

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Konsep Dasar Pracetak

Beton pracetak merupakan elemen atau komponen beton dengan atau tanpa tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan. Dan semua komponen pracetak beserta sambungannya harus mampu menahan semua kondisi pembebanan dan kekangan dari fabrikasi awal sampai penggunaan akhir pada struktur. Termasuk pembongkaran bekisting, penyimpanan, transportasi, dan ereksi (SNI 2847:2013).

Nurjaman (2000) dalam Makmur (2015) menyatakan bahwa secara umum sistem struktur komponen pracetak digolongkan sebagai sistem struktur komponen pracetak sebagian, dimana kekakuannya tidak dipengaruhi oleh pemutusan komponenisasi, misal pelat, dinding dimana pemutusan dilakukan tidak pada balok dan kolom. Sistem pracetak penuh, dalam sistem ini kolom dan balok serta pelat di pracetak dan disambung sehingga menjadi monolit.

Sambungan elemen pracetak adalah bagian yang kritis, dimana berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya antar elemen pracetak. Menurut Elliot (2002) dalam Makmur (2015) kelemahan konstruksi yang menggunakan sistem beton pracetak adalah terletak pada sambungan yang relatif kurang kaku dan monolit, sehingga lemah terhadap beban lateral khususnya dalam menahan beban gempa. Untuk itu sambungan antara elemen balok pracetak dengan kolom maupun dengan plat pracetak direncanakan supaya memiliki kekakuan seperti beton monolit. Sambungan elemen pracetak dengan beton *cast in place* diharapkan memiliki perilaku yang mendekati sama dengan struktur monolit. Gaya-gaya boleh disalurkan antar komponen-komponen struktur dengan menggunakan sambungan *grouting*, kunci geser, sambungan mekanis, sambungan baja tulangan, pelapisan dengan beton bertulang cor di tempat atau kombinasi dari cara-cara tersebut. Sambungan elemen pracetak meliputi sambungan pelat pracetak dengan balok pracetak, sambungan balok pracetak dengan balok pracetak, dan kolom pracetak dengan kolom pracetak. Panjang lekatan setidaknya tiga puluh kali diameter tulangan. Kait digunakan kalau panjang penyaluran yang diperlukan terlalu panjang. Panjang pengankuran yang didapat dari eksperimen adalah antara 8 kali

diameter sampai 15 kalau diameter pada sisi yang tidak mengalami retak. Guna mengatasi kondisi terburuknya sebaiknya digunakan tiga puluh kali diameter tulangan.

B. Komponen Pracetak

Plastisitas beton pracetak memungkinkannya dibuat ke berbagai bentuk dan ukuran. Meskipun perancang beton *precast* secara rutin menghasilkan desain dan bentuk yang sesuai. Perancang biasanya memanfaatkan kecepatan dan ekonomi dengan menggunakan standar komponen yang bisa dirubah dan direplikasi berkali-kali dengan bentuk yang ada. Precaster menyediakan sejumlah komponen khas yang memenuhi besar tantangan desain tradisional. Berikut adalah komponen yang paling sering digunakan dalam pengaplikasian bangunan.

a. Balok

Bagian horisontal yang mendukung komponen dek dan *hollow slab*, balok biasanya dianggap komponen struktural. Tiga jenis balok yang sering digunakan : balok persegi panjang, balok tee terbalik, dan balok-L

b. Kolom

Kolom biasanya mendukung anggota yang bersilangan silang seperti balok, spandrels, atau panel. Secara tradisional bentuk kolom persegi atau empat persegi panjang, kolom biasanya diperuntukkan sebagai komponen bertingkat. Dari komponen satu tingkat sampai enam atau lebih tingkatan.

c. *Hollow Slab*

Hollow slab, juga dikenal sebagai papan, digunakan di berbagai bangunan untuk komponen lantai/dinding. Ini termasuk rumah untuk keluarga dan keluarga tunggal, sekolah, hotel, pusat perawatan kesehatan, perkantoran, fasilitas manufaktur, dan lainnya

d. *Pile*, dll

Pile biasanya digunakan untuk mendukung struktur dalam kondisi tanah yang buruk, terutama di lingkungan laut, karena adaptasi dan ketahanannya yang sangat baik terhadap korosi. Ukuran *pile* yang paling kecil, 10 sampai 14 inci, biasanya digunakan untuk membangun proyek seperti pusat konvensi, hotel, dan fasilitas besar lainnya, dll.

C. Sistem Struktur Beton Pracetak

Berbagai sistem struktur beton pracetak yang telah dikembangkan oleh berbagai perusahaan maupun instansi pemerintah di Indonesia untuk bangunan gedung berupa sistem join balok-kolom dan dinding geser berturut-turut diperlihatkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2. Selain itu, terdapat pula sistem struktur panel beton pracetak yang digunakan sebagai pelat jembatan yang harus mampu menahan beban kendaraan.

