilai 0,608 yang merupakan nilai tertinggi dari ketiga alternatif rute sehingga rute 2 merupakan alternatif rute yang paling ideal untuk dipilih. Jalur transmisi yang direncanakan nantinya akan mengikuti alternatif rute yang dipilih namun dengan tetap menyesuaikan kondisi penutup lahan yang ada di wilayah tersebut, sehingga tidak benar-benar tepat sesuai dengan rute yang ditentukan karena titik-titik rencana *tower* transmisi perlu disesuaikan. Jalur transmisi tersebut akan dihubungkan dengan *tower-tower* rangka baja untuk SUTT 66 kV (sesuai dengan dokumen SPLN T5.006:2019) yang direncanakan akan memiliki jarak gawang (*span*) setiap 300 meter.

3.5. Penempatan Titik Rencana *Tower* Transmisi

Tower-tower transmisi direncanakan memiliki jarak gawang (*span*) sebesar 300 meter. Namun pada kondisi tertentu yaitu ketika terjadi perbedaan ketinggian atau elevasi yang cukup besar dari kedua *tower* yang berurutan, maka *tower-tower* tersebut tidak dapat ditempatkan dengan interval tepat 300 meter. Terjadi pergeseran dengan memperhatikan kondisi topografi area tersebut. Sesuai dengan rute yang telah dipilih yaitu rute 2, dilakukan penempatan titik rencana *tower* transmisi sesuai rute yang dipilih dengan tetap mempertimbangkan penutup lahan di wilayah kajian. Sehingga diperoleh sebagaimana yang tersaji dalam Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Rencana lokasi penempatan *tower* transmisi (Sumber: hasil pengolahan Penulis)

Tabel 13. Rincian *tower*

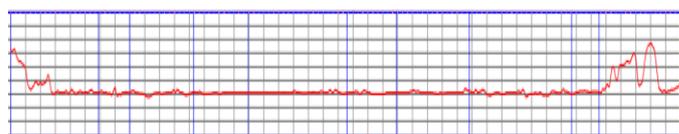
No	Parameter	Desain Jalur	
1	Panjang jalur (kilometer)	13,5	
2	Tipe <i>tower</i> :	Jumlah <i>tower</i>	
		AA	33
		BB	0
		CC	2
		DD	3
3	DDR	EE	4
		DDR	2
3	Jumlah <i>Tower</i>	44	

(Sumber: hasil pengolahan Penulis)

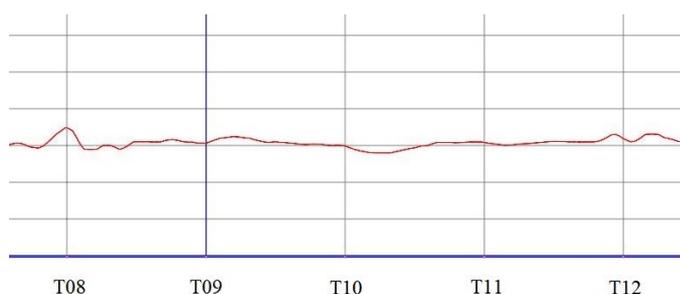
Terdapat beberapa *tower* yang jarak dengan *tower* sebelum maupun setelahnya tidak tepat 300 meter karena adanya penyesuaian dengan desain lendutan. Dengan jarak gawang (*span*) rata-rata sepanjang 300 meter (mengikuti dokumen SPLN T5.006:2019), diperoleh jumlah rencana *tower* yang diperlukan sebanyak 44 *tower* dengan rincian sebagaimana tersaji dalam Tabel 13.

3.6. Pembuatan Profil Memanjang

Profil atau penampang memanjang menunjukkan perubahan elevasi yang terjadi sepanjang jalur yang sebelumnya telah direncanakan berdasarkan data DTM yang diperoleh dari tahapan sebelumnya. Ilustrasi profil memanjang pada kegiatan ini disajikan pada Gambar 9 dan Gambar 10 berikut.



