



Analisis Kelayakan Struktural Menara Kaki Empat (Self Supporting Tower) Greenfield Ketinggian 72 Meter (Studi Kasus: Robohnya Tower di Ohoiren-an-Maluku)

Duden Dodi Hartono^{1*}, Rachmi Yanita²

^{1,2}Program Studi Program Profesi Insinyur Institut Teknologi Indonesia, Indonesia

Email: dodi453@gmail.com¹, rachmi.yanita@iti.ac.id²

*Penulis Korespondensi: dodi453@gmail.com

Abstract. Telecommunication towers are vital infrastructures that support modern communication systems. Structural failure of telecommunication towers may lead to technical, economic, and public safety impacts. This study aims to analyze the causes of the collapse of a 72-meter Self Supporting Tower (SST) located in Ohoiren-an Village, Southeast Maluku Regency. The research employed a case study method with a descriptive approach and technical analysis based on the ANSI/TIA-222-G standard. The analysis results indicate that the structural failure was caused by the loss of several structural elements, including bracing members, connection plates, and bolts, as well as bolt tightness that did not meet the required standards. In addition, extreme wind loads and inadequate maintenance contributed to accelerating the structural collapse. From a non-technical perspective, violations of ethics, weak professionalism, and suboptimal implementation of Occupational Health, Safety, and Environment (OHSE) practices were also identified. This study recommends improving design quality, construction supervision, and the implementation of stricter safety management systems to prevent similar incidents in the future.

Keywords: ANSI/TIA-222-G; Engineering; Occupational Health, Safety, And Environment (OHSE); Self Supporting Tower (SST); Structural Failure; Telecommunication Tower.

Abstrak. Menara telekomunikasi merupakan infrastruktur vital yang mendukung sistem komunikasi modern. Kegagalan struktur pada menara telekomunikasi dapat berdampak pada aspek teknis, ekonomi, hingga keselamatan publik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab keruntuhan menara Self Supporting Tower (SST) setinggi 72 meter yang berlokasi di Desa Ohoiren-an, Kabupaten Maluku Tenggara. Penelitian ini menggunakan metode studi kasus dengan pendekatan deskriptif dan analisis teknis berbasis standar ANSI/TIA-222-G. Hasil analisis menunjukkan bahwa kegagalan struktur disebabkan oleh hilangnya beberapa elemen struktur, meliputi batang pengaku (bracing), pelat sambungan, dan baut, serta tingkat kekencangan baut yang tidak memenuhi standar yang dipersyaratkan. Selain itu, beban angin ekstrem dan pemeliharaan yang kurang memadai turut mempercepat keruntuhan struktur tersebut. Dari perspektif non-teknis, ditemukan adanya pelanggaran etika, lemahnya profesionalisme, serta penerapan praktik Keselamatan, Kesehatan Kerja, dan Lingkungan (K3L) yang belum optimal. Penelitian ini merekomendasikan peningkatan kualitas perancangan, pengawasan konstruksi, dan penerapan sistem manajemen keselamatan yang lebih ketat guna mencegah terjadinya insiden serupa di masa mendatang.

Kata Kunci: ANSI/TIA-222-G; K3L; Kegagalan Struktur; Keinsinyuran; Self Supporting Tower (SST); Tower Telekomunikasi.

