

ANALISIS PENGARUH ANALISIS KONSTRUKSI BERTAHAP (CONSTRUCTION SEQUENCE ANALYSIS) TERHADAP EKSENTRISITAS KOLOM BETON BERTULANG

Rofika Ratna Ardiansyah¹⁾, Reni Suryanita²⁾, Zulfikar Djauhari³⁾

Dosen Magister Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12,5 Pekanbaru 28293

Email : reni.suryanita@lecturer.unri.ac.id

Abstract : In reality, a building structure was built floor by floor or gradually, this is going to affect forces in preliminary design (using Direct Loading Method). The most extreme effect in the form of eccentricities in the column structure, there this research is giving depiction on how far eccentricities deviation dan what factor affects column structure eccentricities as the consequence of gradual building. This research utilizes Sequential Loading Method, that is weight loading method by trying to imitate loading while construction execution occurred with loading weight on gradual and sequential structure model. Eccentricities on column structure will extremely decrease if axial weight was added (column with one floor above). This research show eccentricities decrease until 26.39% or decrease as much as 73.61% from Full Model analysis. Bekisting dismantling before structure column and floor weight above done correctly is the main factor for a extensive eccentricities on column structure to happen. So, bekisting dismantling should be planned very well by calculating its structure behavior.

Keywords: building structure, direct loading method, sequential loading method, column structure eccentricities

PENDAHULUAN

Struktur bangunan pada umumnya dianalisis dalam satu langkah dengan menggunakan analisis statis linier dengan asumsi bahwa struktur tersebut mengalami pembebanan sepenuhnya setelah keseluruhan struktur tersebut selesai dibangun. Pada kenyataannya beban mati karena masing-masing komponen struktural dan item *finishing* akan membebani struktur dalam tahap terpisah karena struktur dibangun berdasarkan lantai dengan perilaku material nonlinier (Mythili, KM dan Rahman, MA. 2015).

Menurut Nawy (1990), berdasarkan posisi beban terhadap penampang melintang, kolom dapat diklasifikasikan atas kolom dengan beban sentris dan kolom dengan beban eksentris. Kolom yang mengalami beban sentris berarti tidak mengalami momen lentur. Pada kenyataannya di lapangan, tidak ada struktur dengan beban yang benar-benar sentris karena eksentrisitas dapat dengan mudah terjadi, misalnya karena tidak telitinya kelurusan kolom, adanya ketebalan pelat yang tidak sama pada bentang yang berdekatan, atau karena ketidaksempurnaan cetakan yang dibuat.

Begitu juga dengan kolom struktur bangunan gedung yang dibangun secara bertahap, mulai dari lantai dasar, lantai satu, lantai dua dan seterusnya, akan mengalami beban aksial yang lebih kecil dibandingkan dengan beban aksial yang bekerja pada kolom ketika bangunan telah selesai dilaksanakan keseluruhan tingkatnya (*Full Model*). Pembangunan secara bertahap (pada lantai pertama ke tingkat kedua) juga akan menyebabkan eksentrisitas gaya yang besar pada kolom akibat momen yang bekerja dapat menjadi lebih besar sedangkan beban aksial masih bernilai kecil untuk lantai pertama. Dengan terjadinya eksentrisitas kolom yang besar meskipun beban aksial kecil, dengan berbagai kondisi tahapan pembangunan di lapangan belum tentu menyebabkan struktur kolom lebih aman dibandingkan perencanaan awal dengan metode pembebanan langsung karena kegagalan kolom bisa disebabkan oleh beban aksial maupun oleh momen akibat eksentrisitas beban.

