

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

2.1.1. Beton Pracetak

Menurut SNI 2847:2013, beton pracetak merupakan elemen beton struktur yang dicetak di tempat lain dari posisi akhirnya dalam struktur. Dalam pembuatannya, beton pracetak hampir sama dengan beton konvensional hanya saja yang membedakannya adalah sistem fabrikasinya. Sistem yang tersebut mencakup kondisi pembebanan dan kekangan dari penggunaan awal sampai penggunaan akhir pada struktur, termasuk pembongkaran bekisting, penyimpanan, transportasi, dan ereksi (pemasangan).

Menurut SNI 03-2847 campuran beton pracetak terdiri dari semend Portland atau semen hidraulik lain, agregat halus (ukuran ≤ 5 mm), agregat kasar (ukuran 5 mm – 40 mm) dan air serta ditambah bahan tambahan yang dapat membentuk massa padat. Disebutkan juga bahwa Beton pracetak dapat berupa beton bertulang ataupun tidak bertulang. Mutu beton yang biasa dipersyaratkan untuk beton pracetak adalah mutu beton $f'c$ 14,53 MPa (K-175) sampai $f'c$ 29,05 MPa (K-350) dengan toleransi slump (12 ± 2) cm.

Khusus beton pracetak struktural dengan mutu K-350, beton dapat diangkat dalam 24 jam setelah proses pencetakannya dengan komposisi sebagai berikut:

Tabel 2.1 Campuran Beton Pracetak K-350

Bahan	Satuan	Indeks
Portland Cement (PC)	Kg	448
Pasir Beton	Kg	667
Kerikil (Max. 30 mm)	Kg	1000
Zat Additive Beton	Liter	4,5
Air	Liter	200

Sumber: SNI 2847:2013

2.1.2. Konsep Dasar Sistem Pracetak

Pada perencanaan pracetak, setiap komponen diperhitungkan terhadap beban yang akan terjadi sejak proses produksi (pre-pabrikasi), pengangkutan, pengangkatan, pemasangan (ereksi) sampai pada beban pemakaian (beban service dan ultimate) selama masa pakainya (Siddiq,1995). Pada umumnya, balok untuk beton pracetak akan dicor 2/3 dari tinggi balok saat pabrikasi dan 1/3 sisanya akan dicor di lapangan saat ereksi untuk mengikat elemen elemen lain yang berhubungan dengan balok tersebut. Masalah utama pada setiap sistem pracetak adalah bagaimana mendesain sistem sambungannya sehingga mampu berperilaku mendekati seperti monolit (Aziz,2014).

Pada sistem pracetak, masalah sambungan harus memenuhi beberapa persyaratan berikut: (Elliot, 2002)

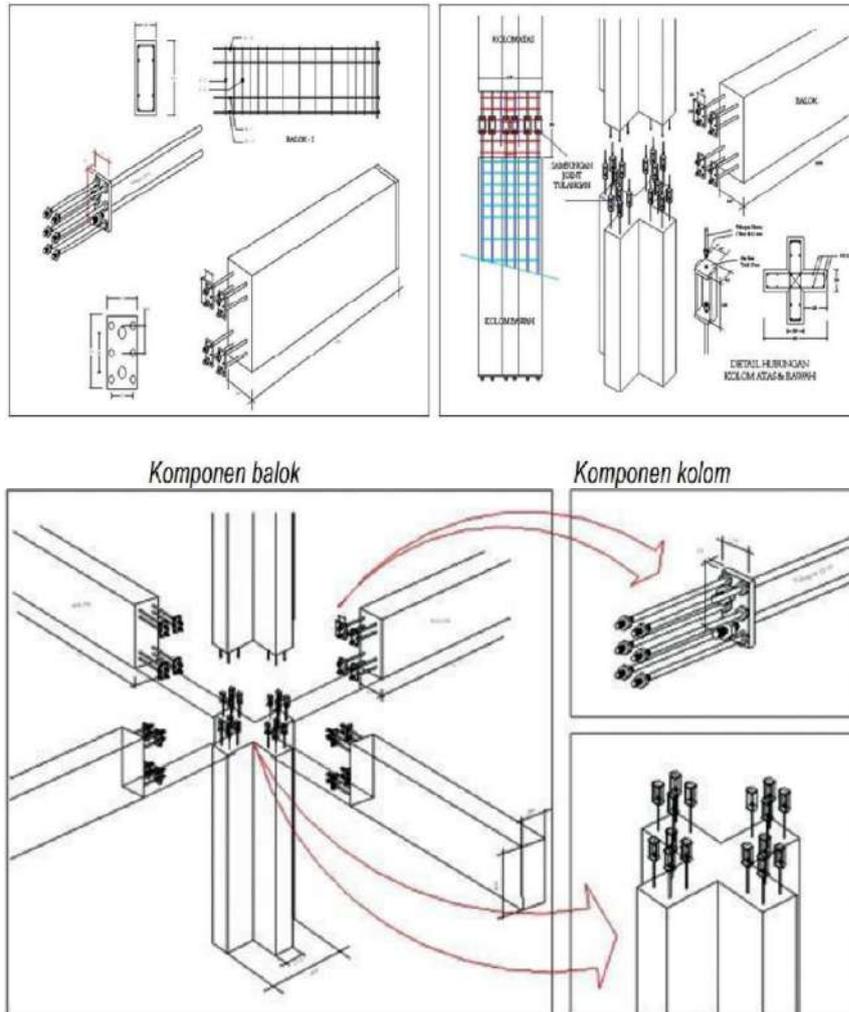
1. Sambungan direncanakan bertransalasi dalam batas tertentu (pada titik kumpul umumnya terjadi deformasi geser yang signifikan dan timbulnya celah).
2. Sambungan direncanakan mampu menahan beban sesuai perencanaan baik sebagai sistem secara keseluruhan maupun sebagai individual members.
3. Sambungan direncanakan memiliki kekuatan yang mampu berperilaku stabil dalam menahan beban.
4. Sambungan direncanakan mempertimbangkan adanya penyimpangan baik dalam pemasangan maupun ukuran masing-masing elemen pracetak (dalam pembuatannya toleransi minimum yang diijinkan sebesar 3 mm).

