

PENGARUH BEBAN ANGIN TERHADAP STRUKTUR *ROOF TOP* TOWER TELEPON SELULER

Mahmud Kori Effendi dan Triono Subagio

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

ABSTRAK

Meningkatnya kebutuhan terhadap teknologi komunikasi yang murah dan mudah, memaksa penyedia layanan telepon seluler untuk memperbaiki sinyal jaringan telepon seluler. Sebagai konsekuensi dari perkembangan ini, maka harus diiringi dengan bertambahnya. Pembuatan konstruksi menara pada daerah permukiman yang mendapat tekanan dari masyarakat, harus memperhatikan kekuatan dari menara telepon seluler. Masyarakat hendak mengetahui kekuatan dari menara, terutama struktur menara pada lokasi di atas atap bangunan penduduk. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan analisis struktur rangka 3 D dengan menggunakan Program SAP 2000. Beban yang bekerja pada struktur ini terdiri dari beban mati yang berupa berat menara sendiri termasuk berat antena dan tangga. Beban hidup berasal dari beban manusia. Beban angin dihitung berdasarkan *TIA/EIA-222-F Standard: Structural of standard for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures*. Beban angin dihitung pula berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983. Dari hasil hitungan dengan menggunakan SAP 2000 diperoleh goyangan sebesar $0,3040^{\circ} < 0,5^{\circ}$. Tegangan yang terjadi pada struktur < 1 , nilai ini lebih kecil dari peraturan sehingga struktur kuat terhadap beban angin dari *TIA/EIA-222-F Standard*.

Kata kunci: menara, beban angina, analisis struktur

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi saat ini di Indonesia berkembang dengan pesat. Beberapa vendor telepon seluler berlomba-lomba untuk meningkatkan pelayanan kepada masyarakat. Peningkatan tersebut diantaranya dengan memperluas jaringan sinyal telepon seluler hingga ke pelosok kecamatan. Selain meningkatkan jaringan sinyal, vendor telepon seluler juga meningkatkan teknologi telekomunikasi seluler.

Sebagai akibat dari peningkatan teknologi telekomunikasi seluler ini terdapat beberapa kendala dalam pelaksanaan di lapangan. Tower telekomunikasi seluler ini semakin mempunyai jarak antar tower yang relatif dekat yaitu dengan sekitar radius antar tower 20 km. Oleh karena itu untuk daerah perkotaan pembangunan tower sedikit terkendala oleh beberapa faktor, diantaranya adalah masalah lahan yang berdekatan dengan pemukiman warga, pem-bangunan tower

dengan memakai *rooftop* (atap rumah) bangunan rumah pribadi, keingintahuan masyarakat mengenai kekuatan dan bahaya tower telepon seluler dekat pemukiman warga.

Untuk mengetahui kekuatan tower terhadap beban angin dilakukan penelitian mengenai pengaruh beban angin terhadap kekuatan struktur tower. Metode yang dipakai dalam penulisan ini adalah studi literatur mengenai pembebanan bangunan tower telepon seluler. Data perhitungan analisis pembebanan mengacu pada analisis pembebanan yang dilakukan oleh PT. SIEMENS INDONESIA.

Sebagai penyederhanaan dan pendekatan dalam analisis struktur bangunan tower akibat beban angin dapat dilakukan dengan analisis statik. Tekanan angin diaplikasikan sebagai beban lateral pada struktur bangunan. Metode yang dapat digunakan untuk menentukan gaya-gaya

dalam atau respon struktur akibat beban lateral adalah *Finite Element Method* memakai *software* SAP 2000.

STUDI PUSTAKA

Pusposutardjo S (1993), menjelaskan angin merupakan gerakan perpindahan massa udara kearah horizontal seperti halnya suatu vektor yang dapat dinyatakan dengan arah dan kecepatan perpindahan. Angin topan merupakan angin kencang berkecepatan antara 123 – 135 km / jam yang datang secara tiba-tiba. Pada kecepatan antara 79 – 91 km / jam kerusakan ringan pada bangunan-bangunan telah mulai terjadi. Kerusakan dapat makin parah bila kecepatan semakin meningkat. Selain kecepatan dan arah angin, waktu juga menentukan tingkat kerusakan. Bangunan yang diterpa angin dapat rusak karena tumbukan, puntiran dan hisapan. Kerusakan karena tumbukan atau hisapan terjadi bila angin menerpa bangunan dalam arah tegak lurus, sedangkan kerusakan karena puntiran terjadi bila angin yang menerpa berupa siklon / puting beliung, dalam Supriyadi (1995).

