

Penilaian Potensi Energi Angin dan Pasang Surut untuk Pulau Rempang, Indonesia

2025

LAPORAN SURVEI

METEOROLOGICAL MAST (*MET MAST*)

untuk Validasi In-Situ Potensi Energi Angin

Pulau Rempang, Kota Batam, Kepulauan Riau

Nomor Dokumen	WS-MET-MAST-REMPANG-2026
Disusun oleh	Kunaifi, Aulia Ullah
Disusun untuk	WALHI Riau
Tanggal Survei	24–26 April 2026 (3 hari)
Tim Survei	Kunaifi (Konsultan Utama); Aulia Ullah (Instrument Engineer); Rezki Andika (Supervisor – WALHI Riau); Wanto (Surveyor Lokal)
Standar Acuan	IEC 61400-12-1, IEC 61400-50-1, MEASNET, EN 1991-1-4, IEC 62305, ISO 31000, ISO 9223 / 12944, SNI terkait
Revisi / Tanggal	Rev. 0 — Juni 2026

Pernyataan Status dan Keterbatasan Dokumen

Laporan ini disusun berdasarkan data survei lapangan selama tiga hari (24–26 April 2026) yang terdokumentasi dalam lembar kerja WS-MET-MAST-REMPANG-2026 dan dokumen Rencana Survei (Kunaifi, 7 April 2026). Survei dilaksanakan dengan keterbatasan peralatan tertentu sehingga sebagian data teknis (penyelidikan tanah dalam, resistivitas tanah, survei obstacle 360° kuantitatif, dan pengukuran sinyal internet kuantitatif) belum tersedia secara lengkap.

Oleh karena itu, seluruh pertimbangan desain dalam laporan ini bersifat awal (*preliminary*/indikatif) dan tidak dimaksudkan sebagai basis konstruksi *meteorological mast (met mast)* final. Rekomendasi desain final wajib didahului oleh penyelidikan lanjutan sebagaimana diuraikan pada Bab 18–20.

Sumber daya angin yang dirujuk berasal dari studi meja (desk study) 2025 dan bersifat indikatif; angka tersebut harus divalidasi melalui pengukuran in-situ oleh *met mast* yang menjadi subjek laporan ini.

Sepanjang laporan ini, jenis pernyataan dibedakan secara eksplisit menjadi **Fakta Teramati** (*observed facts*), **Analisis**, **Asumsi**, dan **Rekomendasi**, agar pembaca dapat menelusuri dasar setiap kesimpulan.

Daftar Isi

Pernyataan Status dan Keterbatasan Dokumen 2
Daftar Isi 3
Daftar Tabel 5
Daftar Gambar 6
Daftar Singkatan dan Istilah 7
1. Ringkasan Eksekutif 8
    1.1 Temuan Utama 8
    1.2 Kesimpulan dan Rekomendasi Utama 8
2. Pendahuluan 10
    2.1 Maksud Dokumen 10
    2.2 Ruang Lingkup 10
    2.3 Struktur Laporan 10
3. Latar Belakang Proyek 11
    3.1 Konteks Studi Pendahulu (2025) 11
    3.2 Justifikasi Kebutuhan *Met Mast* 11
4. Tujuan Survei 12
5. Standar dan Acuan yang Berlaku 13
6. Metodologi Survei 14
    6.1 Pendekatan Umum 14
    6.2 Agenda dan Cakupan Kegiatan 14
    6.3 Peralatan dan Keterbatasannya 15
7. Deskripsi Lokasi 16
    7.1 Gambaran Umum 16
    7.2 Kandidat Lokasi 16
    7.3 Karakteristik Titik 0 (Terpilih) 17
8. Pertimbangan Meteorologi 19
    8.1 Sumber Daya Angin Indikatif 19
    8.2 Data Baseline Lapangan 19
    8.3 Pola Angin dari Pengetahuan Lokal 19
9. Asesmen Topografi 20
    9.1 Data yang Tersedia 20
    9.2 Estimasi Kualitatif Roughness dan Kompleksitas Terrain 20
10. Asesmen Aksesibilitas 22
    10.1 Parameter Akses dan Logistik 22
    10.2 Implikasi Konstruksi 22
11. Pertimbangan Geoteknik dan Sipil 24
    11.1 Data yang Tersedia 24
    11.2 Implikasi terhadap Desain Fondasi 24
12. Pertimbangan Kelistrikan dan Komunikasi 25
    12.1 Sistem Catu Daya 25
    12.2 Komunikasi Data 25
13. Asesmen Sosial dan Pemangku Kepentingan 26
    13.1 Konteks Sosial 26
    13.2 Hasil Wawancara 26
14. Asesmen Keselamatan dan Keamanan (HSE) 27
    14.1 Keselamatan Operasi Survei 27
    14.2 Keamanan dan Insiden Sosial 27
15. Metodologi Seleksi Lokasi 28
16. Evaluasi Komparatif Kandidat Lokasi 29
17. Lokasi Terpilih dan Justifikasi Teknis 30
18. Pertimbangan Desain Awal *Met Mast* 31
    18.1 Tinggi Menara 31
    18.2 Tipe Struktur 31
    18.3 Konfigurasi Sensor (Indikatif, IEC 61400-50-1 / MEASNET) 32
    18.4 Proteksi Korosi, Grounding, dan Petir 32
    18.5 Catu Daya dan Komunikasi 32
19. Asesmen Risiko 33

20. Rekomendasi 34
20.1 Tindak Lanjut Prioritas (sebelum desain final) 34
20.2 Rekomendasi Desain 34
20.3 Rekomendasi Sosial dan HSE 34
20.4 Rencana Tindak Lanjut 34
21. Kesimpulan 35
22. Referensi 36
23. Lampiran 37
Lampiran A — Gap Analysis terhadap Persyaratan Standar 37
Lampiran B — Asumsi 37
Lampiran C — Ekstrak Koordinat Kunci 38

Daftar Tabel

No.	Judul Tabel
Tabel 1	Ringkasan temuan utama survei
Tabel 2	Standar dan acuan yang diterapkan
Tabel 3	Agenda dan cakupan kegiatan survei
Tabel 4	Verifikasi kelengkapan peralatan utama dan implikasinya
Tabel 5	Koordinat dan karakteristik tiga kandidat lokasi
Tabel 6	Data baseline meteorologi lapangan
Tabel 7	Estimasi Kualitatif Roughness dan Kompleksitas Terrain
Tabel 8	Parameter aksesibilitas dan logistik
Tabel 9	Ringkasan kondisi geoteknik teramati (preliminary).
Tabel 10	Ringkasan hasil wawancara pola angin lokal.
Tabel 11	Pembobotan kriteria seleksi lokasi (indikatif).
Tabel 12	Matriks evaluasi komparatif kandidat lokasi
Tabel 13	Perbandingan opsi struktur menara
Tabel 14	Konfigurasi sensor indikatif (mengacu IEC 61400-50-1 / MEASNET)
Tabel 15	Register risiko proyek (ISO 31000).
Tabel 16	Rencana tindak lanjut pelengkapan data.
Tabel 17	Gap analysis terhadap persyaratan standar.
Tabel 18	Asumsi

Daftar Gambar

No.	Keterangan Gambar
Gambar 1	Ilustrasi met mast untuk penilaian potensi energi angin dengan struktur guyed lattic
Gambar 2	Rute coastal profiling (rute merah dibatalkan, rute biru ditelusuri)
Gambar 3	Peta lokasi Pulau Rempang dan sebaran tiga kandidat met mast
Gambar 4	Foto panorama dari laut ke darat tiap kandidat
Gambar 5	Titik 0 terpilih
Gambar 6	Foto dari Titik 0 untuk verifikasi kebebasan hambatan di sekeliling menara.
Gambar 7	Citra udara Titik 0 untuk estimasi kualitatif kekasaran dan kompleksitas terrain
Gambar 8	Segmen akhir akses: pendakian bukit ±50 m dengan lereng 30–40°, pengangkutan material manual.
Gambar 9	Dokumentasi wawancara tiga responden warga

Daftar Singkatan dan Istilah

Singkatan	Keterangan
AGL	Above Ground Level — ketinggian di atas permukaan tanah
Angkur	Anchor
BMKG	Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika
C5-M	Kelas korositas atmosfer sangat tinggi – lingkungan laut (ISO 9223/12944)
CEP	Circular Error Probable — radius kesalahan posisi GPS
dpl	di atas permukaan laut (mean sea level)
DMS	Degrees–Minutes–Seconds (format koordinat)
GSM	Global System for Mobile Communications (jaringan seluler)
HSE	Health, Safety, and Environment
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
LPS	Lightning Protection System (sistem proteksi petir)
MAT	Muka Air Tanah
MEASNET	Network of European Measuring Institutes (pedoman pengukuran angin)
Mt	Topographic multiplier (faktor pengali orografi, Eurocode)
RIX	Ruggedness Index — indeks kekasaran terrain
RSRP	Reference Signal Received Power (kuat sinyal seluler, dBm)
RT	Rukun Tetangga
SNI	Standar Nasional Indonesia
SPT	Standard Penetration Test (uji penetrasi standar)
UKL-UPL	Upaya Pengelolaan & Pemantauan Lingkungan Hidup
USCS	Unified Soil Classification System
UTM	Universal Transverse Mercator (sistem proyeksi koordinat)
WGS84	World Geodetic System 1984 (datum geodetik)
z0	Roughness length — panjang kekasaran permukaan (m)

1. Ringkasan Eksekutif

Laporan ini menyajikan hasil survei lapangan penentuan lokasi pemasangan *Meteorological Mast* (*met mast*) untuk validasi in-situ potensi energi angin di Pulau Rempang, Kota Batam, Kepulauan Riau. Survei dilaksanakan selama tiga hari (24–26 April 2026) dan merupakan kelanjutan logis dari studi meja pada 2025 yang dilakukan atas permintaan WALHI Riau. Studi meja pada 2025 mengindikasikan adanya potensi energi angin berkategori rendah (*low wind*) di wilayah pesisir pulau.

