

STUDI PERENCANAAN BANGUNAN BETON BERTULANG DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM GANDA DI KOTA SURABAYA

Stanley Basilio Sonbay¹, Leonardus Setia Budi Wibowo¹, Norman Ray¹
¹Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Widyarta Kartika
Email: stanleybasilio27@gmail.com

ABSTRAK

Akhir-akhir ini sering terjadi gempa bumi, terutama di wilayah pulau Jawa. Kota Surabaya merupakan salah satu kota yang memiliki resiko gempa tinggi dikarenakan adanya dua sesar/patahan yang melintasi kota Surabaya, yaitu sesar Surabaya dan sesar Waru. Oleh karena itu diperlukan suatu perencanaan bangunan tahan gempa di kota Surabaya, terutama untuk bangunan bertingkat tinggi. Perencanaan dalam penelitian ini menggunakan bangunan beton bertulang dengan ketinggian 8 lantai. Bangunan ini direncanakan dengan menggunakan sistem ganda (interaksi dinding geser dengan portal terbuka) dengan menggunakan program perhitungan struktur untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang bekerja. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan dimensi dan penulangan pada elemen struktur beton bertulang serta melakukan kontrol terhadap kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit yang terjadi. Desain struktur bangunan gedung ini diharapkan dapat memenuhi syarat keamanan dan kenyamanan terutama dalam menahan gaya gempa. Perencanaan bangunan beton bertulang ini menggunakan peraturan SNI 2847:2013 dan SNI 1726:2012 untuk perencanaan gempanya. Semua perhitungan pembebanan berdasarkan beban minimum sesuai yang disyaratkan pada SNI 1727:2013, serta peraturan penunjang lainnya yang berlaku di Indonesia. Hasil analisis menunjukkan bahwa kinerja batas layan maksimum pada sumbu X sebesar 2,1 mm dan kinerja batas layan arah Y sebesar 2,5 mm. Untuk kinerja batas ultimit maksimum, didapatkan nilai 14,7 mm untuk arah X dan 17,5 mm untuk arah Y.

Kata kunci: perencanaan, beton bertulang, gedung, sistem ganda, gempa.

1. PENDAHULUAN

Dalam perancangan struktur gedung beton bertulang tahan gempa, seorang perencana harus berhadapan dengan persoalan yang berdampak pada keputusan memilih sistem struktur yang sesuai. Saat gedung bertingkat dirancang untuk berdiri di wilayah dengan risiko gempa besar, seperti di Padang – Sumatera Barat, peraturan SNI Gempa akan mensyaratkan penerapan sistem struktur dengan daktilitas tinggi, salah satunya adalah Sistem Ganda yaitu gabungan antara struktur dinding geser dengan struktur rangka (portal terbuka). Dengan sistem ini diharapkan sebagian besar beban lateral akibat gempa dipikul oleh struktur dinding geser, sehingga didapatkan dimensi kolom yang tidak terlalu besar.

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana hasil desain struktur gedung beton bertulang 8 lantai dengan menggunakan sistem ganda serta bagaimana pengaruh desain bangunan tahan gempa terhadap simpangan lateral.

Budiono (2011) menyatakan bahwa membangun bangunan yang dapat menahan menahan gempa adalah tidak ekonomis. Oleh

karena itu prioritas utama dalam membangun bangunan tahan gempa adalah terciptanya suatu bangunan yang dapat mencegah terjadinya korban, serta memperkecil kerugian harta benda. Dari hal tersebut filosofi dan konsep dasar perencanaan bangunan tahan gempa terbagi 3 macam, yaitu:

1. Pada saat terjadi gempa ringan, struktur bangunan dan fungsi bangunan harus dapat tetap berjalan (*serviceable*) sehingga struktur harus kuat dan tidak ada kerusakan baik pada elemen struktural dan elemen nonstruktural bangunan.
2. Pada saat terjadi gempa moderat atau medium, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen nonstruktural, tetapi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural.
3. Pada saat terjadi gempa besar, diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural dan nonstruktural, namun tidak boleh sampai menyebabkan bangunan runtuh sehingga tidak ada korban jiwa atau dapat meminimalkan jumlah korban jiwa.