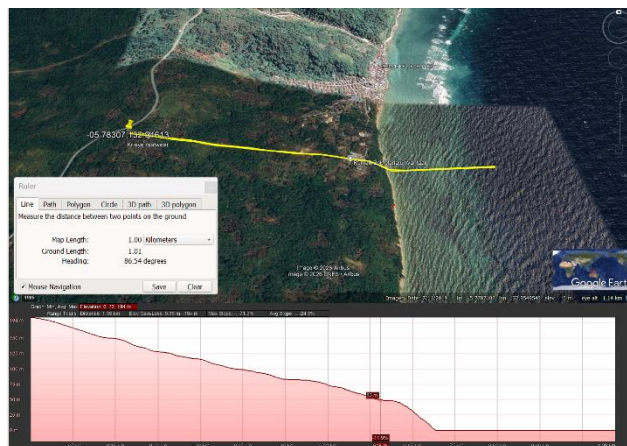
1. LATAR BELAKANG

Kota Langgur di Kecamatan Kei Kecil adalah ibukota dari Kabupaten Maluku Tenggara Provinsi Maluku Indonesia. Wilayah ini terkenal dengan Kepulauan Kei, memiliki luas 1.031,81 km², dan jumlah penduduk sekitar 129.235 jiwa (2024). Sektor pariwisata, seperti pantai dan gua, merupakan unggulan daerah, didukung oleh stabilitas harga melalui Gerai TPID di Pasar Langgur. Di kabupaten Maluku Tenggara infrastruktur menara telekomunikasi (tower) terus diperluas untuk meningkatkan akses internet, terutama di wilayah kepulauan. hingga akhir 2025, tercatat ada 33 unit menara BTS yang terdata di wilayah ini. Pemerintah daerah menargetkan peningkatan cakupan layanan seluler dari 86% menjadi 92% pada akhir 2025 melalui pengoperasian menara-menara baru. Dari jumlah 33 unit menara BTS tersebut ada salah satu yang dibangun di desa

Ohoiren-an dengan jenis tower SST-72 meter. Ohoiren-an adalah sebuah desa (ohoi) di Kecamatan Kei Besar Selatan, Kabupaten Maluku Tenggara, Maluku, yang dikenal sebagai masyarakat hukum adat yang memegang erat tradisi, seperti hukum adat *Sasi*.

Perkembangan teknologi informasi membutuhkan banyak pembangunan menara telekomunikasi yang dibutuhkan oleh banyak pihak pengembang telekomunikasi sebagai tempat dipasangnya peralatan pemancar sinyal system komunikasi yang kita gunakan. Konstruksi tower yang dibangun berupa satu pipa tinggi atau pun konstruksi rangka batang yang dapat menyangga banyak antenna dari banyak perusahaan seluler. . Penambahan beban akibat banyaknya perangkat di menara perlu diperhatikan pada perencanaannya disamping sensitivitas tinggi konstruksi menara terhadap dominasi pengaruh beban angin yang merupakan beban lateral (Arief K., 2016). Bahaya robohnya tower menjadi satu permasalahan yang harus diantisipasi karena lokasinya banyak yang berada di area pemukiman padat. Oleh sebab itu keamanan struktur dalam perencanaan tower, pelaksanaan perawatan dan monitoring berkala adalah hal yang harus dilaksanakan.

Lokasi site berada perkebunan sawit yang jauh dari pemukiman, yang beralamat di 6W8W+QFC Ohoiren-an, Kabupaten Maluku Tenggara, Provinsi Maluku. Posisi site tower ini berada di area sekitar 700 meter dari laut dengan ketinggian sekitar 185 meter diatas permukaan laut yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Situasi Tower Ohoiren-an-Maluku

Tower Telekomunikasi di Ohoiren-an adalah menara *Self Supporting Tower* (SST) dengan ketinggian 72 meter yang dibangun pada tahun 2020, umur tower tersebut sampai dengan saat ini sudah berumur sekitar 6 tahun. Menara di desa Ohoiren-an ini merupakan tower yang berdiri diatas tanah (*Greenfield*) dengan bertumpu pada pondasi yang sudah ditentukan dimensi dan kekuatan sesuai dengan beban yang ditimbulkan oleh menara *Self Supporting Tower* (SST) 72 meter, dan juga yang berada dibibir pantai dengan hembusan angin yang sangat kencang, sehingga dalam

analisis juga ditentukan dengan kecepatan angin 120km/jam (33.33 m/s). Permasalahan yang terjadi adalah pada tanggal 18 januari 2026, pukul 11.30 WITA tower telekomunikasi tiba-tiba roboh dengan kondisi cuaca musim hujan dengan hembusan angin yang cukup kencang pada saat itu perangkat antenna yang terpasang *existing* pada tower berjumlah: 3 buah antenna RF, 1 buah MW, dan 9 buah RRU. Dengan kejadian tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis penyebab terjadinya tower *Self Supporting Tower* (SST) dengan ketinggian 72 meter yang berada di Ohoirenan tersebut roboh secara langsung.