Pembebanan yang bekerja pada tower adalah beban mati, beban angin, dan beban hidup. Beban mati terdiri dari berat sendiri tower termasuk berat antena dan tangga. Beban hidup terdiri dari beban manusia. Beban angin mengacu pada TIA/ EIA-222-F Standard : *Structural Standard for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures*. Perencanaan beban angin pada tower mengacu pada kecepatan angin sebesar 120 Kph (maksimal) dan 84 Kph (operasional).

Gaya angin yang bekerja pada masing-masing titik buhul dihitung menggunakan persamaan

(1)

tetapi tidak boleh melebihi $2 * q_z * G_H * A_G$ (2)

Keterangan :

F = gaya horisontal yang bekerja pada setiap titik buhul (kN)

q_z = tekanan percepatan (Pa) = $0,613 * K_z * V^2$ untuk V dalam m/s

K_z = Koefisien terlindung / tidak terhadap udara
 $= [z/10]^{2,7}$ untuk z dalam meter
 $1,00 \leq K_z \leq 2,58$

V = kecepatan angin dasar pada lokasi struktur (m/s)

z = ketinggian diatas muka tanah rata-rata sampai titik tengah panel struktur dan alat-alat (m)

G_H = faktor respon hembusan

C_F = koefisien gaya struktur

$e = (A_F + A_R) / A_G$ = rasio kepadatan

A_F = Luas proyeksi komponen struktural datar (m²) pada satu sisi penampang

A_G = Luas bruto satu sisi tower (m²)

A_R = Luas proyeksi komponen struktural bulat (m²) pada satu sisi penampang

A_E = Luas proyeksi efektif pada satu sisi komponen struktural (m²)

$= D_F A_F + D_R A_R R_R$ (Untuk struktur tiang baja tubular, A_E adalah luas proyeksi aktual berdasarkan pada diameter atau lebar keseluruhan)

$R_R = 0,51e^2 + 0,57$ $R_R \leq 1,0$ adalah faktor reduksi untuk komponen struktur bulat

D_F = faktor arah angin

= 1 untuk penampang persegi dan arah angin normal

= $1 + 0,75 e$ untuk penampang persegi dan arah angin +45° (max 1,2)

D_R = faktor arah angin untuk komponen struktur lingkaran / bulat

= 1 untuk penampang bujur sangkar dan arah angin normal

= $1 + 0,75 e$ untuk penampang bujur sangkar dan arah angin +45° (max 1,2)

C_A = koefisien gaya dari alat diskrit atau linier.

A_A = luas proyeksi linier dari alat

C_A tergantung pada aspek rasio

Aspek rasio = panjang keseluruhan tower / lebar tower pada arah sebidang dengan arah angin.

Dalam peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983, beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang yang ditinjau. Tekanan tiup minimum harus diambil sebesar 25 kg/m^2 , sedang secara umum tekanan tiup merupakan fungsi dari kecepatan angin. Koefisien pengaruh ditentukan berdasar bentuk bidang yang terkena tiupan / isapan angin.

Besar tekanan tiup (q_z) angin menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 secara umum dihitung dengan rumus :

$$P = \frac{V^2}{16} \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad (3)$$

Dengan v : kecepatan angin dalam m/det. Dengan catatan bahwa tekanan tiup minimum di daerah pantai diambil 40 kg/m^2 , sedang daerah lainnya 25 kg/m^2 . Khusus untuk bangunan cerobong, tekanan tiup angin ditentukan dengan:

$$q_z = 42,5 + 0,6 h_t \quad (4)$$

Menurut Standard AISC – LRFD 1993, kombinasi pembebanan yang harus diperhatikan dalam menghitung tegangan batang maksimum dan reaksi struktur