2.1.3. Sistem Sambungan Pracetak

Terdapat beberapa sistem pracetak yang digunakan dan diterapkan di Indonesia, antara lain:

1. Sistem Pracetak C-Plus

Sistem Pracetak struktur ini memiliki konsep struktur pracetak rangka terbuka, komponen kolom plus dan balok persegi dengan stek tulangan yang berulir. Sistem sambungan mekanis balok dan kolom, plat baja berlubang dengan mur.



Gambar 2.1. Sistem Sambungan C-Plus
 Sumber : Puslitbang,2010

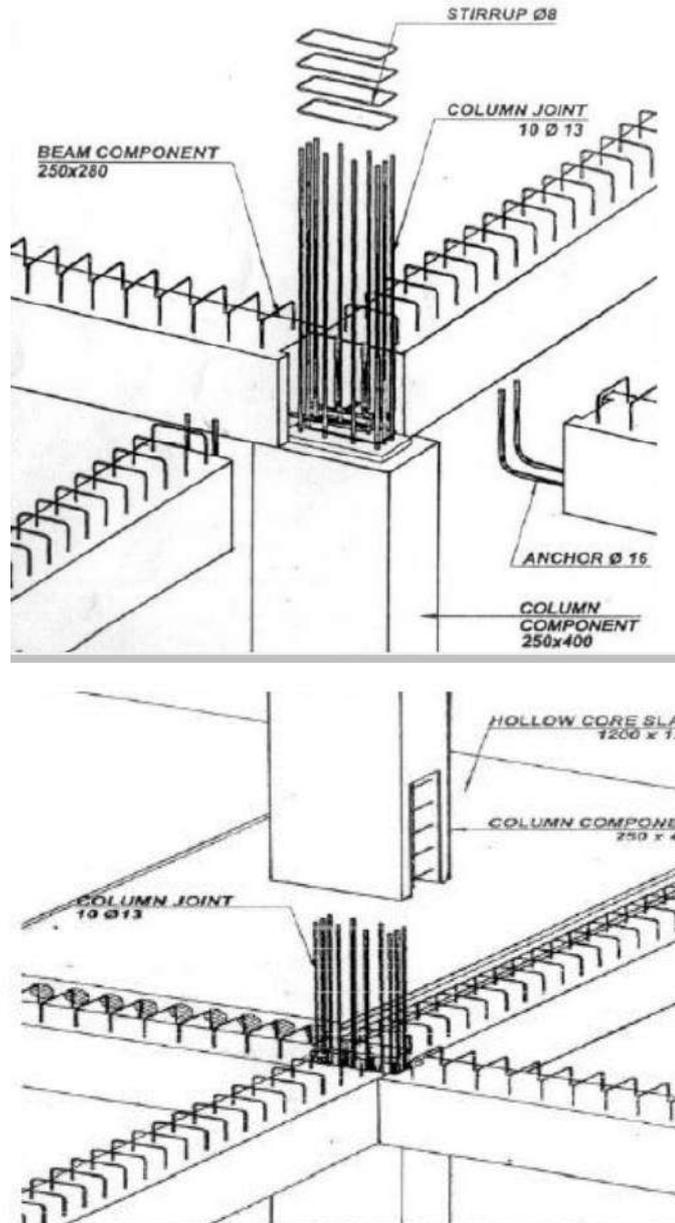
Pertemuan sambungan pada titik kumpul (poer/kepala) ditambah tulangan sengkang horizontal dan vertikal di cor dengan beton menggunakan semen tidak susut (*non shrinkage cement*) sehingga berperilaku *wet joint*.

2. Sistem Bresphaka

Bresphaka adalah suatu rekayasa konstruksi gedung dengan sistem struktur pracetak model open frame yang terdiri dari elemen pracetak kolom, balok, lantai, dinding, tangga dan elemen lainnya, dengan penggunaan bahan beton ringan atau beton normal atau kombinasi keduanya. Model Struktur bersifat terbuka, bentuk penampang elemen struktur sesuai dengan desain yang dimodelkan dalam perhitungan program struktur. Sambungan utama di titik

kumpul dan direncanakan pada program dengan definisi mengabaikan pengaku pada join (atau titik jumpa) antara elemen struktur.

Perencanaan sambungan menggunakan *shear connector* pada balok untuk menyatukan komponen balok dan plat. Khusus untuk daerah rawan gempa, diterapkan *shear key* pada plat untuk membentuk diafragma kaku pada plat.