2. KAJIAN TEORITIS

Pengertian Tower Kaki Empat (*Self Support Tower*)

Tower kaki empat (*Self-supporting tower/SST*) adalah struktur rangka baja umumnya segitiga atau segiempat yang dirancang untuk berdiri kokoh sendiri tanpa kabel penopang (*guy wire*). Tower yang digunakan untuk penempatan radio pemancar dan antena penerima gelombang telekomunikasi dan informasi, merupakan konstruksi menara pipa tinggi ataupun konstruksi rangka batang dari besi baja dengan profil besi siku, plat, pipa, H-beam dan lainnya dengan bentuk dasar rangka segi tiga dan segi empat. (Arjanggi., 2012). Dikarenakan tower telekomunikasi (BTS) terbuat dari logam besi maka terpengaruh oleh cuaca ekstrim, air laut dan korosi (Moller., 2002), dimana korosi merupakan penghancuran paksa zat logam dan bahan bangunan lainnya yang disebabkan agen korosif (Yudha Kurniawan; dkk., 2015), sehingga tower telekomunikasi mempunyai masa waktu kekuatannya.

Pembangunan tower telekomunikasi terbagi menjadi 2 (dua) lokasi tempat yaitu *rooftop* (di atas Gedung) dan *greenfield* (diatas tanah langsung), dalam investasi biaya tersebut sangatlah berbeda, ditemukan fakta bahwa menara tipe *Pole* memiliki total biaya kepemilikan yang jauh lebih ekonomis dibandingkan menara tipe *Greenfield* (Zaeni M., dkk, 2026).

Analisa Design Stabilitas Perkuatan

Tower direncanakan dengan beban yang diakibatkan oleh beban berat sendiri rangka, beban panel pemancar sinyal operator seluler, beban angin dan beban gempa dengan ketinggian tower sesuai dengan letak tower itu sendiri. Analisa struktur bangunan rangka baja menggunakan metode LRFD (*Load And Resistance Factor Design*). Penggunaan metode ASD (*Allowable Stress Design*) menggunakan kekuatan elastis baja, mengabaikan kekuatan baja diatas titik elastisnya. Material logam baja merupakan paduan yang terdiri dari besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utama. Di dalam SNI 1726:2019 mutu baja tulangan 420 (f_y 420 MPa), yaitu BjTS 420A dan BjTS 420B. Untuk profil baja digunakan Bj.41 dengan tegangan leleh $\sigma =$

2500 Kg/Cm dan tegangan ijin/dasar adalah $\sigma = 1666 \text{ Kg/Cm}$. Pada Tabel 1 diberikan mutu baja yang sering digunakan di lapangan sesuai SNI.

Tabel 1. Mutu baja

Macam Baja	Tegangan Leleh (σ) Kg/Cm	Tegangan Leleh (σ) mPa	Tegangan Dasar (σ) Kg/Cm	Tegangan Dasar (σ) mPa
Bj 34	2100	210	1400	140
Bj 37	2400	240	1600	160
Bj 41	2500	250	1666	166.6
Bj 44	2800	280	1867	186.7
Bj 50	2900	290	1933	193.3
Bj 52	3600	360	2400	240

Sumber: SNI 03-1729:2002

Untuk melindungi baja dari karat atau korosi, digunakan Galvanis yaitu baja atau logam lain yang dilapisi dengan lapisan seng (zinc). Galvanisasi menciptakan lapisan pelindung yang kuat supaya material yang lebih tahan lama, kuat, dan awet. Pada Tabel 2 penelitian ini diberikan ketebalan lapisan lokal 75 μm .

