

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Konsep Dasar Sistem Pracetak

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

Pada perencanaan pracetak, setiap komponen diperhitungkan terhadap beban yang akan terjadi sejak proses produksi (pre pabrikan), pengangkutan, pengangkatan, pemasangan (ereksi) sampai pada beban pemakaian (beban *service* dan *ultimate*) selama masa pakainya (Siddiq, 1995). 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 dan kekakuan yang cukup agar 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).

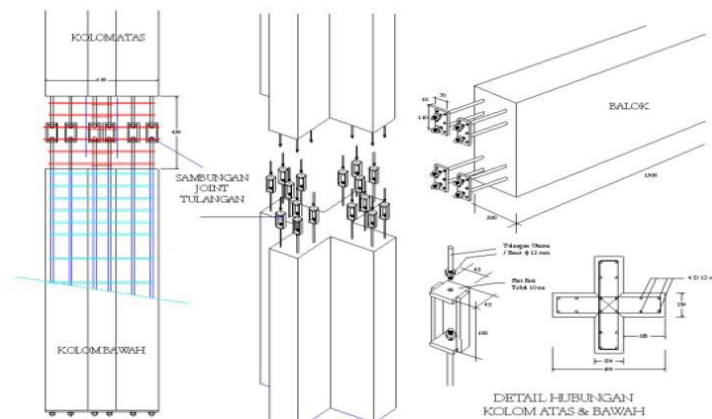
Sambungan pada join direncanakan terhadap adanya penyimpangan baik dalam hal pemasangan maupun ukuran masing-masing elemen pracetak (dalam pembuatannya, toleransi maksimum yang diijinkan sebesar 3 mm).

B. Sistem Sambungan Pracetak

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

1. Sistem Pracetak C-Plus

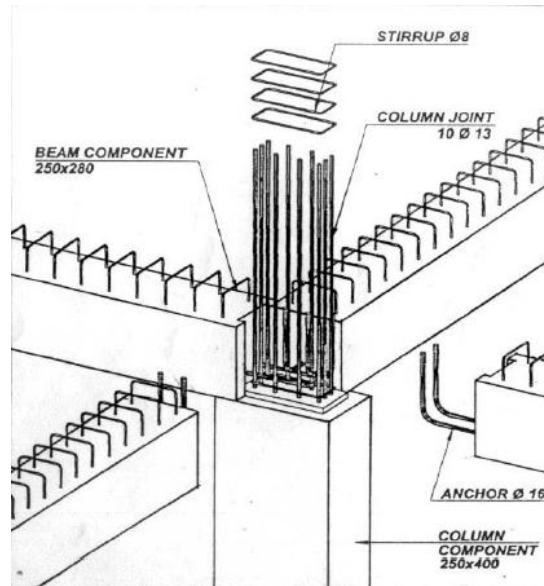
Sistem Pracetak struktur ini memiliki konsep struktur pracetak rangka terbuka, komponen kolom plus dan balok persegi dengan stek tulangan yang berulir. Sistem sambungan mekanis balok dan kolom, plat baja berlubang dengan mur.



Gambar 3.1 Sistem sambungan C-Plus (Puslitbang, 2010)

2. Sistem Brespaka

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. Sistem ini bersifat rangka terbuka bentuk sesuai dengan model dan perhitungan struktur, bersifat daktail penuh, perencanaan mempertimbangkan *shear control* dan ditumpu dengan perletakanpada kondisi beban pelaksanaan. Kelebihan sistem brespaka ini dibuat dengan mutu tinggi untuk memperkecil dimensi struktur, adanya efisiensi biaya karena produktivitas tenaga kerja tinggi.



Gambar 3.2 Sistem sambungan Brespaka (Puslitbang, 2010)

3. Sistem Pracetak KML (Kolom Multi Lantai)

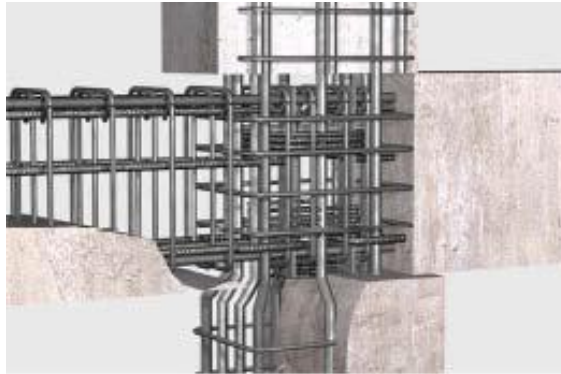
Sistim KML adalah Sistim beton pracetak yang memberikan percepatan pelaksanaan, karena komponen precast kolom dapat dicetak dan dierection langsung untuk 2 - 5 lantai, sehingga dapat menghemat waktu dalam pelaksanaan *erection* komponen kolom. Sistem ini menjamin ketegakan as kolom, integritas antar komponen struktur lebih baik karena joint kolom-balok-slab yang cukup monolit, tulangan kolom atas maupun bawah dapat dibuat enerus.