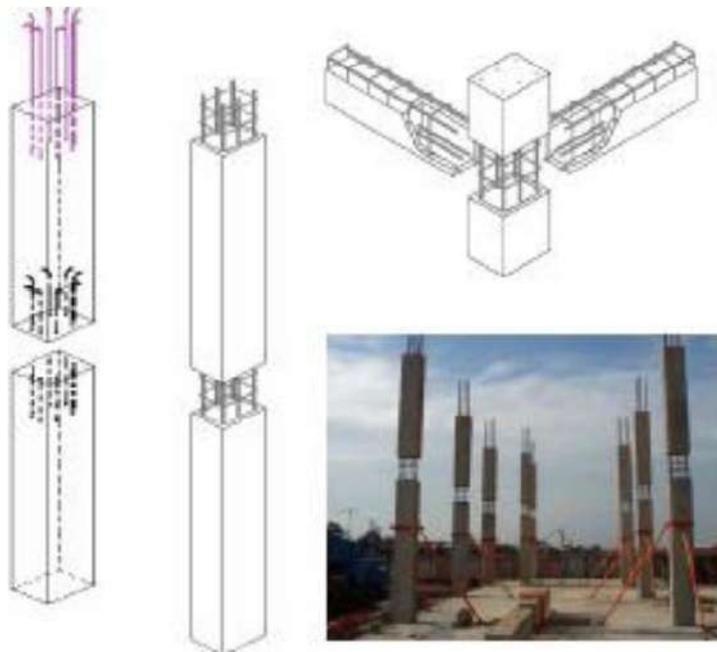
Gambar 2.2. Sistem Sambungan Bresphaka Kolom-Kolom
Sumber : Puslitbang, 2010

Kelebihan dari sistem struktur pracetak jenis ini adalah :

- Sistem BRESPHAKA dengan bahan beton mutu tinggi, selain akan memperkecil dimensi struktur/volume beton, juga akan mengurangi berat masa bangunan sehingga dimensi pondasi lebih kecil.
- Produktivitas tenaga kerja lebih tinggi, sehingga adanya efisiensi biaya yang menjadikan proyek jadi lebih hemat.
- Kontrol kualitas sistem pabrikasi lebih terjamin.
- Akurasi ukuran dari elemen bresphaka, menjamin pemasangan di Lapangan lebih presisi dan hasil kerja lebih rapi.
- Efisiensi terhadap waktu pelaksanaan.

3. Sistem Pracetak KML (Kolom Multi Lantai)

Sistim KML adalah Sistim beton pracetak yang memberikan percepatan pelaksanaan konstruksi, karena komponen precast kolom dapat dicetak dan dierection langsung untuk 2 - 5 lantai. Sistem ini akan memberikan space kosong untuk sambungan balok dengan kolom setiap lantainya. Sistem ini menjamin ketegakan as kolom, integritas antar komponen struktur lebih baik karena joint kolom-balok-slab yang cukup monolit, tulangan kolom atas maupun bawah dapat dibuat menerus.



Gambar 2.3. Sistem Sambungan KML

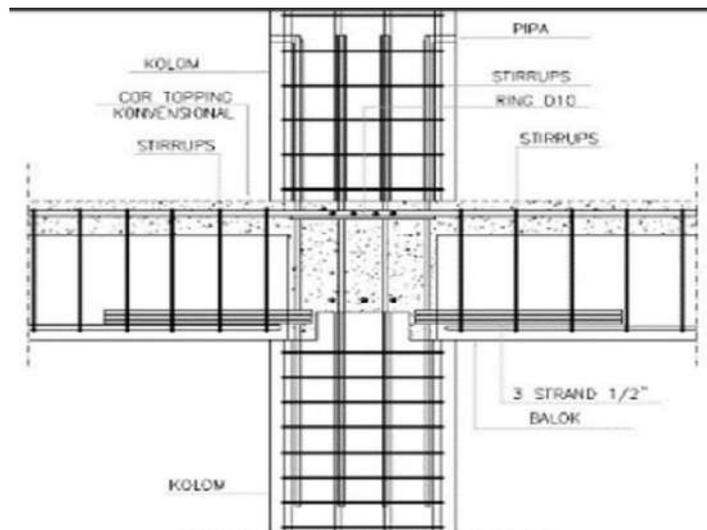
Sumber : Puslitbang,2010

Keunggulan utama dari sistim KML ini adalah:

- Lebih terjaminnya kelurusan (ketegakan) as kolom.
- Integritas antara komponen-komponen struktur lebih baik.
- Joint kolom-balok-slab yang cukup monolit karena pengecoran dilakukan pada saat topping.
- Tulangan atas maupun bawah balok yang terletak disisi-sisi kolom dapat dibuat menerus.

4. Sistem Struktur Pracetak Adhi BCS (*Beam Coloum System*)

Sistem ini menggunakan kecepatan pada saat pemaangan antar kolom, dengan menggunakan sambungan strand. Keunggulan sistem ini terletak pada perencanaan struktur elemen dan kepraktisannya



Gambar 2.4. Sistem Sambungan Adhi BCS

Sumber : Puslitbang,2010

Keunggulan sistem ini terletak pada perencanaan struktur elemen dan kepraktisan pemasangannya. Pemasangan ini sangat cepat yaitu dua hari perlantai bangunan.