Studi 2025 mengindikasikan kecepatan angin rata-rata sekitar 4–4,11 m/s pada ketinggian 70 m, dengan estimasi kapasitas terpasang ±16 MW dan produksi energi tahunan ±25.221 MWh. Karena hasil tersebut berbasis data satelit (*Global Wind Atlas dan Copernicus Marine Service*), hasilnya bersifat indikatif dan mensyaratkan validasi melalui pengukuran langsung. *Met mast* inilah instrumen validasi tersebut.

1.1 Temuan Utama

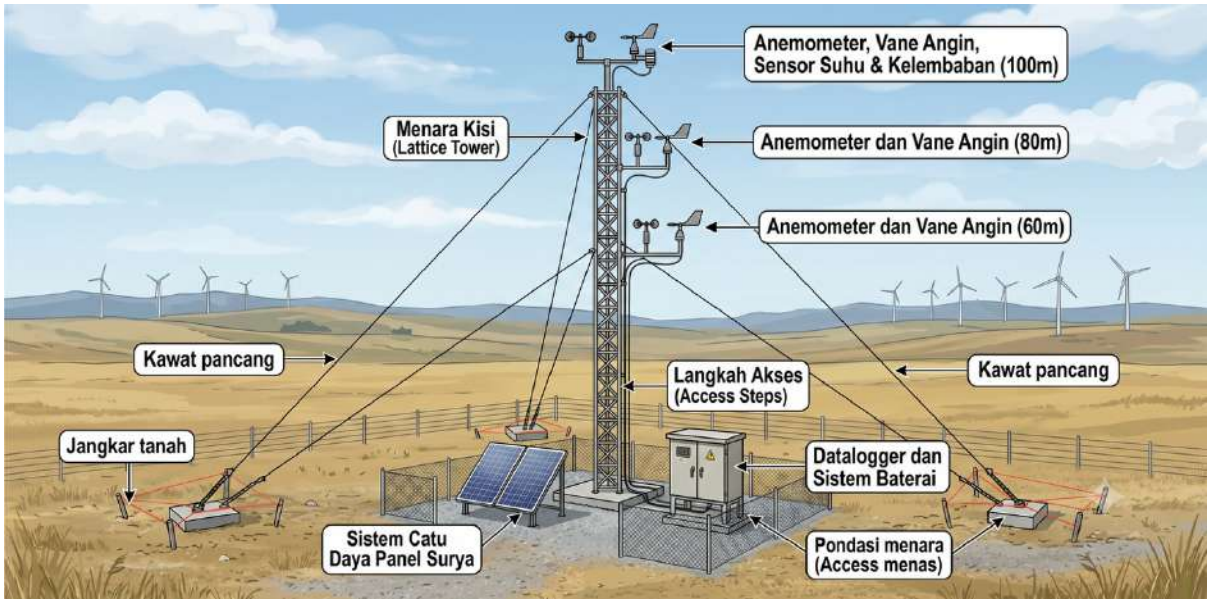
Tabel 1. Ringkasan temuan utama survei.

Aspek	Temuan utama
Lokasi terpilih	Kandidat 3 – Pantai Melayu: 00°51'16,63" LU; 104°08'59,64" BT (WGS84); 70 m dpl. Terkunci sebagai Titik 0.
Posisi relatif	±280 m dari garis pantai; ±125 m dari bangunan terdekat.
Korosi	Lingkungan pesisir; kelas korositas C5-M (sangat tinggi) diterapkan untuk spesifikasi material.
Aksesibilitas	Crane tidak dapat masuk hingga ke titik 0; material harus diangkut manual mendaki bukit ±50 m (lereng 30–40°); metode konstruksi: perakitan di lokasi.
Geoteknik	Hanya sampel tanah dangkal 0–40 cm (interval 5 cm), tanpa uji laboratorium; fondasi bersifat *preliminary*.
Sosial	Tidak ada penolakan dari tiga responden; izin RT dan pemuda diperoleh; tercatat satu insiden komunikasi izin (lihat Bab 14).
Tinggi mast	Hingga 100 m, dengan dua alternatif (60 m / 100 m) yang akan dipastikan setelah status jalur penerbangan dikonfirmasi.
Lokasi cadangan	Kandidat 2 – Jembatan 5 (akses & tapak layak) sebagai cadangan teknis.

1.2 Kesimpulan dan Rekomendasi Utama

Analisis. Lokasi Kandidat 3 (Pantai Melayu) memenuhi kriteria paparan angin laut, aksesibilitas personil, dan dukungan sosial yang memadai untuk pemasangan *met mast*, meskipun keterbatasan konstruksi (akses manual), kompleksitas terrain dan kanopi *near-field* yang menuntut survei *obstacle*, serta kekosongan data geoteknik mendalam yang harus dilengkapi sebelum desain final.

Rekomendasi. Lokasi disetujui sebagai Titik 0 untuk perencanaan *met mast* tahap lanjut, dengan syarat dilaksanakannya: (i) konfirmasi status jalur penerbangan untuk menetapkan tinggi final; (ii) penyelidikan geoteknik lengkap (*boring*, SPT, resistivitas, korosi); (iii) survei obstacle 360° kuantitatif sesuai IEC 61400-12-1 Annex F; dan (iv) pengukuran kuantitatif sinyal seluler. Struktur direkomendasikan sebagai *guyed lattice* (utama) dengan alternatif menara mandiri (*self-supporting*) untuk lahan dengan radius *anchor* terbatas. Ilustrasi *met mast* dengan struktur *guyed lattice* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi met mast untuk penilaian potensi energi angin dengan struktur guyed lattice (Gambar oleh Gemini AI dengan prompt spesifik).

2. Pendahuluan

2.1 Maksud Dokumen

Dokumen ini merupakan Laporan Survei yang menyajikan proses teknis yang logis, mulai dari perencanaan survei, pengumpulan data lapangan, evaluasi kandidat lokasi, analisis teknis, analisis risiko, analisis sosial, pemilihan lokasi terbaik, hingga rekomendasi desain awal *met mast*. Laporan ditujukan untuk investor, instansi pemerintah, kontraktor, dan insinyur terkait sebagai dasar pengambilan keputusan tahap berikutnya.

2.2 Ruang Lingkup

Ruang lingkup laporan mencakup evaluasi tapak untuk pemasangan *met mast* dan pertimbangan desain awal sistem pemantauan angin. Laporan ini tidak mencakup desain rekayasa rinci (*detailed engineering design*), studi kelayakan finansial menyeluruh, maupun analisis dampak lingkungan; keluaran tersebut menjadi lingkup tahapan berikutnya.

Catatan lingkup. Rencana survei awal (Kunaifi, 2026) membatasi survei pada aspek teknis *met mast* dan secara eksplisit menyatakan tidak mencakup topografi, aksesibilitas, sosial, geoteknik, dan korosi. Dalam pelaksanaannya, tim memperluas cakupan untuk meliputi aspek-aspek tersebut secara terbatas, sebagaimana terekam dalam lembar kerja. Laporan ini mengadopsi cakupan aktual yang lebih luas tersebut, dengan menandai secara jujur tingkat kedalaman data pada tiap aspek.

2.3 Struktur Laporan

Setelah pendahuluan ini, laporan menguraikan latar belakang dan tujuan (Bab 3–4), standar acuan dan metodologi (Bab 5–6), karakterisasi tapak menurut aspek meteorologi, topografi, aksesibilitas, geoteknik, kelistrikan-komunikasi, sosial, dan keselamatan (Bab 7–14), metodologi dan hasil seleksi lokasi (Bab 15–17), pertimbangan desain awal (Bab 18), asesmen risiko dan rekomendasi (Bab 19–20), serta kesimpulan, referensi, dan lampiran (Bab 21–23).

3. Latar Belakang Proyek

3.1 Konteks Studi Pendahulu (2025)

Fakta Teramati. Pada 2025 dilaksanakan studi "Penilaian Potensi Energi Angin dan Pasang Surut untuk Pulau Rempang, Indonesia" atas permintaan WALHI Riau. Studi tersebut menyimpulkan bahwa Pulau Rempang tidak memiliki potensi energi laut (pasang surut) yang layak — baik *tidal barrage* maupun *tidal current* — karena ketiadaan data beda pasang-surut dan karena kecepatan arus laut (0,16–0,18 m/s) berada di bawah ambang minimum teknologi (≥0,4 m/s).

Fakta Teramati. Sebaliknya, studi mengindikasikan potensi energi angin di wilayah pantai Barat dan Tenggara, dengan kecepatan angin rata-rata ±4–4,11 m/s pada 70 m, estimasi kapasitas ±16 MW, produksi ±25.221 MWh/tahun (setara kebutuhan ±13.800 rumah), namun tergolong *low wind* sehingga memerlukan turbin berkecepatan rendah.

Analisis. Karena hasil studi 2025 berbasis data satelit (*desk study*), nilai sumber daya angin bersifat indikatif dengan ketidakpastian melekat pada estimasi *reanalysis*/atlas pada wilayah pesisir-kepulauan dengan terrain kompleks. Validasi *in-situ* melalui *met mast* adalah langkah baku industri sebelum studi kelayakan.

3.2 Justifikasi Kebutuhan *Met Mast*

Pengukuran angin *in-situ* dengan *met mast* diperlukan untuk: (i) memverifikasi kecepatan dan distribusi angin pada ketinggian relevan; (ii) menentukan profil geser angin (*wind shear*) dan intensitas turbulensi; (iii) memvalidasi arah angin dominan untuk tata letak turbin; dan (iv) menurunkan ketidakpastian energi (P50/P90) yang menjadi dasar keputusan investasi. Tanpa data ini, estimasi produksi energi tidak dapat dijadikan dasar studi kelayakan yang *bankable*.