Kombinasi 1 : 1,4 DL

Kombinasi 2 : 1,2 DL + 1,3 WL

Kombinasi 3 : 1,2 DL + 0,5 LL + 1,3 WL

Toleransi analisis dan *design* adalah :

a. Twist = $0,5 \text{ degree}$

b. Sway = $0,5 \text{ degree}$

c. Displacement Horizontal = $H / 200$ (H = tinggi tower)

Untuk tegangan lentur dan tarik, perhitungan rasio interaksi ditentukan berdasar pada

perbandingan $\frac{P_u}{\phi P_n}$. Jika P_u adalah tarik, P_n

adalah kekuatan tarik aksial nominal dan $\phi = \phi_t = 0,9$ dan jika P_u adalah tekan, P_n adalah kekuatan tekan aksial nominal dan $\phi = \phi_c = 0,85$, kecuali untuk angle section/ penampang persegi (LRFD SAM 6). Sebagai tambahan, faktor keamanan untuk lentur, $\phi_b = 0,9$.

Untuk $\frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0,2$, rasio kapasitas

dirumuskan sebagai :

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{u33}}{\phi_b M_{n33}} + \frac{M_{u22}}{\phi_b M_{n22}} \right]$$

(LRFD H1-1A, SAM 6-1a)

Untuk $\frac{P_u}{\phi P_n} < 0,2$, rasio kapasitas

dirumuskan sebagai :

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \left[\frac{M_{u33}}{\phi_b M_{n33}} + \frac{M_{u22}}{\phi_b M_{n22}} \right]$$

(LRFD H1-1b, SAM 6-1a)

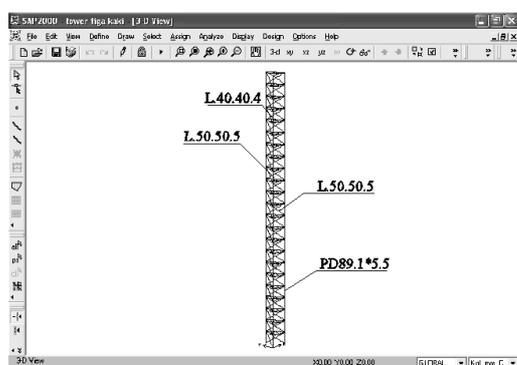
Rasio kapasitas akibat beban luar apabila mempunyai hasil lebih besar dari 1 menunjukkan batang melebihi kapasitas limitnya.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini pertama kali dibuat suatu model struktur tower tiga kaki seperti terlihat pada Gambar 1 ke dalam program *SAP 2000 version 7.40*. Untuk tumpuan dimodelkan dalam bentuk jepit. Hal ini dikarenakan *base plate* tower diangkurkan ke dalam balok tepi pada bangunan. Bentuk model struktur yang dipakai pada *SAP 2000* adalah baja **sh=P: Pipe Section, or Solid Circular Section** jika **tw=0** (atau jika tidak ditentukan), **sh=L: Angle Section**. Material yang

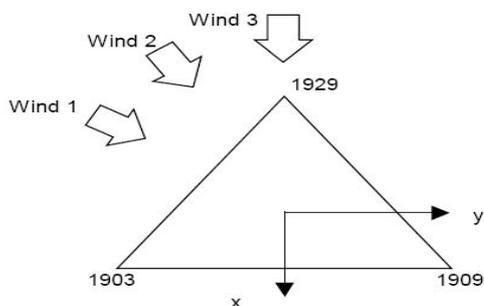
dipakai untuk baja adalah $f_y = 240$ MPa. Untuk rangka baja utama dipakai tipe *Pipe Section*, untuk *bracing* dipakai tipe *Angle Section*.

Dimensi yang dipakai yaitu untuk rangka baja utama bentuk pipa SH = Pipe dengan dimensi diameter 89,1 mm, tebal pipa 5,5 mm. Untuk pengaku/*bracing* diagonal dan horisontal dipakai baja SH=L dengan dimensi tinggi 50 mm, lebar 50 mm, tebal 5 mm. Untuk pengaku/*bracing* bagian dalam tower bentuk baja SH=L dengan dimensi tinggi 40 mm, lebar 40 mm, tebal 4 mm.



