

ANALISIS TORSI TAK TERDUGA DAN KETIDAKBERATURAN TORSI AKIBAT GAYA GEMPA

Epafroditus Tuwanakotta¹, Yabes Bernard²

^{1,2}Politeknik Saint Paul Sorong
Email: epafroditus79@gmail.com

Abstrak

Pengembangan struktur pada saat ini sangatlah pesat, kebutuhan fungsi bangunan menuntut bentuk dari pada struktur bangunan yang tidak seperti biasanya. Bentuk dasar struktur pada suatu bangunan pada umumnya harus memberikan kontribusi dalam menahan gaya lateral yang nantinya akan disebabkan akibat adanya gempa bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya torsi tak terduga dan juga untuk mengetahui adanya ketidakberaturan torsi akibat terjadinya gempa.. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah statik ekuivalen dengan menggunakan bantuan software ETABS, mengacu pada SNI 1726-2019. Berdasarkan hasil analisis torsi tak terduga, maka didapat besar nilai T adalah Lantai 1 X dir (ELF X 1) = 2158,8505 kg/m, Lantai 2 X dir (ELF X 1) = 1224,1362 kg/m, Lantai 3 X dir (ELF X 1) = 83,742 kg/m. Dan berdasarkan hasil analisis ketidakberaturan torsi maka nilai Ax tidak melebihi 1,2 sehingga dapat disimpulkan bahwa bangunan yang ditinjau tidak ditemukan adanya ketidakberaturan torsi..

Kata kunci : Torsi, Tak Terduga, Ketidakberaturan, Gempa

1. PENDAHULUAN

Dengan adanya kejadian gempa di sorong yang mengakibatkan kerugian sangat besar bagi bangunan, maka diperlukan pengembangan analisis gempa terhadap struktur. Ada 2 pendekatan yang digunakan untuk memperhitungkan beban lateral (gempa bumi) yang bekerja pada struktur, yaitu secara statik ekuivalen dan analisis dinamik (respon spektrum atau *time history*). Analisis dinamik sangat cocok digunakan untuk struktur bangunan yang tidak beraturan terhadap pengaruh gempa. Dalam hal ini, khususnya bangunan gedung penambahan mesjid raya sorong termasuk wilayah gempa IV yang mempunyai potensi tinggi untuk mengalami gempa. Kekakuan merupakan salah satu faktor yang menentukan respons suatu struktur terhadap beban gempa. Struktur bangunan dengan kekakuan yang baik dapat menahan beban, namun simpangan/perpindahan yang terjadi relatif kecil agar nyaman ditinggali. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dapat memicu terjadinya torsi (puntir) yang tidak terduga

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan ini yaitu : untuk mengetahui besarnya torsi tak terduga pada gedung penambahan mesjid raya sorong akibat gaya gempa dan mengetahui ketidakberaturan torsi pada gedung penambahan mesjid raya sorong akibat gaya gempa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Torsi

Torsi atau momen puntir adalah momen yang bekerja terhadap sumbu longitudinal balok/elemen struktur. Pada prinsipnya torsi dapat terjadi karena bekerjanya beban transversal yang tidak segaris dengan posisi garis penampang. Dalam perhitungan beton bertulang, torsi dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

1. Torsi keseimbangan adalah momen torsi yang timbul karena dibutuhkan untuk keseimbangan. Torsi Keseimbangan adalah jenis puntiran pada elemen beton bertulang yang disebabkan bekerjanya aksi primer, artinya titik tangkap beban yang bekerja pada elemen yang ditinjau secara individual memang tidak segaris dengan posisi garis berat penampang.

2. Torsi keselarasan struktur kompatibilitas adalah momen torsi yang timbul karena kompatibilitas deformasi antara elemen-elemen struktur yang bertemu pada sambungan atau jenis puntiran pada elemen beton bertulang yang disebabkan bekerjanya aksi sekunder. Jenis torsi ini terjadi karena adanya kesinambungan antar elemen struktur yang disatukan secara monolit (kaku sempurna) pada sambungan yang terdapat pada struktur sehingga dalam pergerakan sistem struktur terjadi dengan mengikuti prinsip keselarasan (*compatibility*). Contohnya yang paling mudah diamati pada struktur bangunan gedung adalah fenomena puntir yang terjadi pada balok tepi (eksterior).