4. Tujuan Survei

Tujuan umum survei adalah memperoleh data dan informasi yang komprehensif sebagai dasar perencanaan, penentuan lokasi, dan pembangunan *met mast* untuk studi potensi energi angin, guna memastikan keandalan pengukuran angin melalui validasi data secara langsung (*in-situ*).

Tujuan spesifik:

1. Mengidentifikasi dan mengevaluasi titik-titik kandidat lokasi *met mast* berdasarkan kriteria paparan angin laut yang tidak terganggu, kekasaran permukaan rendah, dan hambatan minimal.
2. Menetapkan satu lokasi utama (Titik 0) dan satu lokasi cadangan beserta justifikasi teknisnya.
3. Mengumpulkan data pendukung tapak: koordinat presisi, aksesibilitas, kondisi tanah permukaan, lingkungan pesisir, serta kondisi sosial.
4. Menyusun pertimbangan desain awal *met mast*: tinggi, tipe struktur, konfigurasi sensor, sistem catu daya, dan komunikasi data.
5. Mengidentifikasi risiko teknis, lingkungan, dan sosial serta menyiapkan rekomendasi tindak lanjut.

5. Standar dan Acuan yang Berlaku

Laporan dan pertimbangan desain awal disusun mengacu pada standar dan pedoman berikut.

Tabel 2. Standar dan acuan yang diterapkan.

Standar / Acuan	Lingkup penerapan dalam proyek
IEC 61400-12-1	Pengukuran kinerja daya; kriteria tapak, jarak bebas hambatan, dan survei *obstacle* (Annex F).
IEC 61400-50-1	Pengukuran angin menggunakan anemometer terpasang menara; konfigurasi sensor, boom, dan ketidakpastian.
MEASNET	Pedoman evaluasi kondisi angin spesifik tapak, kalibrasi sensor, dan klasifikasi *roughness/terrain*.
Eurocode 3 (EN 1993-3-1)	Perancangan struktur menara dan mast (*lattice/guyed*).
IEC 62305	Proteksi petir (LPS), termasuk desain *grounding* di lingkungan pesisir.
ISO 31000	Manajemen risiko proyek
ISO 9223 / ISO 12944	Klasifikasi korositas atmosfer dan sistem proteksi cat/coating (kelas C5-M).
SNI 8460:2017	Persyaratan perancangan geoteknik.
SNI 1727:2020	Beban minimum perancangan bangunan dan struktur (termasuk beban angin).
SNI 03-4153	Tata cara uji penetrasi lapangan (SPT).

6. Metodologi Survei

6.1 Pendekatan Umum

Survei menggunakan pendekatan dua tahap berurutan: (1) *Coastal Profiling* dari sisi laut untuk memetakan profil pantai dari arah datangnya angin dan menyaring kandidat lokasi; dan (2) *Ground Truth & Technical Mapping* melalui akses darat untuk verifikasi tapak terpilih, pengumpulan data teknis, dan penetapan Titik 0. Pendekatan ini konsisten dengan prinsip IEC 61400-12-1 mengenai pentingnya paparan tak terganggu pada sektor angin dominan.

Gambar 2 memperlihatkan rute *coastal profiling.* Rute merah dibatalkan karena bukit terlalu terjal/rendah atau saling terhalang dari arah laut, sehingga tidak memperlihatkan adanya kandidat lokasi. Rute dialihkan ke rute biru tempat ketiga kandidat diidentifikasi.



Gambar 2. Rute survei laut: rute merah (dibatalkan) dan rute biru (ditelusuri) dengan posisi tiga titik kandidat.

Video V1. Rekaman video kontinu penyusuran pantai (±200–500 m dari garis pantai), Hari 1. Tautan Google Drive: https://drive.google.com/file/d/1IKq3aFAJY0b5-9fNGHeqYE_uYaIBLhqK/view?usp=sharing

6.2 Agenda dan Cakupan Kegiatan

Tabel 3. Agenda dan cakupan kegiatan survei.

Hari / Tanggal	Fokus	Aktivitas utama
Hari 1 — 24 Apr 2026	*Coastal profiling* (maritim) & *briefing*	*Briefing & safety induction* (WS-01); penyusuran pantai dengan perahu ±200–500 m dari garis pantai; perekaman video kontinu & foto panorama; pendaratan ground check di titik kandidat (WS-02); awal wawancara (WS-13).

Hari / Tanggal	Fokus	Aktivitas utama
Hari 2 — 25 Apr 2026	*Ground truth & technical mapping*	Survei akses logistik (WS-03); pemetaan drone (WS-04); orografi/*roughness* (WS-05); staking & koordinat final (WS-06); rencana *obstacle* 360° (WS-07); sampel tanah dangkal (WS-08).
Hari 3 — 26 Apr 2026	Pelengkapan & sosial	Lanjutan wawancara warga (WS-13); konsolidasi dokumentasi; pengecekan sinyal kualitatif (WS-10).

6.3 Peralatan dan Keterbatasannya

Verifikasi kelengkapan alat (WS-01) menunjukkan beberapa peralatan kunci tidak tersedia, yang berdampak langsung pada kelengkapan data sebagaimana dirangkum berikut.

Tabel 4. Verifikasi kelengkapan peralatan utama dan implikasinya.

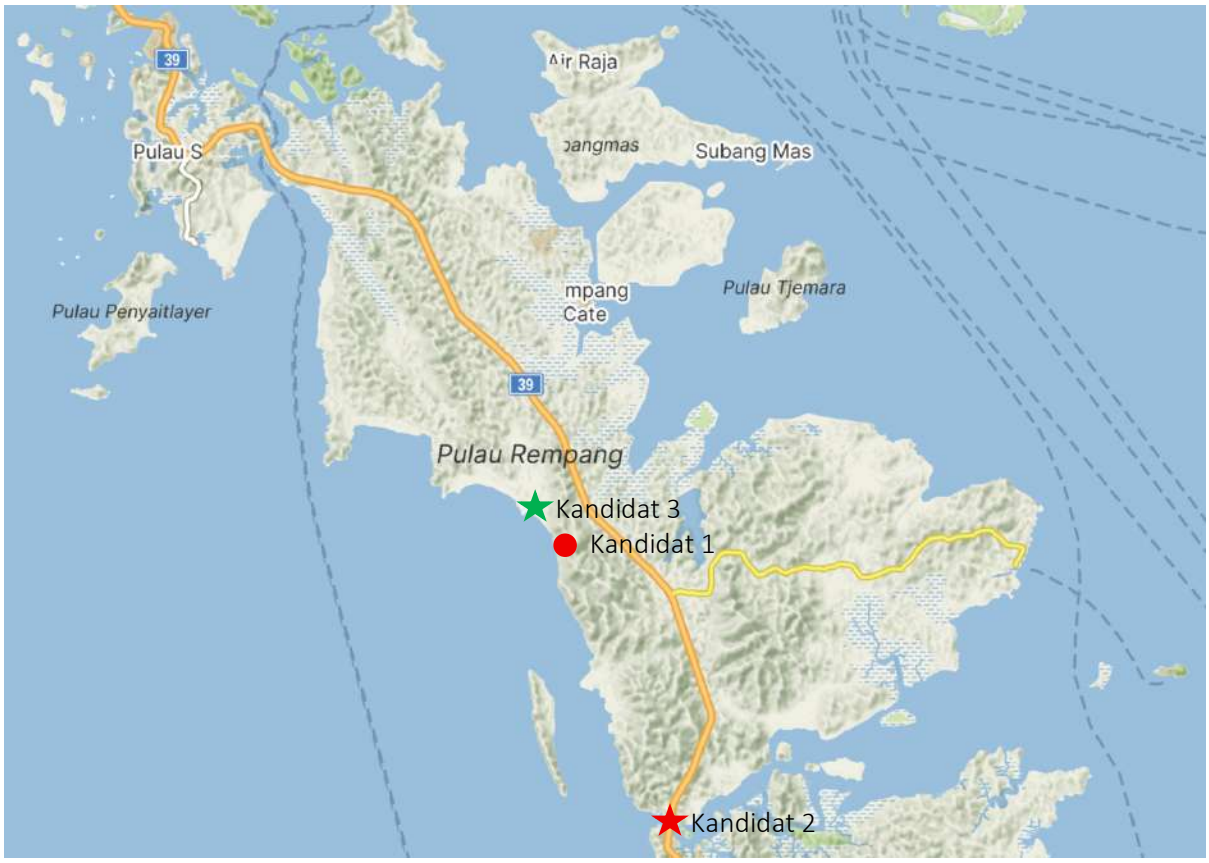
Status	Peralatan	Implikasi terhadap data
Tersedia	GPS Garmin 64s; laser rangefinder Nikon Forestry Pro II; drone DJI Mavic Air 2 (foto); kamera+tripod; meteran 100 m; cat penanda; kantong sampel	Memungkinkan penentuan koordinat, pengukuran jarak/tinggi hambatan, dan dokumentasi visual.
Tidak tersedia	Anemometer; kompas geologi; mesin bor + kru; earth tester (Kyoritsu 4105A); pH meter tanah; hammer; sebagian patok kayu	Pengukuran angin kuantitatif, SPT/boring dalam, resistivitas tanah, dan uji korosi lapangan tidak dapat dilakukan.
Catatan	Drone bertipe foto (bukan pemetaan fotogrametri); linggis digantikan parang panjang	*Roughness*/orografi hanya dapat diestimasi secara kualitatif dari citra; penetrasi tanah terbatas pada lapisan dangkal.