Tabel 2. Galvanis

Benda kerja dan ketebalannya	Ketebalan lapisan lokal ¹ (μm)	Ketebalan lapisan rata-rata ² (μm)
Baja $\geq 6 \text{ mm}$	70	85
Baja $\geq 3 \text{ mm}$ sampai $< 6 \text{ mm}$	55	70
Baja $\geq 1,5 \text{ mm}$ sampai $< 3 \text{ mm}$	45	55
Baja $< 1,5 \text{ mm}$	35	45
Coran $\geq 6 \text{ mm}$	70	80
Coran $< 6 \text{ mm}$	60	70

¹ Lihat butir 3.8

² Lihat butir 3.9

Sumber: SNI 07-7033-2004

Baut adalah pengikat berulir eksternal yang berfungsi untuk menyambung dua komponen atau lebih. ASTM baut adalah baut yang memenuhi standar yang ditetapkan oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Kekencangan baut yang dilakukan harus sesuai dengan ketentuan yang ditunjukkan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Gaya tarik baut A325 dan Grade 8.8

Ukuran nominal	Proof load/gaya tarik maksimum (kN) ASTM A325	Proof load/gaya tarik maksimum (kN) ISO Grade 8.8	Gaya tarik minimum (kN)
M16	94,2	91	91
M20	147	147	142
M22	182	182	176
M24	212	212	205
M27	275	275	267
M30	337	337	326
M36	490	490	475

Sumber: SNI 8458:2017

Kekencangan baut merujuk pada torsi, yaitu gaya putar terukur yang diberikan pada baut dan mur untuk mencapai kekuatan ikatan yang optimal. Kekuatan torsi baut yang dilakukan harus sesuai dengan ketentuan yang ditunjukkan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Torsi pengencangan baut

ALLEN SCREWS screw size			HEXAGON SCREWS screw size			8.8		SCREWS GRADE 10.9		12.9	
Thread (A/F)			Thread A/F (A/F)			Nm	lbf ft	Nm	lbf ft	Nm	lbf ft
M 14	12		M 14	22		138	102	194	143	235	173
M 16	14		M 16	24		210	155	299	221	357	263
M 18	14		M 18	27		289	213	411	303	490	362
M 20	17		M 20	30		411	303	578	427	696	514
M 22	17		M 22	32		559	413	784	579	941	694
M 24	19		M 24	36		711	525	1000	738	1196	883
M 27	19		M 27	41		1049	774	1481	1,093	1775	1,310
M 30	22		M 30	46		1422	1,049	2010	1,483	2403	1,773
M 33	24		M 33	50		1932	1,426	2716	2,004	3266	2,410
M 36	27		M 36	55		2481	1,831	3491	2,576	4197	3,097
M 39	-		M 39	60		3226	2,381	4531	3,344	5443	4,017
M 42	32		M 42	65		3991	2,945	5609	4,139	6727	4,965
M 45	-		M 45	70		4992	3,684	7012	5,175	8414	6,210
M 48	36		M 48	75		6021	4,443	8473	6,253	10150	7,491
M 52	-		M 52	80		7747	5,717	10885	8,033	13092	9,662
M 56	41		M 56	85		9650	7,122	13582	10,024	16279	12,937
M 60	-		M 60	96		11964	8,829	16867	12,448	20202	14,909
M 64	46		M 64	95		14416	10,639	20300	14,981	24320	17,948
M 68	-		M 68	100		17615	13,000	24771	18,281	29725	21,937
M 72	55		M 72	105		21081	15,558	29645	21,878	35573	26,253
M 76	-		M 76	110		24973	18,430	35118	25,917	42141	31,100
M 80	65		M 80	115		29314	21,634	41222	30,422	49467	36,507
M 90	75		M 90	130		24525	31,383	59801	44,133	71761	52,960
M 100	85		M 100	145		59200	43,690	83250	61,439	99900	73,726