2.2 Tegangan Geser Akibat Torsi

Pengaruh torsi pada suatu penampang dapat menimbulkan tegangan geser yang berlebihan dan dapat menyebabkan keretakan pada penampang yang tidak diberi tulangan secara khusus.

$$V_{te} = \frac{(T_e \times r)}{J}$$

dimana :

J = Momen inersia polar untuk penampang bundar, mm⁴

Te = Momen Torsi Elastis, Nmm

Pada saat elemen beton bertulang retak akibat torsi, maka ketahanan beton tersebut dalam menahan gaya torsi ditahan oleh sengkang tertutup dan tulangan longitudinal yang berada di dekat permukaan luar penampang. Pada analogi pipa berdinding tipis ini, tahanan penampang terhadap torsi diasumsikan berasal dari bagian tepi luar penampang yang berpusat pada lokasi sengkang tertutup.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Data Perencanaan

Data gedung pada penelitian ini dilakukan pada gedung penambahan Masjid Raya Sorong, bangunan gedung bertingkat baru yang memiliki tinggi 13 m dan memiliki tiga lantai ditambah satu atap. Bangunan tersebut berfungsi sebagai pusat tempat beribadah bagi umat muslim, yang berlokasi di Kota Sorong, Provinsi Papua Barat.

3.2. Pengumpulan Data

Sumber data sangat penting dalam melakukan penelitian yang digunakan peneliti untuk memperoleh data-data penelitian sehingga meminimalkan waktu dan biaya. Sumber data dalam penelitian ini menggunakan sumber data sekunder dimana yang dimaksud dengan sumber data sekunder adalah data yang diperoleh peneliti secara tidak langsung baik yang didapat dari lokasi penelitian maupun di luar lokasi penelitian dalam bentuk dokumentasi. Data yang dimiliki merupakan data sekunder berupa *Shop Drawing* dan dipergunakan untuk pemodelan struktur 3D pada program ETABS.

3.3. Analisis Gaya Gempa (statik ekuivalen)

Analisis statik ekuivalen merupakan metode analisis struktur dengan getaran gempa yang dimodelkan sebagai beban-beban horizontal statik yang bekerja pada pusat-pusat massa bangunan. Bangunan yang mempunyai banyak massa, maka akan terdapat banyak gaya

horizontal yang masing-masing bekerja pada massa-massa tersebut.

3.4. Pembuatan Pemodelan Struktur

Pemodelan yang dilakukan untuk menghitung besar torsi tak terduga dan juga untuk mengetahui ketidakberaturan torsi menggunakan program ETABS. Setelah pemodelan 3D selesai dibuat sesuai ketentuan, maka langkah selanjutnya adalah dengan melakukan run pada program ETABS. Hasil output dari analisis program ini adalah ketidakteraturan torsi.

3.5. Analisis Torsi Struktur Gedung.

Torsi merupakan efek momen termasuk putaran / puntiran yang terjadi pada penampang tegak lurus terhadap sumbu utama dari elemen. Beban lateral dapat mengakibatkan torsi pada bangunan ketika beban lateral tersebut cenderung memutar bangunan tersebut dengan arah vertikal. Hal ini terjadi ketika pusat beban tidak tepat dengan pusat kekakuan elemen vertikal beban lateral – sistem ketahanan struktur tersebut. Eksentrisitas diantara pusat kekakuan dan massa bangunan dapat menyebabkan gerakan torsi selama terjadinya gempa. Torsi ini dapat meningkatkan displacement pada titik ekstrim bangunan dan menimbulkan masalah pada elemen penahan lateral yang berlokasi pada tepi gedung.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Teknis

Data teknis penelitian dan data gedung untuk analisis torsi tak terduga dan ketidakberaturan torsi akibat gaya gempa masing-masing ditunjukkan pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Data Teknis Penelitian

Lokasi	Kota Sorong
Jenis Tanah	Sedang
Fungsi Bangunan	Gedung Ibadah
Tebal Plat Basement	0,12 cm
Tebal Plat Lantai	0,12 cm
Tebal Pelat Atap	0,12 cm
Kelas Situs	D
Ss	1,55g
S1	0,61g
Fa	1
Fy	1,5