Bangunan tinggi tahan gempa umumnya menggunakan elemen-elemen struktur kaku berupa dinding geser untuk menahan

kombinasi gaya geser, momen, dan gaya aksial yang timbul akibat beban gempa. Dengan adanya dinding geser yang kaku pada bangunan, sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding geser tersebut. Perencanaan geser pada dinding struktural untuk bangunan tahan gempa didasarkan pada besarnya gaya dalam yang terjadi akibat beban gempa. Namun, dalam prakteknya masih terdapat keraguan akan keandalan hasil desain dinding geser berdasarkan konsep desain ini. Hal ini menyebabkan masih disyaratkannya konsep desain kapasitas untuk perencanaan dinding geser dalam berbagai proyek gedung tinggi di Indonesia. Menurut konsep desain kapasitas, kuat geser dinding didesain berdasarkan momen maksimum yang paling mungkin terjadi di dasar dinding. Secara umum, desain berdasarkan konsep ini tentu saja akan menghasilkan desain yang lebih aman (Imran dkk, 2008). Salah satu prinsip yang digunakan dalam desain kapasitas adalah Kolom Kuat-Balok Lemah.

Hendrik (2014) menjelaskan bahwa acuan dalam perencanaan bangunan beton bertulang tahan gempa di Indonesia adalah SNI gempa (SNI 1726-2012) dan SNI Beton Bertulang (SNI 2847:2013). Berdasarkan aturan ini, detailing dibedakan berdasarkan kategori desain seismim (KDS) yang dikenakan pada bangunan.

Pada praktiknya, sistem struktur penahan beban lateral dapat dibuat sebagai sistem ganda, yaitu kombinasi dari sistem rangka penahan momen dan sistem dinding struktural. Berdasarkan peraturan SNI 1726-2012, dalam sistem ganda beban gravitasi dipikul secara lengkap oleh rangka pemikul momen, sedangkan beban lateral akibat gempa dipikul baik oleh rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka pemikul momen dengan rangka brasing. Terdapat tiga ciri dasar dari sistem ini:

1. Rangka ruang berupa sistem rangka pemikul momen berfungsi memikul seluruh beban gravitasi.
2. Beban lateral akibat gempa dipukul oleh dinding geser atau brasing dan rangka pemikul momen. Sedikitnya 25% dari beban dasar geser nominal harus dipikul oleh rangka pemikul momen.
3. Dinding Struktural dan Sistem Rangka Pemikul Momen direncanakan untuk menahan beban dasar geser nominal (V)

secara proposional berdasarkan kekakuan relatifnya.

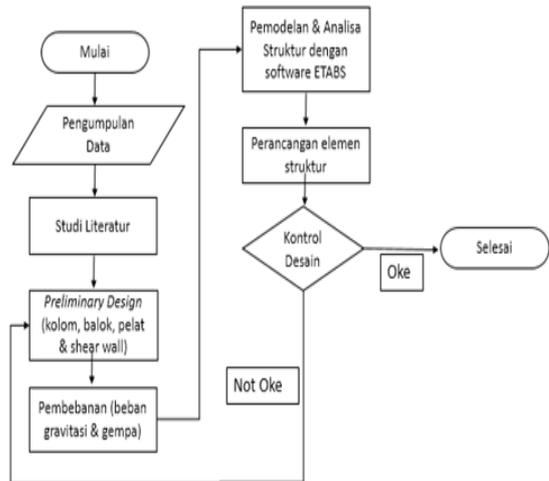
2. METODE PENELITIAN

Tahap awal penelitian ini adalah studi literatur dan pengumpulan data. Studi literatur dilakukan dengan membaca dan mengumpulkan materi yang dapat menunjang pengerjaan penelitian ini. Data sekunder yang dikumpulkan yaitu berupa gambar arsitektur digunakan sebagai rujukan untuk membuat denah struktur bangunan.