Sumber: <https://brewdets.co.id/standar-torsi-pengencangan-baut>

Untuk menganalisa struktur tower, digunakan program MS Tower yaitu suatu program khusus untuk analisis berbagai bentuk dan tipe bangunan menara telekomunikasi, listrik, radio, radar, dan lainnya. Terdapat pilihan pada program MS Tower untuk menentukan geometri, beban, analisis, melakukan *input*, *output* dan pengecekan member/batang (Ihsan & Rahayu., 2017)

Sesuai *Structural Standards for Steel Antenna Tower and Antenna Supporting Structure* [ANSI/TIA -222-G-2017] analisa struktur tower dianalisa terhadap kombinasi beban berdasarkan beban-beban yang terjadi yaitu: beban mati (D), beban mati antena dan kabel (Dg), beban angin (W) dan beban gempa (E).

Dalam penelitian ini digunakan kombinasi beban sesuai ANSI/TIA -222-G-2017 yang ditentukan sebagai kombinasi pembebanan pada saat cek struktur pada tower SST (*Self Support tower*) yaitu 1.2 D + 1.0 Dg + 1.6 W. Dalam analisis tower ditentukan dengan kecepatan angin yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kecepatan angin

ANNEX L: WIND SPEED CONVERSIONS (Normative)

This table provides a convenient conversion of wind speed data based on various averaging periods to the 3-sec gust wind speed. Wind data based on other averaging periods are to be converted to a 3-sec gust wind speed for use with the Standard.

3-sec gust (mph)	Wind speed (mph)	Averaging period (sec)	10-min avg (mph)	Hourly mean (mph)
50	50	72	42	40
55	55	62	46	44
60	60	55	50	48
65	65	51	55	52
70	70	48	60	56
75	75	46	65	60
80	80	45	69	64
85	85	42	73	68
90	90	40	78	72
95	95	38	80	76
100	100	36	83	79
105	105	34	87	83
110	110	33	90	86
115	115	31	94	89
120	120	30	97	93
125	125	29	101	96
130	130	28	104	99
135	135	27	108	103
140	140	26	111	106
145	145	25	115	109
150	150	24	118	113

Notes: 1. For conversion to [m/s] multiply the above values by 0.447.
2. Linear interpolation may be used between the values shown.

Sumber: ANSI/TIA-222-G

Ketentuan-ketentuan yang harus diperhatikan dan ditetapkan dalam menganalisis structural MS Tower sebagai berikut:

- Tinggi tower, ekstensi, elevasi dasar tower dan struktur tersebut harus dianalisis sebagai struktur rangka batang ruang dan dianggap sebagai benda elastis linier.
- Kecepatan angin dasar adalah $120 \text{ km.jam}^{-1} = 33.33 \text{ m.s}^{-1}$ ($< 5 \text{ km}$ dari bibir pantai), dan $100 \text{ km.jam}^{-1} = 27.78 \text{ m.s}^{-1}$ ($> 5 \text{ km}$ dari bibir pantai).
- Maksimum stress ratio untuk setiap member profil tower adalah 1.0.
- Batasan nilai displacement of lateral, twist dan sway yang diterapkan dalam desain adalah sebagai berikut: Lateral: $H/200$, Sway: 0.50 degree dan Twist: 0.50 degree.

Pemodelan Perbaikan Lokasi Tower Telekomunikasi Greenfield SST-72meter

Pemodelan perbaikan lokasi tower telekomunikasi greenfield SST-72 meter dilakukan untuk penentuan kekuatan dan kelayakan tower menggunakan program MS Tower. Adapun untuk input yang dipakai adalah bentuk profil tower eksisting. Pemodelan perbaikan dilakukan untuk kondisi eksisting dan perencanaan perbaikan lokasi tower telekomunikasi *greenfield* SST-72 meter yang rusak.

3. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini dilakukan terdiri dari 4 (empat) tahap yakni identifikasi masalah, pengumpulan data lapangan, analisa data, serta penentuan kesimpulan dan saran. Pada tahap awal dilakukan identifikasi masalah yang bertujuan untuk mencari sumber masalah yang terjadi dengan cara melakukan mengumpulkan hasil survey data lapangan. Setelah mengetahui sumber masalah terjadinya tower roboh SST-72meter dilakukan analisa penentuan nilai setiap profile *section* tower yang ditemukan dengan program MS Tower V.6.20-TIA-222-G dan menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan penedekatan studi kasus (permodelan dan analisis struktur) serta diakhiri dengan melakukan perencanaan perbaikan seluruh struktur dan situasi tower.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Identifikasi Kerusakan

Menara *Self Supporting Tower* (SST) ini biasanya mempunyai ketinggian yang cukup tinggi dengan material-material dari baja dan memerlukan lahan yang luas, sehingga terlihat jelas oleh masyarakat sekitar ada rasa khawatir yang sangat tinggi terjadinya roboh terhadap tower tersebut, apalagi jika terjadinya cuaca yang buruk (ekstrim).

Hasil observasi menunjukkan beberapa kerusakan pada struktur menara, dengan data lapangan yang ditemukan banyak kerusakan yang cukup parah bahkan merusak infrastruktur dan perangkat dilingkungan tower, maka kerusakan yang timbul pada setiap struktur section menara SST-72 meter yang ditunjukkan pada Tabel 6 terjadi seluruh struktur tower, antara lain:

Tabel 6. Kerusakan yang Timbul pada Setiap Struktur Section Menara SST-72 Meter

1. Profil Leg, ditemukan kerusakan



2. Profil Bracing, ditemukan kerusakan



3. Profil Redundant, ditemukan kerusakan



4. Profil HIP, ditemukan kerusakan



5. Baut Tower, ditemukan hilang



6. Sambungan Bracing hilang



7. Pelat Sambungan, ditemukan kerusakan



8. Pelat Kopel, tidak terpasang bautnya



9. Tangga dan Tray, ditemukan kerusakan



10. Pagar Tower, rusak tertimpa tower



Kerusakan secara menyeluruh struktur tower telekomunikasi *Self Supporting Tower* (SST) dengan ketinggian 72 meter sehingga kerusakan yang mengakibatkan hancurnya tower tersebut tidak bisa diperbaiki lagi. Kerusakan tersebut dapat terlihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Kerusakan Struktur Tower

Dari foto-foto diatas yang didapat data, yaitu:

- Hilangnya beberapa elemen bracing
- Baut tidak terpasang dan baut longgar
- Pelat sambung tidak terpasang
- Pelat kopel hilang
- Deformasi pada beberapa batang struktur

Kondisi tersebut menyebabkan distribusi gaya pada struktur tidak bekerja sesuai desain awal.

Analisis Struktural

Secara design, terjadinya banyak member profil struktur, pelat sambungan dan baut tower yang hilang (tidak ada) akan mengakibatkan mengurangi kekuatan struktur tower tersebut. Dengan penemuan-penemuan tersebut dibuatkan sesuai dengan analisa dengan memakai program MS tower dan dapat dilihat nilai-nilainya pada Tabel 6 dibawah ini.

Tabel 7. Hasil analisa data

IV STRESS RASIO (V=120 KM/JAM) DISPLACEMENT, TWIST, SWAY (V=84 KM/JAM)			
Load Tower	Existing	Propose	Perkuatan
Stress Ratio	1.4370		0.9800
Displacement (m)	0.1996		0.1743
Twist (deg)	0.0142		0.0146
Sway (deg)	0.2982		0.2761
Anchor Bolt (deg)	0.5699		0.5879
Base Plate	0.6094		0.6574

- Stress Ratio aman < 1.00
- Displacement aman < 0.36
- Twist aman < 0.50
- Sway aman < 0.50
- Anchor Bolt, Aman < 1
- Base Plate Aman < 1

Sumber: Report Analisa DMT Ohoirenan_SST4LEG_72M NL

Nilai:

Stress Ratio = $1,4370 < 1,00$ (Not Ok)

Displacement= $0,1996 < 0,36$ (Ok)

Twist= $0,0142 < 0,50$ (Ok)

Sway= $0,2982 < 0,50$ (Ok)

Dengan nilai tabel di atas maka artinya bahwa tower tersebut sudah tidak kuat untuk menahan/menopang beban perangkat yang terpasang terhadap tower telekomunikasi tersebut, sehingga tower tersebut seharusnya memerlukan perkuatan.