Kegagalan kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, atau bahkan merupakan batas runtuh total keseluruhan struktur bangunan. Pada umumnya kegagalan atau

keruntuhan komponen tekan tidak diawali dengan tanda peringatan yang jelas, bersifat mendadak. Oleh karena itu, dalam merencanakan struktur kolom harus memperhitungkan secara cermat dengan memberikan cadangan kekuatan yang lebih tinggi daripada untuk komponen struktur lainnya. Selanjutnya, karena penggunaan di dalam praktik umumnya kolom tidak hanya bertugas menahan beban aksial vertikal, definisi kolom diperluas dengan mencakup juga tugas menahan kombinasi beban aksial dan momen lentur atau dengan kata lain, kolom harus diperhitungkan untuk menyangga beban aksial tekan dengan eksentrisitas tertentu. (Dipohusodo, 1994)

Berdasarkan fakta tersebut di atas, perencanaan struktur gedung bertingkat harus direncanakan dengan matang karena menyangkut investasi dana yang jumlahnya tidak sedikit. Berbagai hal perlu ditinjau yang meliputi beberapa kriteria, yaitu 3S: *strength*, *stiffness*, dan *serviceability*. Maka, perlu diadakan suatu analisis tentang pengaruh eksentrisitas kolom struktur gedung akibat pelaksanaannya di lapangan dengan berbagai kondisi dan tahapan terhadap perencanaan pembebanan langsung.

Untuk rumusan masalah penelitian ini diuraikan sebagai berikut :

1. Bagaimana hubungan beban aksial terhadap pengurangan jarak eksentrisitas akibat pelaksanaan struktur bangunan gedung dengan berbagai kondisi dan tahapan pada kolom?
2. Bagaimana pengaruh deviasi eksentrisitas kolom akibat pelaksanaan struktur bangunan gedung dengan berbagai kondisi dan tahapan terhadap desain struktur *Full Model* dengan metode pembebanan langsung?
3. Kapan dan apa penyebab terjadinya kondisi eksentrisitas paling besar dan momen paling ekstrim (momen puncak) pada struktur kolom?

TINJAUAN PUSTAKA

B.1.Kolom

Kolom merupakan batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi. Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan collapse (runtuhnya) lantai yang bersangkutan

dan juga runtuh total (*ultimate total collapse*) seluruh strukturnya. (Nawy, 1990).

Berdasarkan posisi beban terhadap penampang melintang, kolom dapat diklasifikasikan atas kolom dengan beban sentris dan kolom dengan beban eksentris.

a. Kolom Beban Sentris

Kolom yang mengalami beban sentris berarti tidak mengalami momen lentur atau hanya mengalami gaya aksial saja. Kenyataannya hampir tidak ada kolom yang dibebani secara aksial sempurna karena disebabkan oleh hal-hal tidak terduga, seperti tidak tepatnya pembuatan acuan beton dan sebagainya. (Nawy, 1990)

b. Kolom Beban Eksentris

Kolom beban eksentris adalah kolom yang mengalami gaya aksial dan momen lentur. Beban aksial bekerja dalam arah sejajar sumbu memanjang. Apabila beban aksial berimpit dengan sumbu memanjang kolom, berarti tanpa eksentrisitas, perhitungan teoritis menghasilkan tegangan tekan merata pada permukaan penampang lintangnya dapat disebut kolom dengan beban aksial tekan eksentrisitas kecil. Sedangkan untuk kondisi kolom dengan beban aksial (P) tekan eksentrisitas besar, gaya aksial bekerja di suatu tempat berjarak (e) tertentu terhadap sumbu memanjang, kolom akan cenderung melentur seiring dengan timbulnya momen ($M = (P)(e)$). Sehingga tegangan tekan yang terjadi tidak merata pada seluruh permukaan penampang tetapi akan timbul lebih besar pada satu sisi terhadap sisi lainnya. (Dipohusodo, 1994)

B.2.Pembebanan Struktur

Suatu konstruksi bangunan gedung juga harus direncanakan kekuatannya terhadap suatu pembebanan. Adapun jenis pembebanannya antara lain:

a. Beban Mati

Beban mati merupakan semua berat sendiri gedung dan segala unsur tambahan yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut. Sesuai SNI 1727:2013, yang termasuk beban mati adalah seperti dinding, lantai, atap, plafon, tangga dan *finishing*.

b. Beban Hidup

Beban hidup merupakan semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, termasuk beban-beban pada

lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah.

