

ANALISIS DAMPAK PERUBAHAN STRUKTUR SHEARWALL PADA BANGUNAN GARDU INDUK TINJAUAN TERHADAP PERATURAN GEMPA SNI 03-1726-2012

oleh :

Reza Ismail

PT. Pelabuhan Tanjung Priok

Email : zhafira.azahra44@gmail.com

Abstrak : Gardu induk yang terpasang di Tanjung Priok adalah *GIS (Gas Insulated Switchgear 150 KV*. Semua komponen *GIS* berada di dalam bangunan, sehingga total beban yang diterima bangunan gardu induk *GIS* sangat besar. Struktur *shear wall* digunakan sebagai salah satu sistem struktur pada bangunan gardu induk ini. Pada tahap pelaksanaan konstruksi, struktur *shear wall* di basement yang seharusnya tertutup penuh berukuran 3,0 m x 2,9 m, terdapat *opening* (bukaan) dengan ukuran 1,5 m x 2,9 m yang dibuat untuk jalur kabel pekerjaan elektrikal. Adapun Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak dari perubahan struktur *shear wall* pada bangunan gardu induk ditinjau dari peraturan SNI 03 1726 2012 dan pengaruhnya terhadap rasio luas tulangan kolom yang berada disekitar *shear wall*. Setelah melakukan analisis terhadap perubahan struktur *shear wall* menggunakan bantuan *software ETABS V.13.0*. maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: nilai perioda fundamental struktur arah x naik sebesar 0,001 detik, peningkatan nilai simpangan antar tingkat lantai belum melebihi dari persyaratan dalam peraturan SNI 03 1726 2012, dan rasio luas tulangan tulangan longitudinal maupun tulangan geser pada kolom terpasang melebihi dari rasio luas tulangan yang dibutuhkan.

Kata kunci : Perubahan Struktur Shear wall, SNI 03-1726-2012

Abstract : *The substation installed in Tanjung Priok is GIS (Gas Insulated Switchgear) 150 KV. All GIS components are in the building, so the total load received by GIS substation building is very large Shear wall structure is used as one of the structural system in this substation building In the construction phase, the shear wall structure in the basement that should be fully enclosed is 3.0 mx 2.9 m in size, there is an opening with a size of 1.5 mx 2.9 m which is made for the electrical work cable path. The purpose of this research is to know the impact of the change of shear wall structure on the substation building in terms of SNI 03 1726 2012 and its effect on the ratio of the area of the column reinforcement around the shear wall. After analyzing the change of shear wall structure using ETABS V.13.0 software. It can be concluded as follows: the fundamental period of the x direction rises by 0.001 seconds, drift between floor level has not exceeded the requirements in the regulation of SNI 03 1726 2012, and the ratio of the area of the longitudinal reinforcement bar and the shear reinforcement in the installed column exceeds the required reinforcement ratios.*

Keywords : *Shear wall Structure Changes, SNI 03-1726-2012*

Pendahuluan

Gaya akibat gempa adalah salah satu gaya lateral yang terjadi pada suatu bangunan yang menyebabkan gedung mengalami simpangan lateral (*drift*). Cara yang dapat dilakukan agar suatu struktur bangunan dapat menahan gaya lateral, salah satunya

adalah dengan menggunakan struktur *shear wall*. Gardu induk yang terpasang di Tanjung Priok adalah *GIS (Gas Insulated Switchgear 150 KV*. Semua komponen *GIS* berada di dalam bangunan, sehingga total beban yang diterima bangunan gardu induk *GIS* sangat besar. Struktur *shear wall* digunakan yang digunakan sebagai salah satu sistem

struktur bangunan gardu induk, pada tahap pelaksanaan konstruksi, struktur *shear wall* di basement yang seharusnya tertutup penuh berukuran 3,0 m x 2,9 m, dibuat *opening* (bukaan) dengan ukuran 1,5 m x 2,9 m untuk jalur kabel pekerjaan elektrik.

Identifikasi Masalah

1. Apakah *shear wall* beton yang terdapat bukaan (*opening*) tersebut masih bisa berfungsi sebagai *shear wall*?
2. Apakah pembuatan *opening*/ bukaan pada struktur *shear wall*, telah dianalisis untuk perubahannya?
3. Apakah penutupan kembali *opening*/bukaan (dengan dicor kembali) struktur *shear wall* tersebut bisa mengembalikan fungsi dari *shear wall* sesuai perencanaan awal?
4. Bagian apa saja dari struktur bangunan gardu induk yang paling terkena dampak dari perubahan struktur *shear wall* tersebut?
5. Bagaimana dengan kekakuan struktur bangunan gardu induk tersebut?
6. Berapa besar perubahan dari rasio luas tulangan untuk struktur kolom dan balok yang berdekatan dengan struktur *shear wall* yang mengalami perubahan?

Rumusan Masalah

1. Apa pengaruh dari perubahan struktur *shear wall* terhadap analisis respons spektrum yang ditinjau berdasarkan perioda fundamental struktur, kontrol partisipasi massa, geser dasar seismik dan simpangan antar lantai?
2. Berapa besar perubahan dari rasio luas tulangan untuk struktur kolom yang berdekatan dengan struktur *shear wall* yang mengalami perubahan?