Analisis Etika dan Profesionalisme

Berdasarkan kode etik keinsinyuran, ditemukan indikasi pelanggaran berupa:

- a. Pengabaian keselamatan publik serta kurangnya transparansi informasi kondisi menara
- b. Lemahnya pengawasan pemeliharaan dan pelaksanaan pekerjaan oleh personel yang belum memiliki kompetensi keinsinyuran yang memadai.

Analisis K3L

Aspek K3L yang belum memenuhi standar antara lain:

- a. Tidak adanya sistem peringatan bahaya
- b. Tidak tersedianya batas aman di sekitar menara
- c. Kurangnya penggunaan APD oleh petugas
- d. Tidak adanya prosedur mitigasi darurat

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Robohnya menara *Self Supporting Tower* (SST) setinggi 72 meter di Ohoirenang Kabupaten Maluku Tenggara disebabkan oleh kombinasi faktor teknis dan nonteknis. Faktor teknis utama berupa hilangnya elemen struktur yang menyebabkan penurunan kapasitas menara. Selain itu, lemahnya pengawasan, pelanggaran etika profesi, dan penerapan K3L yang belum optimal turut mempercepat terjadinya kegagalan struktur. Untuk menghindari kejadian serupa diperlukan inspeksi rutin, peningkatan kualitas pemeliharaan, serta penerapan standar teknis dan profesionalisme yang lebih ketat.

DAFTAR REFERENSI

- Arief, K. (2016). Analisa kekuatan tower telekomunikasi akibat penambahan beban antenna. *Neo Teknika*, 2(2), 41–50. <https://doi.org/10.37760/neoteknika.v2i2.1366>
- Asyik, F. (2014). Perencanaan kebutuhan base transceiver station (BTS) dan optimasi penempatan menara bersama telekomunikasi, 4(3), 151–158.
- Badan Standar Nasional. (2019). *SNI 1726:2019, Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Badan Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standar Nasional. (2004). *SNI 07-7033-2004, Galvanisasi (hot dip galvanized) pada besi dan baja fabrikasi: Spesifikasi dan metode pengujian*. Badan Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standar Nasional. (2002). *SNI 03-2847-2002, Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung*. Badan Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standar Nasional. (2017). *SNI 8458:2017, Metode uji pengencangan baut mutu tinggi*. Badan Standar Nasional Indonesia.
- Baharuddin, Rudy, F., Hanalde, A., Zurnawita, & Firdaus. (2024). Sosialisasi pada masyarakat tentang dampak radiasi tower BTS operator seluler pada masyarakat di Kelurahan Aie Pacah Kecamatan Koto Tangah Kota Padang. *Jurnal Andalas: Rekayasa dan Penerapan Teknologi*, 4(2), 23–27. <https://doi.org/10.25077/jarpet.v4i2.100>
- Haifan, M., Krishna, M., Yenny, W., Rulyenzi, R., Syahril, M., Indah, U. H., & Syahrudin. (2025). Dilema etika dalam pengambilan keputusan keinsinyuran: Analisis kasus di tempat kerja. *Jurnal Institut Teknologi Indonesia*, 1097–1105. ISSN 2654-48.
- Ihsan, P., & Rahayu, T. (2017). Analisis kestabilan pondasi pada menara telekomunikasi. *Jurnal Konstruksia*, 8(2), 53–70.
- Jaenuri, Nurul Cahayati, Alimudin, & Feril Hariati. (2021). Analisis kekuatan pondasi terhadap struktur tower transmisi type CC+9 500kV. *Seminar Nasional Ketekniksipilan, Infrastruktur dan Industri Jasa Konstruksi (KIIJK)*, 1(1), 211–218.
- Jeffry, Y. W. (2022). Engineering professionalism. *Formosa Journal of Social Sciences*, 1(3), 299–314. <https://doi.org/10.55927/fjss.v1i3.1285>
- Moller, H., Boshoff, E. T., & Froneman, H. (2006). The corrosion behavior of carbon steel in natural and synthetic seawaters. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*.
- M. Rizky, K., Dewi, P., Heri, I., Jaka, P., & Indra, K. (2023). Studi pengaruh korosi terhadap kapasitas tarik besi tulangan. *Studi Pengaruh Korosi Terhadap Kapasitas Tarik Besi Tulangan*. ISSN 2685-6875.
- M. Zaeni, Albani, M., & Sarwidi. (2026). Analisa bisnis model dan kelayakan investasi bangunan menara telekomunikasi: Studi komparatif tipe pole dan greenfield di Kota Magelang. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, 5(2), 480–492. <https://doi.org/10.55606/jurritek.v5i2.9024>
- Nachrowie, Sam, B., & Wahyu, D. (2022). Purwarupa sistem monitoring kemiringan menara base transceiver station (BTS) berbasis Arduino sebagai solusi maintenance menara. *Aplikasi Sains, Informasi, Elektronika dan Komputer*, 4(2), 85–92. <https://doi.org/10.26905/jasiek.v4i2.9174>