7. Deskripsi Lokasi

7.1 Gambaran Umum

Fakta Teramati. Lokasi proyek berada di Pulau Rempang, Kota Batam, Provinsi Kepulauan Riau — kawasan kepulauan tropis dengan lingkungan pesisir. Survei *coastal profiling* mengidentifikasi beberapa titik bukit dan celah bukit yang secara topografi sesuai untuk turbin, namun sebagian besar tidak sesuai untuk *met mast* karena sulit dijangkau, sulit untuk mobilisasi material, atau jauh dari masyarakat pendukung.

Sebaran ketiga kandidat lokasi terhadap garis pantai dan permukiman ditunjukkan pada Gambar 3, yang menjadi acuan spasial seluruh pembahasan tapak.



Gambar 3. Peta Pulau Rempang dan sebaran tiga kandidat lokasi met mast (K1 Selat Air Mau, K2 Jembatan 5, K3 Pantai Melayu.

7.2 Kandidat Lokasi

Tiga titik kandidat dievaluasi sebagai berikut.

Tabel 5. Koordinat dan karakteristik tiga kandidat lokasi.

Kandidat	Koordinat (DMS, WGS84)	Elevasi	Akses personil/alat	Kondisi tapak
K1 – Selat Air Mau	00°50'48,66" LU; 104°08'55,56" BT	85 m dpl	Tidak layak	Layak
K2 – Jembatan 5	00°47'0,79" LU; 104°10'33,74" BT	—	Layak	Layak
K3 – Pantai Melayu (TERPILIH)	00°51'16,63" LU; 104°08'59,64" BT	70 m dpl	Layak	Layak

Gambar 4 membandingkan paparan dan profil tapak ketiga kandidat dari sudut pandang datangnya angin; lokasi K3 memiliki bukaan ke laut yang baik dengan vegetasi rendah pada sektor dominan.



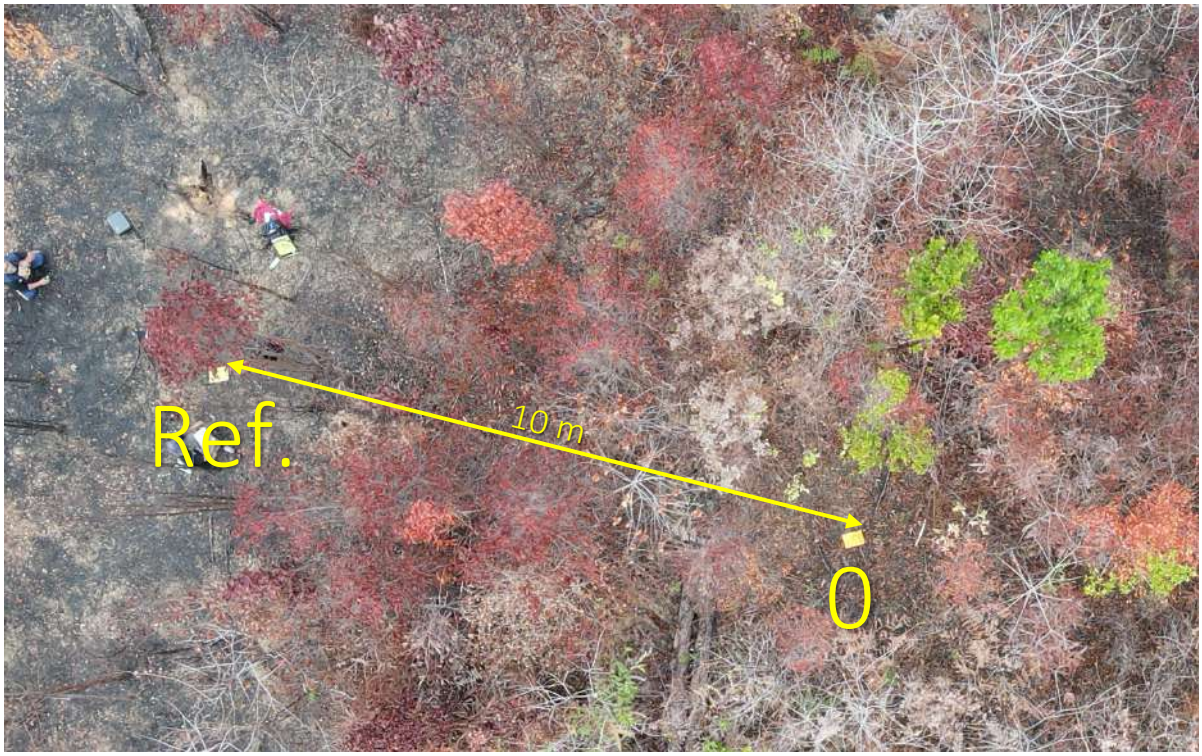
(a) (b) (c)

Gambar 4. Panorama dari laut ke darat: (a) K1 Selat Air Mau; (b) K2 Jembatan 5; (c) K3 Pantai Melayu.

7.3 Karakteristik Titik 0 (Terpilih)

Fakta Teramati. Titik 0 berada di Pantai Melayu pada 00°51'16,63" LU; 104°08'59,64" BT, elevasi 70 m dpl. Jarak ke garis pantai ±280 m dan ke bangunan terdekat ±125 m. Operator pengukuran koordinat: Rezki, menggunakan GPS Garmin 64s.

Gambar 5 menunjukkan penanda Titik 0 di lapangan sebagai referensi tunggal koordinat untuk staking fondasi. Kertas oranye pada titik 0 berjarak 10 meter dari kertas kuning pada titik refernsi (Ref.).



Gambar 5. Titik 0 terpilih (Pantai Melayu) dengan penanda titik nol; koordinat 00°51'16,63" LU; 104°08'59,64" BT.

Analisis. Posisi pada elevasi 70 m dpl yang relatif tinggi namun dekat pantai (±280 m) memberikan paparan angin laut yang baik namun dengan penghalang dekat sebagian (kanopi dan pita vegetasi ke arah laut, lihat Bab 9.2), sekaligus mengonfirmasi lingkungan korosif tinggi. Titik berada pada lereng/bahu bukit berhutan, bukan puncak. Jarak ±125 m ke bangunan terdekat perlu diverifikasi

terhadap sektor angin dominan agar tidak menimbulkan *shadow/turbulensi* pada sektor tersebut (lihat Bab 9).

Asumsi. Mengingat jarak ke pantai <1 km, kelas korositas atmosfer diadopsi sebagai C5-M (sangat tinggi, lingkungan laut), sesuai ISO 9223/12944 (Assumption AS-03).

Gambar 6 diambil dari titik 0 menjadi dasar visual identifikasi hambatan per sektor dan verifikasi awal kebebasan sektor angin dominan Barat–Barat Daya.



Gambar 6. Foto dari Titik 0 untuk verifikasi kebebasan hambatan di sekeliling menara.

Video V2. Rekaman drone area Titik 0 (orbit/flythrough). Tautan Google Drive: https://drive.google.com/file/d/1p0S6Zkke8ybChEtfbeB6wapeTdv6bxnW/view?usp=sharing

8. Pertimbangan Meteorologi

8.1 Sumber Daya Angin Indikatif

Fakta Teramati. Sumber daya angin yang dirujuk berasal dari *desk study* 2025: kecepatan rata-rata ±4–4,11 m/s pada 70 m, kategori *low wind*. *Met mast* diposisikan sebagai instrumen validasi, bukan sumber data pengukuran pada laporan ini (Assumption AS terkait disepakati pemberi tugas).

8.2 Data Baseline Lapangan

Fakta Teramati. Pengukuran sesaat menggunakan Kestrel dan estimasi *briefing* mencatat data berikut. Data ini hanya snapshot dan tidak menggantikan pengukuran kontinu *met mast*.

Tabel 6. Data baseline meteorologi lapangan.

Parameter	Nilai teramati	Sumber
Kecepatan angin (briefing, Hari 1)	±2,5 m/s	WS-01
Kecepatan angin (17.55 WIB)	4 m/s	WS-11 (Kestrel)
Arah angin (17.55 WIB)	Barat Daya (SW)	WS-11
Suhu udara (17.55 WIB)	28 °C	WS-11
Kondisi cuaca	Tidak hujan, visibilitas sedang	WS-01

8.3 Pola Angin dari Pengetahuan Lokal

Fakta Teramati. Tiga responden warga memberikan informasi pola angin yang dirangkum pada Bab 13. Arah angin yang paling sering dirasakan berkisar pada sektor Barat hingga Barat Daya dengan komponen Utara musiman; tercatat kejadian angin kencang/badai dari arah Barat (2024 merusak turap pantai; 2026 menenggelamkan kapal nelayan; Maret 2026 angin sangat kencang).

Analisis. Konvergensi indikasi desk study (pantai Barat/Tenggara) dan pengetahuan lokal (dominan Barat–Barat Daya) mendukung penetapan sektor angin dominan Barat–Barat Daya sebagai acuan orientasi sensor/boom. Indikasi turbulensi lokal (±10% menurut satu responden) dan sifat angin pancaroba yang “tidak menentu” menegaskan perlunya pengukuran intensitas turbulensi langsung oleh *met mast*.

Asumsi. Arah angin dominan diadopsi sebagai Barat–Barat Daya untuk keperluan desain awal (Assumption AS-04), dengan validasi definitif setelah *met mast* beroperasi.

Rekomendasi. Konfigurasi sensor harus dirancang agar sektor Barat–Barat Daya bebas dari bayangan menara; boom diorientasikan menjauhi sektor dominan tersebut (lihat Bab 18). Kejadian angin ekstrem historis menjadi masukan untuk beban angin desain (Eurocode/SNI 1727).

9. Asesmen Topografi

9.1 Data yang Tersedia

Fakta Teramati. Pemetaan drone dilaksanakan menggunakan DJI Mavic Air 2 (mulai terbang 15.18 WIB, durasi ±20 menit), dengan citra pada ketinggian 25, 50, 75, dan 100 m AGL. Drone bertipe foto, bukan untuk fotogrametri presisi, sehingga keluaran kuantitatif (*roughness class, RIX, topographic multiplier*) pada lembar WS-05/WS-07 tidak terisi.