Batasan Masalah

1. Struktur bangunan merupakan struktur beton bertulang.
2. Tidak menganalisa *Beam Sway Mechanism* yaitu struktur yang didesain menurut *Strong Column and Weak Beam*.
3. Tidak melakukan studi menganalisis struktur tanah dan struktur pondasi.
4. Pengaruh tekanan tanah aktif diabaikan.
5. *Shear wall* diberikan suatu komponen batas (*boundary element*) yang diberi tulangan.
6. Menggunakan analisis dengan respons spektrum gempa.
7. Peraturan Gempa yang ditinjau adalah peraturan SNI 03 1726 2012, Struktur Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung.
8. Peraturan Beton yang digunakan adalah peraturan SNI 03 2847 2013, Tata cara perhitungan beton untuk bangunan gedung.
9. Peraturan Pembebanan yang digunakan adalah peraturan SNI 03 1727 2013, beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain.
10. Analisis struktur ditinjau dalam 3 dimensi menggunakan bantuan software ETABS V.13.0.0
11. Seluruh perletakan diasumsikan menggunakan perletakan jepit.
12. Sistem struktur adalah sistem ganda yang merupakan gabungan dari sistem pemikul beban lateral berupa *shear wall* atau rangka bresing dengan sistem rangka pemikul momen
13. Wilayah gempa berada di Tanjung Priok Jakarta Utara dengan kondisi tanah yang lunak.
14. Peruntukan bangunan adalah sebagai bangunan gardu induk yang berfungsi sebagai penyuplai daya listrik.

Maksud dan Tujuan

1. Untuk mengetahui dampak dari perubahan struktur *shear wall* pada bangunan gardu induk ditinjau terhadap peraturan SNI 03 1726 2012.
2. Untuk mengetahui pengaruh dari perubahan struktur *shear wall* terhadap analisa respons spektrum ditinjau berdasarkan perioda fundamental struktur, kontrol partisipasi massa, geser dasar seismik dan simpangan antar lantai.
3. Untuk mengetahui pengaruh terhadap rasio luas tulangan kolom yang berada disekitar *shear wall* yang mengalami perubahan.
4. Untuk mendapatkan solusi yang tepat dalam memperbaiki struktur *shear wall* yang terdapat bukaan, apabila struktur *shear wall* tersebut dinyatakan tidak aman

Hipotesis

1. Perubahan struktur mengakibatkan kekakuan semakin kecil sehingga nilai perioda fundamental struktur dan geser dasar seismik akan mengalami kenaikan.
2. Nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu tidak boleh kurang dari 85% nilai respons ragam pertama.
3. Perhitungan respons dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus sekurang - kurangnya 90 %.
4. Akibat dari perubahan struktur *shear wall*, nilai simpangan antar lantai (Δ_a) tidak melebihi 0,015 kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau $\Delta_a < \frac{0,015 h_{sx}}{\rho}$
5. Akibat perubahan struktur *shear wall*, luas tulangan longitudinal dan luas tulangan geser struktur kolom yang berada disekitar *shear wall* akan berubah.

Shear wall

Shear wall adalah elemen struktur berbentuk dinding beton bertulang yang berfungsi untuk menahan gaya geser, gaya lateral akibat gempa bumi atau gaya lainnya pada gedung bertingkat dan bangunan tinggi. Dinding geser ini terdapat berbagai jenis di dalam gedung antara lain:

1. Bearing wall

Bearing wall adalah jenis *shear wall* atau dinding geser yang mempunyai fungsi lain sebagai penahan beban gravitasi.

2. Frame wall

Frame wall adalah *shear wall* atau dinding geser yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral, geser dan pengaku pada sisi luar bangunan. Dinding ini terletak di antara dua kolom struktur.

3. Core wall

Core wall adalah jenis *shear wall* atau dinding geser yang terletak di pusat-pusat massa bangunan yang berfungsi sebagai pengaku bangunan gedung. Biasanya *core wall* diletakkan pada lubang lift.

Letak *shear wall* pada bangunan gedung sangat tergantung dari beberapa faktor antara lain tingkat simetrisitas bangunan, tinggi bangunan, dan asumsi dari perencana. Penentuan lokasi dan perhitungan *shear wall* tentu dilakukan oleh perencana struktur dengan dasar - dasar perencanaan yang kuat.

Shear wall diharapkan mampu menahan segala beban seperti beban gravitasi, lateral, dan sebagainya. Sedangkan fungsi *shear wall* sebagai pengaku adalah menahan goyangan - goyangan yang terjadi pada bangunan akibat gempa bumi sehingga semua elemen struktur mempunyai tingkat kekakuan yang sama. Jika ada salah satu elemen struktur yang tidak kaku maka akan terjadi tingkat kerusakan pada seluruh bangunan.

Analisis Gempa Respons Spektra

Analisis beban gempa dinamik respons spektra ditentukan oleh percepatan gempa rencana dan massa total struktur. Dalam analisis struktur terhadap beban gempa, massa bangunan sangat menentukan besarnya gaya inersia akibat gempa. Maka massa tambahan yang diinput pada ETABS meliputi massa akibat beban mati tambahan dan beban hidup yang direduksi dengan faktor reduksi beban sesuai dengan fungsi gedung. Massa akibat berat sendiri (*self weight*) elemen struktur sudah dihitung secara otomatis oleh program.

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 6.3, respons spektra desain harus ditentukan dan dibuat terlebih dahulu berdasarkan data – data yang ada sebagai berikut:

1. Tentukan kategori resiko bangunan gedung, (I-IV)
2. Tentukan faktor keutamaan
3. Tentukan parameter percepatan tanah (s_s, s_1)
4. Tentukan klasifikasi situs (SA-SF)
5. Tentukan faktor koefisien situs (F_a, F_v)
6. Hitung parameter percepatan desain (SDS, SD1)
7. Tentukan kategori desain seismic, KDS (A-F)
8. Pilih sistem dan parameter struktur (R, C_d, Ω)

Simpangan antar lantai dan deformasi struktur

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 7.8.6, simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja, yaitu kinerja batas ultimit. Penentuan simpangan antar-lantai desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau.