- Njoko, H., Husin, N. A., Prihantono, G., Bayuaj, R., & Suswanto, B. (2025). Penerapan profesionalisme, etika profesi, dan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) pada pembangunan jalan tol di Pulau Jawa dengan metode span by-span dan sistem external post-tension pada struktur box girder. *Jurnal Profesi Insinyur*, 6(1). <https://doi.org/10.23960/jpi.v6n1.144>
- Nurul Puspa Rani. (2020). *Sistem penentuan kelayakan lokasi pendirian tower dengan metode profile matching (Studi kasus: Kota Pontianak)* [Skripsi, Universitas Tanjungpura].
- Ohoirenang, Kei Besar Selatan, Maluku Tenggara. (2021). Ohoirenang, Kei Besar Selatan, Maluku Tenggara. *Wikipedia*. https://id.wikipedia.org/wiki/Ohoirenang,_Kei_Besar_Selatan,_Maluku_Tenggara
- PT. Brewdets Karya Mandiri. (2024). *Standar torsi pengencangan baut*. <https://brewdets.co.id>
- Rahayu, L., W., I., & D., D. (2024). Security surveillance system area tower BTS berbasis IoT pada perusahaan PT Dayamitra Telekomunikasi. *E-Proceeding of Engineering*, 11(4), 2960–2966.
- Rahmanita, N., Ridho, B. A., Sigit, D. M., Budi, S4., & Rooswan, H. R. P. X. (2025). Implementasi kode etik insinyur dan profesionalisme terhadap signifikansi metode pelaksanaan dan manajemen proyek pada proyek konstruksi rehabilitasi laboratorium dan lapangan SMPN 2 Kota Mojokerto. *Jurnal Ekonomi, Akuntansi dan Manajemen*, 4(2). <https://doi.org/10.30640/inisiatif.v4i2.3809>
- Rendi Dwi Anugrah Putra. (2023). Rekomendasi perawatan tower BTS menggunakan metode analytical hierarchy proses dalam pencegahan kerusakan. *Jurnal Riset Sains dan Teknologi Informatika*, 1(1).
- Wisa, J. P., Andi, H., Aji, B. P., & Haifan, M. (2026). Peran insinyur dalam pengendalian dampak lingkungan proyek konstruksi: Studi kasus pembangunan Sig Tower Bogor. *Kajian Ilmiah Multidisipliner*, 10(1).
- TIA-222-G. (2017). *TIA standard*. Telecommunications Industry Association.