2.1.4. Gaya-Gaya Statis pada Sambungan Balok-Kolom

Perilaku statis suatu struktur adalah respon struktur akibat beban statis. Beban statis adalah beban yang mempunyai arah yang tetap. Respon struktur akibat gaya statis ini ditunjukkan dengan deformasi yang terjadi pada struktur. Jika deformasi yang terjadi sudah mencapai regangan retak, maka respon struktur akan menunjukkan

fenomena retak. Dari pengamatan respon struktur akibat gaya statis dapat diketahui kekuatan struktur, yang dimaksud dengan kekuatan struktur adalah kemampuan struktur menerima beban luar yang besarnya makin meningkat hingga struktur mencapai keruntuhan. Kemampuan struktur ditunjukkan dengan kekakuan struktur yang diperoleh dari hubungan antara gaya dan lendutan. Selain itu dapat diketahui perilaku statis lainnya yaitu pola retak struktur hingga mencapai keruntuhan (Riyanto, 2010).

Gaya-gaya statis pada umumnya dapat dibagi lagi menjadi beban mati, beban hidup, dan beban akibat penurunan atau efek termal. Beban Mati, adalah bebanbeban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, seperti misalnya penutup lantai, alat mekanis, partisi yang dapat dipindahkan, adalah beban mati. Berat eksak elemen-elemen ini pada umumnya diketahui atau dapat dengan mudah ditentukan dengan derajat ketelitian cukup tinggi. Beban hidup adalah beban-beban yang bisa ada atau tidak ada pada truktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja secara perlahan-lahan pada struktur.

2.2. Pembebanan Statik Struktur

Tata cara pembebanan diatur berdasarkan SNI 1727-2013 dan PPIUG 1983.

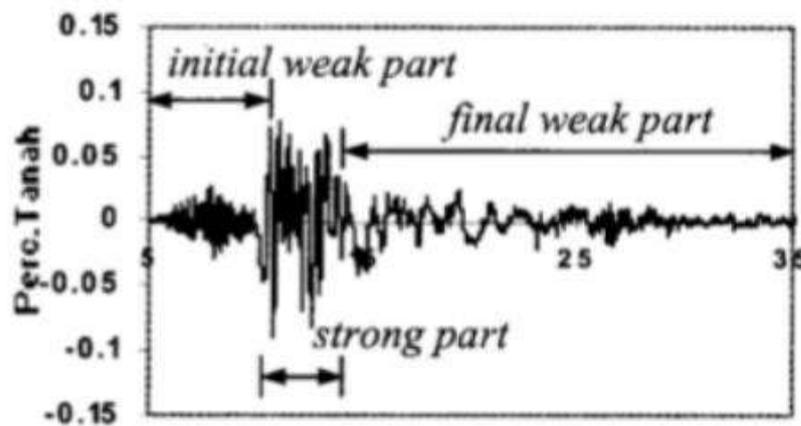
2.3. Analisis Beban Dinamik

2.3.1. Gempa dan Pengaruhnya

Menurut Edi Supriyanto. (2013), Untuk memperhitungkan gaya lateral akibat gempa terhadap struktur bangunan biasanya di dekati dengan 2 pendekatan, yaitu analisa secara static ekuivalen dan analisa dinamik (*respon spectra* atau *time history*). Anlisis static ekuivalen merupakan metode analisis struktur dengan getaran gempa yang dimodelkan sebagai beban-beban horizontal static yang bekerja pada pusat massa bangunan. Analisa static ekuivalen memiliki batasan hanya diperuntukkan untuk gedung yang beraturan, kekakuan tingkat-tingkat yang berdekatan tidak berbeda lebih dari 30%, kekuatan tingkat-tingkat yang berdekatan tidak berbeda lebih dari 20%, massa pada tingkat-tingkat yang berdekatan berbeda lebih dari 50%. Dan secara khusus, dalam SNI-1726-2012 pasal 4.2 membahas masalah struktur gedung beraturan (*regular*) dan tidak beraturan (*Irregular*).

Jika pembatasan di atas tidak dipenuhi, maka harus digunakan analisis dinamik. Analisis dinamik merupakan metode analisis struktur dengan getaran gempa yang dimodelkan sebagai beban dinamik (beban yang arah dan besarnya berubah terhadap waktu). Analisa dinamik biasa menggunakan analisis ragam spectrum respon dan analisis time history. Analisa didesain berdasarkan percepatan pada permukaan tanah sesuai dengan rekaman percepatan terhadap waktu dari data. Secara umum riwayat percepatan tanah dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

1. Tahap *Initial Weak*
2. Tahap *Strong Part*
3. Tahap *Final Weak Part*



Gambar 2.5. Rekaman Gempa
 Sumber : Edi Supryanto (2013)

Tahap *Initial Weak* adalah tahapan dengan rekaman gempa lemah atau percepatan awal gempa terjadi sebelum memasuki percepatan rekaman gempa maksimum. Tahap *strong part* adalah tahapan dengan rekaman gempa yang memiliki percepatan maksimum pada durasi yang relatif, baik durasi panjang atau durasi pendek. Sementara tahap *final weak part* adalah tahapan dengan rekaman gempa mengalami penurunan percepatan gempa yang terjadi dari percepatan maksimum sampai gempa berhenti dalam durasi yang lebih lama dari durasi *strong part*.