Apabila pusat massa tidak terletak sejajar dengan garis dalam arah vertikal, maka diizinkan untuk menghitung defleksi pada

dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat atasnya.

Bagi struktur dirancang untuk kategori desain seismic C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1a atau 1b, simpangan antar-lantai desain (Δ) harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal di sepanjang salah satu bagian tepi struktur.

Defleksi pusat massa di tingkat x dalam mm harus dihitung berdasarkan persamaan berikut:

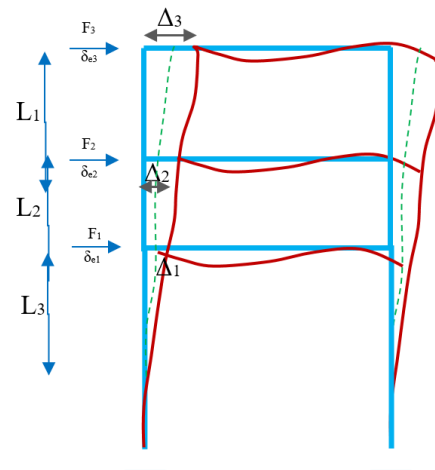
$$\delta_x = C_d \delta_{xe} / I_e$$

di mana :

C_d = faktor pembesaran defleksi.

δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang disyaratkan dan ditentukan sesuai dengan analisis elastis.

I_e = faktor keutamaan berdasarkan kategori resiko.



Gambar 1. Ilustrasi simpangan antar lantai

Keterangan:

Tingkat 3

F_3 = Gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e3} = Perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan.

$$\delta_3 = C_d \cdot \delta_{e3} / I_E$$

$$\Delta_3 = (\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / I_E < \Delta_a$$

Tingkat 2

F_2 = Gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e2} = Perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan.

$\delta_2 = C_d \cdot \delta_{e2} / I_E =$ perpindahan yang diperbesar

$$\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I_E < \Delta_a$$

Tingkat 1

F_2 = Gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e1} = Perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan.

$\delta_1 = C_d \cdot \delta_{e1} / I_E =$ perpindahan yang diperbesar

$$\Delta_1 = \delta_{e1} < \Delta_a$$

Δ_1 = Simpangan antar lantai

$\Delta_1/L_1 =$ Rasio simpangan antar lantai

$\delta_3 =$ Perpindahan total

Analisis spektrum respons ragam Jumlah ragam

Berdasarkan SNI 03 1726 2012 pasal 7.9.1, analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing – masing arah horizontal orthogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

Parameter respons ragam

Nilai untuk masing – masing parameter desain terkait gaya yang ditinjau, termasuk

simpangan antar lantai tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing – masing ragam respons harus dihitung menggunakan properti masing – masing ragam dan spektrum respons desain dibagi dengan kuantitas (R/I_e). Nilai untuk perpindahan dan kuantitas simpangan antar lantai harus dikalikan dengan kuantitas (C_d/I_e).

Parameter respons terkombinasi

Nilai untuk masing – masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, harus dikombinasikan dengan menggunakan metoda akar kuadrat jumlah kuadrat (SRSS) atau metoda kombinasi kuadrat lengkap (CQC), sesuai dengan SNI 03 1726 2012. Metoda CQC harus digunakan untuk masing – masing nilai ragam dimana ragam berjarak dekat mempunyai korelasi silang yang signifikan di antara respons translasi dan torsi. Untuk nilai periode getar struktur ada yang berjarak melebihi 15%, maka masing – masing nilai ragam harus dikombinasikan menggunakan metoda akar kuadrat SRSS sesuai dengan persyaratan SNI Gempa 03 – 1726 – 2012 Pasal 7.9.3.

Gaya Geser Dasar Seismik

Geser dasar harus di hitung dalam masing – masing dua arah horizontal orthogonal menggunakan perioda fundamental struktur yang dihitung T dalam masing – masing arah. Pada SNI 03 1726 2013 Pasal 7.9.4.1 disebutkan bahwa nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana suatu arah tertentu tidak boleh kurang dari 85 persen nilai respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal, V_1 . Geser tingkat desain gempa (V_c) harus didistribusikan pada berbagai elemen

vertikal sistem penahan gaya gempa ditingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen penahan vertikal dan diafragma.

Skala Gaya

Bila perioda fundamental yang dihitung melebihi $C_u T_a$, maka $C_u T_a$ harus digunakan sebagai pengganti dari T dalam arah itu. Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_c) lebih kecil dari geser dasar yang dihitung (V_1) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen maka gaya harus dikalikan dengan $0,85 \frac{V_c}{V_1}$.

Batasan Simpangan Antar lantai Tingkat

Simpangan antar lantai tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a).

