

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR NOTASI	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Maksud dan Tujuan.....	4
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1. Pendahuluan	7
2.2. Struktur Statis Tertentu & Statis Tak Tentu	7
2.3. Desain & Analisis Stabilitas	18

2.3.1. <i>First–Order Effects</i>	19
2.3.2. <i>Second–Order Effects</i>	19
2.3.3. <i>Geometric Imperfections</i>	21
2.3.4. <i>Residual Stresses</i>	23
2.3.5. <i>Uncertainty in Strength & Stiffness</i>	28
2.4. <i>Second-Order Analysis</i>	28
2.5. Pengaruh Faktor "K"	29
2.6. <i>The Effective Length Method (ELM)</i>	31
2.7. <i>First-Order Analysis Method</i>	33
2.8. <i>Direct Analysis Method (DAM)</i>	34
2.9. Perencanaan Struktur Baja <i>AISC-LRFD 2010</i>	37
2.9.1. Komponen Struktur Tarik.....	39
2.9.2. Komponen Struktur Tekan	40
2.9.3. Komponen Struktur Lentur.....	49
2.9.4. Interaksi Komponen Struktur Lentur + Aksial.....	59
BAB III SIMULASI PEMBEBANAN STRUKTUR	60
3.1. Pendahuluan	60
3.2. Analisis Struktur Tower Transmisi Terhadap Beban Tetap	61
3.3. Analisis Struktur Tower Transmisi Terhadap Beban Tidak Tetap.....	71
3.3.1. Analisis Struktur Tower Transmisi Terhadap Beban Angin.....	71

3.3.2.	Analisis Struktur Tower Transmisi Terhadap Beban <i>Under Broken Wire</i>	87
3.4.	Analisis Struktur Tower Transmisi Terhadap Kondisi Tak Terduga.....	98
3.4.1.	Analisis Struktur Statis Tak Tentu	98
3.4.2.	Analisis Struktur Tower Transmisi Terhadap Penurunan / <i>Differential Settlement</i> Pada Kaki Pondasi Tower	101
BAB IV	EVALUASI STABILITAS STRUKTUR	113
4.1.	Pendahuluan	113
4.2.	<i>Design Summary</i>	115
4.2.1.	Desain Kriteria Tiang 500 kV	115
4.2.2.	Beban Rencana Tiang 500 kV	117
4.3.	Evaluasi Struktur Tower Transmisi Terhadap Beban Rencana	123
4.3.1.	Urutan Beban Ke-1 : Beban Tetap	124
4.3.2.	Urutan Beban Ke-2 : <i>Differential Settlement</i>	145
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	172
5.1.	Pendahuluan	172
5.2.	Kesimpulan.....	172
5.3.	Saran	174

DAFTAR ACUAN	175
DAFTAR BACAAN.....	178
LAMPIRAN.....	179

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Tower transmisi no. 302 jalur Tanjung Jati - Ungaran	1
Gambar 1.2	Kerusakan konstruksi tower transmisi	2
Gambar 2.1	Ketidastabilan geometris.....	9
Gambar 2.2	Struktur statis tertentu 2D	9
Gambar 2.3	Struktur stabil.....	10
Gambar 2.4	Struktur tidak stabil.....	10
Gambar 2.5	Stabilitas struktur rangka	10
Gambar 2.6	Gaya dalam balok statis tertentu & statis tak tentu.....	15
Gambar 2.7	Distribusi gaya balok statis tertentu & statis tak tentu.....	15
Gambar 2.8	Struktur balok statis tertentu & statis tak tentu akibat <i>differential settlement</i>	16
Gambar 2.9	Hasil analisis struktur balok statis tertentu	16
Gambar 2.10	Hasil analisis struktur balok statis tak tentu.....	16
Gambar 2.11	Struktur balok statis tertentu & statis tak tentu akibat perubahan temperatur & <i>fabrication error</i>	17
Gambar 2.12	<i>Second-order effects</i>	20
Gambar 2.13	Ilustrasi 1 st order dan 2 nd order effects pada kolom kantilever...	20
Gambar 2.14	Ilustrasi beban <i>notional</i> akibat <i>geometric imperfections</i> pada kolom kantilever	23
Gambar 2.15	Distribusi tegangan sisa pada profil baja IWF	24
Gambar 2.16	Kurva tegangan-regangan pada struktur baja.....	24