Analisis struktur bangunan gedung ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* perhitungan struktur. Output atau gaya-gaya dalam yang dihasilkan dari *software* perhitungan struktur tersebut akan digunakan dalam perhitungan kebutuhan penulangan kolom, balok, pelat lantai, dan dinding geser. Untuk diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

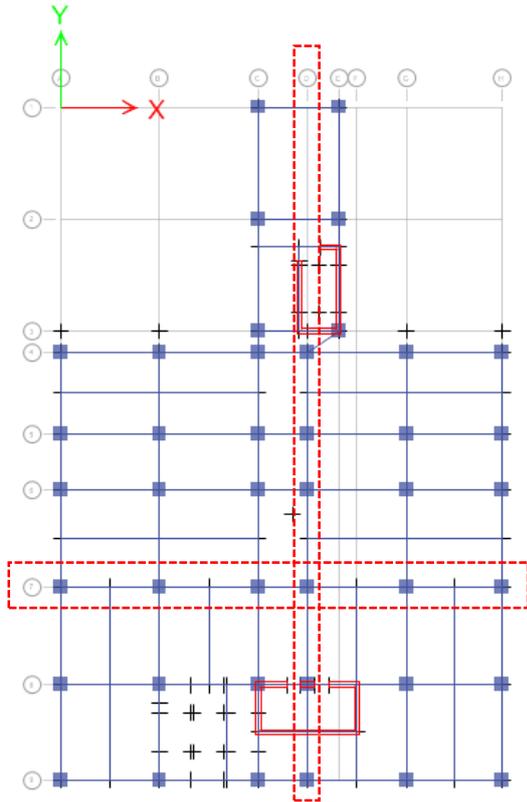
Berikut adalah data perencanaan gedung beton bertulang 8 lantai di kota Surabaya :

Tipe bangunan	: Sekolah
Tinggi bangunan	: 28 m (8 Lantai)
Lebar bangunan	: 40 m
Panjang bangunan	: 54 m
Mutu beton ($f'c$)	: 30 MPa
Mutu baja tulangan (f_{yl})	: 400 Mpa
Mutu baja tulangan (f_{yr})	: 240 MPa



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Untuk portal melintang dan memanjang yang ditinjau pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Portal yang ditinjau

3. HASIL DAN PEMBAHASAN Preliminary Desain

Sebelum melakukan perhitungan, maka dalam suatu perencanaan gedung perlu dilakukan *preliminary design* untuk dimensi balok, kolom dan dinding geser. Ukuran rencana elemen struktur dapat dilihat pada tabel 1.

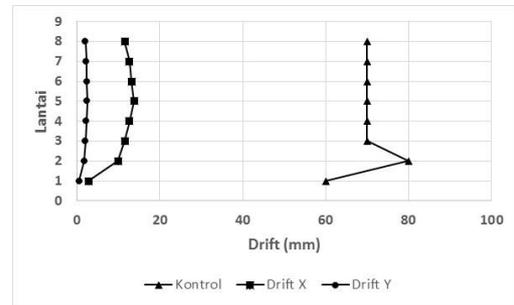
Tabel 1. Dimensi Rencana Elemen Struktur

Elemen Struktur	Dimensi (mm x mm)
Balok Induk/Primer	350 x 500
Balok Sekunder	300 x 450
Kolom Lantai 1 - 2	600 x 600
Kolom Lantai 3 - 4	500 x 500
Kolom Lantai 5	400 x 400
Kolom Lantai 6 - 7	300 x 300
Kolom Lantai 8	200 x 200
Dinding Geser	tebal 350 mm

Kontrol Simpangan Antar Tingkat

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.9.3, simpangan yang terjadi harus lebih kecil dari simpangan yang diijinkan. Hasil simpangan antar lantai berdasarkan perhitungan software struktur dapat dilihat pada gambar 3.

Simpangan (*drift*) antar lantai arah Y lebih kecil daripada arah X, namun simpangan antar lantai tidak lebih dari 20 mm.