Tabel 1. simpangan antar lantai ijin (Δ_a)

Struktur	Kategori Resiko		
	I dan II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser bata bata 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit – langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025 <i>hsx^c</i>	0,020 <i>hsx</i>	0,015 <i>hsx</i>

h_{sx} : tinggi tingkat dibawah tingkat x

Berdasarkan SNI 03 1726 2012 pasal 7.12.1.1 untuk penahan sistem gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang dirancang untuk kategori desain seismic D, E, atau F, simpangan antar

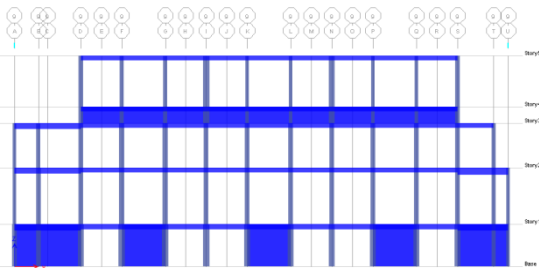
lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi Δ_a / ρ untuk semua tingkat. Dimana ρ adalah faktor redudansi sesuai dengan pasal 7.3.4.2 SNI 03 1726 2012.

Metodologi Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode analisis perancangan yang difokuskan untuk mengetahui perubahan nilai perioda fundamental struktur (T), nilai geser dasar seismik (V) dan nilai simpangan antar lantai (Δ) sebelum perubahan *shear wall* dan setelah perubahan *shear wall*. Analisis pemodelan berdasarkan pada peraturan SNI 03 1726 2012, tentang Struktur Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung dan peraturan SNI 03 2847 2013 tentang tata cara perhitungan beton untuk bangunan gedung. Metode penelitian ini dapat dibagi dalam tiga tahap yaitu *input*, *analysis* dan *output*. Yang termasuk dalam tahap *input* antara lain penentuan geometri struktur, penentuan jenis beban dan pemodelan struktur 3 dimensi. Untuk tahap analisis menggunakan analisis struktur 3 dimensi dengan *software* ETABS v13.0.0. Sedangkan analisis terhadap beban gempa menggunakan analisis dinamik respons spektrum. Tahap yang terakhir yaitu tahap *output* yang didalamnya membahas perubahan perioda fundamental struktur, geser dasar seismik, simpangan antar lantai (*story drift*) dan rasio luas tulangan kolom yang berdekatan dengan struktur *shear wall* yang mengalami perubahan. Parameter – parameter analisis respons spektrum diambil pada bangunan gardu induk sebelum dan sesudah perubahan sturktur *shear wall*.

Model Struktur Sebelum Perubahan Struktur *Shear Wall*

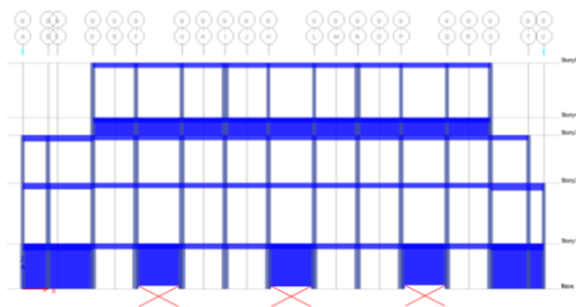
Model gedung yang akan dianalisis berupa bangunan dengan struktur beton bertulang yang berbentuk segi empat dengan total lima lantai (empat lantai untuk bangunan dan satu lantai atap). Ukuran denah 42 m x 38 m. dan Ketinggian bervariasi untuk masing – masing lantai. Fungsi bangunan merupakan bangunan gardu yang digunakan sebagai pensuplai daya listrik dari PLN.



Gambar 2. Struktur *Shear wall* sebelum perubahan

Model Struktur Sesudah Perubahan Struktur *Shear Wall*

Struktur dengan pemasangan *shear wall* yang akan dianalisis memiliki ukuran yang sama dengan bukaan pada struktur setelah perubahan struktur *shear wall*.



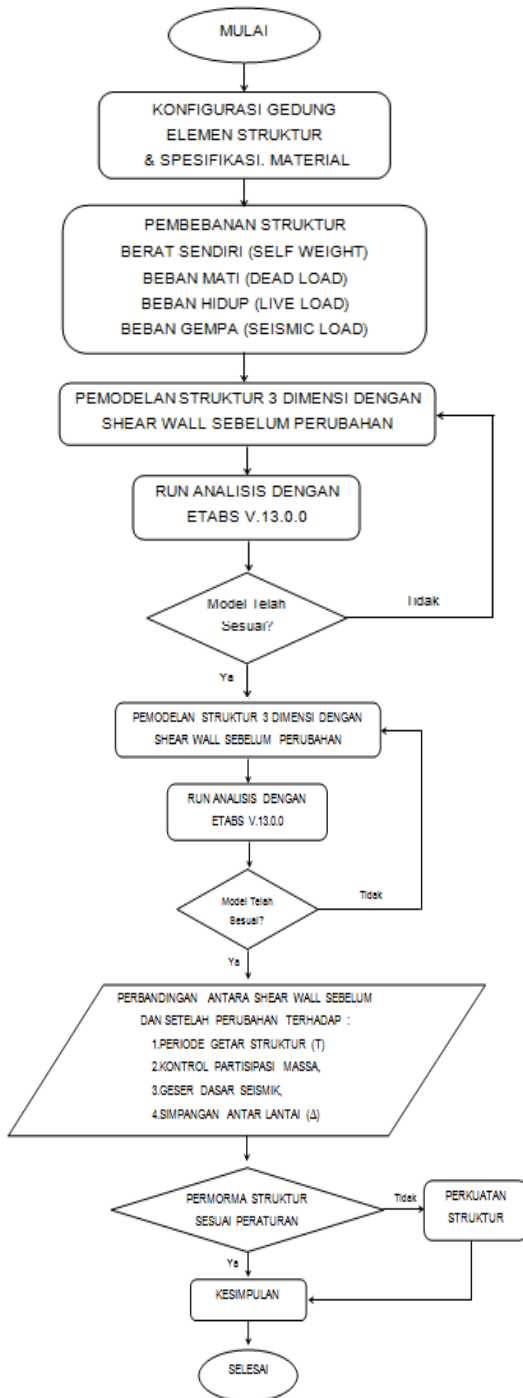
Gambar 3. Struktur *Shear wall* setelah perubahan