Gambar 2.17	Zona plastisitas pada profil baja IWF	24
Gambar 2.18	Kurva kekuatan kolom	25
Gambar 2.19	Ilustrasi panjang efektif kolom	31
Gambar 2.20	Perbandingan antara ELM dan DAM (<i>AISC2010</i>)	35
Gambar 2.21	Kekuatan komponen struktur tarik.....	39
Gambar 2.22	Fenomena tekuk lokal di <i>flens</i>	41
Gambar 2.23	Fenomena tekuk lokal di <i>web</i>	41
Gambar 2.24	Fenomena tekuk pada komponen struktur tekan.....	41
Gambar 2.25	Batasan langsing-tidak langsing penampang	44
Gambar 2.26	<i>Slender unstiffened elements</i> , Q_s , untuk penampang siku tunggal (<i>AISC 2010</i>)	45
Gambar 2.27	Momen nominal tekuk torsi lateral (M_{nLTB}).....	52
Gambar 3.1	Lokasi tinjau struktur tower transmisi	65
Gambar 3.2	Simulasi "100% beban tekan P" (kg).....	66
Gambar 3.3	Simulasi "200% beban tekan P" (kg).....	67
Gambar 3.4	Simulasi "300% beban tekan P" (kg).....	68
Gambar 3.5	Kurva perbandingan pada kasus 1	69
Gambar 3.6	Simulasi kombinasi 1 : beban tekan P + beban angin dari kiri	81
Gambar 3.7	Simulasi kombinasi 2 : beban tekan P + beban angin dari kanan	82
Gambar 3.8	Simulasi kombinasi 3 : beban tekan P + beban angin dari depan	83
Gambar 3.9	Simulasi kombinasi 4 : beban tekan P + beban angin dari	

	belakang	84
Gambar 3.10	Simulasi kombinasi 1 : beban tekan P + beban angin dari kiri + beban <i>under broken wire</i>	91
Gambar 3.11	Simulasi kombinasi 2 : beban tekan P + beban angin dari kanan + beban <i>under broken wire</i>	92
Gambar 3.12	Simulasi kombinasi 3 : beban tekan P + beban angin dari depan + beban <i>under broken wire</i>	93
Gambar 3.13	Simulasi kombinasi 4 : beban tekan P + beban angin dari belakang + beban <i>under broken wire</i>	94
Gambar 3.14	Struktur tower transmisi 3D.....	99
Gambar 3.15	Pertemuan antar batang pada 1 titik nodal (sentris).....	100
Gambar 3.16	Pertemuan antar batang tidak pada 1 titik nodal (eksentris).....	100
Gambar 3.17	Geometri struktur tower transmisi	102
Gambar 3.18	Konfigurasi geometri struktur tower transmisi T.302.....	103
Gambar 3.19	Beban <i>differential settlement</i> (m).....	105
Gambar 3.20	Gaya dalam aksial tower akibat beban <i>differential settlement</i>	106
Gambar 3.21	Gaya dalam aksial batang pengaku tengah akibat beban <i>differential settlement</i>	107
Gambar 4.1	Urutan beban ke – 1 : beban tetap (kg)	124
Gambar 4.2	Foto tekuk kondisi aktual lapangan	125
Gambar 4.3	Lokasi tinjau struktur tower transmisi (SAP 2000 v.14.0)	126
Gambar 4.4	Beban <i>notional</i> pada titik #936 akibat beban tetap (kg)	128
Gambar 4.5	Kurva #1A akibat beban tetap.....	131
Gambar 4.6	Kurva #1B akibat beban tetap.....	134

Gambar 4.7	Kurva #1C akibat beban tetap.....	136
Gambar 4.8	Kurva #1D akibat beban tetap.....	139
Gambar 4.9	Kurva #1E akibat beban tetap.....	141
Gambar 4.10	Beban notional pada titik #936 akibat beban <i>differential settlement</i> (kg).....	149
Gambar 4.11	Kurva #2A akibat beban tetap + <i>differential settlement</i>	153
Gambar 4.12	Kurva #2B akibat beban tetap + <i>differential settlement</i>	155
Gambar 4.13	Kurva #2C akibat beban tetap + <i>differential settlement</i>	158
Gambar 4.14	Kurva #2D akibat beban tetap + <i>differential settlement</i>	160
Gambar 4.15	Kurva #2E akibat beban tetap + <i>differential settlement</i>	163
Gambar 4.16	Kurva #2F akibat beban tetap + <i>differential settlement</i>	165
Gambar 1.	Foto #1	201
Gambar 2.	Foto #2	202
Gambar 3.	Foto #3	203
Gambar 4.	Foto #4	204
Gambar 5.	Foto #5	204
Gambar 6.	Foto #6	205
Gambar 7.	Foto #7	206
Gambar 8.	Foto #8	206
Gambar 9.	Foto #9	207
Gambar 10.	Foto #10	207
Gambar 11.	Foto #11	208
Gambar 12.	Foto #12	209
Gambar 13.	Foto #13	209