Gambar 3. Kontrol *Drift* pada Simpangan Arah X dan Y

Rekapitulasi Penulangan

Perhitungan penulangan balok menggunakan SNI 2847-2013. Data – data nilai momen dan geser pada balok didapatkan dari bantuan analisis *software* struktur. Tulangan utama yang digunakan untuk balok adalah D19 dan tulangan geser menggunakan ukuran D10. Tulangan geser terpasang tumpuan kiri dan kanan sepanjang $\frac{1}{4} L$ dan untuk lapangan sepanjang $\frac{1}{2} L$. Detail penulangan balok memanjang dan melintang dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Tulangan Balok Memanjang

Nama Balok	Tulangan Lentur			
		Tumpuan Kiri	Lapangan	Tumpuan Kanan
B66	Atas	2D19	2D19	2D19
	Bawah	2D19	2D19	2D19
	Tul. geser	D10-150	D10-200	D10-150
B63	Atas	3D19	2D19	2D19
	Bawah	2D19	3D19	2D19
	Tul. geser	D10-50	D10-75	D10-50
B56	Atas	2D19	2D19	2D19
	Bawah	2D19	2D19	2D19
	Tul. geser	D10-125	D10-150	D10-125
B54	Atas	3D19	2D19	2D19
	Bawah	2D19	2D19	2D19
	Tul. geser	D10-125	D10-150	D10-125
B49	Atas	4D19	3D19	4D19
	Bawah	3D19	5D19	2D19
	Tul. geser	D10-75	D10-75	D10-75
B48	Atas	3D19	2D19	3D19
	Bawah	2D19	3D19	2D19
	Tul. geser	D10-100	D10-100	D10-100
B45	Atas	2D19	2D19	2D19
	Bawah	2D19	2D19	2D19
	Tul. geser	D10-100	D10-175	D10-100
B44n	Atas	2D19	2D19	2D19

B25	Bawah	2D19	2D19	2D19
	Tul. geser	D10-125	D10-200	D10-125
	Atas	2D19	2D19	2D19
B24	Bawah	2D19	2D19	2D19
	Tul. geser	D10-100	D10-125	D10-100
	Atas	3D19	2D19	3D19
B18	Bawah	2D19	3D19	2D19
	Tul. geser	D10-75	D10-100	D10-75
	Atas	3D19	2D19	2D19
B16	Bawah	2D19	2D19	2D19
	Tul. geser	D10-125	D10-150	D10-125
	Atas	3D19	2D19	3D19
B12	Bawah	2D19	3D19	2D19
	Tul. geser	D10-125	D10-125	D10-125
	Atas	2D19	2D19	2D19
	Bawah	2D19	2D19	2D19
	Tul. geser	D10-50	D10-50	D10-50
	Atas	2D19	2D19	2D19

Dari tabel 2 dan tabel 3, dapat dilihat jarak sengkang pada daerah tumpuan minimal sebesar 50 mm dan maksimal 125 mm, sedangkan pada lokasi lapangan, didapatkan nilai minimal sebesar 50 mm dan maksimal sebesar 300 mm.

Tabel 3. Tulangan Balok Melintang

Nama Balok	Tulangan Lentur			
		Tumpuan Kiri	Lapangan	Tumpuan Kanan
B76	Atas	2D19	2D19	2D19
	Bawah	2D19	2D19	2D19
	Tul. geser	D10-150	D10-200	D10-150
B75	Atas	2D19	2D19	2D19
	Bawah	2D19	4D19	2D19
	Tul. geser	D10-100	D10-100	D10-100
B61	Atas	3D19	2D19	3D19
	Bawah	2D19	4D19	2D19
	Tul. geser	D10-100	D10-125	D10-100
B60	Atas	2D19	2D19	2D19
	Bawah	2D19	2D19	2D19
	Tul. geser	D10-125	D10-300	D10-125
B59	Atas	2D19	2D19	2D19
	Bawah	2D19	2D19	2D19
	Tul. geser	D10-100	D10-225	D10-100
B55	Atas	4D19	2D19	4D19
	Bawah	2D19	4D19	2D19
	Tul. geser	D10-75	D10-100	D10-75
B52	Atas	4D19	2D19	4D19
	Bawah	2D19	4D19	2D19
	Tul. geser	D10-100	D10-100	D10-100
B38	Atas	4D19	2D19	4D19
	Bawah	2D19	4D19	2D19
	Tul. geser	D10-100	D10-100	D10-100
B37	Atas	4D19	3D19	4D19
	Bawah	3D19	5D19	2D19
	Tul. geser	D10-75	D10-75	D10-75
B34	Atas	2D19	2D19	3D19
	Bawah	2D19	3D19	2D19
	Tul. geser	D10-100	D10-125	D10-100