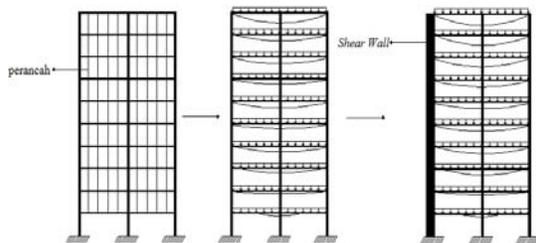
B.3. Metode Pembebanan Struktur

Metode pembebanan struktur terbagi atas:

a. Metode Pembebanan Langsung

Metode pembebanan langsung juga disebut dengan analisis secara konvensional yaitu dalam analisis konvensional beban diterapkan hanya setelah pemodelan keseluruhan struktur (Das, GG dan I, Praseeda K., 2016)

Metode pembebanan langsung adalah metode pemberian beban pada struktur beton bangunan tingkat tinggi dimana pembebanan seolah-olah diterima sekaligus oleh bangunan tersebut setelah proses pembangunan selesai dan beban diberikan seluruhnya dari lantai satu sampai lantai teratas. Pembebanan langsung membutuhkan waktu yang paling singkat dari metode pembebanan lainnya karena pembebanan hanya dilakukan pada satu tahap, kemudiannya hasil pembebanan akan langsung dapat diketahui untuk semua lantai. Untuk bangunan bertingkat tinggi, metode pembebanan langsung dapat menyebabkan akumulasi perbedaan perpindahan elastis kolom yang cukup besar dan dapat mengakibatkan terjadinya tambahan tegangan yang cukup besar pada balok-balok yang menghubungkan kolom-kolom tersebut.



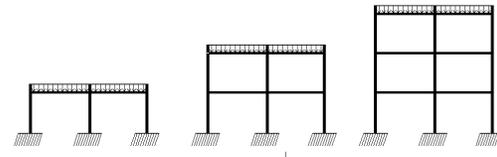
Gambar 1. Pemodelan Metode Pembebanan Langsung

Sumber: (Thiopelus dan Gowinda, 1998)

b. Metode Pembebanan Bertahap (*Sequential Loading*)

Metode *sequential loading* adalah metode pemberian beban dengan berusaha meniru pembebanan pada saat proses pelaksanaan konstruksi berlangsung dengan melakukan pembebanan pada model struktur secara

bertahap dan berurutan. Metode *sequential loading* memodelkan beban secara bertahap tiap lantai, kemudian berurutan naik ke lantai berikutnya dan mengganggap tidak ada beban lagi pada lantai sebelumnya. Dengan metode *sequential loading* seperti ini maka perpindahan kolom yang terjadi pada lantai yang bawah tidak terakumulasi pada kolom yang di atasnya (Thiopelus dan Gowinda, 1998).



Gambar 2. Pemodelan Metode *Sequential Loading*

Sumber: (Thiopelus dan Gowinda, 1998)

Dengan kata lain, metode analisis sekuensial (*Sequential Loading*) melibatkan beberapa langkah penting yang umumnya tidak dilakukan pada metode statis linier analisis (Dinar, Y., Rasel, MM., Chowdhury, MJA., dan Ashraf, MA., 2014). Dalam prosedur analisis menggunakan Metode *Sequential Loading*, mengelompokkan komponen masing-masing lantai untuk mensimulasikan prosedur analisis yang lebih realistis di lapangan (Dubey, N., Sonparote, RS, dan Kumar, R., 2015).

METODOLOGI PENELITIAN

C.1. Dasar-dasar Perencanaan

Dalam merencanakan suatu bangunan gedung, harus berpedoman dengan peraturan-peraturan yang telah ditetapkan dan berlaku di Indonesia. Peraturan tersebut yang dapat digunakan antara lain:

1. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung Tahun 1983.
2. Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPPURG) Tahun 1987.
3. Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002).
4. Persyaratan Beton Struktural Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013).
5. Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013).