2.3.2. Analisis Respon Spektrum

Respon spektrum adalah respons maksimum dari suatu sistem struktur *Single Degree of Freedom* (SDOF) baik percepatan (a), kecepatan (v), dan perpindahan (d) dengan struktur tersebut dibebani oleh gaya luar tertentu. Absis dari respon

spektrum adalah periode alami sistem struktur dan ordinat dari respons spektrum adalah respons maksimum. Kurva respons spektrum memperlihatkan simpangan relatif maksimum (*spectral displacement*, S_D), kecepatan maksimum (*spectral velocity*, S_V), dan percepatan maksimum (*spectral acceleration*, S_A), (Budiono dan Supriatna, 2011).

Mengacu pada SNI 1726-2012 respons spektrum dapat ditentukan berdasarkan parameter faktor jenis tanah dan faktor zonasi wilayah gempa

2.3.3. Analisis Time History

Beban gempa dinamik dapat dianalisis menggunakan analisis dinamik. Dan untuk beban *time history* menggunakan analisis riwayat waktu yang dijelaskan seperti di bawah ini:

1. Analisis Dinamik

Analisis dinamik adalah analisis struktur di mana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik terbagi menjadi 2 (Anggen, 2014), yaitu :

- a. Analisis ragam respons spektrum di mana total respons didapat melalui superposisi dari respons masing-masing ragam getar.
- b. Analisis riwayat waktu adalah analisis dinamis di mana pada model struktur diterapkan percepatan gempa dari masukan berupa akselogram dan respons struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu.

2. Analisis Riwayat Waktu

Menurut Chopra (2011), Analisa Riwayat waktu digunakan untuk menganalisis respons dinamik struktur yang menerima beban berubah-ubah terhadap waktu. Persamaan dinamik dari struktur seperti ini dapat dilihat pada persamaan 2.1

$$[M] \ddot{u}(t) + [C] \dot{u}(t) + [K]u(t) = \{p(t)\} \dots \dots \dots (2.1)$$

Di mana $[M]$ adalah matriks massa struktur; $[C]$ adalah matriks redaman struktur; $[K]$ adalah matriks kekakuan struktur; $u(t)$ adalah simpangan yang berubah terhadap waktu; $\dot{u}(t)$ adalah kecepatan yang berubah terhadap waktu; $\ddot{u}(t)$ adalah percepatan dari struktur yang berubah terhadap waktu; dan $p(t)$

adalah vektor gaya yang bekerja pada struktur yang berubah terhadap waktu. Analisis riwayat waktu dibagi atas dua yaitu analisis riwayat waktu linier dan analisis riwayat waktu nonlinier. Siregar (2010) mengemukakan bahwa, struktur linear adalah struktur yang tidak mengalami perubahan Massa (M), Redaman (C), dan Kekakuan (K) dalam kondisi apapun. Analisa dalam kondisi ini biasanya digunakan dengan asumsi bahwa struktur direncanakan selalu berada dalam kondisi elastis, atau sifat struktur dapat kembali ke posisi awal setelah diberikan beban tertentu. Struktur yang diberi analisis nonlinear adalah struktur yang mengalami perubahan Redaman (C), dan Kekakuan (K) pada kondisi tertentu. Analisa seperti ini membantu untuk memahami bagaimana sifat suatu struktur tersebut dapat bertahan. Nilai perbandingan titik hancur pertama kali leleh struktur disebut daktilitas (μ).

3. Percepatan Gempa Masukan (Akselerogram)

Sebelum menerapkan rangkaian akselerogram dalam analisis struktural, data harus diskalakan untuk mengurangi ketidakcocokan antara karakteristik dan parameter desain di suatu wilayah berdasarkan standar atau dari situs *hazard* tertentu. Hal yang perlu diingat bahwa akselerogram digunakan mewakili gerakan gempa.

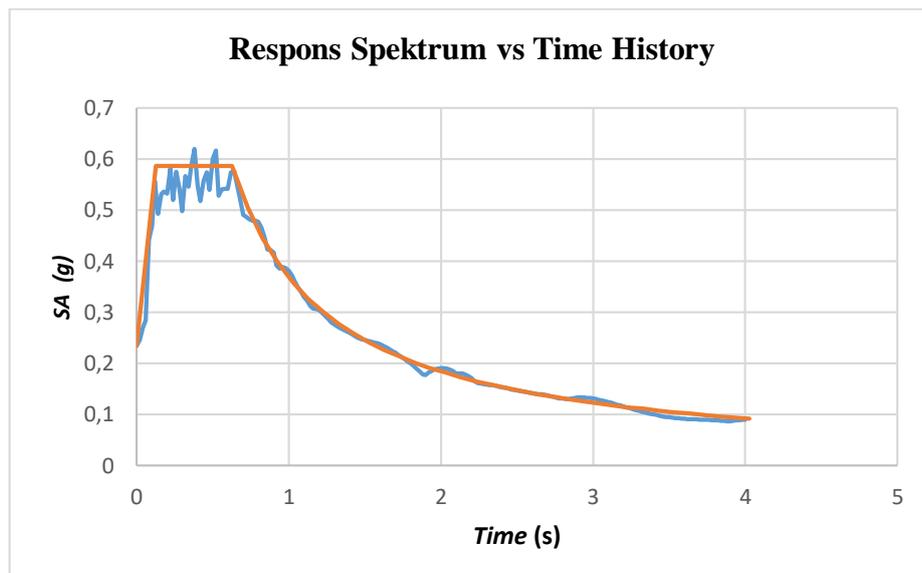
Periode alami (*natural period*) dari getaran struktur selalu ditentukan dengan tingkat ketidakpastian (*degree of uncertainly*). Penggunaan hanya satu akselerogram dalam analisis struktural dapat dengan mudah diremehkan (*underestimation*). Untuk alasan ini, jumlah minimum variasi karakteristik dari suatu akselerogram lain yang mungkin dianggap akan mengurangi pengaruh fluktuasi periode ke periode dalam *spectra*. Maka dari itu analisis riwayat waktu harus dilakukan dengan tidak kurang dari tiga set data (masing-masing berisi dua komponen horizontal atau, jika gerakan vertikal dipertimbangkan, dua komponen horizontal dan satu komponen vertikal) dari gerakan tanah (*ground motion*) yang harus dipilih dan skala tidak kurang dari tiga catatan gempa (FEMA 356).