Gambar 3.3 Sistem sambungan KML (Puslitbang, 2010)

4. Sistem Struktur Pracetak JEDDS (Joint Elemen Dengan Dua Simpul)

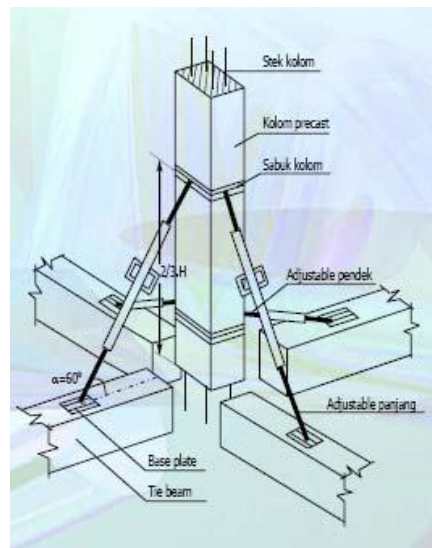
Konsep dari sistem ini adalah penanaman “DUA SIMPUL”, simpul pertama yaitu transfer gaya antar balok melalui besi tulangan yang diikat pada kuping strand dengan plat baja, simpul kedua yaitu lilitan lilitan strand. Perkuatan tambahan joint dengan besi tulangan dan begel.



Gambar 3.4 Sistem sambungan JEDDS (Puslitbang, 2010)

5. Sistem Struktur Pracetak Adhi BCS (*Beam Column System*)

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



Gambar 3.5 Sistem sambungan Adhi BCS (Puslitbang, 2010)

C. Konsep Dasar Beton Bertulang

Sifat utama dari beton, yaitu sangat kuat terhadap beban tekan, tetapi juga bersifat getas/ mudah patah atau rusak terhadap beban tarik. Sifat utama dari baja tulangan, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Karena baja

tulangan harganya mahal, maka sedapat mungkin dihindari penggunaan baja tulangan untuk memikul beban tekan. Dari sifat utama tersebut, maka jika kedua bahan (beton dan baja tulangan) dipadukan menjadi satu-kesatuan secara komposit, akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Beton bertulang ini mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh baja tulangan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton. Pada saat sekarang ini, bahan beton bertulang sangatlah penting dalam berbagai pembangunan, baik untuk gedung bertingkat tinggi, jembatan, jembatan bertingkat (jembatan layang), bendungan, jalan raya maupun dermaga pelabuhan (Asroni, 2003).

D. 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 beban-beban 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

struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja secara perlahan-lahan pada struktur.

E. Daktilitas

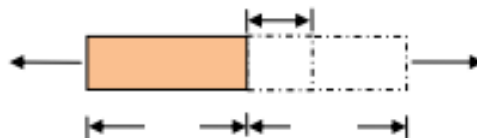
Daktilitas adalah kemampuan struktur atau komponen struktur untuk mengalami deformasi inelastik bolak-balik berulang setelah leleh pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup untuk mendukung bebannya, sehingga struktur tetap berdiri walaupun sudah retak/rusak dan diambang keruntuhan.

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

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

$$\mu_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} \dots\dots\dots (3.1)$$

Seperti terlihat pada Gambar 3.7.

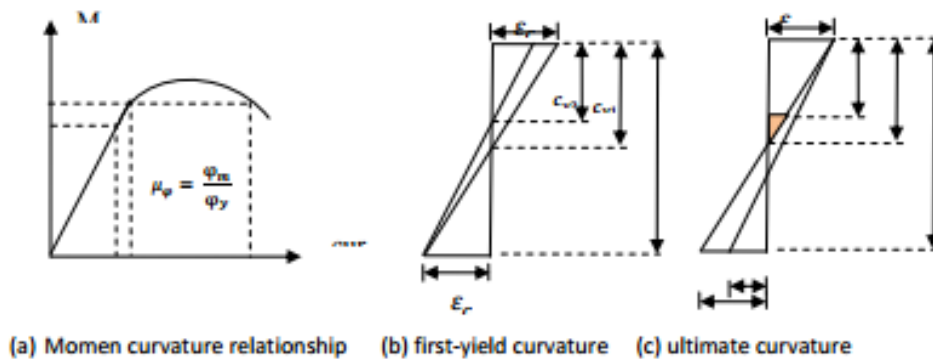


Gambar 3.6 Daktilitas regangan (Paulay & Priestley 1992)