Tabel 3.1 Beberapa Sistem Struktur Beton Pracetak Join Balok-Kolom yang Telah Dikembangkan di Indonesia (Sumber: Puslitbang Permukiman, 2011)

No	Nama Sistem	Produsen	Tahun
1	MPS SYSTEM	PT. MEITAMA ABADI	2011
2	CIRCON SYSTEM	PT. ANUGERAH PUTRA NOBAS	2011
3	CLIPCON SYSTEM	PT. SINERGY PRACON NUSANTARA	2011
4	JOINT APBN SYSTEM	Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Balitbang, Kementerian Pekerjaan Umum	2010
5	Kencana System	PT. Kencana Precast	2010
6	TRINITY SYSTEM	PT. PRIMA USAHA TRINITY	2010
7	RB-CON SYSTEM	PT. PRIMA JAYA PERSADA	2010
8	BKP SYSTEM	PT. BANGUN KHARISMA PRIMA	2010
9	W-PLUS SYSTEM	PT. CIPTA JAYA FADHILAH	2010
10	MANARA SYSTEM	PT. MANARA INDAH	2010
11	SAKORI SYSTEM	Saudara Dedi P. Putra	2008
12	Highbise Building System	P.T. Dantosan Precon Perkasa	2008
13	SISTEM PRECAST Rigid Joint Precast (RJP)	P. T. Hiper Concrete Precast Structure Industry	2010
14	ERDEA SYSTEM	P.T. ERDEA	2009
15	DDC (DOUBLE DOWEL CONNECTION) SYSTEM	PT. HARIS JAYA UTAMA	2009
16	JHS SYSTEM COLUMN	P. T. JHS PRECAST CONCRETE	2009

	BEAM SLAB G3	INDONESIA	
17	ORICON (OVAL RING CONNECTION) SYSTEM	PT. VALTEK KARSATAMA	2009
18	TRICON 3 - JUPITER SYSTEM	P.T. TRIBINA PRIMA LESTARI	2009
19	VIRTU SYSTEM	PT. TOTAL BOANERGES INDONESIA	2009
20	PT. TOTAL BOANERGES INDONESIA	PT. WIDYA SATRIA	2009
21	KOTAPARI SYSTEM	PT. BUANA CONSTRUCTION	2008
22	JHS SYSTEM COLUMN BEAM SLAB G3 SYSTEM	P.T. JHS Precast Concrete Indonesia	2008
23	Interior Less Moment Connection – High Rise System (LMC-HRS)	P.T. RIYAH PERMATA ANUGRAH DAN P.T. BINANUSA PRACETAK DAN REKAYASA	2008
24	TRICON L10 SYSTEM	P.T. TRIBINA PRIMA LESTARI	2007
25	WASKITA PRECAST 07 SYSTEM	P. T. Waskita Karya dan Ir. Prijasambada, MM	2007
26	JAVA PERKASA PRECAST 07 SYSTEM	P. T. Java Perkasa dan Ir. Prijasambada, MM.	2007
27	SYSTEM sambungan Balok & Kolom HK PRECAST	P. T. Utama Karya	2007
28	PLATCON PRECAST 07 SYSTEM	P. T. Rang Pratama dan Ir. Sutadji Yuwasdiki, Dipl. E. Eng.	2007
29	TBR-J SYSTEM	P. T. Tata Bumi Raya dan Ir. Junaedi ME	2008
30	DPI SYSTEM	P. T. DANIA PRATAMA INTERNASIONAL	2009
31	CCP (COUPLE COMB PLATE) SYSTEM	PT. Victory Sena Utama	2008
32	KW SYSTEM	P.T. KUMALA WANDIRA	2008
33	Well Conn System	P.T. BORNEO SAKTI	2008

34	PPI SYSTEM	P T. Pacific Prestres Indonesia	2007
35	Sistem Struktur Beton Pracetak WITON-SC	P. T. Wijaya Karya Beton	2007
36	C-PLUS SYSTEM	Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Balitbang, Kementerian Pekerjaan Umum	2006

Tabel 3.2 Beberapa Sistem Struktur Beton Pracetak Dinding Geser yang Telah Dikembangkan di Indonesia (Sumber: Puslitbang Permukiman, 2011)

No.	Nama Sistem	Produsen	Tahun
1	Precast Coupled Wall System	P.T. Catur Cipta Graha	2011
2	n-Panel System	Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Balitbang, Kementerian Pekerjaan Umum	2009
3	PRECON SYSTEM	P.T. Dantosan Precon Perkasa	2008
4	Sistem Wall and Slab	P.T. Griyaton	2006

D. Hubungan Tegangan-Regangan

1. Tegangan

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya (F) atau reaksi dalam yang timbul per satuan luas (A). Apabila terjadi tegangan secara merata pada luasan (A) dan tegangan (S) bernilai konstan, hal ini sesuai dengan pernyataan Zainuri, 2008. maka persamaan yang digunakan.

$$\sigma = F/A \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana,

σ = Tegangan (N/mm^2)

F = Gaya (N)

A = Luasan (mm^2)

Besarnya tegangan lentur dapat dirumuskan sebagai

$$\sigma = \frac{M.y}{I} \dots \dots \dots (3.2)$$

dimana,

σ = Tegangan (N/mm²)

M = Momen maksimum (Nmm)

y = Jarak pusat titik berat (mm)

I = Inersia (mm⁴)

2. Regangan

Regangan adalah perubahan ukuran dari panjang awal sebagai hasil dari gaya yang menarik atau menekan pada material. Apabila suatu spesimen struktur material diikat pada jepitan mesin pengujian dan beban serta pertambahan panjang spesimen diamati serempak, maka dapat digambarkan pengamatan pada grafik dimana ordinat menyatakan beban dan absis menyatakan pertambahan panjang. Untuk memperoleh satuan deformasi atau regangan yaitu dengan membagi perpanjangan ($l-l_0$) dengan panjang material mula-mula (l_0). Hal ini sesuai dengan pernyataan Zainuri, 2008.