Estimasi kualitatif z0 dan kompleksitas terrain pada Tabel 7 (Bab 9.2) diturunkan dari citra Gambar 7, mengingat drone bertipe foto (bukan fotogrametri presisi).



Gambar 7. Citra udara Titik 0 (tanda x) pada lereng atas bukit berhutan; laut berada di sisi kanan di balik pita vegetasi; bukaan lahan laterit aktif dan tegakan pohon mati. Dasar estimasi roughness dan kompleksitas terrain.

9.2 Estimasi Kualitatif Roughness dan Kompleksitas Terrain

Fakta Teramati. Citra udara Titik 0 (Gambar 7) memperlihatkan menara direncanakan pada lereng atas/bahu bukit berhutan — bukan di lahan terbuka maupun tepat di puncak — dengan punggungan yang lebih tinggi di belakangnya. Kanopi pohon campuran mengelilingi titik, bercampur tegakan pohon mati berwarna coklat-kemerahan yang luas. Laut dan pantai berpasir berada pada sisi kanan citra, namun berada di balik pita lahan berhutan dan berbukit, bukan bukaan air langsung dari titik. Terlihat pula bukaan lahan laterit aktif, lereng galian, jaringan jalan tanah, dan beberapa bangunan.

Analisis. Lingkungan *near-field* menara didominasi kanopi hutan (z_0 tinggi), sehingga *roughness* lokal cukup tinggi dan pepohonan menjadi *obstacle* yang relevan bagi sensor pada level rendah. Sektor menghadap laut tidak sepenuhnya bersih: terdapat pita vegetasi dan relief antara titik dan air, sehingga paparan marin dinilai "baik namun dengan penghalang dekat sebagian" hingga diverifikasi. Tutupan lahan tidak stabil — pohon mati dan bukaan lahan aktif menunjukkan *roughness* dapat berubah selama pengukuran, dan pohon mati berisiko tumbang (*obstacle* dinamis). Posisi pada lereng/bahu bukit dengan *ground* lebih tinggi di belakang berpotensi memengaruhi aliran pada sebagian sektor. Relief

yang terdiseksi dengan lereng curam (konsisten dengan WS-03: 30–42°) mendukung peningkatan klasifikasi terrain dari moderately complex ke arah complex.

Tabel 7. Estimasi Kualitatif Roughness dan Kompleksitas Terrain

Zona permukaan	Posisi relative	z_0 estimasi (m)	Catatan
Laut terbuka	Di balik pita pantai (arah pantai terlihat)	0,0002	Fetch baik, tetapi tidak langsung dari titik
Pantai berpasir / lahan tersingkap	Tepi pantai & area galian	0,005–0,03	Heterogen akibat bukaan lahan
Semak / lahan baru dibuka	Lereng bawah & sekitar jalan	0,03–0,1	Dapat berubah (clearing aktif)
Hutan campuran / kanopi near-field	Mengelilingi Titik 0	0,3–1,0	Obstacle relevan untuk sensor rendah

Asumsi. Klasifikasi terrain adalah complex (indikatif), menunggu verifikasi RIX. Azimut sektor (termasuk sektor marin) belum dapat dikunci dari foto *oblique* tanpa acuan Utara; sektor angin dominan tetap diadopsi Barat–Barat Daya (AS-04), dengan catatan kebersihan sektor tersebut harus dibuktikan melalui survei obstacle berinstrumen.

Rekomendasi. Survei obstacle 360° kuantitatif (36 sektor, IEC 61400-12-1 Annex F) menjadi makin kritis karena kanopi *near-field* padat. Pertimbangkan pembersihan terkendali pada radius tertentu di sekeliling menara, atau naikkan ketinggian sensor terendah di atas kanopi. Pantau dan dokumentasikan perubahan tutupan lahan (*clearing* aktif, pohon mati) berikut tanggalnya. Konfirmasi azimut sektor marin dan posisi relatif terhadap *crest* bukit menggunakan kompas/heading drone dan DEM. Lakukan pemetaan DEM/fotogrametri untuk menghitung RIX dan faktor orografi Mt; jika Mt > 1,1, koreksi orografi terhadap kecepatan angin dan beban struktur menjadi wajib (Eurocode 3).

10. Asesmen Aksesibilitas

10.1 Parameter Akses dan Logistik

Fakta Teramati. Survei akses (WS-03) mencatat parameter berikut sepanjang rute dari jalan utama menuju Titik 0.

Tabel 8. Parameter aksesibilitas dan logistik (WS-03).

Parameter	Nilai teramati
Lebar jalan tersempit (titik kritis)	4 m (di 0°51'16,21" LU; 104°08'51,31" BT)
Radius belokan terkecil	5 m
Kemiringan lereng maksimum	42°
Jembatan utama	Jembatan 5 Barelang — kapasitas >100 ton
Jenis permukaan rute kritis	Tanah keras (bukan aspal/beton)
Kapasitas crane masuk	Crane tidak dapat masuk
Moda pengiriman tower lattice	Dikirim potongan kecil dengan truk, dirakit di lokasi
Area putar kendaraan panjang	Tersedia, tanpa pelebaran
Akses akhir ke Titik 0	Mendaki bukit ±50 m dari titik truk terakhir; lereng 30–40°; pengangkutan manual
Sumber air bersih (curing beton)	Sumur ±400 m dari titik 0 (diperlukan mencari sumber air yang telah tersedia)
Genset lokal	Tidak ada (harus sewa)
Ready-mix concrete terdekat	Tersedia, jarak ±50 km

10.2 Implikasi Konstruksi

Analisis. Ketidakmampuan crane masuk dan keharusan pengangkutan manual mendaki bukit ±50 m (lereng 30–40°) menjadikan metode "perakitan di lokasi" (*on-site assembly*) dari komponen ringan sebagai satu-satunya pilihan praktis. Hal ini mendukung pemilihan struktur *lattice* modular yang dapat dibawa per segmen. Jarak ready-mix ±50 km dan ketiadaan genset lokal menambah kompleksitas pengecoran fondasi (perlu sewa genset, perencanaan *curing* dengan sumber air sumur 400 m, atau opsi beton pracetak/angkur khusus).

Asumsi. Metode konstruksi dasar diadopsi sebagai perakitan di lokasi (Assumption disepakati pemberi tugas).

Rekomendasi. Rancang seluruh komponen menara dan fondasi agar dapat ditangani secara manual/semi-mekanis (berat per segmen terbatas), siapkan rencana mobilisasi tenaga lokal, dan pertimbangkan sistem fondasi yang meminimalkan kebutuhan beton ready-mix volume besar (lihat Bab 11 dan 18).

Gambar 8 mengilustrasikan kendala mobilisasi yang mendasari pemilihan metode perakitan di lokasi.



Gambar 8. Segmen akhir akses: pendakian bukit ±50 m dengan lereng 30–40°, pengangkutan material manual.

11. Pertimbangan Geoteknik dan Sipil

11.1 Data yang Tersedia

Fakta Teramati. Penyelidikan tanah penuh (*boring*, SPT, resistivitas Wenner) tidak dapat dilaksanakan karena ketiadaan peralatan (mesin bor, *hammer*, *earth tester*). Data geoteknik yang tersedia terbatas pada sampel tanah dangkal hingga kedalaman 40 cm, diambil setiap 5 cm (delapan lapisan), tanpa uji laboratorium karena keterbatasan jumlah/kedalaman sampel.

Tabel 9. Ringkasan kondisi geoteknik teramati (preliminary).

Aspek	Status	Keterangan
Boring & SPT (WS-08)	Tidak dilaksanakan	Tidak ada mesin bor/hammer
Resistivitas tanah (WS-09)	Tidak dilaksanakan	Tidak ada earth tester
Sampel tanah dangkal	Tersedia	0–40 cm, interval 5 cm; belum diuji lab
pH/klorida/korosi lapangan	Tidak terukur	Tidak ada pH meter; korosi diestimasi dari lingkungan
Muka air tanah	Tidak terukur	Memerlukan boring

11.2 Implikasi terhadap Desain Fondasi

Analisis. Tanpa profil tanah dalam, N-SPT, daya dukung, dan muka air tanah, parameter desain fondasi (daya dukung izin, penurunan, kapasitas cabut *anchor guy*) belum dapat dihitung. Pada lokasi bukit pesisir, kemungkinan dijumpai tanah lateritik/residual, pasir, atau batuan dangkal; masing-masing menentukan tipe angkur yang sangat berbeda (pasak, blok beton berat, atau baut batuan).

Asumsi. Seluruh pertimbangan fondasi dalam laporan ini dinyatakan preliminary/indikatif hingga tersedia data geoteknik lengkap (Assumption AS-06).

Rekomendasi. Sebelum desain final, laksanakan: (i) boring minimal 2 titik (di titik menara dan dekat anchor) dengan SPT sesuai SNI 03-4153 hingga refusal/kedalaman target; (ii) uji laboratorium (grain size, Atterberg, Gs, triaxial/*direct shear*); (iii) uji resistivitas Wenner untuk desain grounding; dan (iv) uji pH/klorida untuk konfirmasi kelas korosi. Desain fondasi mengikuti SNI 8460.

12. Pertimbangan Kelistrikan dan Komunikasi

12.1 Sistem Catu Daya

Analisis. Lokasi tanpa jaringan listrik dan tanpa genset lokal menuntut sistem otonom berbasis surya. Mengacu praktik baku dan rencana survei: panel surya dipasang menghadap Utara (lokasi di selatan khatulistiwa) dengan kemiringan 10°–15° untuk pembersihan mandiri, ditempatkan bebas bayangan dan pada sisi yang tidak menghalangi sektor angin dominan; data logger ditempatkan dalam boks IP65 pada ketinggian ±2 m untuk menghindari jangkauan hewan.