Tahapan Penyusunan

Untuk mewujudkan uraian diatas maka langkah analisis yang hendak dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menentukan denah, geometri struktur, dan dimensi struktur.
2. Menentukan konfigurasi gedung, data elemen struktur dan spesifikasi material.
3. Menghitung, dan menentukan jenis beban antara lain beban mati, beban hidup dan beban gempa.
4. Membuat pemodelan struktur sebelum perubahan struktur *shear wall* dengan bantuan software ETABS v13.0.0
5. Membuat pemodelan struktur setelah perubahan struktur *shear wall* dengan bantuan software ETABS v13.0.0
6. Melakukan perbandingan terhadap hasil pemodelan sebelum dan setelah perubahan struktur *shear wall*. Perbandingan dilakukan terhadap perioda fundamental struktur, geser dasar seismik, simpangan antar lantai, dan rasio luas tulangan pada daerah sekitar *shear wall* yang mengalami perubahan.
7. Hasil perbandingan tersebut dianalisis apakah berbeda atau sesuai dengan hipotesa yang dibuat.
8. Menentukan jenis perkuatan yang akan digunakan apabila dari hasil analisa struktur bangunan gardu induk dinyatakan tidak aman.
9. Mengambil kesimpulan berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, tahapan penelitian selengkapnya dapat dilihat pada diagram alir.

Diagram Alir Penelitian (Flow Chart)



Gambar 4. Diagram Alir

Analisis dan Pembahasan Data Gempa

- Tanah Dasar : Tanah Lunak
- Fungsi : Pembangkit listrik
- Tebal Plat Basemen : 300 mm
- Tebal Plat Atap : 100 mm

Tinggi antar lantai : 3,5 m – 4,7 m
 Berdasarkan SNI 03 1726 2012. Pada pasal 4.1.2 faktor keutamaan dan kategori resiko struktur bangunan yaitu:

- Kategori Resiko Bangunan : III
- Faktor Keutamaan Gempa (I_e) : 1,25

Parameter Percepatan tanah (S_s dan S_1)

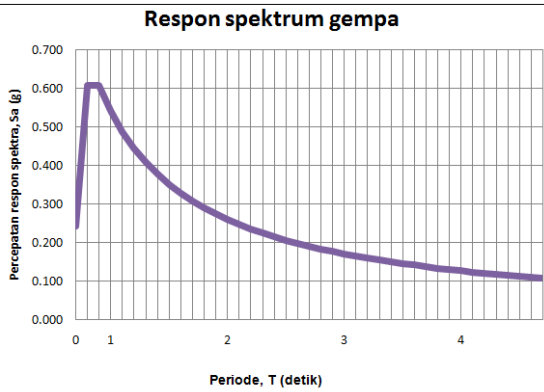
Parameter percepatan tanah untuk model gedung tahan gempa pada SNI 03 1726 2012, yaitu dapat diketahui pada gambar 2.2 untuk nilai $S_s = 0,70$ dan pada gambar 2.3 untuk nilai $S_1 = 0,25$

Klasifikasi Kelas Situs ($S_A - S_F$)

Tipe kelas situs berdasarkan SNI 03 1726 2012 pada pasal 5.3 untuk tanah lunak adalah S_E sesuai dengan definisi yang telah ditetapkan pada tabel 2.6

Sistem Penahan Gaya Seismik

Sistem penahan gaya seismik yang dipilih yaitu sistem ganda yang merupakan gabungan dari sistem pemikul beban lateral berupa *shear wall* dengan sistem rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang – kurangnya 25% dari seluruh beban lateral yang bekerja. Kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama – sama seluruh beban lateral gempa dengan memperhatikan interaksi antara keduanya. Nilai R yang direkomendasikan adalah sebesar 7,0.



Gambar 5. Grafik respons spectrum desain

Perioda getar struktur berdasarkan SNI 03-1726-2012

Dari hasil *run analysis* pada program ETABS V13.0.0, nilai Periode, T_c yang didapat, yaitu:

Tabel 2. Nilai periode fundamental struktur (T_c)

Kondisi Shear wall	Arah	T_a Minimum (detik)	T_c ETABS (detik)	T_a Maksimum (detik)
Sebelum Perubahan	Arah X (B-T)	0,501	0,176	0,701
	Arah Y (U-S)	0,353	0,114	0,494
Setelah Perubahan	Arah X (B-T)	0,501	0,177	0,701
	Arah Y (U-S)	0,353	0,114	0,494

Dari tabel diatas, terjadi peningkatan nilai periode fundamental struktur translasi arah orthogonal x dengan nilai kenaikan periode sebesar 0,001 detik menjadi 0,177 detik. Sedangkan untuk nilai periode fundamental struktur translasi arah orthogonal y tidak ada peningkatan dengan nilai periode (T_{c-y}) sebesar 0,114 detik.