Perhitungan Nilai S_{ds} dan S_{d1} :

$$S_{ds} = 2/3 \times F_a \times S_s = 2/3 \times 1 \times 1,55 = 1,03$$

$$S_{d1} = 2/3 \times F_v \times S_1 = 2/3 \times 1,5 \times 0,61 = 0,61$$

Penentuan Respon Spektra dan KDG :

$$T_0 = 0,1 \text{ (} S_{d1} / S_{ds} \text{)} = 0,169$$

$$T_s = (S_{d1} / S_{ds}) = 0,592$$

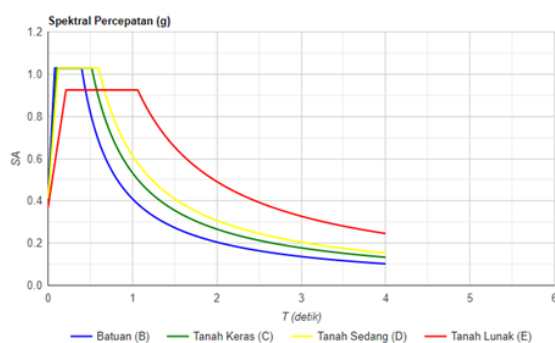
$$S_a = S_{ds} (0,4 + 0,6 (T/T_0)) = 0,465$$

$$TE-W : 0,6106$$

$$TN-S : 0,4206$$

Tabel 2. Data Gedung

Deskripsi Gedung	Keterangan
Sistem struktur	Sistem rangka pemikul momen
Fungsi gedung	Tempat beribadah
Jumlah lantai	3 lantai
Tinggi tiap lantai	4 meter
Tinggi total lantai	13 meter

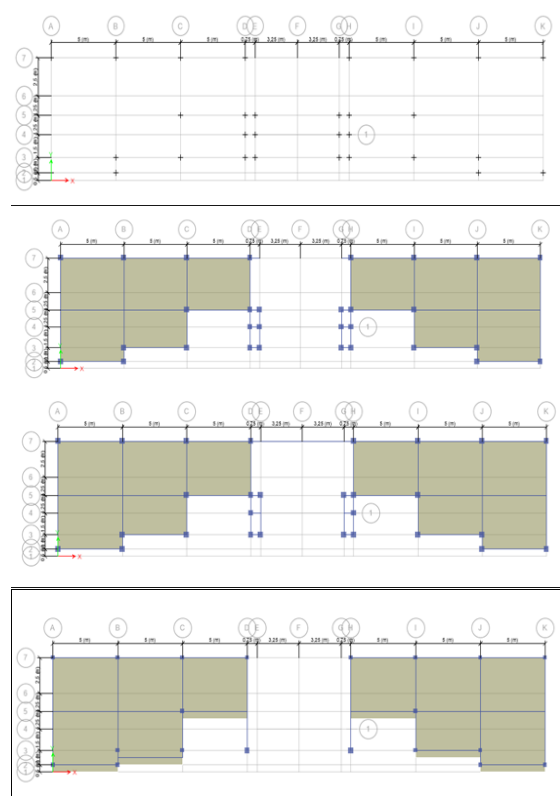


Gambar 1. Respon Spektra Percepatan Gedung Penambahan Masjid Raya (PUSKIM 2019)

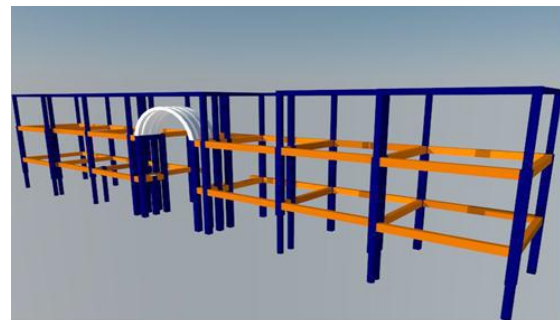
4.2. Pembuatan Pemodelan Struktur

Pembuatan pemodelan struktur menggunakan software ETABS. ETABS (*Extended Three dimension Analysis of Building Systems*) adalah salah satu program komputer yang digunakan khusus untuk perencanaan gedung dengan struktur beton, baja dan komposit. Software tersebut mempunyai tampilan yang hampir sama dengan SAP karena dikembangkan oleh perusahaan yang sama yaitu CSI (Computers and Structures Inc) yaitu salah satu perusahaan pembuat perangkat lunak (software) untuk perencanaan-perencanaan struktur. Software-software dari CSI tersebut sudah digunakan oleh ribuan engineer di lebih dari 160 negara.