Dengan rumusan :

$$\sigma = (L-L_0)/L_0 \dots \dots \dots (3.3)$$

Dimana,

ε = Regangan

L = Panjang mula-mula

L_0 = Panjang akhir

3. Hubungan Tegangan dan Regangan

Zainuri (2008) menyatakan jika suatu benda ditarik maka akan mulur (*Extension*), terdapat hubungan antara pertambahan panjang dan tegangan yang diberikan. Jika gaya persatuan luasan disebut tegangan dan pertambahan panjang disebut regangan maka hubungan ini dinyatakan dengan grafik tegangan regangan (*stress-strain graph*).

Pada hubungan tegangan dan regangan didapatkan modulus elastisitas suatu bahan. modulus elastisitas dapat dihitung dengan rumus :

$$E = \frac{\text{Tegangan Ultimate}}{\text{Regangan Ultimate}} \dots \dots \dots (3.4)$$

Dimana, E = Modulus Elastisitas (N/mm²)

Diagram tegangan dan regangan yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dapat digunakan untuk mencirikan beberapa karakteristik tegangan bahan, diantaranya:

a) Batas proporsi (*proportional limit*)

Dari titik asal O ke titik yang disebut batas proporsional masih merupakan garis lurus (Gambar 3.1). Pada daerah itu berlaku hukum Hooke, bahwa tegangan sebanding dengan Regangan.

b) Batas elastis (*Elastic limit*)

Batas elastis merupakan batas tegangan dimana bahan tidak dapat kembali ke bentuk semula apabila beban dilepas tetapi akan terjadi deformasi tetapyang disebut *permanent set*.

c) Titik mulur (*Yield point*).

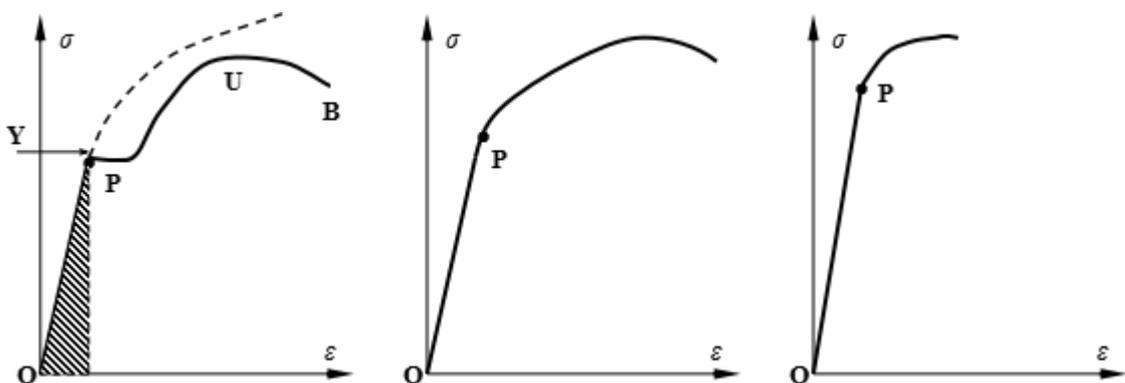
Titik mulur adalah titik di mana bahan memanjang mulur tanpa penambahan beban.

d) Kekuatan maksimum (*Ultimate strength*)

Titik ini merupakan ordinat tertinggi pada kurva tegangan dan regangan yang menunjukkan kekuatan tarik (*tensile strength*) bahan.

e) Kekuatan patah (*Breaking strength*)

Kekuatan patah terjadi akibat bertambahnya beban mencapai beban patah sehingga beban meregang dengan sangat cepat dan secara simultan luas penampang bertambah kecil.



Gambar 3.1 Diagram Tegangan-Regangan khusus (Zainuri, 2008).

E. Daktilitas

Zainuri, (2008) menyatakan bahwa duktilitas adalah sifat bahan yang mampu berdeformasi terhadap beban tarik sebelum benar-benar patah (rupture).

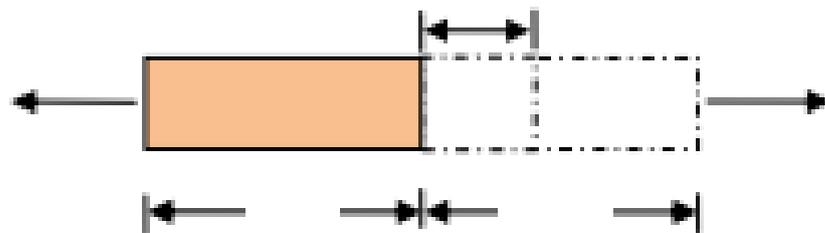
Daktilitas adalah kemampuan stuktur atau komponen syruktur untuk mengalami deformasi inelastic bolak-balik berulang setelah leleh pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup untuk mendukung bebannya, sehingga struktur tetap berdiri walaupun sudah retak/rusak dan diambang keruntuhan.

Faktor daktalitas struktur gedung μ adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan (δm) dengan simpanan struktur gedung pada saat terjadinya pelelahan pertama (δy). pada kondisi elastik penuh nilai $\mu = 1,0$. Tingkat dakilitas struktur dipengaruhi olah pola retak atau sendi plastis terjadi di ujung-ujung balok dan bukan pada kolom dan dinding yang memikulnya. Menurut Paulay & Priesley (1992) daktilitas terbagi dalam:

1. Daktilitas regangan (strain ductility) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_{\epsilon} = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_y} \dots\dots\dots(3.5)$$