C.2. Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur dalam penelitian ini terdiri dari:

a. Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut (PPPURG, 1987).

Adapun beban mati yang digunakan adalah sebagai berikut:

Berat jenis beton (f_c') = 2.400 Kg/m³

Berat jenis baja (f_y) = 7.850 Kg/m³

Spesi lantai keramik (t) = 2 cm = 42 Kg/m³

Penutup lantai keramik = 24 Kg/m³

Plafond dan penggantung = 18 Kg/m³

Mechanical dan Electrical = 20 Kg/m³

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah dan termasuk beban akibat air hujan pada atap (PPPURG, 1987). Adapun beban mati yang digunakan adalah sebagai berikut:

Beban hidup lantai = 250 Kg/m³

Beban hidup atap = 100 Kg/m³

C.3. Cara Analisis

Pengumpulan data dilakukan dengan metode dengan uraian sebagai berikut.

1. Pengambilan Data Parameter Struktur

Parameter struktur yang digunakan seperti bentuk portal (4x1), jumlah lantai/tingkat adalah 10, panjang bentang adalah 6 m.



Gambar 3. Contoh Permodelan Struktur

2. Metode Pembebanan Struktur

a. Metode Pembebanan Langsung

Pembebanan hanya dilakukan satu tahap, pembebanan diterima sekaligus dan beban diberikan seluruhnya.

b. Metode Pembebanan Bertahap (*Sequential Loading*)

Pembebanan dilaksanakan mengikuti sebagaimana pembebanan pada proses pelaksanaan konstruksi yang berlangsung dilakukan yaitu secara bertahap dan berurutan.

3. Pembebanan

Pembebanan diasumsikan bahwa struktur dibangun secara bertahap, tingkat demi tingkat hingga mencapai 10 lantai, tetapi struktur tersebut belum dapat digunakan karena baru dibebani oleh berat sendiri struktur (*BS*) saja, tanpa beban mati lainnya seperti berat dinding, berat lantai, berat plafon, dsb.



Gambar 4. Contoh Struktur di Lapangan

4. Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan adalah pengolahan data yang dihasilkan atau output dari *Structure Analysis Program (SAP)* 2000 versi 14. *Output* dari penelitian ini menghasilkan nilai beban aksial (P) dan momen (M), nilai eksentrisitas (e) akan dihasilkan melalui persamaan (M) = (P) (e).

HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1. Hasil Analisis Eksentrisitas Kolom

Korelasi penambahan beban aksial dengan besarnya eksentrisitas kolom dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan Penambahan Jumlah Lantai (Beban Aksial) terhadap Eksentrisitas Kolom

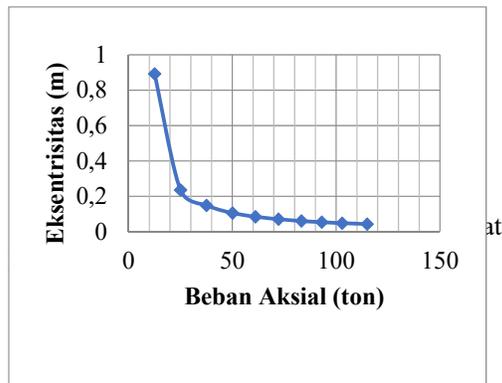
Jumlah Lantai	Eksentrisitas (m)	Aksial (ton)
1	0,892	12,515
2	0,235	25,030
3	0,148	37,544
4	0,105	50,056
5	0,084	61,126
6	0,070	72,193
7	0,060	83,257
8	0,053	93,071
9	0,048	102,880
10	0,043	114,901

Tabel 2. Hasil Analisis Ratio Pengurangan Eksentrisitas Kolom

Jumlah Lantai	Eksentrisitas (m)	Aksial (ton)	Ratio Pengurangan Eksentrisitas Kolom terhadap Lantai 1
1	0,892	12,515	100,00%
2	0,235	25,030	26,39%
3	0,148	37,544	16,63%
4	0,105	50,056	11,80%
5	0,084	61,126	9,44%
6	0,070	72,193	7,86%
7	0,060	83,257	6,73%
8	0,053	93,071	5,97%
9	0,048	102,880	5,36%
10	0,043	114,901	4,77%