Tabel 3. Periode (T_c) dan perhitungan selisih setiap modes

No.	Mode	Shear wall Sebelum Perubahan		Shear wall Setelah Perubahan	
		Periode (T_c)	ΔT_c (%)	Periode (T_c)	ΔT_c (%)
1.	1	0,176	6,20	0,177	35,59
2.	2	0,114	5,26	0,114	5,26
3.	3	0,108	15,70	0,108	15,70
4.	4	0,091	16,48	0,091	16,48
5.	5	0,076	6,58	0,076	6,58
6.	6	0,071	21,13	0,071	21,13
7.	7	0,056	50,00	0,056	50,00
8.	8	0,028	20,00	0,028	20,00
9.	9	0,035	10,00	0,035	10,00

Keterangan : ΔT_c adalah selisih periode yang dihitung dengan cara = $(T_1 - T_2) / T_1 \times 100\%$

Berdasarkan perhitungan ΔT_c yang telah dilakukan pada tabel diatas, terlihat bahwa nilai ΔT_c periode getar struktur, ada selisih melebihi 15%, maka masing – masing nilai ragam harus dikombinasikan menggunakan metode akar kuadrat SRSS sesuai dengan persyaratan SNI 03 1726 2012 Pasal 7.9.3.

Partisipasi massa berdasarkan SNI 03-1726-2012

Pada SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.1 disebutkan bahwa analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit 90 persen dari massa aktual masing – masing arah horizontal orthogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

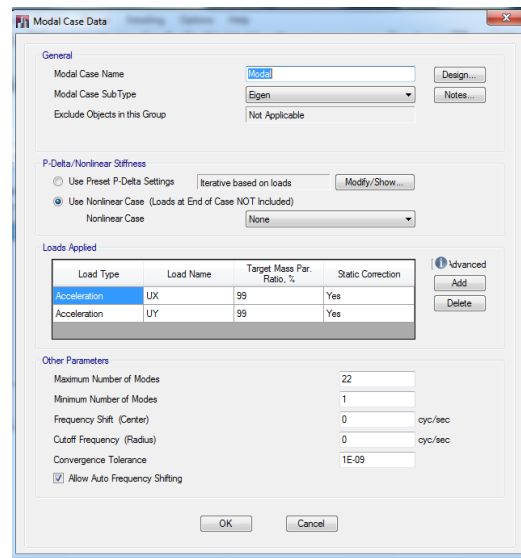
Tabel 4. Jumlah partisipasi massa pada 9 mode untuk modal analisis sebelum perubahan shearwall

Case	Mode	Perioda (det)	SUM U _x	SUM U _y
Modal	1	0,176	0.4404	0.0000
Modal	2	0,114	0.4404	0.3312
Modal	3	0,108	0.4409	0.3322
Modal	4	0,091	0.4713	0.3326
Modal	5	0,076	0.4729	0.4009
Modal	6	0,071	0.4729	0.6109
Modal	7	0,056	0.4736	0.6135
Modal	8	0,028	0.7766	0.6135
Modal	9	0,035	0.7766	0.9630

Tabel 5. Jumlah partisipasi massa pada 9 mode untuk modal analisis setelah perubahan shearwall

Case	Mode	Perioda (det)	SUM U _x	SUM U _y
Modal	1	0,177	0.4542	0.0000
Modal	2	0,114	0.4542	0.3316
Modal	3	0,108	0.4549	0.3325
Modal	4	0,091	0.4896	0.3328
Modal	5	0,076	0.4896	0.4007
Modal	6	0,071	0.4909	0.6115
Modal	7	0,056	0.4977	0.6141
Modal	8	0,028	0.8766	0.6141
Modal	9	0,035	0.8766	0.9805

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, jumlah partisipasi massa pada *Mode* ke-9 pada kolom sum UX dan sum UY, untuk model analisis sebelum dan setelah perubahan *shear wall* masih belum memenuhi syarat SNI 03 1726 2012 pasal 7.9.1 tentang ragam terkombinasi karena belum melebihi 90 persen. Maka jumlah mode harus ditambah dengan cara: *Define – Modal case – Modify – Other parameter – maximum number of mode*.



Gambar 6. Jumlah partisipasi massa pada 22 mode (> 90%)

Gaya Geser Dasar berdasarkan SNI 03-1726-2012

Berdasarkan SNI 03-1726-2013 Pasal 7.9.4.1 disebutkan bahwa nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana suatu arah tertentu tidak boleh kurang dari 85 persen nilai respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal, V_1 , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut persamaan berikut:

$$V_c > 0,85 V_1$$

Tabel 6. hasil analisis gaya geser sebelum perubahan shearwall

Load Case	F _x (kN)	F _y (kN)	85% Statik X (kN)	85% Statik Y (kN)
V ₁	2972,382	2972,386	2526,525	2526,528
V _c	1315,255	985,953		

Dari hasil perhitungan tersebut, tampak bahwa gaya geser dasar ragam spektrum respons masih dibawah syarat 85% dari gaya geser dasar ragam pertama. Oleh karena itu dalam *load case* masing – masing arah dalam respons spektrum perlu diberikan tambahan faktor pengali sebesar

$$\frac{85\% V_1}{V_c}$$

Faktor Pengali untuk *shear wall* sebelum perubahan

Arah X : 2526,525 / 1315,255 = 1,921

Arah Y : 2526,528 / 985,953 = 2,563

Tabel 7. hasil analisis gaya geser setelah modifikasi faktor skala untuk shearwall sebelum perubahan

Load Case	Fx (kN)	Fy (kN)	85% Statik X (kN)	85% Statik Y (kN)
V ₁	2972,382	2972,386	2526,525	2526,528
V _c	2526,600	2527,000		