Gambar 1. Gambar struktur rangka tower

Tinggi bangunan 20 m dari muka tanah. Rangka baja tower terletak pada atap bangunan. Ketinggian tower 25 m. Beban-beban yang bekerja yaitu berupa beban mati, beban hidup dan beban angin diberikan pada titik nodal pada struktur. Analisis berupa struktur rangka 3D. Arah pembebanan angin yang bekerja pada tower ini seperti yang terlihat pada Gambar. 2.



Gambar 2. Arah beban angin dalam analisis

Beban angin yang bekerja arah 1, 2, dan 3 adalah sebesar (120 kph)=33,33 m.s⁻¹. Beban-beban tersebut bekerja pada nodal-nodal pertemuan antar elemen. Beban angin menurut TIA/EIA – 222 – F STANDARD yang bekerja pada masing-masing nodal dihitung menggunakan persamaan 1. Untuk perbandingan beban angin yang bekerja pada nodal dihitung juga beban angin PMI 1983. Perhitungan beban angin PMI 1983 ini memakai persamaan 4 yaitu dengan menganggap tower sebagai cerobong. Untuk kejelasan perbandingan beban angin TIA/EIA – 222 – F STANDARD dengan PMI 1983 dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 3.

Tabel 1. Perbandingan beban angin TIA/EIA – 222 – F STANDARD dan PMI 1983

Elevation (m)	TIA/EIA – 222 – F STANDARD		PMI 1983
	Kz	qz = 0,613 Kz V ² (Kg.m ²)	qz = 42,5 + 0,6 ht(Kg.m ²)
21	1,24	84,19	55,10
22	1,25	85,32	55,70
23	1,27	86,41	56,30
24	1,28	87,47	56,90
25	1,3	88,49	57,50
26	1,31	89,49	58,10
27	1,33	90,46	58,70
28	1,34	91,41	59,30
29	1,36	92,33	59,90
30	1,37	93,23	60,50
31	1,38	94,10	61,10
32	1,39	94,96	61,70
33	1,41	95,80	62,30
34	1,42	96,62	62,90
35	1,43	97,42	63,50
36	1,44	98,21	64,10
37	1,45	98,98	64,70
38	1,46	99,74	65,30
39	1,48	100,48	65,90
40	1,49	101,21	66,50
41	1,50	101,93	67,10
42	1,51	102,63	67,70
43	1,52	103,33	68,30
44	1,53	104,01	68,90
45	1,54	104,68	69,50

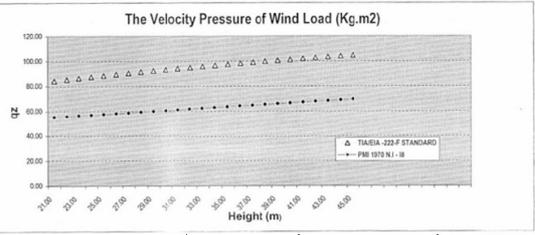
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan analisis struktur menggunakan program SAP2000 versi 7.40 dengan memodelkan jepit pada tumpuan. Beban yang bekerja pada struktur adalah angin yang mengacu pada TIA/EIA – 222 – F STANDARD, beban mati dan beban hidup. Beban angin yang dipakai