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

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_u}{\phi_y} \dots\dots\dots (3.2)$$

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

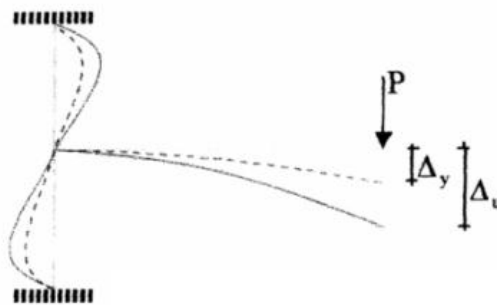


Gambar 3.7 Daktilitas kelengkungan (Paulay & Priestley 1992)

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

$$\mu_\Delta = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \dots \dots \dots (3.3)$$

Seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 3.8 Daktilitas Perpindahan (Paulay & Priestley 1992)

F. Hubungan Tegangan dan Regangan

1. Tegangan (σ)

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya (P) atau reaksi dalam yang timbul per satuan luas (A), maka persamaan yang digunakan menurut (Singer, 1995) adalah :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (3.4)$$

Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negative jika menimbulkan penekanan (*Compression*).

2. Regangan (ϵ)

Regangan adalah perubahan ukuran dari panjang awal sebagai hasil dari gaya yang menarik atau menekan pada material. Batasan sifat elastis perbandingan tegangan regangan akan linier dan akan berakhir sampai pada titik mulur. Hubungan tegangan regangan tidak lagi linier pada saat material mencapai batas fase sifat plastis. Rumus untuk memperoleh satuan deformasi atau regangan (ϵ) yaitu dengan membagi perpanjangan ($l-l_0$) dengan panjang material mula-mula (l_0). Hal ini sesuai dengan pernyataan (Singer, 1995), dengan rumusan:

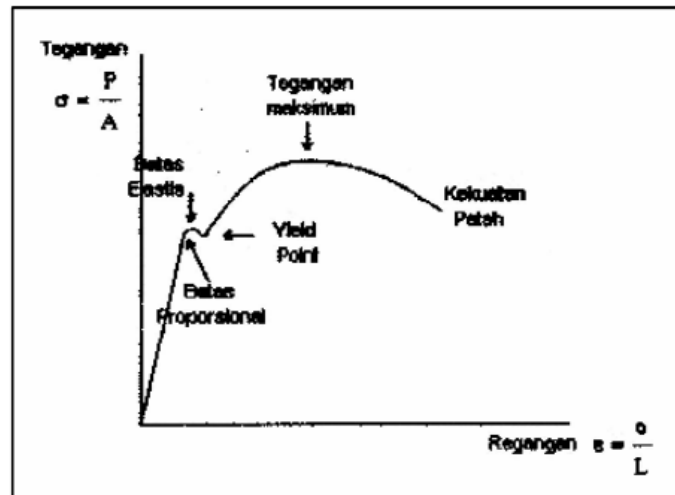
$$\epsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \dots\dots\dots(3.5)$$

3. Hubungan Tegangan-Regangan

Analisis struktur dalam mekanika teknik membahas pengaruh dari gaya luar terhadap sistem struktur berupa timbulnya gaya reaksi atau gaya-gaya luar yang bekerja ke penyangga. Memanfaatkan sifat plastisitas dari material saat pelat diberi gaya luar merupakan hal yang paling penting dari proses pembentukan. Pada awal pembebanan dimana gaya terus meningkat pelat akan mengalami sifat elastis dan kemudian tahap plastis. Dengan memanfaatkan tahap plastis tersebut maka proses pembentukan material akan tercapai, dimana bentuk pelat akan sesuai dengan bentuk cetakan yang diinginkan (Rao, 1987).