Pemodelan ini dilakukan untuk menghitung besar torsi tak terduga dan juga untuk mengetahui ketidakberaturan torsi. Setelah pemodelan 3D selesai dibuat sesuai ketentuan, maka langkah selanjutnya adalah dengan melakukan run pada program ETABS. Hasil output dari analisis program ini adalah ketidakberaturan torsi. Pada gambar 2 menunjukkan denah gedung yang akan ditinjau.



Gambar 2. Denah Gedung



Gambar 3. Pemodelan Bangunan Penambahan Masjid Raya Kota Sorong (software ETABS)

4.3. Spesifikasi Material Beton

Mutu Beton yang digunakan pada pembangunan gedung Masjid Raya Kota Sorong yaitu $f'_c = 25$ Mpa. Mutu baja tulangan utama yaitu $f_y = 240$ Mpa. Sedangkan spesifikasi untuk kebutuhan tulangan Geser yaitu :

- $d > 10$ mm $f_y = 400$ Mpa.
- $d < 10$ mm $f_y = 240$ Mpa
- Modulus elastisitas baja (E_s) 200.000 Mpa.

4.4. Data Elemen Struktur

Pelat basement dan semi basement memiliki ketebalan 12 cm. Pada tabel 2 dan 3 menunjukkan dimensi untuk masing-masing tipe balok dan kolom pada struktur gedung Masjid Raya Kota Sorong.

Tabel 2. Tipe Balok

No	Tipe	Dimensi (mm)
1	Balok I	300/500
2	Balok II	300/500
3	Balok III	150/400
4	Balok Anak	200/200

Tabel 3. Tipe Kolom

No	Tipe	Dimensi (mm)
1	Kolom I (Persegi)	400/400
2	Kolom II (Persegi)	400/400
3	Kolom III (Persegi)	300/300
4	Kolom IV (Persegi)	200/200
5	Kolom Kombinasi	Diameter 20

4.5. Pembebanan Struktur Bangunan

Pembebanan yang digunakan terdiri atas beban mati dan beban hidup. Beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, kladding gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Beban mati (berat sendiri) bahan bangunan yaitu beton bertulang, spesi memiliki berat jenis masing-masing 2400 kg/m^3 dan 21 kg/m^3 dan koefisien reduksi beban mati 1.

Sedangkan beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan atau struktur lain. Beban hidup selalu berubah-ubah dan sulit diperkirakan, perubahan tersebut terjadi sepanjang waktu baik untuk jangka pendek maupun jangka panjang. Reduksi beban hidup untuk rumah ibadah yaitu peninjauan beban gravitasi dan peninjauan beban gempa masing-masing bernilai 4 dan 0,90

4.6. Eksentrisitas dan Torsi Center of Mass and Rigidity

Jika dilihat melalui program ETABS didapat nilai pusat massa (XCM dan YCM), serta pusat kekakuan (XCR dan YCR). Berikut merupakan hasil analisis:

Tabel 4. Hasil Analisis Nilai Pusat Massa dan Kekakuan (*center of mass and rigidity*)

Lantai	Story	Pusat Massa		Pusat Rotasi	
		XCM	YCM	XCR	YCR
1	Story 4	18,99	4,64	19,00	4,38
2	Story 5	18,91	4,55	19,62	4,69
3	Story 6	18,90	4,50	18,55	5,00

Story Stiffness

Berdasarkan hasil output dari ETABS maka pada story stiffness dapat diketahui nilai shear X dan shear Y atau gaya gempa arah X dan arah Y.

Tabel 5. Hasil Analisis Story Stiffness (X dir)

Story	Load Case	Shear X kN	Drift X mm	Stiffness X kN/m
Story 4	ELF X 1	470,9	3,7	124289,0
Story 5	ELF X 1	269,7	6,5	41017,9
Story 6	ELF X 1	30,3	1,3	21804,2

Tabel 6. Hasil Analisis Story Stiffness (Y dir)

Story	Load Case	Shear Y kN	Drift Y mm	Stiffness Y kN/m
Story 4	ELF Y 1	537,4	3,5	150135,0
Story 5	ELF Y 1	284,1	6,3	45094,9
Story 6	ELF Y 1	56,8	0,8	66170,6

Story force

Berdasarkan hasil output dari ETABS maka pada story force dapat diketahui nilai torsi tak terduga (T).