Pada tabel 4 ditampilkan detail penulangan utama kolom pada lantai 1 hingga lantai 8. Tulangan utama yang digunakan pada kolom terdapat dua macam, D32 dan D25. Tulangan geser yang digunakan pada kolom adalah D16

dan D13, dengan jarak minimal antar sengkang 100 mm dan 150 mm.

Dalam melakukan desain kolom perlu diperhatikan kondisi $\Sigma M_{nc} > 1,2 \Sigma M_{nb}$, dimana kondisi ini menyatakan kuat lentur nominal kolom lebih besar dari jumlah kuat lentur nominal balok.

Tabel 4. Tulangan Kolom pada Struktur Sistem Ganda

Kolom	Tulangan Transversal			Tul. Long.
		Area sendi plastis	Di luar sendi plastis	
Lantai 1-2	Arah X	3 kaki D16 - 100	3 kaki D16 - 150	16D32
	Arah Y	3 kaki D16 - 100	3 kaki D16 - 150	
Lantai 3-4	Arah X	4 kaki D13 - 100	4 kaki D13 - 150	20D25
	Arah Y	4 kaki D13 - 100	4 kaki D13 - 150	
Lantai 5	Arah X	2 kaki D13 - 100	2 kaki D13 - 150	20D25
	Arah Y	3 kaki D13 - 100	3 kaki D13 - 150	
Lantai 6-7	Arah X	3 kaki D13 - 100	3 kaki D13 - 150	20D25
	Arah Y	3 kaki D13 - 100	3 kaki D13 - 150	

Tebal pelat yang digunakan adalah 120 mm dan penulangan pelat ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Tulangan Pelat

Tumpuan		Lapangan	
Arah X (mm)	Arah Y (mm)	Arah X (mm)	Arah Y (mm)
D13-200	D13-200	D13-150	D13-100

Tebal dinding geser yang digunakan adalah 350 mm dan penulangan dinding geser ditunjukkan pada Tabel 6. Tebal dan penulangan dinding geser adalah sama dari lantai 1 hingga lantai 8.

Tabel 6. Tulangan Dinding Geser

Penulangan	Tulangan Lentur	Tulangan Geser
Arah X	D16-350	D13-150
Arah Y	D16-350	D13-150

Kinerja Batas Layan

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.2.2 , untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat (drift) yang dihitung tidak boleh melampaui yang terkecil dari $\frac{0,03}{R} \times h$ atau 30 mm, dimana h adalah tinggi lantai dan R adalah koefisien modifikasi respon. Nilai batas layan struktur sistem ganda ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan kinerja batas layan struktur sistem ganda

Lantai	Drift rata-rata arah X (mm)	Drift rata-rata arah Y (mm)	Syarat drift batas layan (mm)
0	0	0	12,85
1	0,4	0,5	12,85
2	1,5	1,8	17,14
3	1,8	2,1	15,00
4	2,0	2,3	15,00
5	2,1	2,5	15,00
6	2,0	2,4	15,00
7	1,9	2,3	15,00
8	1,5	2,1	15,00

Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung diambang keruntuhan, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antar-gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah (sela delatasi). Nilai simpangan gedung dapat dilihat pada Tabel 8 untuk arah X dan Tabel 9 untuk arah Y. Maksimum drift rata-rata arah X sebesar 2,1 mm dan maksimum drift arah Y sebesar 2,5 mm. Kondisi drift tersebut masih jauh berada dibawah syarat drift batas layan.