Seperti terlihat pada Gambar 3.2

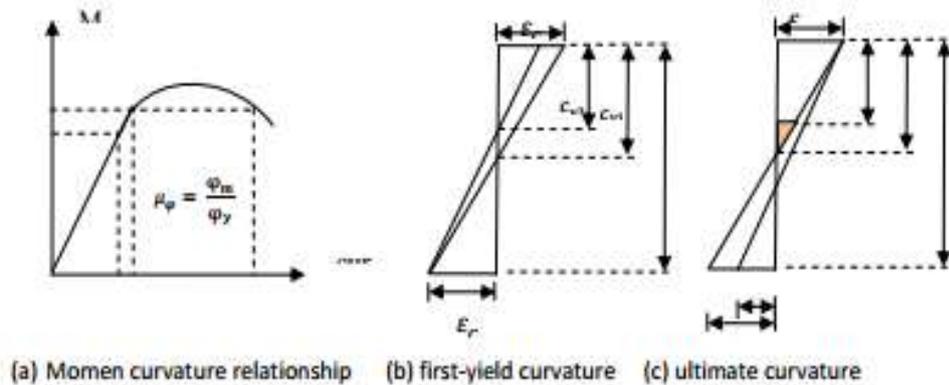


Gambar 3.2 Daktilitas regangan (Paulay & Priesley (1992)).

2. Daktilitas kelengkungan (curvature ductility), dapat dirumuskan seagai berikut :

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_u}{\phi_y} \dots\dots\dots(3.6)$$

Dimana ϕ = sudut klengkungan (putaran sudut per unit panjang)

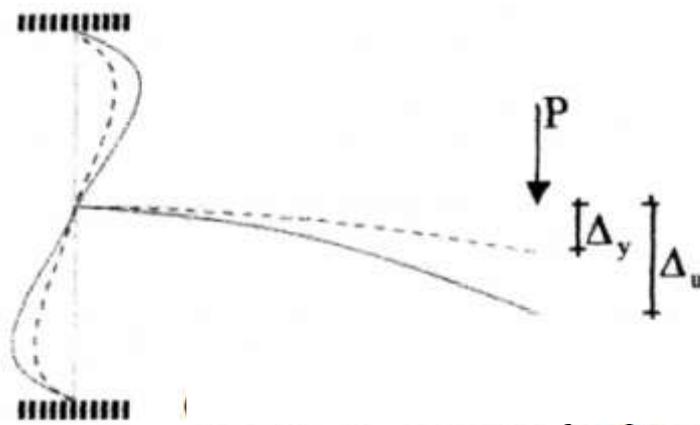


Gambar 3.3 Daktilitas kelengkungan (Paulay & Priesley (1992)).

3. Daktilitas perpindahan (*displacement ductility*) adalah perbandingan antara perpindahan struktur maksimum pada arah lateral terhadap perpindahan struktur saat leleh.

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \dots\dots\dots(3.7)$$

Seperti terlihat pada Gambar 3.4 berikut :



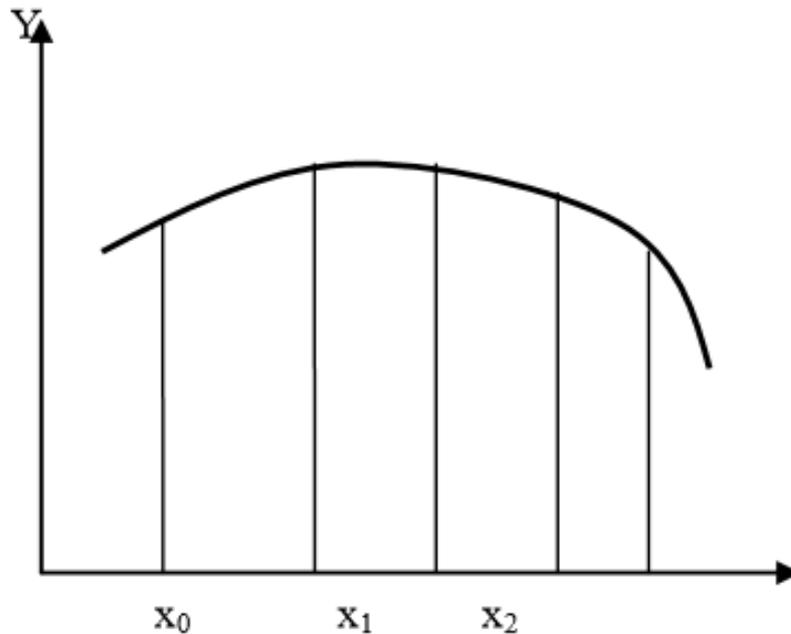
Gambar 3.4 Daktilitas Perpindahan (Paulay & Priesley (1992)).

F. Disipasi Energi

Disipasi energi adalah kemampuan struktur dalam menyerap energi melalui proses leleh pada daerah sendi plastis. Dalam merencanakan suatu struktur gedung tahan gempa bersifat daktail di daerah sendi plastis sehingga diharapkan terjadinya deformasi plastis sebelum keruntuhan. Total energi terdisipasi selama pembebanan berlangsung merupakan luas daerah dari kurva beban (p) dan *displacement* (u). faktor-faktor yang mempengaruhi disipasi energi adalah kuat

tekan, dimensi penampang dan riwayat pembebanan. Luas area kurva dapat dihitung dengan pendekatan aturan trapesium banyak pias seperti Gambar 3.4. Luas area (A) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta x_i \left(\frac{f(x_i) + f(x_{i-1})}{2} \right) \dots \dots \dots (3.8)$$



Gambar 3.5 aturan trapesium dengan banyak pias.

G. Pola Retak

Retak merupakan adalah terjadinya pemisahan antara massa beton yang relatif panjang dengan yang sempit. Secara visual retak nampak seperti garis yang tak beraturan. Retak yang terjadi setelah beton mengeras salah satunya adalah retak struktural. Retak ini terjadi karena adanya pembebanan yang mengakibatkan timbulnya tegangan lentur, tegangan geser dan tegangan tarik.