Gambar 9. Profil memanjang (Sumber: hasil pengolahan Penulis)



Gambar 10. Cuplikan profil memanjang (Sumber: hasil pengolahan Penulis)

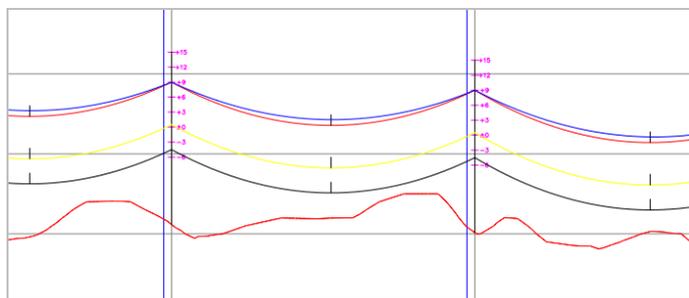
T08, T09, dst merupakan nomor *tower* SUTT. Jarak antar *tower* tersebut 300m, dan jarak setiap garis elevasi yaitu 15m. Garis merah yang merupakan profil atau penampang tersebut memotong garis kontur dengan elevasi tertentu. Dari perpotongan tersebut selanjutnya dapat didefinisikan suatu titik baru sebagai *ground* yang akan dibuat sebagai profil memanjang. Pembuatan profil

pada tahapan ini yang juga dilengkapi dengan informasi dari data DSM merupakan bagian penting karena akan berpengaruh terhadap tahapan selanjutnya yaitu pembuatan desain lendutan.

3.7. Pembuatan Desain Lendutan

Hasil yang diperoleh pada tahapan ini yaitu desain lendutan. Tahap pembuatan desain lendutan perlu mempertimbangkan *sagging ratio*, *ground clearance* atau ruang bebas, juga topografi wilayah yang bersangkutan. Dilakukan beberapa percobaan dalam penentuan desain lendutan yang paling tepat. Dalam pembuatan desain, diperlukan beberapa kali tahapan pergeseran titik rencana *tower* dengan menyesuaikan dari bentuk maupun posisi kurva yang terbentuk sebagai visualisasi kabel dengan memperhatikan ketinggian *tower* transmisi yang telah terlebih dulu ditentukan.

Pada kegiatan ini, digunakan jarak sebesar 13,5 meter dari konduktor atau kabel yang didefinisikan sebagai ruang bebas vertikal, yang mengacu pada SPLN T5.006:2019. Posisi ketinggian kabel pada *tower* transmisi direncanakan memiliki beberapa tingkatan yaitu -6 hingga +15 meter, dengan masing-masing selisih setiap tingkatannya sebesar 3 meter. Untuk posisi kabel pada *tower* transmisi dengan ketinggian 0 meter, memiliki jarak 17 meter dari tanah. Posisi desain kurva kabel yang terbentuk berpengaruh pada titik berat kabel yang selanjutnya mempengaruhi perhitungan *sagging ratio*. Titik rencana *tower* sangat dipengaruhi oleh desain lendutan yang ditentukan. Cuplikan desain lendutan tersaji pada Gambar 11 berikut.



Gambar 11. Cuplikan desain lendutan (Sumber: hasil pengolahan Penulis)

Pada satu *tower* transmisi, terdapat beberapa visualisasi kurva dengan warna berbeda. Kurva dengan warna biru merupakan desain posisi konduktor atau kabel pada kondisi suhu udara yang paling dingin, sedangkan kurva dengan warna merah merupakan desain posisi kabel pada kondisi suhu udara yang paling panas. Kurva dengan warna kuning merupakan batas ruang bebas sebesar 8 meter, lalu kurva dengan warna hitam merupakan visualisasi batas ruang bebas vertikal sebesar 13,5 meter.

Dari desain lendutan yang diperoleh, selanjutnya dihitung nilai *weight span* dan juga *wind span* untuk memperoleh nilai *sagging ratio*. Rumus perhitungan *weight span* yaitu dengan mencari jarak antar titik berat kabel yang mengacu pada *tower* yang sama. Sedangkan

untuk mencari nilai *wind span*, dapat menggunakan nilai rata-rata dari jarak suatu *tower* dengan *tower* sebelum dan sesudahnya (sebagaimana Persamaan 3). Hasil pembuatan desain lendutan menghasilkan nilai *sagging ratio* seperti yang disajikan pada Tabel 14 berikut.