Tabel 7. Hasil Analisis Story Force (X dir)

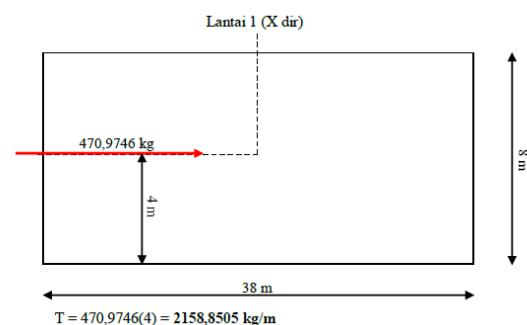
Story	Load Case	VX kN	T Kn-m
Story 4	ELF X 1	470,9	2158,8
Story 5	ELF X 1	269,7	1224,1
Story 6	ELF X 1	30,3	83,7

Tabel 8. Hasil Analisis Story Force (Y dir)

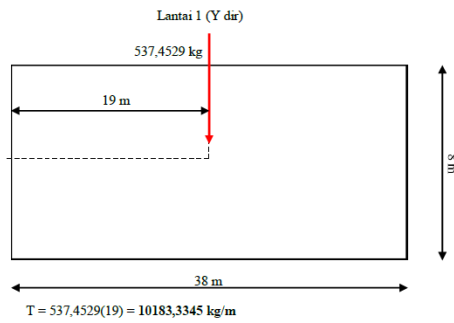
Story	Load Case	VY kN	T Kn-m
Story 4	ELF Y 1	537,4	10183,3
Story 5	ELF Y 1	284,1	5413,5
Story 6	ELF Y 1	56,8	924,1

Eksentrisitas Torsi Tak Terduga

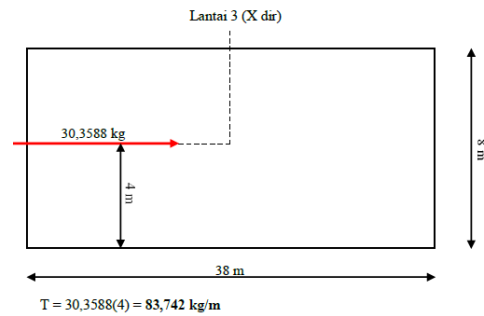
Eksentrisitas dari torsi tak terduga adalah eksentrisitas tambahan sebesar 5% dari dimensi arah tegak lurus panjang bentang struktur bangunan dimana gaya gempa bekerja. Berikut merupakan hasil eksentrisitas torsi tak terduga:



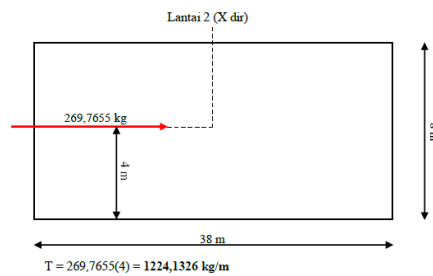
Gambar 4. Hasil Torsi Tak Terduga Lantai 1 (X dir)



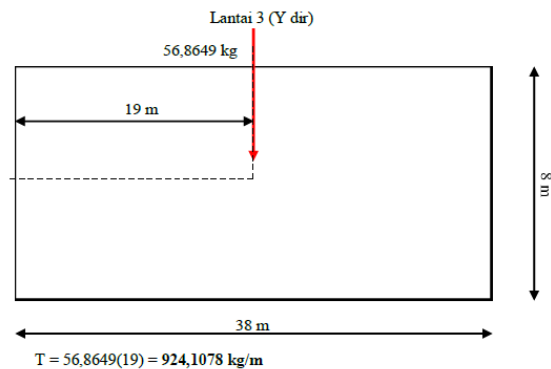
Gambar 5. Hasil Torsi Tak Terduga Lantai 1 (Y dir)



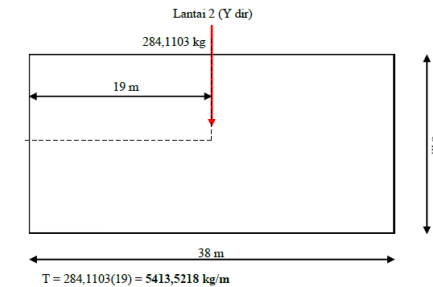
Gambar 8. Hasil Torsi Tak Terduga Lantai 3 (X dir)