Retak merupakan jenis kerusakan yang paling sering terjadi pada struktur beton, retak bisa terjadi pada saat beton mulai mengeras maupun setelah beton mengeras. Retak yang terjadi saat beton mulai mengeras (beton belum mampu menahan beban) antara lain terjadi karena pembekuan udara dingin (pada daerah dengan musim dingin), susut (*shrinkage*), penurunan (*settlement*), dan penurunan acuan (*formwork*).

Retak yang terjadi setelah beton mengeras salah satunya adalah retak structural. Retak ini terjadi karena adanya pembebanan yang mengakibatkan munculnya tegangan lentur, geser dan tarik. Pada dasarnya, retak yang terjadi pada elemen atau struktur beton terdiri dari tiga macam yaitu (Triwiyono, 2000) :

1. Retak Lentur (*flexural crack*)

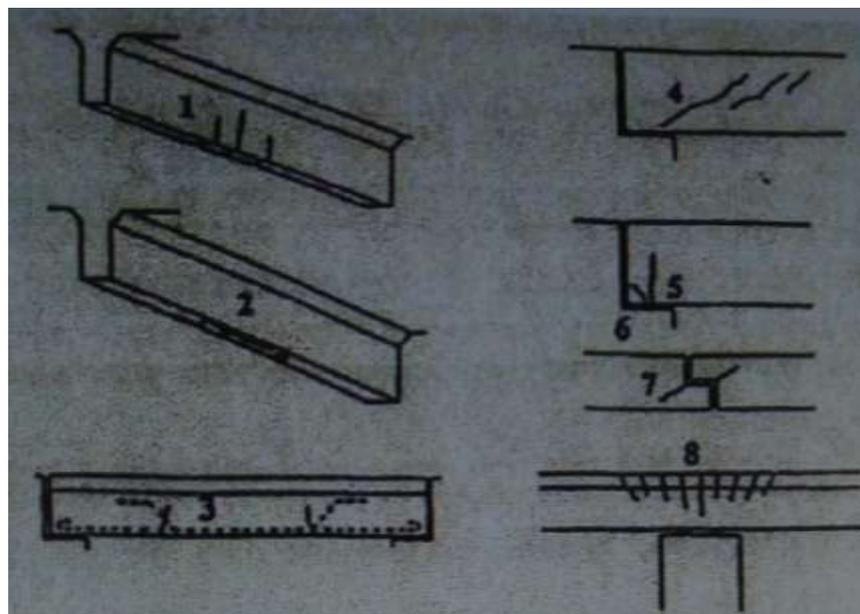
Retak yg terjadi akibat dari beban lentur yang jauh lebih besar dari beban gesernya. Bentuk retak ini akan merupakan garis lurus sejajar dengan arah gaya yang bekerja pada komponen tersebut (mengarah/menjalur dari bagian tarik menuju bagian tekan).

2. Retak Geser Lentur (*flexural shear crack*)

Retak geser lentur adalah retak miring yang merupakan retak lanjutan dari retak lentur yang terjadi sebelumnya. Retak ini terjadi jika gaya momen dan geser yang terjadi sama besar.

3. Retak Geser (*shear crack*)

Retak yang terjadi akibat gaya geser dan bentuk dari retak ini akan membentuk sudut 45° terhadap gaya yang bekerja pada komponen tersebut. Retak ini terjadi pada lokasi yang belum mengalami retak lentur dan hal ini terjadi karena gaya geser yang ada lebih besar dari momen yang ada.



Gambar 3.6 Pola retak pada beton bertulang (Triwiyono,2000)

H. Metode Elemen Hingga

ABAQUS merupakan program computer berbasis elemen hingga untuk menganalisis berbagai macam permasalahan *nonlinier* termasuk beton bertulang. Kemampuan program ini tidak laho diragukan karena mampu untuk melakukan *meshing* dengan akurat dengan berbagai pilihan model elemen agar dapat semakin mendekati dengan kondisi sebenarnya serta mampu melakukan analisis dinamik dan siklik *loading*. ABAQUS memberikan solusi berbagai persamaan konstitutif untuk menyelesaikan permasalahan *nonlinier* sehingga emudahkan pengguna untuk memilih solusi yang tepat untuk model yang akan dianalisis.

Proses pemodelan pada ABAQUS/CAE dibagi dalam beberapa modul. Setiap modul memiliki fungsi yang spesifik dalam mendefinisikan model dan setiap modul hanya memiliki tools yang relevan dengan fungsi spesifik tersebut. Modul-modul tersebut antara lain :

1. Modul *Part*.

Pada modul ini *part-part* individual diciptakan dengan cara mensketsa geometri masing-masing atau mengimport geometri yang telah dibuat dari program pemodelan geometri yang lain.

2. Modul *Property*

Pada modul ini *section* dan defenisi material diciptakan dan kemudian diaplikasikannya ke suatu *part* atau suatu bagian dari *part*.

3. Modul *Assembly*

Pada modul ini *part-part* individual yang memilki sistem koordinatnya masing-masing digabungkan ke dalam suatu koordinat global dan kedudukan relative antara satu *part* dengan yang lainnya diatur sehingga menjadi satu model yang utuh. *Part* yang telah dimasukkan kedalam modul *assembly* disebut *part instance*. Satu model ABAQUS hanya dapat memiliki satu macam *assembly*.