12.2 Komunikasi Data

Fakta Teramati. Pengukuran kuantitatif sinyal (RSRP per operator, kecepatan unggah/unduh) pada WS-10 tidak terisi. Kesimpulan kualitatif lapangan berdasarkan pengecekan dan informasi dari masyarakat menyatakan sinyal data paling kuat berasal dari provider XL (XL Axiata) dan Tri/Indosat.

Asumsi. Operator utama (XL) dan cadangan (Tri/Indosat) bersifat indikatif berdasarkan pengamatan kualitatif dan informasi dari warga lokal; nilai RSRP ditandai sebagai data terukur yang belum tersedia.

Rekomendasi. Informasi dari masyarakat telah memadai untuk kondisi pada saat survei dan tidak membutuhkan pengukuran RSRP. Siapkan opsi cadangan telemetri satelit bila RSRP tidak memadai. Untuk *grounding* di lingkungan pesisir, gunakan tembaga berlapis timah guna mencegah oksidasi cepat oleh garam (sesuai rencana survei dan IEC 62305).

13. Asesmen Sosial dan Pemangku Kepentingan

13.1 Konteks Sosial

Pulau Rempang merupakan kawasan yang sensitif secara sosial. Pendekatan survei karenanya menekankan perizinan lokal dan komunikasi dengan warga. Izin masuk kawasan survei diperoleh dari Ketua RT dan pemuda setempat (WS-01).

13.2 Hasil Wawancara

Fakta Teramati. Tiga responden diwawancarai. Atas persetujuan responden, nama responden ditampilkan. Seluruh responden bersedia difoto dan menyatakan tidak ada penolakan terhadap proyek.

Tabel 10. Ringkasan hasil wawancara pola angin lokal.

Responden	Profil	Bulan berangin / tenang	Arah dominan	Kejadian ekstrem
Rizal (R1)	36 th; 11 th tinggal; buruh bangunan	Berangin: Des, Mei (angin Utara). Tenang: Feb–Mar	Barat & Utara	2024: badai dari Barat merusak turap pantai; pernah >20 m/s; turbulensi ±10%
Syukri (R2)	42 th; 42 th tinggal; nelayan	Berangin: Jan–Feb & Jul–Agu. Tenang: Okt–Apr	Barat (Angin Barat)	2026: badai dari Barat menenggelamkan kapal nelayan; angin kini pancaroba/tak menentu
Gerisman Ahmad (R3)	67 th; 40 th tinggal; wiraswasta	Berangin: Des–Mar (Utara) & Jul–Nov (Selatan). Tenang: Apr–Jun	Barat Daya	Mar 2026 angin sangat kencang; menilai lokasi sangat berangin; tanpa bencana

Gambar 9 mendokumentasikan konsultasi yang mendasari validasi pola angin lokal dan keberterimaan sosial.



(a) (b) (c)

Gambar 9. Wawancara warga (atas persetujuan): (a) Rizal; (b) Syukri; (c) Gerisman Ahmad.

Analisis. Ketiga responden konvergen pada dominasi angin dari sektor Barat dengan komponen Barat Daya/Utara musiman, memperkuat penetapan sektor angin dominan Barat–Barat Daya. Catatan R3 — bahwa "masyarakat Rempang menerima tamu jika datang baik-baik dan melapor kepada warga" — merupakan masukan penting bagi protokol keterlibatan sosial.

Rekomendasi. Pertahankan dukungan sosial melalui komunikasi berjenjang (RT, pemuda, dan warga sekitar tapak) dan konsultasi publik UKL-UPL. Dokumentasikan persetujuan secara tertulis. Status izin formal selain RT/pemuda (mis. instansi/pengelola kawasan) harus diperoleh pada tahap pra-pembangunan *met mast*.

14. Asesmen Keselamatan dan Keamanan (HSE)

14.1 Keselamatan Operasi Survei

Fakta Teramati. Survei mencakup operasi laut (perahu) dan pendakian bukit. APD pelampung tersedia saat di perahu; namun beberapa item K3 (mis. sepatu safety) dibawa masing-masing dan kelengkapannya tidak seragam. Keputusan Go/No-Go drone diterapkan pada Hari 1 (No-Go, ditunda ke Hari 2).

Analisis. Bahaya utama meliputi: operasi maritim (cuaca, ombak), pendakian lereng 30–40°, paparan UV pesisir tinggi, dan — pada fase konstruksi — kerja ketinggian pada menara hingga 100 m serta pengangkutan manual material. Kelengkapan K3 yang tidak seragam merupakan kelemahan yang harus diperbaiki untuk fase konstruksi.

14.2 Keamanan dan Insiden Sosial

Fakta Teramati. Saat tim hendak mendaki bukit, seorang warga mempertanyakan izin; tim menjelaskan telah memperoleh izin Ketua RT. Sehari kemudian Ketua RT menelepon menyampaikan pengaduan warga sekitar bukit dan menyesalkan tim tidak melapor kepadanya sebelum naik ke bukit.

Analisis. Insiden ini menunjukkan bahwa izin di awal pada tingkat RT saja belum menjamin penerimaan warga di sekitar tapak spesifik. Setiap kegiatan pada kawasan yang sensitif secara sosial, kegagalan komunikasi berjenjang dapat memicu eskalasi yang berisiko menghambat akses dan konstruksi.

Rekomendasi. Terapkan protokol notifikasi berjenjang dan terdokumentasi sebelum setiap aktivitas lapangan (lapor RT + pemberitahuan langsung ke warga terdekat tapak) pada setiap kegiatan (tidak hanya izin di awal); tunjuk penghubung masyarakat (*community liaison*); siapkan rencana K3 konstruksi penuh (kerja ketinggian, manual handling, maritim, UV) sebelum mobilisasi.

15. Metodologi Seleksi Lokasi

Seleksi lokasi menerapkan penyaringan bertahap: penyaringan awal dari sisi laut (*coastal profiling*) untuk menyisihkan titik dengan paparan buruk atau akses mustahil, dilanjutkan verifikasi darat terhadap kandidat tersisa. Kriteria evaluasi dan bobot indikatif disusun berdasarkan kebutuhan validitas pengukuran (IEC/MEASNET), keterlaksanaan konstruksi, dan keberlanjutan sosial.

Pembobotan pada Tabel 11 ditetapkan melalui penilaian pakar tim survei mengikuti kerangka Analisis Keputusan Multi-Kriteria (MCDA; lih. Saaty, *Analytic Hierarchy Process*; Malczewski, *GIS and Multicriteria Decision Analysis*). Bobot mencerminkan prioritas relatif tujuan proyek serta kendala yang secara empiris menentukan dalam survei ini, dan bersifat indikatif sebagai alat bantu pengambilan keputusan yang transparan — bukan nilai mutlak.

Tabel 11. Pembobotan kriteria seleksi lokasi (indikatif).

Kriteria	Bobot (%)	Dasar
Paparan angin & kebebasan hambatan (sektor dominan)	25	IEC 61400-12-1 / MEASNET
Aksesibilitas personil & mobilisasi material	20	Keterlaksanaan konstruksi (WS-03)
Dukungan & keberterimaan sosial	20	Sensitivitas kawasan (WS-13)
Kondisi tapak & geoteknik (indikatif)	15	Kelaikan fondasi (WS-08)
Komunikasi & catu daya	10	Keandalan telemetri (WS-10)
Keselamatan & lingkungan	10	HSE / UKL-UPL

Bobot tertinggi pada *paparan angin* (25%) mencerminkan bahwa keseluruhan tujuan *met mast* adalah memperoleh data angin yang valid; kebebasan hambatan dan kekasaran rendah pada sektor dominan merupakan prasyarat keandalan data (IEC 61400-12-1, IEC 61400-50-1, MEASNET). *Aksesibilitas* (20%) dan *dukungan sosial* (20%) diberi bobot tinggi karena keduanya merupakan kendala pengikat yang secara nyata menentukan hasil seleksi — Kandidat 1 gugur justru karena akses tidak layak dan jauh dari masyarakat pendukung, bukan karena paparan angin. *Kondisi tapak & geoteknik* (15%) diberi bobot menengah karena datanya masih *preliminary* dan dapat dilengkapi pada tahap lanjut tanpa harus menggugurkan lokasi. *Komunikasi & catu daya* (10%) serta *keselamatan & lingkungan* (10%) diberi bobot terendah karena umumnya dapat diatasi melalui solusi rekayasa dan jarang bersifat menggugurkan.

16. Evaluasi Komparatif Kandidat Lokasi

Fakta Teramati. Hasil penilaian ketiga kandidat dirangkum pada matriks berikut (skala kualitatif: Baik / Sedang / Buruk).

Tabel 12. Matriks evaluasi komparatif kandidat lokasi.

Kriteria	K1 – Selat Air Mau	K2 – Jembatan 5	K3 – Pantai Melayu
Paparan angin (sektor dominan)	Baik (85 m dpl)	Sedang	Baik–Sedang (obstacle kanopi near-field; laut di balik vegetasi)
Aksesibilitas	Buruk (tidak layak)	Baik	Sedang–Baik (akses akhir manual)
Dukungan sosial / kedekatan warga pendukung	Buruk (jauh dari warga)	Baik	Baik
Kondisi tapak	Baik	Baik	Baik
Keterlaksanaan konstruksi	Buruk	Baik	Sedang
Kesimpulan	Gugur (akses)	Cadangan	TERPILIH

Analisis. K1 (Selat Air Mau) gugur terutama karena aksesibilitas personel/alat tidak layak dan jaraknya dari masyarakat pendukung, meskipun elevasinya (85 m dpl) menawarkan paparan baik. K2 (Jembatan 5) layak pada akses dan tapak sehingga dipertahankan sebagai cadangan. K3 (Pantai Melayu) memberikan keseimbangan terbaik antara paparan angin laut, aksesibilitas personel, dan dukungan sosial, dengan konsekuensi mobilisasi material manual yang dapat dikelola melalui metode perakitan di lokasi.