Tabel 8. Perhitungan kinerja batas ultimit gedung sistem ganda, tinjau arah X

Lantai	Drift rata-rata arah X (mm)	Pembesaran drift arah X (mm)	Syarat batas ultimit (mm)
0	0,0	0,0	60
1	0,4	2,8	60
2	1,5	10,5	80
3	1,8	12,6	70
4	2,0	14,0	70
5	2,1	14,7	70
6	2,0	14,0	70
7	1,9	13,3	70
8	1,5	10,5	70

0	0,0	0,0	60
1	0,4	2,8	60
2	1,5	10,5	80
3	1,8	12,6	70
4	2,0	14,0	70
5	2,1	14,7	70
6	2,0	14,0	70
7	1,9	13,3	70
8	1,5	10,5	70

Tabel 9. Perhitungan kinerja batas ultimit gedung sistem ganda, tinjau arah Y

Lantai	Drift rata-rata arah Y (mm)	Pembesaran drift arah Y (mm)	Syarat batas ultimit (mm)
0	0,0	0,0	60
1	0,5	3,5	60
2	1,8	12,6	80
3	2,1	14,7	70
4	2,3	16,1	70
5	2,5	17,5	70
6	2,4	16,8	70
7	2,3	16,1	70
8	2,1	14,7	70

4. SIMPULAN, SARAN, DAN REKOMENDASI

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada analisis pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut :

1. Dimensi balok induk yang digunakan sebesar 400 x 600 mm, dengan 3 tipe macam penulangan balok. Untuk balok sekunder digunakan balok dengan dimensi 350 x 500 mm.
2. Dimensi kolom yang digunakan berbeda-beda, terdapat 5 tipe kolom yang digunakan dalam perhitungan struktur sistem ganda.
3. Dinding geser menggunakan tebal 350 mm dengan dua baris.
4. Kinerja batas layan maksimum pada sumbu X sebesar 2,1 mm dan kinerja batas layan arah Y sebesar 2,5 mm. Untuk kinerja batas ultimit maksimum, didapatkan nilai 14,7 mm untuk arah X dan 17,5 mm untuk arah Y.

Saran yang diberikan penulis adalah perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh letak dinding geser terhadap besar kekakuan struktur bangunan.

5. DAFTAR PUSTAKA

BSN. (2013). SNI 1727-2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta.

- BSN. (2013). SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Jakarta.
- Budiono, B. (2011). Konsep SNI Gempa 1726-201X. Seminar HAKI.
- McCormac, C. J. (2004). Desain Beton Bertulang Edisi Kelima Jilid 2. Jakarta: Erlangga.
- Imran, I. (2013). Perancangan Struktur Beton Berdasarkan SNI Beton Terbaru SNI 2847-2013. Kuliah Tamu. Padang.
- Indarto, H., A., H. T., & Adiputra, K. C. (2013). Aplikasi SNI Gempa 1726:2012 for Dummies. Semarang.
- Kusuma, G., & Vis.W.C. (1993). Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang. Jakarta: Erlangga.
- Lumantarna, B. (2000). Pengantar Analisis Dinamis dan Gempa. Surabaya: Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Universitas Kristen PETRA Surabaya.
- Nasution, F., & Teruna, D. R. (2013). Perbandingan Analisis Statik Ekuivalen Dan Analisis Dinamik. 2-3.
- Pawirodikromo, W. (2001). Respon Dinamik Struktur Elastik. Yogyakarta: UII Press.
- Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983. (1981). Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Priastiwi, Y. A. (2005). Studi Komparasi Antara Analisis Statis Dan Dinamis 3d Pada Bangunan Gedung Beraturan Dan Tidak Beraturan .
- Sudarmoko. (1994). Kolom Beton Bertulang. Yogyakarta: Penerbit Biro.
- Susanto, C. S., Ray, N., dan Wibowo, L. S. B., (2018), Perencanaan Struktur Atas Gedung Medic Center Rumah Sakit Mata Undaan Kota Surabaya,” Seminar Nasional Ilmu Terapan (SNITER) 2, Surabaya, pp. A07-1 – A07-04.
- Tavio Usman Wijaya. (2018). Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design) Edisi 2. Surabaya: Penerbit Andi.