4. Modul *Step*

Pada modul ini *analysis step* diciptakan dan kemudian dikonfigurasi. Selain itu *output request* juga dapat dikonfigurasi disini sesuai kebutuhan.

5. Modul *Interaction*

Pada modul ini interaksi mekanik dan termal antara daerah-daerah dari model atau antar daerah model dan lingkungannya didefinisikan. Contohnya adalah interaksi antara dua permukaan yang bersinggungan. ABAQUS/CAE tidak dapat mengenali kontak mekanik antara permukaan *part instance* dari suatu *assembly* walaupun kedua *part instance* tersebut bersinggungan, kecuali jika kontak itu didefinisikan secara spesifik pada modul interaksi. Interaksi adalah objek yang bersifat dependen terhadap *analysis step*, yang berarti untuk setiap interaksi harus didefinisikan pada *analysis step* yang mana ia bekerja.

6. Modul *Load*

Pada modul ini beban, kondisi batas dan *predefined fields* didefinisikan. Beban dan kondisi batas bersifat dependen terhadap *analysis step* yang berarti untuk setiap beban dan kondisi batas harus didefinisikan pada *analysis step* yang mana mereka bekerja. Beberapa *predefined field* bersifat dependen terhadap *analysis step* sementara sisanya diplikasikan hanya pada permulaan analisis.

7. Modul *Mesh*

Pada modul ini tersedia *tools* yang bertujuan menciptakan *mesh* elemen hingga pada *assembly* yang telah dibuat.

8. Modul *Job*

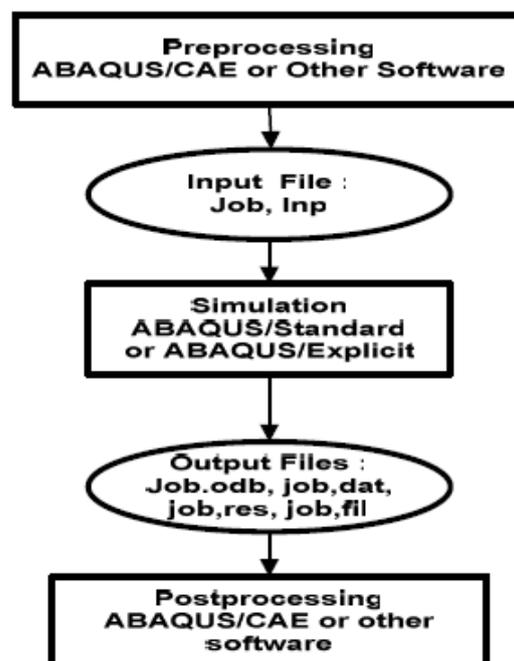
Pada modul ini analisis model dilakukan dan dimonitor, lebih dari satu model dan *run* dapat dilakukan bersamaan serta dimonitor secara bersamaan juga.

9. Modul *Visualization*

Modul ini menyediakan penyajian secara grafis dari model elemen hingga dan hasil analisis. Informasi hasil yang dikeluarkan sesuai dengan informasi *output* yang diminta yaitu *output request* pada modul *step*.

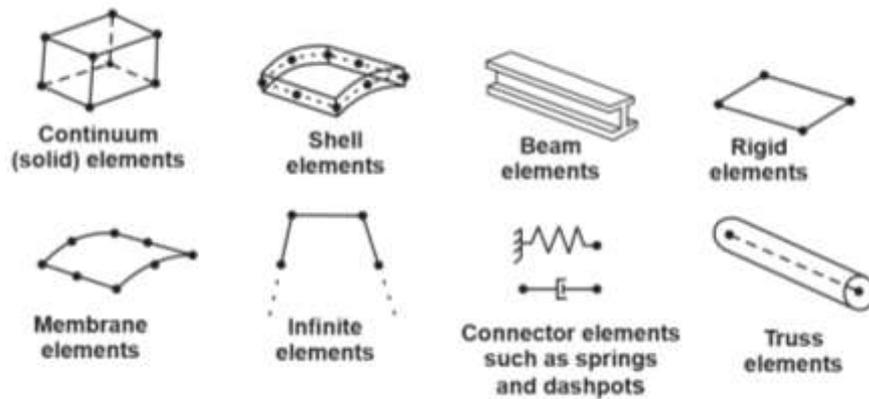
Software ABAQUS juga menyediakan program yang digunakan untuk memodelkan benda yang akan dianalisis yang diberi nama ABAQUS CAE. Program ini berfungsi sebagai desain model yang akan kita analisis kekuatannya. Seperti kebanyakan program komputer yang banyak tersedia di pasaran,

ABAQUS mempunyai fasilitas CAD/CAM/CAE yang bisa difungsikan sebagai program analisis elastis dan plastis. Keunggulan ABAQUS dibanding dengan program lain sejenis adalah lengkapnya menu yang tersedia pada *part module*. Selain itu kita juga bisa melakukan *test* dengan memasukkan data secara manual didalam *input file*. Pengembangan bahasa program dalam ABAQUS memungkinkan para desainer lebih mudah dalam memilih metode yang digunakan dalam melakukan proses simulasi dan analisis (ABAQUS CAE *User manual*,2003). Kemungkinan terjadi kesalahan dan kegagalan selama proses *running* dari *input file* yang telah dimasukkan bisa disebabkan karena kesalahan dalam memasukan data pada *module* ABAQUS CAE 6.13-1. Analisis ABAQUS secara lengkap biasanya terdiri dari tiga tingkat tertentu : *preprocessing*, simulasi, dan *postprocessing* seperti yang ditunjukkan pada diagram berikut :



Gambar 3.7 Diagram alir proses *running* (ABAQUS Manual).