17. Lokasi Terpilih dan Justifikasi Teknis

Fakta Teramati. Keputusan Titik 0 (WS-02/WS-06): Kandidat 3 – Pantai Melayu, 00°51’16,63” LU; 104°08’59,64” BT (WGS84), 70 m dpl. Kandidat 2 dipertahankan sebagai cadangan.

Justifikasi

1. Paparan angin laut yang memadai: posisi pada bukit 70 m dpl ±280 m dari garis pantai memberikan sektor dominan Barat–Barat Daya ke arah laut; kekasaran near-field tergolong tinggi (kanopi) sehingga memerlukan survei obstacle dan kemungkinan peninggian sensor terendah/pembersihan terbatas (Bab 9.2, 18.3).
2. Aksesibilitas personil layak: berbeda dari K1, tapak dapat dijangkau tim untuk pemasangan dan pemeliharaan, dengan akses akhir manual yang dapat dikelola.
3. Dukungan sosial: dekat dengan masyarakat yang mendukung program; tidak ada penolakan terekam.
4. Kondisi tapak layak: permukaan dan ruang memadai untuk menara dan area angkur (radius anchor terkonfirmasi memungkinkan; alternatif radius <60 m disiapkan, lihat Bab 18).

Asumsi. Penetapan ini mengasumsikan tinggi *mast* hingga 100 m dapat diizinkan; bila Titik 0 ternyata berada pada jalur penerbangan, tinggi disesuaikan ke ketinggian maksimum yang diizinkan (lihat Bab 18.1 dan AS-01).

Rekomendasi. Kunci Titik 0 sebagai referensi tunggal koordinat untuk seluruh insinyur desain, dengan verifikasi ulang menggunakan GPS RTK (FIXED solution) sebelum staking final fondasi.

18. Pertimbangan Desain Awal *Met Mast*

Seluruh pertimbangan pada bab ini bersifat awal (preliminary) dan menjadi masukan bagi desain rekayasa rinci setelah data lanjutan tersedia.

18.1 Tinggi Menara

Analisis. Tinggi menara menentukan seluruh aspek struktur, fondasi, dan radius angkur. Dua alternatif tetap terbuka: 100 m (maksimum, untuk menangkap profil angin hingga ketinggian hub turbin skala menengah) atau 60 m (alternatif). Penentu utama adalah status jalur penerbangan.

Fakta Teramati. Menurut informasi warga dan pengamatan selama tiga hari, Titik 0 dinilai bukan berada di kawasan/jalur penerbangan; namun hal ini memerlukan konfirmasi resmi dari otoritas penerbangan sebelum pemasangan.

Rekomendasi. Tetapkan tinggi final melalui dua langkah: (i) konfirmasi resmi status obstruksi penerbangan; bila bebas, gunakan hingga 100 m; (ii) bila berada pada jalur penerbangan, terapkan ketinggian maksimum yang diizinkan otoritas (mis. Menurunkan tinggi ke ambang izin). Untuk menara ≥100 m umumnya diperlukan penandaan/penerangan aviasi sesuai regulasi.

18.2 Tipe Struktur

Analisis. Perancangan struktur menara — baik *lattice* tertopang kawat (*guyed*) maupun mandiri (*self-supporting*) — mengikuti kerangka Eurocode 3 (EN 1993-3-1) untuk menara dan *mast* baja. Struktur dipilih dengan mempertimbangkan tinggi hingga 100 m, mobilisasi manual (perakitan di lokasi), dan ketersediaan lahan angkur.

Tabel 13. Perbandingan opsi struktur menara.

Opsi	Deskripsi	Radius footprint	Catatan
Rekomendasi-1: *Guyed lattice*	Menara *lattice* ringan ditopang kawat *spander* (*guy wire*) bertingkat	Radius angkur 60–80% tinggi (mis. 60–80 m untuk 100 m)	Ringan, ekonomis, ideal untuk perakitan manual; butuh lahan angkur luas
Rekomendasi-2: *Self-supporting lattice*	Menara *lattice* mandiri tanpa kawat *spander*	Hanya *footprint* fondasi (radius < 60 m, praktis minimal)	Cocok untuk lahan angkur terbatas; lebih berat & lebih mahal; fondasi lebih besar
Opsi *guyed* termodifikasi	*Guyed* dengan sudut kawat lebih curam / level angkur ganda	Radius dapat ditekan < 60 m	Mengurangi *footprint* dengan kompromi gaya 31arik angkur lebih tinggi

Rekomendasi. Gunakan *guyed lattice* sebagai rekomendasi utama. Bila keterbatasan lahan menuntut radius angkur < 60 m, terapkan menara *self-supporting* (rekomendasi-2) atau konfigurasi *guyed* termodifikasi. Pemilihan final ditetapkan setelah hasil geoteknik (daya dukung & kapasitas cabut angkur) tersedia.

Beban angin desain pada menara, termasuk pengaruh kejadian angin ekstrem historis (Bab 8.3), mengacu pada SNI 1727:2020 dengan koreksi orografi sesuai hasil survei terrain.

18.3 Konfigurasi Sensor (Indikatif, IEC 61400-50-1 / MEASNET)

Analisis. Mengacu praktik standar, pengukuran sumber daya angin memerlukan beberapa ketinggian untuk menangkap profil geser angin, dengan anemometer utama di puncak, redundansi pada level atas, serta *wind vane* pada minimal dua level. Untuk menara 100 m, konfigurasi indikatif berikut diusulkan; jumlah level final mengikuti rekomendasi standar dan hub height target.

Tabel 14. Konfigurasi sensor indikatif (mengacu IEC 61400-50-1 / MEASNET).

Level	Ketinggian	Sensor (indikatif)
L1 (puncak)	100 m	2 anemometer (utama + redundant) + 1 wind vane
L2	80 m	1 anemometer + 1 wind vane
L3	60 m	1 anemometer + 1 wind vane
L4	40 m	1 anemometer
Lingkungan	± 3 m	barometer + thermohygrometer (hindari panas balik tanah/pasir)

Rekomendasi. Orientasikan boom menjauhi sektor angin dominan (Barat–Barat Daya) — yakni boom menghadap ke arah Timur Laut–Utara — agar sektor dominan bebas bayangan menara; panjang boom ditetapkan sesuai diameter menara (IEC 61400-12-1 Annex F) setelah *shop drawing* tersedia. Gunakan anemometer terkalibrasi MEASNET dan datalogger dengan sinkronisasi waktu. Mengingat kanopi hutan di sekitar Titik 0 (Bab 9.2), tinjau apakah level sensor terendah (40 m) berada cukup di atas pengaruh kanopi/obstacle; bila tidak, naikkan ketinggian level tersebut atau lakukan pembersihan terbatas pada radius menara.

18.4 Proteksi Korosi, Grounding, dan Petir

Analisis. Lingkungan C5-M menuntut proteksi korosi tinggi: baja *hot-dip galvanized* tebal dengan sistem cat duplex (ISO 12944 kelas C5-M), pengencang stainless (mis. A4), dan grounding tembaga berlapis timah untuk menahan oksidasi garam. Sistem proteksi petir (IEC 62305) memerlukan nilai resistansi pembumian yang memadai, yang bergantung pada resistivitas tanah (belum terukur).

Rekomendasi. Tetapkan spesifikasi coating C5-M; rancang LPS dan sistem pembumian berdasarkan hasil uji resistivitas Wenner; pertimbangkan ring earth dan elektroda tambahan bila resistivitas tinggi.

18.5 Catu Daya dan Komunikasi

Rekomendasi. Sistem surya otonom: panel menghadap Utara, kemiringan 10°–15°, bebas bayangan, pada sisi non-dominan angin; baterai dengan *autonomy* memadai untuk musim mendung (2-3 hari); datalogger IP65 pada ±2 m. Komunikasi via operator utama (XL) dengan cadangan (Tri/Indosat), antena ditentukan setelah pengukuran RSRP; siapkan opsi satelit bila perlu.

19. Asesmen Risiko

Risiko diidentifikasi dan dinilai mengikuti kerangka ISO 31000 (likelihood × dampak; level: Rendah/Sedang/Tinggi).

Tabel 15. Register risiko proyek (ISO 31000).

ID	Risiko	Kemungkinan	Dampak	Level	Mitigasi
R-01	Status jalur penerbangan membatasi tinggi menara	Sedang	Tinggi	Tinggi	Konfirmasi resmi otoritas; siapkan opsi tinggi alternatif
R-02	Data geoteknik tidak lengkap → fondasi tak terverifikasi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Boring+SPT, resistivitas, uji lab sebelum desain final
R-03	Konstruksi terkendala akses (crane tak masuk, manual)	Tinggi	Sedang	Sedang	Desain modular ringan; perakitan di lokasi; tenaga lokal
R-04	Korosi pesisir memperpendek umur layan	Tinggi	Sedang	Sedang	Spesifikasi C5-M; inspeksi berkala
R-05	Angin ekstrem/badai (histori 2024–2026)	Sedang	Tinggi	Tinggi	Beban angin Eurocode/SNI 1727; faktor keamanan; guy/struktur memadai
R-06	Gesekan sosial akibat komunikasi izin tak berjenjang	Sedang	Sedang	Sedang	Protokol notifikasi berjenjang; community liaison; persetujuan tertulis
R-07	Sinyal komunikasi tidak memadai untuk telemetri	Sedang	Sedang	Sedang	Pengukuran RSRP; antena directional/booster; cadangan satelit
R-08	Sumber daya angin riil di bawah ambang kelayakan (*low wind*)	Sedang	Tinggi	Tinggi	Validasi in-situ *met mast*; evaluasi turbin low-wind
R-09	Logistik beton (ready-mix 50 km, tanpa genset/air terbatas)	Sedang	Sedang	Sedang	Opsi fondasi minim-beton; sewa genset; rencana curing
R-10	Obstacle kanopi near-field & dinamika tutupan lahan (pohon mati, clearing aktif) menurunkan validitas data / mengubah roughness	Tinggi	Sedang	Sedang-Tinggi	Survei obstacle Annex F; peninggian sensor terendah/pembersihan terbatas; pemantauan tutupan lahan bertangga

20. Rekomendasi

20.1 Tindak Lanjut Prioritas (sebelum desain final)

1. Konfirmasi resmi status obstruksi/jalur penerbangan untuk menetapkan tinggi menara final (100 m atau ketinggian izin).
2. Penyelidikan geoteknik lengkap: boring + SPT (SNI 03-4153) minimal 2 titik, uji laboratorium, uji resistivitas Wenner, serta uji pH/klorida untuk konfirmasi kelas korosi.
3. Survei obstacle 360° kuantitatif (36 sektor, IEC 61400-12-1 Annex F) dan pemetaan DEM/fotogrametri untuk RIX dan faktor orografi Mt; serta pemetaan tutupan lahan untuk menilai kanopi near-field dan dinamika clearing/pohon mati.
4. Pengukuran kuantitatif sinyal seluler (RSRP) seluruh operator pada titik menara dan ±6 m AGL.
5. Verifikasi ulang koordinat Titik 0 dengan GPS RTK (FIXED) sebelum staking fondasi.