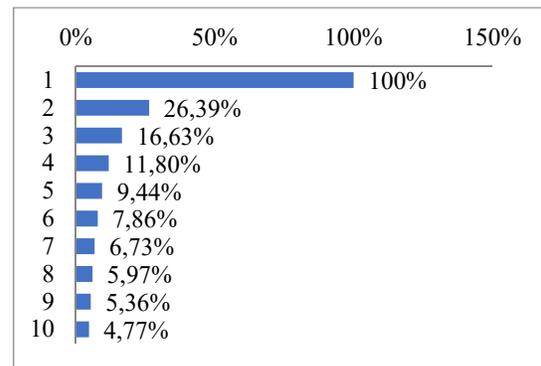
D.2. Hubungan Besarnya Nilai Eksentrisitas dengan Beban Aksial Kolom

Grafik hubungan besarnya nilai eksentrisitas dengan penambahan beban aksial dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Hubungan Nilai e dengan Penambahan Beban Aksial (P)

Ratio pengurangan eksentrisitas kolom pada Kondisi I ini terlihat jelas pada diagram batang yang terdapat pada Gambar 6 berikut.



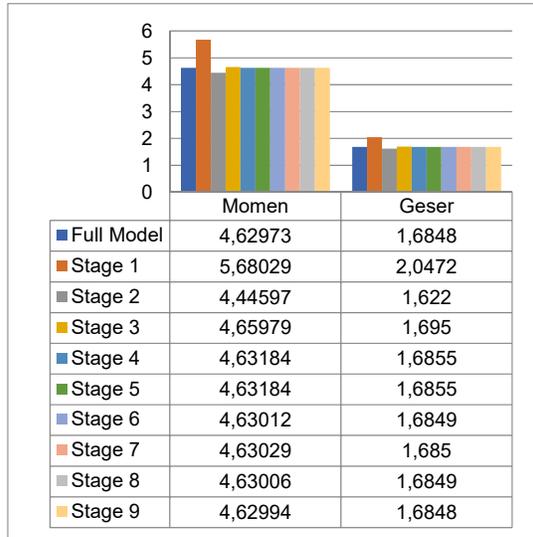
Gambar 6. Diagram Batang Ratio Pengurangan Eksentrisitas Kolom

D.3. Hasil Analisis Ratio Pengurangan Eksentrisitas Kolom

Ratio pengurangan eksentrisitas kolom adalah besarnya eksentrisitas kolom yang terjadi dibandingkan dengan besarnya eksentrisitas kolom dari struktur Lantai 1. Ratio

D.4. Hasil Analisis Gaya Momen dan Geser Kolom

Hasil analisis momen dan gaya geser pada kolom dapat dilihat pada Gambar 7 dan Tabel 4.7.



Gambar 7. Hasil Analisis Momen dan Geser Kolom untuk Kondisi I

Hasil analisis momen dan geser kolom ini dapat dilihat lebih rinci pada diagram Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Analisis dan Ratio Momen dan Geser Kolom untuk Kondisi

Jumlah Lantai	Momen (ton m ²)	Geser (ton m)	Ratio Momen terhadap Full Model	Ratio Gaya Geser terhadap Full Model
1	5.680	2.047	122.69%	121.51%
2	4.446	1.622	96.03%	96.27%
3	4.660	1.695	100.65%	100.61%
4	4.624	1.683	99.88%	99.89%
5	4.632	1.686	100.05%	100.04%
6	4.630	1.685	100.01%	100.01%
7	4.630	1.685	100.01%	100.01%
8	4.630	1.685	100.01%	100.01%
9	4.630	1.685	100.00%	100.00%
10	4.630	1.685	100.00%	100.00%