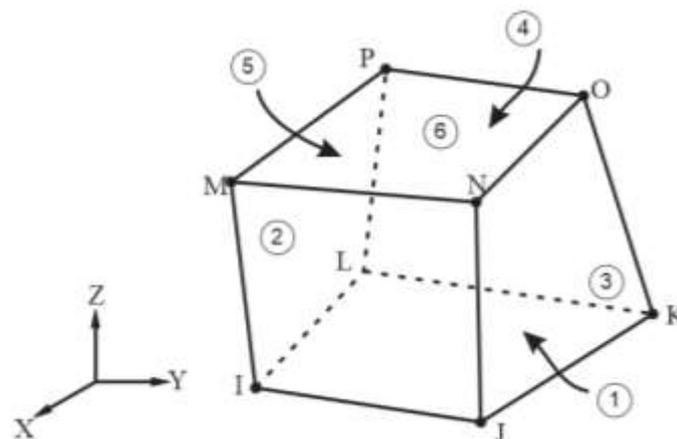
Konsentrasi ABAQUS dalam pengembangan *software* memberikan kemajuan dalam ketetapan permodelan material, geometrid an model pembebanan sehingga bisa semakin diperoleh hasil yang eksak dan mendekati kondisi nyata dalam pemodelan, ABAQUS memeberikan banyak pilihan model yang dapat digunakan. Pengguna dapat memilih model sesuai dengan geometri, material, perilaku benda uji yang dimodelkan.



Gambar 3.8 Macam-Macam Model Elemen (ABAQUS manual)

1. Material beton

Dalam pemodelannya, beton bertulang dimodelkan sebagai *three-dimensional solid part/continuum element*. Pertimbangannya adalah penggunaan *Three-dimensional* model akan memberikan kemungkinan untuk menggunakan kondisi batas yang lebih kompleks dan diharapkan lebih mendekati kondisi actual sebenarnya dari benda uji. Tipe elemen ini memiliki delapan titik dengan tiga derajat kebebasan tiap titikya dan translasinya pada arah x , y , z . Elemen ini mampu untuk melakukan deformasi, retak pada tiga arah sumbu *orthogonal* dan kemudian hancur. Geometri dan posisi titik dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut.

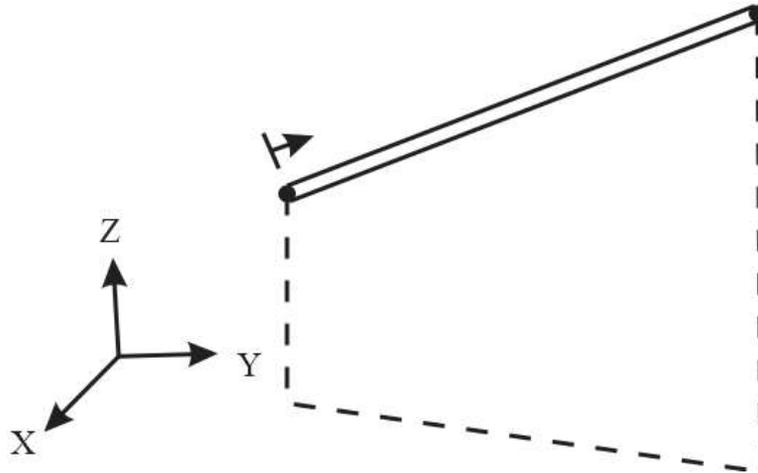


Gambar 3.9 *Three dimensional solid element* (ABAQUS manual)

2. Model Baja Tulangan & Plat Sambung

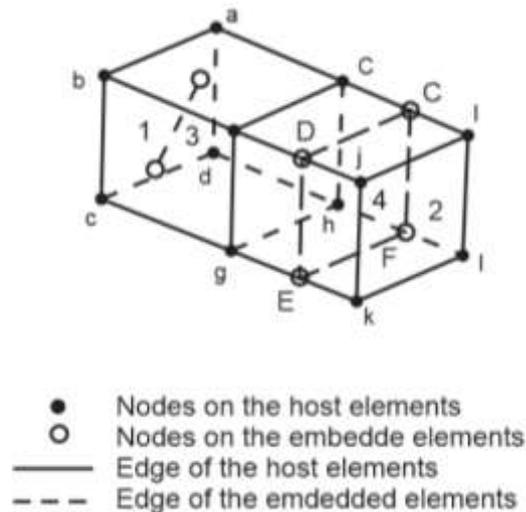
Model *truss* disediakan pada ABAQUS untuk memodelkan baja tulangan. Diperlukan minimal dua titik untuk menggunakan elemen ini.

Tiap titiknya memiliki tiga derajat kebebasan dan translasinya pada arah x, y, z. Elemen ini mempunyai kemampuan untuk mengalami deformasi plastis. Bentuk geometri dan posisi penempatan titik dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut :



Gambar 3.10 Truss elemen (ABAQUS manual)

ABAQUS memberikan dua pilihan untuk mendiskritisasi tulangan diskrit dalam model tiga dimensi. Tulangan dapat didesain sebagai *embedded surface* dengan model *rebar layer* atau *embedded* dengan menggunakan *truss* elemen. Namun umumnya pada pilihan pertama biasanya digunakan dalam pemodelan untuk plat, untuk benda uji berupa balok kolom atau *joint* digunakan dalam pemodelan plat, untuk benda uji berupa balok kolom beton atau *joint* yang digunakan *embedded of truss element*. Untuk plat sambung digunakan permodelan *embedded* dalam interaksinya dengan elemen beton. Konsep jika interaksi elemen didefinisikan sebagai *embedded* maka akan terjadi interaksi yang sama antara elemen *embedded* dengan *host* elemennya. Translasional derajat kebebasan dari titik *embedded* terkait dengan hasil interpolasi berdasarkan derajat kebebasan dari *host* elemennya. Jadi *host* elemen sebagai *constrain* pada *embedded* elemen, sehingga translasi yang terjadi pada titik *embedded* akan identik dengan *host* elemennya. Penjelasan dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Konsep *embedded* elemen (ABAQUS manual)