Gambar 14.	Foto #14	210
Gambar 15.	Pemodelan struktur tower transmisi 3D (SAP 2000 v.14.0).....	212
Gambar 16.	<i>Material property data HSS (high strength steel)</i>	213
Gambar 17.	<i>Material property data MSS (mild strength steel)</i>	214
Gambar 18.	<i>Single angle section (mm)</i>	215
Gambar 19.	<i>Double angle section (mm)</i>	215
Gambar 20.	<i>Define load patterns</i>	216
Gambar 21.	Beban <i>notional</i> akibat beban tetap (kg)	217
Gambar 22.	Beban <i>notional</i> akibat beban <i>differential settlement</i> (kg)	217
Gambar 23.	<i>Define load cases</i>	218
Gambar 24.	Urutan beban ke-1 dengan <i>load cases</i> : <i>DEAD</i>	218
Gambar 25.	Urutan beban ke-2 dengan <i>load cases</i> : <i>P</i>	219
Gambar 26.	Urutan beban ke-3 dengan <i>load cases</i> : <i>Diffset</i>	219
Gambar 27.	<i>Other parameters nonlinier static analysis</i>	220
Gambar 28.	<i>Set analysis option : space frame</i>	220
Gambar 29.	<i>Running analysis</i>	221

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi material baja di Indonesia	38
Tabel 2.2	Tekuk pada komponen struktur tekan	42
Tabel 2.3	Kondisi batas tekuk pada komponen struktur tekan (<i>AISC 2010</i>)...	42
Tabel 2.4	F_{cr} untuk elemen tidak langsing (<i>AISC 2010</i>)	43
Tabel 2.5	F_{cr} untuk elemen langsing (<i>AISC 2010</i>)	44
Tabel 2.6	Kondisi batas momen lentur struktur (<i>AISC 2010</i>)	54
Tabel 3.1	Hasil gaya dalam aksial kasus 1	69
Tabel 3.2	Koefisien C_e (<i>UBC 1997</i>)	73
Tabel 3.3	Koefisien C_q (<i>UBC 1997</i>)	73
Tabel 3.4	Koefisien I_w (<i>UBC 1997</i>).....	75
Tabel 3.5	Koefisien q_s (<i>UBC 1997</i>)	77
Tabel 3.6	Hasil gaya dalam aksial kasus 2	85
Tabel 3.7	Hasil gaya dalam aksial kasus 3	95
Tabel 3.8	Resume pergeseran kaki pondasi tower	104
Tabel 3.9	Hasil gaya dalam aksial kasus 5	108
Tabel 4.1	Spesifikasi teknis	116
Tabel 4.2	Beban rencana tiang 500 kV.....	121
Tabel 4.3	Beban ultimit tiang 500 kV	122
Tabel 4.4	Hasil gaya dalam aksial & beban <i>notional</i> akibat beban tetap (ultimit).....	128
Tabel 4.5	Hasil evaluasi kekuatan batang tower transmisi akibat beban tetap.....	144

Tabel 4.6	Perbandingan hasil gaya dalam ultimit.....	146
Tabel 4.7	Hasil gaya dalam aksial & beban <i>notional</i> akibat beban <i>differential settlement</i> (ultimit).....	149
Tabel 4.8	Hasil evaluasi kekuatan batang tower transmisi akibat beban tetap + <i>differential settlement</i> dalam kondisi ultimit (<i>step-3</i>)	168
Tabel 4.9	Hasil evaluasi kekuatan batang tower transmisi akibat beban tetap + <i>differential settlement</i> dalam kondisi <i>buckle</i> (<i>step-4</i>)	169

DAFTAR NOTASI

- A Luas penampang (mm^2).
- Ae Luas penampang neto (mm^2).
- Ag Luas penampang kotor (mm^2).
- An Luas neto (mm^2).
- b Lebar penampang (mm).
- bl Lebar kaki terpanjang (mm).
- bs Lebar kaki terpendek (mm).
- C_b Faktor modifikasi tekuk torsi lateral.
- Ce Koefisien yang merupakan kombinasi ketinggian (*height*), kepadatan (*exposure*), dan faktor hembusan (*gust factor*).
- Cq Koefisien tekanan angin pada struktur.
- D Beban mati.
- E Beban gempa.
- E Modulus elastisitas (MPa).
- Fcr Tegangan kritis tekuk lentur (MPa).
- Fcry Tegangan kritis tekuk lentur yang didapat dari rasio kelangsingan terhadap sumbu Y untuk penampang T dan kelangsingan modifikasi untuk penampang siku ganda (MPa).
- Fe Tegangan elastis tekuk lentur (MPa).
- Fu Tegangan putus (MPa).
- Fx Gaya dalam vertikal atau horizontal dalam arah sumbu X.