Gambar 6. Hasil Torsi Tak Terduga Lantai 2 (X dir)



Gambar 9. Hasil Torsi Tak Terduga Lantai 3 (Y dir)



Gambar 7. Hasil Torsi Tak Terduga Lantai 2 (Y dir)

4.7. Ketidakberaturan Torsi

Untuk titik acuan adalah titik-titik terluar dari bangunan yang memiliki simpangan terbesar dalam *story* tersebut maka dipilih ELF X-2 dengan torsi tak terduga plus 5% lebar bangunan. Titik acuan dengan simpangan ekstrim akan terjadi di titik-titik terluar, dalam hal ini untuk arah X dipilih titik 35 dan titik 37 (join 35 dan join 37).

Tabel 9. Output Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1a dan 1b

Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1a dan 1b SNI 1729-2019 Pasal 7.3.2.2 ASCE 7-19											
Story	Load Case	Joint 1	Joint 2	$\Delta 1$	$\Delta 2$	Δ_{max}	Δ_{avg}	Δ_{max}/avg	$\Delta_{max}/avg > 1.2$	$\Delta_{max}/avg > 1.4$	Ax
Story 5	ELF X 2	13,4	13,2	6,5	6,5	6,5	6,5	1,0	OK	OK	0,83
Story 4	ELF X 2	6,8	6,6	3,8	3,7	3,8	3,7	1,0	OK	OK	0,84
Story 3	ELF X 2	3,0	2,9	0,3	0,3	0,3	0,3	1,0	OK	OK	0,88
Story 2	ELF X 2	2,6	2,6	1,8	1,7	1,8	1,8	1,0	OK	OK	0,86
Story 1	ELF X 2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,83	1,0	OK	OK	0,85

Dari tabel 9 diatas dapat disimpulkan bahwa untuk titik acuan dengan simpangan ekstrim nilai Ax tidak lebih dari 1,2 artinya untuk arah X (ELF X-2) tidak ditemukan adanya ketidakberaturan torsi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis torsi pada bangunan penambahan gedung masjid raya akibat gaya gempa, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil analisis torsi tak terduga, maka didapat besar nilai T adalah:

Lantai 1 X dir (ELF X 1) = 2158,8505 kg/m
Lantai 1 Y dir (ELF Y 1) = 10183,3345 kg/m
Lantai 2 X dir (ELF X 1) = 1224,1362 kg/m
Lantai 2 Y dir (ELF Y 1) = 5413,5218 kg/m
Lantai 3 X dir (ELF X 1) = 83,742 kg/m
Lantai 3 Y dir (ELF Y 1) = 924,1078 kg/m

2. Hasil analisis ketidakberaturan torsi: nilai A_x tidak melebihi 1,2 sehingga dapat disimpulkan bahwa bangunan yang ditinjau tidak ditemukan adanya ketidakberaturan torsi.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Khalidun Riantoby, I. Setiya Budi, A. and Purwanto, E., "Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Pushover Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus : Hotel Di Wilayah Karanganyar)". Matriks Teknik Sipil, 2(1), 116, 2014.
- Budiono, B. and Wicaksono, E.B., "Perilaku Struktur Bangunan dengan Ketidakberaturan Vertikal Tingkat Lunak Berlebihan dan Massa Terhadap Beban Gempa", Jurnal Teknik Sipil, 23(2), 113-126, 2016.
- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726, 2019.
- Tata cara pemilihan dan modifikasi gerak tanah permukaan untuk perencanaan gedung tahan gempa, SNI 8899, 2020.
- Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan. In. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, SNI 2847, 2019.
- Park, H.S. and Oh, B.K., "Damage detection of building structures under ambient excitation through the analysis of the relationship between the modal participation ratio and story stiffness" Journal of Sound and Vibration, 418, 122-143, 2018.
- Yucha Al Kautsar Afnan, M. Afif Shulhan, Iskandar Yasin, "Perbandingan Respons Spektrum Gempa Antara SNI 1726-2012 Dan SNI 1726-2019 Di Indonesia", Renovasi, Vol 5. No 2, 2020 hal 36 – 42, 2020.
- Hurint, Yoseph Sirilus Ratu, "Analisis Struktur Gedung DPD PDI Perjuangan Yogyakarta Terhadap Beban Gempa RSNI 1726:201X", Yogyakarta: Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa, 2020.