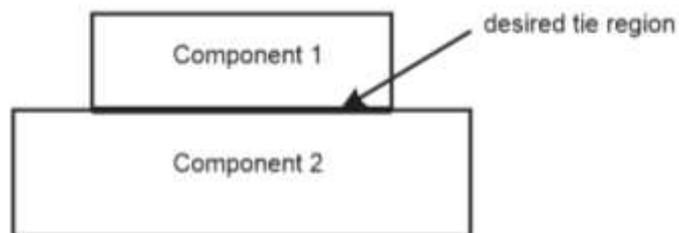
3. Model Material *Grouting*

Material *Grouting* sebagai pengisi memiliki karakter yang sama dengan beton sehingga permodelannya pun menggunakan *three-dimensional solid part*. Perbedaannya pada interaksi antara beton basah dengan beton pracetak dimana diusulkan oleh lin xin (2007) menggunakan *tie function* dalam permodelannya sehingga terjadi perbedaan perilaku pada daerah pertemuan antara beton pracetak dengan material pengisi. Pada Tabel 3.3 didapat dilihat jenis karakter permukaan permukaan yang dapat diterapkan dalam interaksi *tie function*.

Tabel 3.3 Perbandingan karakter permukaan *tie formulation*
(ABAQUS manual)

<i>Tie Formulation</i>	<i>Optimized stress accuracy</i>	<i>Node-based surfaces allowed</i>	<i>Mixture of rigid and deformable subregions</i>	<i>Treatment of nodes/facets shared between master and slave surfaces</i>
<i>Surface-to-</i>	<i>Yes</i>	<i>Reverts to</i>	<i>No</i>	<i>Eliminated</i>

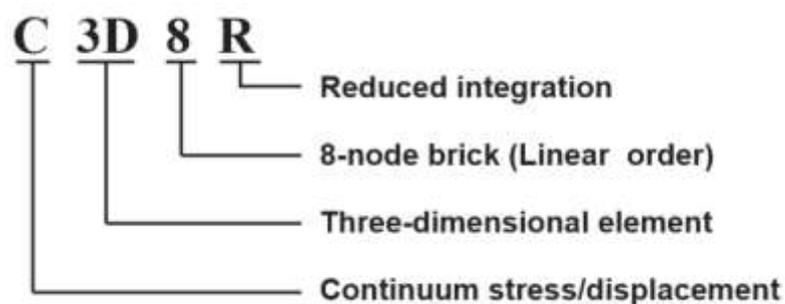
<i>surface</i> (<i>abaqus/Standard</i> or <i>Abaqus/Explicit</i>)		<i>node-to-</i> <i>surface</i> <i>formulation</i>		<i>form slave</i>
<i>Node-to-surface</i> <i>in</i> <i>Abaqus/Standard</i>	<i>No</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>	<i>Eliminated</i> <i>form slave</i>
<i>Node-to-surface</i> <i>in</i> <i>Abaqus/Explicit</i>	<i>No</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>Eliminated</i> <i>form slave</i>



Gambar 3.12 Model *Tie Function* (ABAQUS manual)

4. *Mashing* Beton

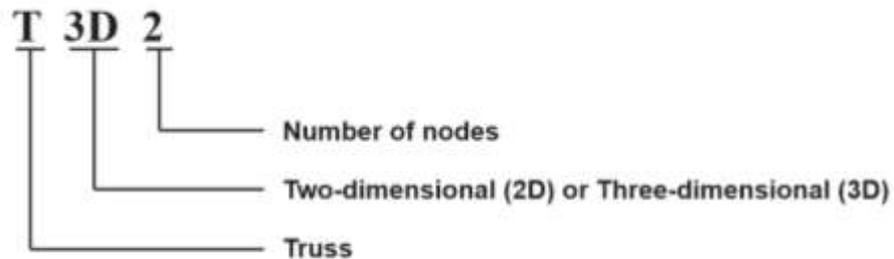
Pemodelan elemen hingga pada penelitian ini dibatasi oleh jenis material yang tersedia didalam ABAQUS yang dinamakan brick elements sehingga dapat diperoleh distribusi gaya yang paling tepat pada analisis 3 dimensi. ABAQUS menyediakan beberapa tipe dalam contohnya C3D8R elemen, dengan penjelasan pada Gambar 3,13



Gambar 3.13 Model *brick element* 3D untuk beton (ABAQUS Manual).

5. *Mashing* baja tulangan

Tulangan merupakan elemen tarik pada beton bertulang, dapat didefinisikan sebagai elemen *truss* tiga dimensi baik secara linear (T3D2) atau pun *quadratic order* (T3D3). Pemilihan elemen ini sebagai *truss*, terkait dengan sifat tulangan yang meneruskan distribusi gaya sepanjang tulangan. Hal ini sesuai dengan sifat elemen *truss* pada ABAQUS yang mendistribusikan gaya sepanjang elemen. Sehingga dapat diperoleh perilaku yang tepat pada baja tulangan.



Gambar 3.14 Model *Truss Element 3D* (ABAQUS Manual).