Gambar 3 Perbandingan beban angin TIA/EIA – 222 – F STANDARD dan PMI 1983

Tabel 2. Pengecekan sway/simpangan mengacu pada referensi TIA/EIA – 222- F

LEVE L	HEIGHT (H)	LENGTH (ΔH) (m)	DISPLA CEMENT 1 (mm)	DISPLA CEMENT 2 (mm)	ΔD	Tan	Sway	Ce k
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
A	21	1	0,554	0,000	0,554	0,00055	0,0317°	OK
B	22	1	1,714	0,554	1,160	0,00116	0,0664°	OK
C	23	1	3,365	1,714	1,651	0,00165	0,0943°	OK
D	24	1	5,469	3,365	2,104	0,00210	0,1200°	OK
E	25	1	7,992	5,469	2,523	0,00252	0,1436°	OK
F	26	1	10,899	7,992	2,907	0,00291	0,1650°	OK
G	27	1	14,159	10,899	3,260	0,00326	0,1847°	OK
			17,739	14,159	3,580	0,00358	0,2023°	OK
			21,609	17,739	3,870	0,00387	0,2182°	OK
			25,741	21,609	4,132	0,00413	0,2325°	OK
			30,106	25,741	4,365	0,00437	0,2451°	OK
			34,677	30,106	4,571	0,00457	0,2561°	OK
M	33	1	39,430	34,677	4,753	0,00475	0,2659°	OK
N	34	1	44,341	39,430	4,911	0,00491	0,2743°	OK
O	35	1	49,453	44,341	5,112	0,00511	0,2849°	OK
P	36	1	54,676	49,453	5,223	0,00522	0,2908°	OK
Q	37	1	59,986	54,676	5,310	0,00531	0,2953°	OK
R	38	1	65,365	59,986	5,379	0,00538	0,2990°	OK
S	39	1	70,795	65,365	5,430	0,00543	0,3016°	OK
T	40	1	76,260	70,795	5,465	0,00547	0,3035°	OK
U	41	1	81,736	76,260	5,476	0,00548	0,3040°	OK
V	42	1	87,196	81,736	5,460	0,00546	0,3032°	OK
W	43	1	92,620	87,196	5,424	0,00542	0,3013°	OK
X	44	1	98,011	92,620	5,391	0,00539	0,2996°	OK
Y	45	1	103,380	98,011	5,369	0,00537	0,2984°	OK
Maximum of Sway							0,30°	OK



adalah beban yang lebih besar daripada standar beban angin untuk bangunan gedung menurut PMI 1983 sehingga diharapkan struktur yang terjadi mempunyai kekuatan maksimum terhadap angin.

Keterangan tabel 2:

- (1). Level tower
- (2). Ketinggian tower
- (3). Panjang setiap level tower
- (4). Output Displacement Hasil perhitungan SAP2000 pada ketinggian yang sebenarnya
- (5). Output Displacement Hasil perhitungan SAP2000 pada ketinggian sebelumnya
- (6). $\Delta D = \text{DISPLACEMENT 1} - \text{DISPLACEMENT 2}$
- (7). $\text{Tan } \theta = \Delta D / H$
- (8). $\text{Sway} = \text{Tan}^{-1} \theta$ (degree)
- (9). Jika (7) < 0,5 "OK" dan jika (7) > 0,5 "NOT OK"

Dari hasil analisis menggunakan program SAP 2000 didapatkan bahwa hasil simpangan yang terbesar terjadi pada kombinasi 3 : 1,2 DL + 0,5 LL + 1,3 WL sebesar 0,3040° yang terjadi pada ketinggian 41 m. Hal ini dikarenakan antena diletakkan pada daerah tersebut sehingga beban dari antena ini menambah simpangan yang terjadi. Nilai simpangan ini lebih kecil dari persyaratan TIA/EIA – 222 – F STANDARD yaitu sebesar 0,5°. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa struktur aman terhadap beban angin dalam kasus simpangan yang terjadi. Untuk jelasnya simpangan yang terjadi pada setiap ketinggian tower dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 3.

Pengecekan tegangan yang terjadi pada setiap elemen rangka dilakukan menggunakan standar LRFD. Pengecekan ini dilakukan memakai fasilitas *design* pada program computer SAP 2000. Program SAP 2000 secara otomatis

menghitung besar rasio tegangan yang terjadi. Rasio kapasitas lebih besar dari 1.0 menandai melebihi batas aman.