Dari hasil perhitungan analisis perubahan faktor pengali, tampak bahwa gaya geser dasar ragam spektrum respons telah memenuhi syarat 85% dari gaya geser dasar ragam pertama. Karena :

$$V_{c(X)} > 0,85 \times V_1(X)$$

2526,600 kN > 2526,525kN(OK)

$$V_{c(Y)} > 0,85 \times V_1(Y)$$

2527,000 kN > 2526,528 kN(OK)

Tabel 8. hasil analisis gaya geser setelah perubahan shearwall

Load Case	Fx (kN)	Fy (kN)	85%Statik X (kN)	85%Statik Y (kN)
V ₁	2958,757	2958,760	2514,943	2514,946
V _c	1265,157	985,598		

Dari hasil perhitungan tersebut, tampak bahwa gaya geser dasar ragam spektrum respons masih di bawah syarat 85% dari gaya geser dasar ragam pertama. Oleh karena itu dalam *load case* masing – masing arah dalam respons spektrum perlu diberikan tambahan faktor pengali sebesar

$$\frac{85\% V_1}{V_c}$$

Tabel 8. hasil analisis gaya geser setelah modifikasi faktor skala untuk shearwall sebelum perubahan

Load Case	Fx (kN)	Fy (kN)	85% Statik X (kN)	85% Statik Y (kN)
V ₁	2958,757	2958,760	2514,943	2514,946
V _c	2514,945	2514,946		

$$V_{c(X)} > 0,85 \times V_1(X)$$

2514,943 kN > 2514,945 kN ...(OK)

$$V_{c(Y)} > 0,85 \times V_1(Y)$$

2514,946 kN > 2514,946 kN ...(OK)

Simpangan Antar Lantai (*Story Drift*)

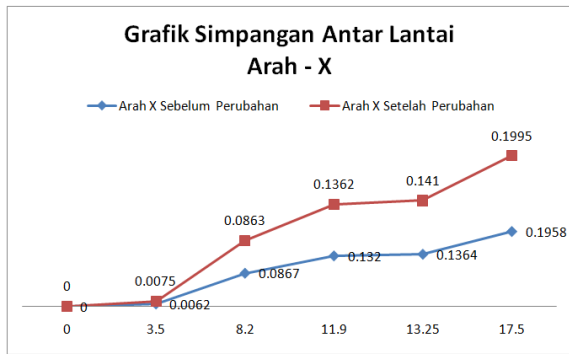
Berdasarkan SNI 03 1726 2012 pasal 7.8.6 simpangan antar lantai hanya ada kondisi kinerja batas ultimit saja. Tabel berikut dibawah ini merupakan hasil analisis simpangan antar lantai pada kedua arah orthogonal untuk *shear wall*.

Tabel 9. Nilai simpangan horizontal sebelum dan sesudah perubahan struktur *shear wall*

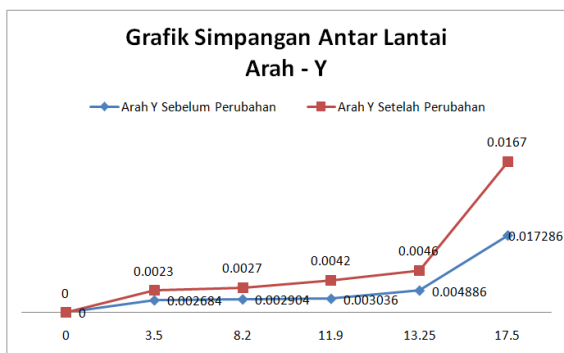
Story	Simpangan Antar Lantai (Δ)			
	Sebelum Perubahan <i>Shear wall</i>		Setelah Perubahan <i>Shear wall</i>	
	Arah - X	Arah - Y	Arah - X	Arah - Y
Story 5	0,0585	0,0121	0,0594	0,0124
Story 4	0,0048	0,0004	0,0044	0,0418
Story 3	0,0449	0,0015	0,0453	0,0001
Story 2	0,0788	0,0004	0,0805	0,0002
Story 1	0,0075	0,0023	0,0062	0,0030
Base	0	0	0	0
Jumlah	0,1945	0,0167	0,1958	0,0575
% Kenaikan Nilai Simpangan			0,668%	2,443%

Berdasarkan tabel 8 bahwa kenaikan nilai simpangan horizontal arah x adalah sebesar 0,0688%. Untuk arah y kenaikan nilai simpangan horizontal adalah sebesar 2,443%. Untuk semua nilai kenaikan simpangan antar lantai belum melewati dari batas yang diizinkan, nilai batas simpangan yang di ijinakan adalah 15,57mm.

Berikut ini merupakan grafik simpangan antar lantai terhadap ketinggian gedung berdasarkan SNI GEMPA 03 – 1726 - 2012



Gambar 7. Grafik simpangan antar lantai arah x



Gambar 8. Grafik simpangan antar lantai arah y

Kontrol Luas Tulangan Utama Kolom

Kolom yang dikontrol luas tulangan utamanya adalah kolom yang berada pada grid yang sama dengan *shearwall* yang mengalami perubahan yaitu pada grid line 9. Di ambil sampel kolom dengan nomor elemen 53 untuk kontrol luas tulangan.

Luas tulangan utama kolom yang ditinjau adalah 1600 mm² (ukuran 40 x 40), digunakan tulang diameter 16 dengan luas tulangan (As) sebesar 199 mm². Maka jumlah tulangan yang dibutuhkan adalah $1600 / 199 = 8,04$ buah.