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Nilai eksentrisitas (e) semakin berkurang seiring dengan bertambahnya beban aksial (P).
2. Dengan adanya penambahan beban aksial pada lantai berikutnya yang disertai penambahan elemen struktur kolom lantai berikutnya menyebabkan elemen struktur

yang semula terdiri dari 2 elemen yaitu kolom lantai 1 dan balok lantai berikutnya berubah menjadi 3 elemen struktur pada titik kumpul tersebut, yaitu kolom lantai 1, balok lantai 1 dan kolom lantai berikutnya. Penambahan kolom lantai berikutnya mengakibatkan momen yang ada pada puncak kolom lantai 1 menjadi sangat kecil karena terdistribusi juga ke kolom lantai berikutnya. Dengan demikian berpengaruh langsung terhadap eksentrisitas di titik kumpul tersebut juga menjadi sangat kecil karena disebabkan eksentrisitas (e) merupakan hasil bagi Momen (M) terhadap beban aksial (P).

3. Kondisi eksentrisitas dan momen yang paling besar (momen ekstrim/momen puncak) yang terjadi pada kolom lantai satu adalah pada saat setelah selesainya pelaksanaan pekerjaan balok dan pelat lantai dua, yang bekerja pada puncak kolom lantai satu. Hal ini menyebabkan terjadinya kondisi kolom lantai satu paling rawan terhadap eksentrisitas. Kondisi ini terjadi karena belum dilaksanakannya kolom lantai dua dan balok/pelat lantai tiga di atasnya. Begitu juga kolom lantai dua dan berikutnya akan mengalami eksentrisitas dan momen yang paling besar pada saat selesai dilaksanakan pekerjaan balok dan pelat yang bekerja di puncak kolom tersebut.

SARAN

Saran yang dapat disampaikan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur akibat eksentrisitas dan momen puncak, maka pembongkaran perancah (*bekisting*) balok lantai dan pelat lantai dua hendaknya dilakukan setelah pegecoran dan umur beton balok dan pelat lantai tiga sudah cukup kuat untuk menahan beban sendiri atau umur beton sudah mencapai 70% atau lebih.
2. Begitu juga halnya dengan pebongkaran perancah lantai dua dan lantai berikutnya, hendaknya dilakukan setelah umur beton balok dan pelat lantai tiga dan berikutnya sudah cukup kuat untuk memikul beban sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-2002, Jakarta.
- , 2013, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847:2013, Jakarta.
- , 2013, *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, SNI 1727:2013, Jakarta.
- Das, Geethu Girija., and K I, Praseeda., 2016, *Comparison of Conventional and Construction Stage Analysis of A RCC Building*, International Journal Of Science Technology & Engineering, Volume 3, Departement of Civil Engineering, FISAT, Kerala, India.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987, *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPPURG)*, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Dinar, Yousuf., Rasel, Munshi Md., Chowdury, Muhammad Junaid Absar., and Ashraf, Md. Abu., 2014, *Chronological Construction Sequence Effects on Reinforced Concrete and Steel Buildings*, The International Journal of Engineering and Science (IJES), Volume 3, Bangladesh.
- Dipohusodo, Istimawan., 1994, *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983, *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983*, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Dubey, Nishant., Sonparote, Ranjan S., Kumar, and Ratnesh., 2015, *Effect of Construction Sequence Analysis on Seismic Performance of Tall Buildings*, Journal of Civil Engineering and Environmental Technology, Volume 2, Number 11; April-June 2015, Department of Applied Mechanics, Visvesvaraya National Institute of Technology, Nagpur.
- Gowinda, Yopie., dan Thiopelus, Gunawan., 1998, *Metode Modified Sequential Untuk Analisis Struktur Akibat Beban Gravitasi Pada Bangunan Tinggi*, Tugas Akhir, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Mythili, K., and Rahman, Mohammed Abdul., 2015, *Construction Sequence Analysis of A Building with Vertical Discontinuity*, *Global Journal of Engineering Science and Researches*, 2(10): October 2015, Departement of Civil Engineering, Aurora's Scientific Technological and Research Academy, Hyderabad, India.
- Nawy, E. G., 1990, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Eresco, Bandung.