Akselogram yang dipilih dalam analisis *time history* pada level gempa rencana harus memenuhi persyaratan seperti yang ditetapkan dalam Pasal 11.1.3.2, SNI-1726-2012 yaitu respons spektrum dari gempa aktual (redaman 5%) yang dipilih sebagai gerak tanah masukan, rata-rata nilai percepatannya harus berdekatan dengan respons spektrum dari gempa rencana (redaman 5%) pada periode $0,2T - 1,5T$.

4. Proses *Matching* dan *Levelling*

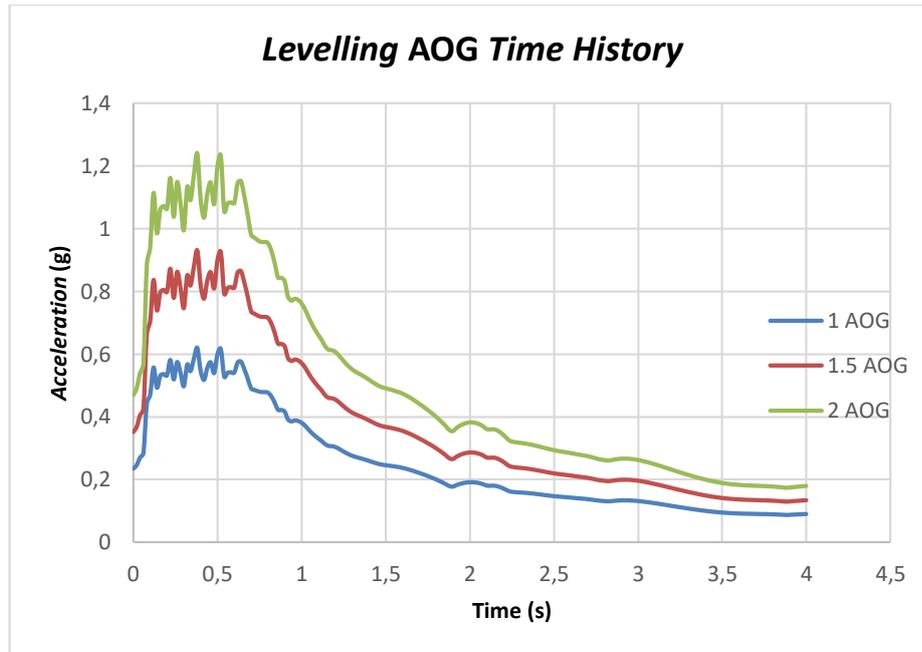
Menurut Ahmad Yudi, dkk, (2014) proses *matching* dan *levelling* time history dapat dilakukan dengan pencocokan rekaman gempa dengan terlebih dahulu dikalikan dengan suatu bilangan sehingga respons spektrum dari akselogram mendekati respons spektrum berdasarkan SNI 1726-2012 untuk daerah Lampung dengan kondisi tanah yang ada.

Data hasil perkalian yang merupakan data percepatan dan waktu akan dilakukan penggambaran menggunakan bantuan software *Seismosignal* dari *Seismosoft* sehingga didapatkan hasil plot rekaman gempa. Data keluaran dari *seismosignal* tersebut merupakan data percepatan terhadap waktu yang sudah disesuaikan dengan respons spektrum lokasi gedung berada. Perbandingan antara kurva respons spektrum berdasarkan SNI dan *time history* akan dicocokkan (*Matching*) seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. *Matching* time history dengan respon spektra
Sumber : Ahmad Yudi ,dkk, (2019),

Pada analisis menggunakan Software struktur SAP2000 rekaman gempa yang sudah dicocokkan (*Matching*) dengan respons spektrum akan dilakukan peningkatan Aog (percepatan awal gempa) beberapa kali dan contohnya dapat dilihat pada Gambar 2.7. Peningkatan percepatan awal gempa bertujuan untuk melihat performa (perilaku struktur) beton pracetak di setiap peningkatan Aog.



Gambar 2.7. Tahapan *Levelling Aog Time History*
Sumber : Ahmad Yudi ,dkk, (2019),

2.3.4. Sistem Struktur Penahan Beban Gempa

Sistem struktur penahan gempa didesain sedemikian yang akan diaplikasikan untuk menamah kekuatan struktur. Menurut SNI 1726-2012, Tahapan desain sistem struktur penahan beban gempa addalah sebagai berikut:

1. Mementukan Kategori Desain Seismik

Penentuan kategori desain seismik harus didasarkan nilai parameter percepatan desain spektrum dan kategori resiko bangunan. Apabila menemukan kategori desain seismik yang berbeda maka, kategori yang paling berbahaya yang akan diaplikasikan.