20.2 Rekomendasi Desain

1. Struktur: *guyed lattice* (utama); alternatif self-supporting/guyed termodifikasi bila radius angkur harus < 60 m.
2. Konfigurasi sensor mengikuti rekomendasi standar (IEC 61400-50-1/MEASNET), boom menjauhi sektor Barat–Barat Daya.
3. Proteksi korosi C5-M (galvanis + coating duplex, pengencang stainless, grounding tembaga berlapis timah).
4. Sistem catu daya surya otonom dan telemetri dengan operator utama XL serta cadangan, ditetapkan pasca pengukuran RSRP.

20.3 Rekomendasi Sosial dan HSE

1. Terapkan protokol komunikasi berjenjang (RT, pemuda, warga terdekat tapak) dengan dokumentasi persetujuan; tunjuk community liaison.
2. Peroleh izin formal selain RT/pemuda pada tahap pra-pembangunan; lanjutkan proses UKL-UPL.
3. Susun rencana K3 konstruksi penuh (kerja ketinggian, manual handling, operasi maritim, paparan UV).

20.4 Rencana Tindak Lanjut

Tabel 16. Rencana tindak lanjut pelengkapan data.

No.	Kegiatan	Keluaran	Prioritas
1	Konfirmasi aviasi	Surat status obstruksi / batas tinggi	Tinggi
2	Penyelidikan geoteknik & korosi	Boring log, parameter desain, kelas korosi	Tinggi
3	Survei obstacle & orografi kuantitatif	Peta obstacle 36 sektor, RIX, Mt	Tinggi
4	Pengukuran RSRP	Tabel sinyal & rekomendasi antena	Sedang
5	Desain rekayasa rinci *met mast*	Gambar kerja, BoQ, RAB	Sedang
6	Pengadaan & konstruksi	*Met mast* terpasang & beroperasi	Lanjutan

21. Kesimpulan

Survei lapangan tiga hari (24–26 April 2026) berhasil menetapkan Kandidat 3 – Pantai Melayu (00°51'16,63" LU; 104°08'59,64" BT; 70 m dpl) sebagai Titik 0 untuk pemasangan *met mast*, dengan Kandidat 2 – Jembatan 5 sebagai cadangan. Lokasi terpilih menyeimbangkan paparan angin laut pada sektor dominan Barat–Barat Daya, aksesibilitas personil, dan dukungan sosial.

Met mast diposisikan sebagai instrumen validasi *in-situ* atas potensi angin indikatif (±4–4,11 m/s @70 m, kategori *low wind*) dari studi 2025. Karena keterbatasan peralatan, sebagian data teknis — geoteknik dalam, resistivitas, obstacle kuantitatif, dan sinyal terukur — belum tersedia; oleh karena itu seluruh pertimbangan desain bersifat preliminary.

Dengan dilaksanakannya tindak lanjut prioritas (konfirmasi aviasi, penyelidikan geoteknik, survei *obstacle*, dan pengukuran sinyal), lokasi terpilih dinilai layak untuk dilanjutkan ke tahap desain rekayasa rinci dan konstruksi *met mast*. Rekomendasi struktur adalah guyed lattice dengan alternatif menara mandiri untuk lahan angkur terbatas, serta proteksi korosi kelas C5-M sesuai lingkungan pesisir.

22. Referensi

1. International Electrotechnical Commission. IEC 61400-12-1, Wind energy generation systems – Power performance measurements of electricity producing wind turbines.
2. International Electrotechnical Commission. IEC 61400-50-1, Wind energy generation systems – Wind measurement using meteorological masts.
3. MEASNET. Evaluation of Site-Specific Wind Conditions; Anemometer Calibration Procedure.
4. European Committee for Standardization. EN 1993-3-1 (Eurocode 3): Design of steel structures – Towers, masts and chimneys.
5. European Committee for Standardization. EN 1991-1-4 (Eurocode 1): Actions on structures – Wind actions.
6. International Electrotechnical Commission. IEC 62305, Protection against lightning.
7. International Organization for Standardization. ISO 31000, Risk management – Guidelines.
8. International Organization for Standardization. ISO 9223 dan ISO 12944, Corrosivity of atmospheres & Protective paint systems.
9. Badan Standardisasi Nasional. SNI 8460:2017, Persyaratan perancangan geoteknik; SNI 1727:2020, Beban minimum; SNI 03-4153, Uji penetrasi standar (SPT).
10. Global Wind Atlas; Copernicus Marine Service; Global Solar Atlas (sumber data satelit/atlas indikatif).
11. WALHI Riau (2025). Penilaian Potensi Energi Angin dan Pasang Surut untuk Pulau Rempang, Indonesia (studi meja).
12. Kunaifi (2026). Rencana Survei Pemasangan Meteorological Mast, Pulau Rempang, Kota Batam.
13. Tim Survei (2026). Lembar Kerja Survei Lapangan WS-MET-MAST-REMPANG-2026 (WS-01 s/d WS-13).

23. Lampiran

Lampiran A — Gap Analysis terhadap Persyaratan Standar

Tabel 17. Gap analysis terhadap persyaratan standar.

Kategori	Data dibutuhkan	Status	Dampak bila kosong
Lokasi	Koordinat Titik 0 (WGS84)	Tersedia	—
Obstacle (Annex F)	Survei 360°, 36 sektor	Tidak ada	Validasi shadow sector & boom tertunda
Roughness/Orografi	z0 per sektor, RIX, Mt	Estimasi kualitatif → indikatif complex	Koreksi profil & beban orografi tak pasti. Kanopi near-field & azimut sektor belum terverifikasi
Geoteknik	Boring, SPT, MAT, daya dukung	Sebagian (sampel 0–40 cm)	Desain fondasi belum dapat dihitung
Resistivitas	Wenner 4-elektrode	Tidak ada	Desain grounding tak berdasar
Korosi	pH, klorida, kelas ISO	Tidak ada (diasumsikan C5-M)	Spesifikasi material indikatif
Komunikasi	RSRP per operator	Kualitatif	Pemilihan antena belum terukur
Aksesibilitas	Rute, lebar, lereng, crane	Tersedia	—
Sosial	Wawancara, izin	Tersedia	—
Aviasi	Status jalur penerbangan	Indikatif (perlu konfirmasi)	Tinggi menara final tertunda
Beban angin desain	Kecepatan ekstrem/terrain	Tidak ada	Verifikasi struktur tertunda

Lampiran B — Asumsi

Tabel 18. Asumsi

ID	Asumsi	Justifikasi	Risk	Dampak potensial
AS-01	Tinggi mast ≤ 100 m; 60 m/100 m terbuka hingga status aviasi pasti	Konsisten perencanaan boom 40–100 m; bergantung izin aviasi	Tinggi	Perubahan tinggi mengubah struktur, fondasi, angkur
AS-02	Struktur guyed lattice (utama) + alternatif radius angkur < 60 m	Adanya rencana guy/anchor; lahan memungkinkan	Sedang	Tipe mandiri mengubah footprint & biaya
AS-03	Kelas korosi C5-M (pesisir)	Jarak pantai ±280 m (<1 km), lingkungan laut	Sedang	Spesifikasi coating kurang/lebih
AS-04	Arah angin dominan Barat–Barat Daya	Konvergensi desk study + 3 responden	Sedang	Orientasi boom/shadow keliru bila berbeda
AS-05	Skema lingkungan UKL-UPL	Sesuai format lembar kerja	Rendah	Naik ke AMDAL bila skala bertambah
AS-06	Geoteknik & fondasi preliminary (sampel 0–40 cm, tanpa lab)	Keterbatasan alat; sampel dangkal	Tinggi	Bukan basis konstruksi final
AS-07	Klasifikasi terrain complex (indikatif); azimut sektor belum terkunci dari foto oblique	Citra menunjukkan relief terdiseksi, lereng curam (30–42°), kanopi near-field	Sedang	Koreksi orografi (Mt) & posisi/panjang boom dapat berubah setelah RIX terhitung

Lampiran C — Ekstrak Koordinat Kunci

Objek	Koordinat
Titik 0 (terpilih)	00°51'16,63" LU; 104°08'59,64" BT (WGS84); 70 m dpl
Kandidat 1 (gugur)	00°50'48,66" LU; 104°08'55,56" BT; 85 m dpl
Kandidat 2 (cadangan)	00°47'0,79" LU; 104°10'33,74" BT
Titik kritis akses (lebar 4 m)	0°51'16,21" LU; 104°08'51,31" BT