Maka jumlah tulangan yang digunakan yaitu sebanyak 12 tulangan agar dapat tersebar merata ke semua sisi kolom. Jadi tulangan kolom adalah 12 D 16.

Tabel 10. Luas tulangan longitudinal (A_{perlu}) untuk shear wall sebelum dan setelah perubahan

No Elemen	Tipe Kolom	Dimensi Kolom	Area Tulangan	ØTulangan	Luas Tulangan /Batang	Jumlah Tulangan	A _{perlu}
53	K1	40x40	1600	16	199	12	2388,00
54	K2	50x50	2500	19	284	12	3408,00
58	K3	30x30	900	16	199	8	1592,00
59	K2	50x50	2500	19	284	12	3408,00

Kontrol tulangan geser kolom di lapangan

Luas tulangan geser/senggang di lapangan sebesar 0,718 mm². Maka digunakan tulangan polos 3P1, sehingga $A_s = 3 \times 71 \text{ mm}^2 = 213 \text{ mm}^2$

Maka jarak sengkang yang dibutuhkan adalah $213 \text{ mm}^2 / 0,718 = 297 \text{ mm}$.

Tulangan geser kolom yang dipasang harus memenuhi persyaratan sesuai SNI Beton 03 2847 2013 bahwa jarak maksimum sengkang dipilih yang terkecil antara:

- Jarak sengkang tidak boleh lebih besar dari 48 kali diameter sengkang.
Jarak sengkang kolom lapangan 297 mm < $48 \times 10 = 480 \text{ mm}$ (OK)
- 16 kali diameter tulangan memanjang
Jarak sengkang kolom lapangan 297mm < $16 \times 16 = 256 \text{ mm}$ (OK)
- Dimensi terkecil penampang kolom
Jarak sengkang kolom lapangan 297 mm < 400 mm (OK)

Karena jarak sengkang 297 mm lebih besar dari persyaratan maksimum jarak sengkang sebesar 256 mm maka yang digunakan yaitu 256 mm ~200 mm.

Tulangan Geser Kolom Di Tumpuan

Luas tulangan geser (sengkang) tumpuan adalah 1,860 mm². Digunakan tulangan polos 3P 10 sehingga $A_s = 3 \times 71 \text{ mm}^2 = 213 \text{ mm}^2$.

Maka jarak sengkang yang dibutuhkan adalah $213 / 1,860 = 115 \text{ mm}$

Tulangan geser kolom yang dipasang harus memenuhi persyaratan sesuai SNI 03 2847 2013 bahwa jarak maksimum sengkang dipilih yang terkecil antara:

- Jarak sengkang tidak boleh lebih besar dari 48 kali diameter sengkang Jarak sengkang kolom tumpuan $115 \text{ mm} < 48 \times 10 = 480 \text{ mm}$ (OK)
- 16 kali diameter tulangan memanjang Jarak sengkang kolom tumpuan $115 \text{ mm} < 16 \times 16 = 256 \text{ mm}$ (OK)
- Dimensi terkecil penampang kolom Jarak sengkang kolom tumpuan $115 \text{ mm} < 400 \text{ mm}$ (OK)

Karena jarak sengkang 115 mm lebih kecil dari persyaratan maksimum jarak sengkang sebesar 256 mm maka yang digunakan yaitu 115 mm ~ 100 mm.

Kesimpulan

1. Perubahan struktur *shear wall* pada bangunan gardu induk memperbesar nilai perioda fundamental struktur arah orthogonal x, yaitu arah dimana perubahan struktur *shear wall* terjadi. Tetapi untuk arah y nilai perioda fundamental struktur tetap sama.
2. Perubahan struktur *shear wall* pada bangunan gardu induk memperbesar nilai gaya geser dasar.
3. Perubahan struktur *shear wall* pada bangunan gardu induk memperbesar nilai simpangan antar tingkat lantai. Namun peningkatan nilai simpangan antar tingkat lantai tersebut tidak melebihi dari persyaratan yang ditentukan dalam peraturan SNI 03 1726 2012.
4. Rasio luas tulangan longitudinal dan tulangan geser pada kolom menjadi salah satu faktor bahwa bangunan gardu induk tidak terpengaruh dengan adanya perubahan struktur *shear wall*, karena dari hasil analisis perhitungan,

persentase rasio luas tulangan terpasang melebihi dari rasio luas tulangan yang dibutuhkan.

Daftar Pustaka

- BADAN STANDARISASI NASIONAL, SNI 03 1726 2012, "*Struktur Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung*", Jakarta, 2012
- BADAN STANDARISASI NASIONAL, SNI 03 2847 2013, "*Tata Cara Perhitungan Beton Untuk Bangunan Gedung*", Jakarta, 2013
- BADAN STANDARISASI NASIONAL, SNI 03 1727 2013, **Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, Jakarta.**
- Fajar Harumi, 2013, **Analisis pengaruh shearwall terhadap simpangan struktur gedung, Jakarta.**
- Imran, Iswandi & Fajar Hendrik, 2014, **Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang, Bandung.**
- <http://switchyardelectric.blogspot.com, 2016, konsep-dasar-gardu-induk.html>
- [http://yohannachristiani.blogspot.com/2012/06/shear-wall. \(05 Januari 2017\)](http://yohannachristiani.blogspot.com/2012/06/shear-wall. (05 Januari 2017))
- Widodo P, 2015, **Respon Dinamik Struktur Elastik**, Yogyakarta.
- M. Makmun, A, 2013, **Gempa bumi dalam Al - Quran, Esensia Vol. XIV No. 1, Jakarta.**