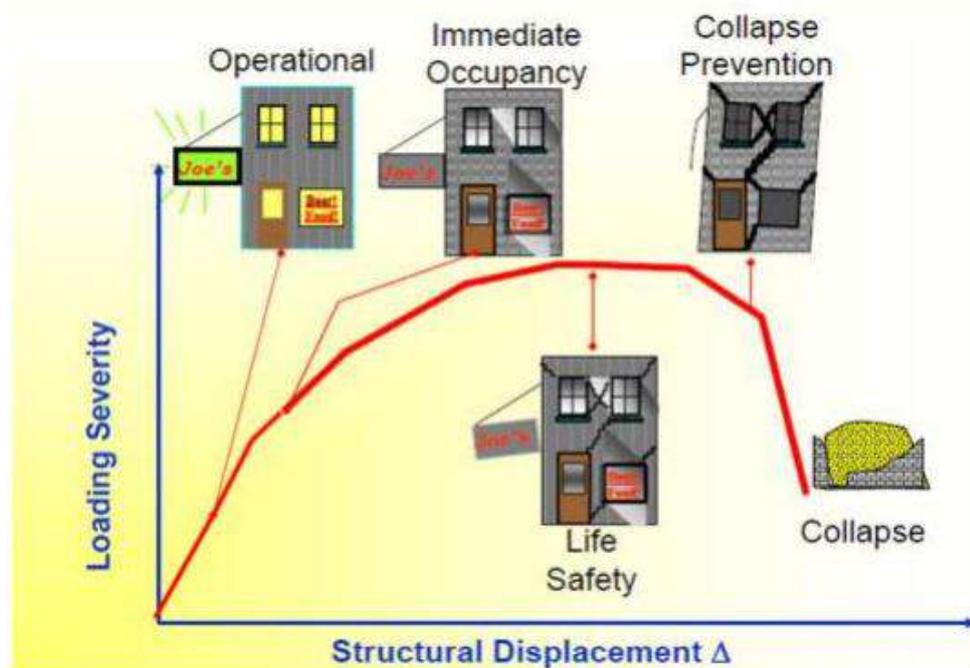
Tata cara desain kategori desain seismik berdasarkan SNI 1726 - 2012 Tabel 6 dan Tabel 7.

2. Mementukan Sistem Penahan Beban Gempa

Penentuan sistem struktur penahan beban gempa harus berdasarkan kategori desain seismik dan tinggi bangunan. Berdasarkan SNI 1726 - 2012, sistem penahan-gaya gempa yang berbeda diizinkan untuk digunakan, untuk menahan beban gempa di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_o harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 9 pada SNI 1726-2012

2.4. Analisis Kinerja Struktur

Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja (*performance-based seismic design*) merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan (*upgrade*) bangunan yang sudah ada, dengan pemahaman yang realistis terhadap risiko keselamatan jiwa (*life safety*), kesiapan untuk dihuni setelah kejadian gempa (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang mungkin terjadi akibat gempa. Proses perencanaan tahan gempa berbasis kinerja dimulai dengan membuat model rencana bangunan kemudian melakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Setiap simulasi memberikan informasi tingkat kerusakan (*level of damage*), ketahanan struktur, sehingga dapat memperkirakan berapa besar risikonya terhadap keselamatan jiwa, kesiapan dihuni dan kerugian harta benda. Level kinerja struktur dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Analisis Kinerja Struktur
Sumber : FEMA 2000

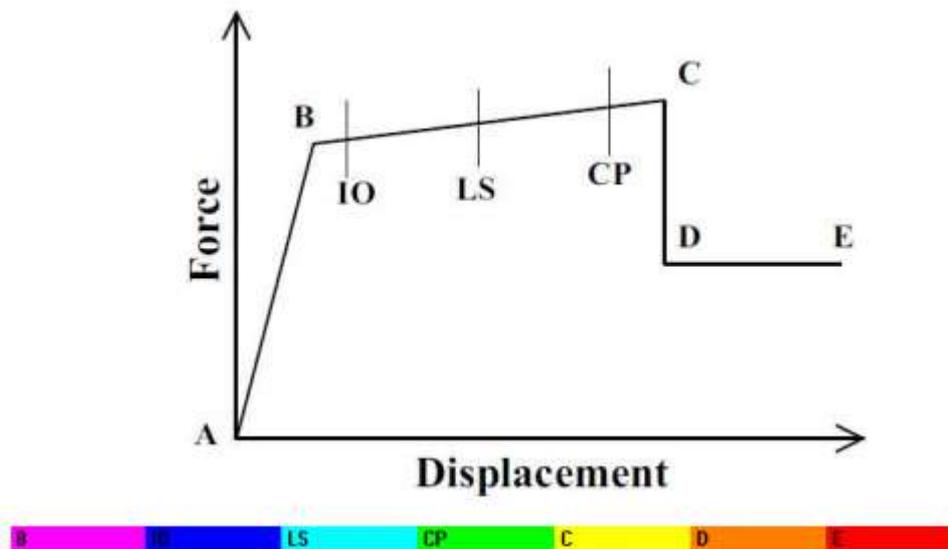
Berdasarkan FEMA 356 analisa level kinerja struktur dapat dilihat dari pengecekan besar rotasi, partisi massa, desain sendi plastis, momen, simpangan dan parameter lainnya. Pengecekan lebih dari beberapa parameter dapat mewakili hasil perilaku struktur sesuai dengan FEMA 356. Berikut akan dijelaskan beberapa tinjauan pustaka tentang analisa parameter perilaku struktur seperti desain plastis, rotasi dan simpangan pada struktur.