Tabel 14. Rekapitulasi perhitungan rasio lendutan

<i>Tower</i>	<i>Weight Span (m)</i>	<i>Wind Span (m)</i>	<i>Sagging Ratio</i>	Keterangan
T01-T02	318,06	300	1,06	Memenuhi
T02-T03	274,17	300	0,91	Memenuhi
T03-T04	322,22	300	1,07	Memenuhi
T04-T05	222,42	288,18	0,77	Memenuhi
T05-T06	252,18	284,41	0,89	Memenuhi
T06-T07	338,99	307,62	1,1	Memenuhi
T07-T08	341,41	315,8	1,08	Memenuhi
T08-T09	267,59	304,41	0,88	Memenuhi
T09-T10	315,26	300	1,05	Memenuhi
T10-T11	290,87	316,33	0,92	Memenuhi
T11-T12	378,55	343,02	1,1	Memenuhi
T12-T13	294,82	333,67	0,88	Memenuhi
T13-T14	374,84	356,98	1,05	Memenuhi
T14-T15	408,53	393,2	1,04	Memenuhi
T15-T16	352,54	350	1,007	Memenuhi
T16-T17	293,43	331,8	0,88	Memenuhi
T17-T18	396,34	350	1,13	Memenuhi
T18-T19	318,83	350	0,91	Memenuhi
T19-T20	335,45	325	1,03	Memenuhi
T20-T21	313,88	315,25	0,99	Memenuhi
T21-T22	331,85	325	1,02	Memenuhi
T22-T23	316,26	334,75	0,95	Memenuhi
T23-T24	368,03	336,55	1,09	Memenuhi
T24-T25	283,59	325	0,87	Memenuhi
T25-T26	381,75	363,45	1,05	Memenuhi
T26-T27	403,63	400	1,01	Memenuhi
T27-T28	379,72	372,26	1,02	Memenuhi
T28-T29	326,66	325	1,005	Memenuhi
T29-T30	322,2	327,74	0,983	Memenuhi
T30-T31	333,42	350	0,953	Memenuhi
T31-T32	384,28	350	1,098	Memenuhi
T32-T33	295,72	350	0,845	Memenuhi
T33-T34	388,44	354,13	1,097	Memenuhi
T34-T35	352,3	325	1,084	Memenuhi
T35-T36	234,18	275,7	0,85	Memenuhi
T36-T37	139,77	250,05	0,559	Memenuhi
T37-T38	319,79	245,13	1,305	Memenuhi
T38-T39	218,52	250	0,87	Memenuhi
T39-T40	279,21	250	1,12	Memenuhi
T40-T41	298,25	200	1,49	Memenuhi
T41-T42	307,21	225	1,36	Memenuhi
T42-T43	156,28	250	0,62	Memenuhi

(Sumber: hasil pengolahan Penulis)

Tabel 14 merupakan rekapitulasi perhitungan rasio lendutan dari masing-masing *tower* yang sudah sesuai dengan batasan yaitu 0,5 sampai 1,5. Dari desain lendutan yang dibuat, dapat dirinci kebutuhan *tower* lengkap dengan ketinggian konduktor dari masing-masing *tower*, pada pekerjaan ini diperoleh sebagaimana tersaji pada Tabel 15 berikut.

Tabel 15. Rekapitulasi tipe *tower* dan ketinggian konduktor dari desain

Tipe Tower	Tingkat Ketinggian Konduktor							Total
	0	+3	+6	+9	+12	+15	+18	
AA	0	13	7	9	0	3	1	33
BB	0	0	0	0	0	0	0	0
CC	0	0	2	0	0	0	0	2
DD	0	2	1	0	0	0	0	3
EE	0	1	1	1	1	0	0	4
DDR	1	0	1	0	0	0	0	2
Jumlah Tower								44

(Sumber: hasil pengolahan Penulis)

Berdasarkan Tabel 15, diketahui bahwa masing-masing tipe *tower* memiliki jumlah kebutuhan yang berbeda-beda. Tingkat ketinggian *tower* pada kegiatan ini yaitu 0, +3, +6, +9, +12, +15 dan juga +18. *Tower* dengan tingkat ketinggian kurang dari +12 meter maka menggunakan *tower* normal, sedangkan untuk tingkat ketinggian konduktor di atas +12 menggunakan *tower* khusus, sesuai dengan dokumen SPLN T5.004:2010 (PLN, 2010).

4. Kesimpulan

Dari kegiatan yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Diperoleh rencana rute transmisi yang paling efektif yaitu rute kedua dari 3 alternatif rute yang menghubungkan rencana lokasi PLTS apung di Kutai Lama ke Gardu Induk PLN Sambutan dengan panjang rute sejauh 13,5 kilometer. Rute 2 dipilih karena memiliki nilai akhir bobot paling tinggi yang diperoleh dengan Metode Pembobotan *Analytic Hierarchy Process* (AHP).
2. Diperoleh desain lendutan kabel listrik pada rencana 44 *tower* transmisi dengan rincian *tower* AA, CC, DD, EE dan DDR masing-masing sebanyak 33, 2, 3, 4 dan 2 buah yang menghubungkan rencana lokasi PLTS apung ke Gardu Induk PLN Sambutan, dengan rasio lendutan yang berkisar antara 0,62 sampai 1,49 dengan rata-rata rasio sebesar 0,99.

5. Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam artikel ini (*The authors declare no competing interest*).

6. Referensi

- Basak, I., & Saaty, T. (1993). Group Decision Making using The Analytic Hierarchy Process. *Mathematical and Computer Modelling*, 17(4/5), 101-109. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0895-7177\(93\)90179-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0895-7177(93)90179-3)
- Brooks, S., & Chapman, G. (2013). *Standard for Sub-Transmission Overhead Line Design* (Issue 4.0, pp. 1-147). Ergon Energy Corporation Limited.
- BSN. (2010). Standar Nasional Indonesia Nomor 7645 Tahun 2010 tentang Klasifikasi Penutup Lahan. In *SNI 7645:2010* (pp. 1-28). Badan Standardisasi

- Nasional (BSN). <https://www.big.go.id/assets/download/sni/SNI/15.SNI.7645-2010.Klasifikasi.penutup.lahan.pdf>
- Douglass, D., & Thrash, F. (2007). Sag and Tension of Conductor. In L. L. Grigsby (Ed.), *Electric Power Generation, Transmission, and Distribution* (pp. 1-42). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420009255>
- Hasbullah. (2009). *Dasar Teknik Tegangan Tinggi*.
- Jensen, J. R. (2007). Remote Sensing of The Environment, An Earth Resource Perspective. In *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* (2nd ed.). Prentice-Hall, Inc.
- KESDM. (2019). Peraturan Menteri ESDM-RI No. 2 Tahun 2019 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri ESDM Nomor 18 Tahun 2015 tentang Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi, Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi, dan Saluran Udara Tegangan T. In *Jakarta* (Vol. 1, pp. 1-17). Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Köhl, M., Marchetti, M., & Magnussen, S. (2006). Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory. In *Tropical Forestry*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Li, Z., Zhu, Q., & Gold, C. (2004). *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology* (1st ed.). CRC Press. <https://www.crcpress.com/>
- Pambudi, L. C., Prasetyo, Y., & Yuwono, B. D. (2016). Analisis Akurasi Penapisan DSM ke DTM Menggunakan Metode Simple Morphological Filter dan Slope Based Filtering. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 5(1), 336-344. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/10606>
- Ratnawati, H. & Djojomartono, P. N. (2020). Analisis Kesesuaian Lahan Permukiman di Kecamatan Playen Kabupaten Gunungkidul menggunakan Pendekatan Analytic Hierarchy Process. *Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, Vol. 3 No. 2. <https://doi.org/10.22146/jgise.59057>
- PLN. (2010). *SPLN T5.004 Tahun 2010 Kriteria Desain Tower Rangka Baja (Latticed Steel Tower) untuk Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi* (pp. 1-34). PT. PLN (Persero).
- PLN. (2019). *SPLN T5.006 tahun 2019 tentang Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), dan Saluran Udara Tegangan Tinggi Arus Searah (SUTTAS)* (pp. 1-20). PT. PLN (Persero).
- Pradana, D. A. (2021). Perencanaan Rute dan Desain Lendutan Kabel Listrik untuk Jalur Transmisi dari PLTS Apung Kutai Lama ke Gardu Induk PLN Sambutan Samarinda. In *Skripsi* (Vol. 1, Issue 1). Universitas Gadjah Mada.
- Purwanto, T. H. (2015). *Digital Terrain Modelling*.
- Saaty, T. L. (2008). Decision Making With The Analytic

- Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.
- Subandi, & Hani, S. (2015). Pembangkit Listrik Energi Matahari Sebagai Penggerak Pompa Air dengan Menggunakan Solar Cell. *Jurnal Teknologi Technoscintia*, 7(2), 157–163.
- Umbara, R. P. (2016). Metode Analytic Hierarchy Process dalam Menentukan Pembobotan Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kerentanan Gedung Di DKI Jakarta terhadap Ancaman Gempa. *Jurnal Sains Dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 11(2), 19–27. <https://doi.org/10.29122/jstmb.v11i2.3687>
- Vosselman, G. (2000). Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(Part B3/2), 678–684. https://www.researchgate.net/publication/228719860_Slope_based_filtering_of_laser_altimetry_data
- Wiji, Y. (2020). *Perencanaan Jalur Transmisi*.