Gambar 3. Sway atau simpangan yang terjadi

Tegangan yang terjadi pada elemen rangka batang tidak lebih besar dari tegangan ijin, sehingga rasio tegangan tidak lebih besar dari 1,0. Dalam perancangan efek adanya baut atau las tidak diperhitungkan begitu juga sambungan juga tidak dirancang. Untuk perhitungan sambungan dan jumlah baut yang dibutuhkan dihitung tersendiri. Untuk kejelasan rasio tegangan yang terjadi pada elemen batang rangka tower dapat dilihat pada Tabel 3.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis tentang pengaruh beban angin pada struktur bangunan yang sifatnya masih awal atau dangkal ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Dalam menentukan respon struktur akibat beban mati, hidup, dan angin dapat dilakukan dengan analisis statik memakai software SAP 2000. Hasil dari analisis didapat *sway* atau simpangan sebesar 0,3040°. Nilai tersebut lebih kecil dari simpangan yang dipersyaratkan TIA/EIA-222-F Standard yaitu 0,5° sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur kuat menahan beban angin mengacu pada TIA/EIA-222-F Standard.

Tabel 3. Pengecekan tegangan
Project Name : SST 25 m *Three Leg (Roof Top) BTS Standard – CAC Project 2005*

Project Name : SST 25 m <i>Three Leg (Roof Top) BTS Standard – CAC Project 2005</i>						
No	Elevasi (m)	<i>Demand / Capacity Ratio</i> P – M33 – M22			<i>Limit Demand / Capacity Ratio</i> P – M33 – M22	Cek
		3	4	5	6	
1	2	Leg	Horisontal	Bracing	6	7
1	1.00	0.578	0.272	0.402	1	OK
2	2.00	0.520	0.277	0.418	1	OK
3	3.00	0.487	0.267	0.401	1	OK
4	4.00	0.451	0.259	0.391	1	OK
5	5.00	0.418	0.160	0.379	1	OK
6	6.00	0.385	0.155	0.367	1	OK
7	7.00	0.354	0.149	0.354	1	OK
8	8.00	0.324	0.144	0.342	1	OK
9	9.00	0.295	0.138	0.330	1	OK
10	10.00	0.267	0.132	0.317	1	OK
11	11.00	0.240	0.127	0.304	1	OK
12	12.00	0.214	0.121	0.291	1	OK
13	13.00	0.101	0.114	0.277	1	OK
14	14.00	0.088	0.114	0.269	1	OK
15	15.00	0.088	0.113	0.569	1	OK
16	16.00	0.065	0.106	0.548	1	OK
17	17.00	0.056	0.100	0.513	1	OK
18	18.00	0.046	0.094	0.481	1	OK
19	19.00	0.037	0.088	0.448	1	OK
20	20.00	0.029	0.081	0.413	1	OK
21	21.00	0.021	0.073	0.373	1	OK
22	22.00	0.018	0.059	0.286	1	OK
23	23.00	0.013	0.040	0.101	1	OK
24	24.00	0.006	0.029	0.064	1	OK
25	25.00	0.005	0.018	0.040	1	OK

2. Hasil dari analisis didapat rasio tegangan yang terjadi pada rangka batang struktur < nilai rasio tegangan dari yang dipersyaratkan AISC-LRFD yaitu 1 sehingga dapat

disimpulkan bahwa struktur kuat menahan beban angin mengacu pada TIA/EIA-222-F Standard..

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Siemens Indonesia Regional Jawa Tengah dan CV. Rekayasa Konstruksi atas segala bantuannya.

KETERANGAN NOTASI

h_t = tinggi cerobong (m)

DL = Dead Load (Beban Mati)

LL = Live Load (Beban Hidup)

WL = Wind Load (Beban Angin)

DAFTAR PUSTAKA

- _____, *Computer dan Structures*, Inc. University Ave. Berkeley, SAP 2000 manual, California, 1995
- _____, *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung. 1983
- AISC-LRFD *Code Manual of Steel Construction, Load & Resistance Factor Design*, 2nd Edition, American Institute of Steel Construction, Chicago, 1993
- Pusposutardjo S., *Bencana Angin Topan di Indonesia Kejadian dan Kesiapan Menghadapinya*, Proceeding Seminar PAU Teknik, Yogyakarta. 1993
- Supriyadi, B, Mengantisipasi pengaruh beban angin topan pada struktur bangunan gedung, Seminar Nasional *Bahaya Gempa dan Angin Topan Terhadap struktur Bangunan Gedung*, Yogyakarta, 22 – 23 September 1995.
- TIA / EIA – 222 – F – 1996 STANDARD : *Structural Standards for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures*, 1996