2.4.1. Sendi Plastis

Mekanisme sendi plastis terbentuk di ujung-ujung dan di dasar kolom bawah menghasilkan perilaku histeresis yang stabil, pembentukan sendi plastis haruslah didominasi oleh perilaku lentur. Sendi plastis dapat terjadi pada suatu portal berderajat kebebasan banyak (MDOF). Gedung saat dilanda gempa yang cukup besar akan timbul momen-momen pada balok atau kolomnya, apabila besar dari momen-momen tersebut melampaui besar momen kapasitas balok atau kolom portal maka terjadi sendi plastis pada balok atau kolom ditandai dengan melelehnya tulangan baja pada beton bertulang. Sendi plastis terjadi secara bertahap sampai bangunan gedung tersebut runtuh (Ulfah, 2011).

Struktur didesain untuk mengalami kerusakan atau berperilaku inelastik melalui pembentukan sendi-sendi plastis pada elemen-elemen strukturnya, pada saat menahan beban gempa rencana. Perilaku inelastik atau plastis tersebut pada dasarnya memberikan mekanisme disipasi energi pada struktur sehingga dapat membatasi gaya gempa yang masuk ke struktur bangunan. Walaupun struktur bangunan berperilaku inelastik, struktur bangunan tidak boleh mengalami keruntuhan pada saat menerima beban gempa rencana atau bahkan beban gempa yang lebih besar (Imran dan Hendrik, 2010:35).

Berdasarkan FEMA 356 hubungan gaya dan perpindahan dapat dikategorikan ke dalam beberapa kriteria yang menunjukkan perilaku sendi plastis. Hubungan gaya dan perpindahan dalam bentuk grafik adalah seperti pada grafik di bawah:



Gambar 2.9. Tahapan Performa Level Kinerja Struktur
Sumber : CSI 2014

Structural performance level dikategorikan menjadi beberapa rentang yaitu:

- B : batas elastis, sendi plastis pertama terbentuk dalam warna ungu.
- IO : *immediate occupancy*, sendi plastis terbentuk dalam warna biru tua.
- LS : *life safety*, sendi plastis terbentuk dalam warna biru muda.
- CP : *collapse prevention*, sendi plastis terbentuk dalam warna hijau.
- C : *collapse*, sendi plastis terbentuk dalam warna kuning.
- D : *residual point*, sendi plastis terbentuk dalam warna orange.
- E : runtuh total, sendi plastis terbentuk dalam warna merah

Immediate Occupancy berarti kondisi ketika tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur di mana kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa sebelumnya. *Life Safety* berarti kondisi ketika terjadi kerusakan komponen struktur, kekakuan berkurang, tetapi masih mempunyai ambang yang cukup terhadap keruntuhan, komponen nonstruktur masih ada tetapi tidak berfungsi dan dapat dipakai lagi jika sudah dilakukan perbaikan. *Collapse Prevention* berarti kondisi di mana kerusakan yang berarti pada komponen struktur dan non-struktur, kekuatan struktur berkurang banyak dan hampir mengalami keruntuhan.

2.4.2. Simpangan Maksimum

Berdasarkan FEMA 356 rasio batasan simpangan untuk ketiga kategori *Immediate Occupancy*, *Life Safety*, dan *Collapse Prevention* seperti yang terdapat pada Tabel di bawah:

Tabel 2.7 Kriteria Simpangan (Displacement)

Sistem Struktur	IO	LS	CP
Beton	1 %	2 %	4 %

Sumber: FEMA 356 (2000)

2.4.3. Rotasi

Berdasarkan FEMA 356 batasan rotasi pada struktur beton yang diizinkan untuk kondisi *Immediate Occupancy*, *Life Safety*, dan *Collapse Prevention* adalah seperti yang terdapat pada Tabel di bawah :

Tabel 2.8 Rotasi Diizinkan pada Struktur Beton(dalam radian)

Bagian Struktur	IO		LS		CP	
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
Kolom	0,01	-0,01	0,025	-0.025	0,030	-0.030

Sumber: FEMA 356 (2000)

2.4.4. Analisa Peningkatan Base Shear

Perhitungan *base shear* maksimum pada struktur bangunan dapat dilakukan dengan mensimulasikan akibat gempa yang ada di daerah bangunan baik berupa respon spektrum ataupun *time history*. Perhitungan base bisa dilakukan dengan cara analisis THA, *Complete Quadratic Combination (CQC)* dan *Square Root of the Sum of the Squares (SRSS)*. Perhitungan untuk mendapatkan nilai base shear maksimum struktur dan portal bisa juga secara metode numerik dengan bantuan program

analisis struktur menggunakan SAP2000 Perhitungan base shear dengan meninjau gempa arah X saja jika struktur direncanakan berbentuk simetris karena base shear struktur arah X dan Y adalah sama, sementara jika bangunan yang direncanakan tidak simetris maka perhitungan base shear harus ditinjau dari kedua arah gempa baik arah X ataupun arah Y.