Fy	Gaya dalam vertikal atau horizontal dalam arah sumbu Y.
Fy	Tegangan leleh (MPa).
Fz	Gaya dalam vertikal atau horizontal dalam arah sumbu Z.
G	Modulus geser.
i	Derajat statis tak tentu.
I	Momen inersia pada sumbu lentur (mm^4).
Iw	Faktor keutamaan bangunan berdasarkan fungsinya.
Ix	Momen inersia pada sumbu X (mm^4).
Iy	Momen inersia pada sumbu Y (mm^4).
Iz	Momen inersia pada sumbu lemah (mm^4).
j	Jumlah join antar batang dalam satu sistem struktur.
J	Konstanta torsi (mm^4).
K	Faktor panjang efektif.
L	Beban hidup.
L	Panjang komponen struktur tanpa tahanan lateral (mm).
Lb	Jarak antar tumpuan lateral (mm).
Lr	Beban hidup di atap.
m	Jumlah batang dalam satu sistem struktur.
M _A	Momen absolut pada $\frac{1}{4}$ bentang L _b (N-mm).
M _B	Momen absolut pada $\frac{1}{2}$ bentang L _b (N-mm).
M _C	Momen absolut pada $\frac{3}{4}$ bentang L _b (N-mm).
M _e	Momen elastis akibat tekuk torsi lateral (N-mm).
M _{max}	Momen maksimum absolut pada bentang L _b (N-mm).
M _n	Kapasitas momen nominal (N-mm).

M_{px}	Momen plastis arah sumbu X (N-mm).
M_{py}	Momen plastis arah sumbu Y (N-mm).
M_{py}	Momen plastis arah sumbu Y (N-mm).
M_u	Kapasitas momen ultimit (N-mm).
M_y	Kapasitas momen leleh (N-mm).
M_x	Gaya dalam momen yang memutar sumbu X.
M_y	Gaya dalam momen yang memutar sumbu Y.
M_z	Gaya dalam momen yang memutar sumbu Z.
N_i	Beban <i>notional</i> di level i.
P_n	Kapasitas tarik / tekan nominal.
P_r	Kuat tekan struktur akibat kombinasi beban aksial LRFD atau ASD.
P_u	Kapasitas tarik / tekan ultimit.
P_y	Kuat leleh struktur akibat beban aksial.
q_s	Tekanan staknasi angin pada ketinggian standart 10 meter atau lihat Tabel 3.5.
Q	Faktor reduksi kuat tekan untuk elemen langsing.
r	Jari-jari girarsi penampang (mm).
r	Jumlah reaksi dalam satu sistem struktur.
r_0	Jari-jari girarsi polar pada pusat geser (mm).
r_x	Jari-jari girarsi pada sumbu berat yang sejajar dengan kaki yang disambung dengan plat buhul (mm).
r_z	Jari-jari girarsi pada sumbu lemah (mm).
R	Beban hujan.
R_m	Parameter monosimetri penampang.

R _n	Kekuatan nominal.
R _u	Kekuatan yang dibutuhkan / kuat perlu.
S	Beban salju.
S _c	Modulus elastis penampang akibat kaki yang mengalami tekan (mm ³).
S _y	Modulus elastis penampang terhadap sumbu Y (mm ³).
t	Tebal penampang (m).
U	<i>Shear lag factor.</i>
v	Kecepatan angin pada lokasi yang ditinjau (m/det).
W	Beban angin.
x ₀	Koordinat pusat geser terhadap pusat masa arah X (mm).
y ₀	Koordinat pusat geser terhadap pusat masa arah Y (mm).
Y _i	Beban gravitasi di level i dari hasil beban kombinasi dengan cara LRFD maupun ASD.
Z _x	Modulus plastis penampang terhadap sumbu X (mm ³).
Z _y	Modulus plastis penampang terhadap sumbu Y (mm ³).
Δ	Defleksi atau perpindahan yang terukur (mm).
β _w	Faktor penampang siku tidak sama kaki.
Ø	Faktor tahanan / faktor reduksi (≤1,0).
Ø _b	Faktor reduksi kekuatan untuk komponen struktur lentur.
Ø _c	Faktor reduksi kekuatan untuk komponen struktur tekan.
Ø _t	Faktor reduksi kekuatan untuk komponen struktur tarik.
γ _L	Koefisien reduksi beban hidup.
λ	Rasio kelangsingan komponen struktur.
λ _r	Batasan penampang langsing – tidak langsing.

μ Rasio poisson.

Σ Tanda penjumlahan.