Konsep ini terdapat pada kurva Tegangan-Regangan pada Gambar 3.9 daerah plastis terdapat pada garis kurva diatas titik mulur batas tegangan dimana material tidak akan kembali ke bentuk semula bila beban dilepas dan akan mengalami deformasi tetap yang disebut permanent set (Timoshenko dan Goodier, 1986). Modulus elastisitas merupakan prbandingan antara tegangan dan regangan. Modulus elastisitas dintatakan dalam persamaan :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(3.6)$$

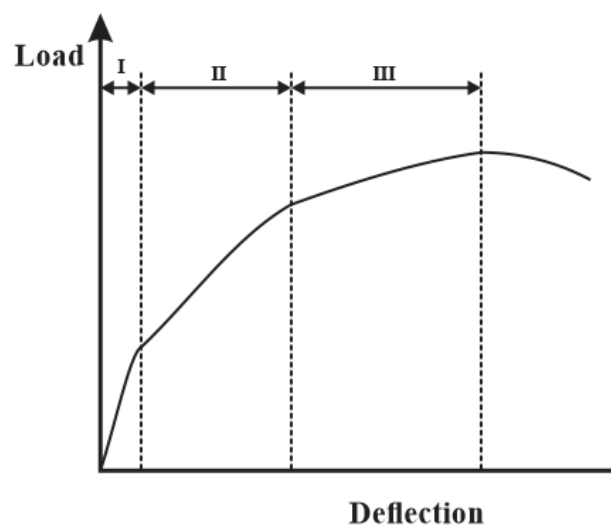


Gambar 3.9 Hubungan tegangan-regangan (Hastomo, 2009)

G. Lendutan

Hubungan Beban-Lendutan balok beton bertulang pada dasarnya terdapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear seperti pada Gambar 3.10. Hubungan ini terdiri atas tiga daerah sebelum terjadinya runtuh (Nawy, 2003)

- Daerah I : Taraf praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak.
- Daerah II : Taraf pascaretak, dimana batang-batang strukturalnya mengalami retak terkontrol yang masih bisa diterima, baik dalam segi distribusinya maupun lebarnya.
- Daerah III : Taraf pasca-serviceability, dimana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya.



Gambar 3.10 Hubungan beban-lendutan pada balok (Nawy,2003)

H. Kekakuan

Kekakuan merupakan gaya yang diperlukan untuk menghasilkan unit displacement. Rumus kekakuan dapat dilihat pada Persamaan (3.7) berikut ini:

$$K = \frac{Py}{\delta y} \dots\dots\dots (3.7)$$

dengan,

- K : Kekakuan (kN/mm)
- Py : Beban pada saat benda uji leleh/ *yield* (kN)
- δy : Lendutan yang terjadi pada saat leleh/ *yield* (mm)

I. Disipasi Energi

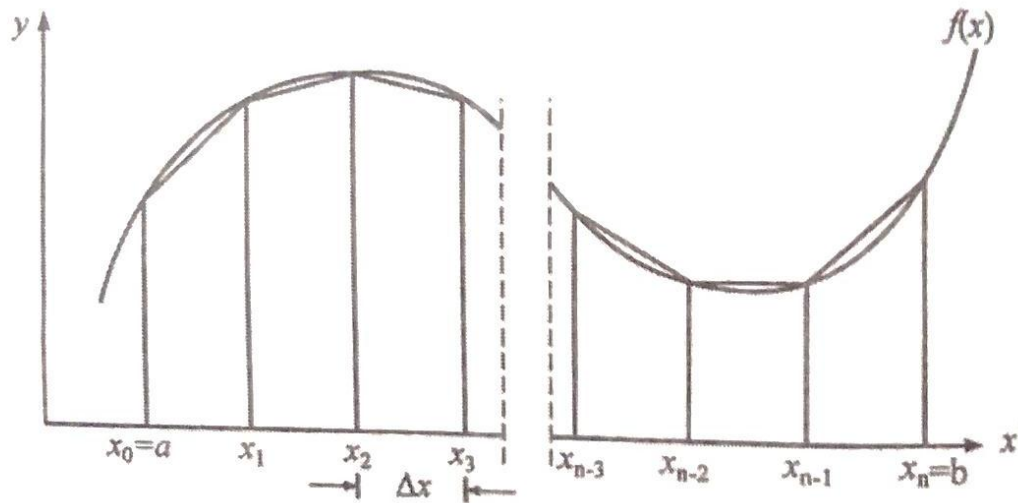
Disipasi energi adalah kemampuan struktur untuk menyerap energi melalui proses leleh pada daerah sendi plastis. Sendi plastis diusahakan bersifat daktail sehingga memungkinkan terjadinya deformasi plastis sebelum keruntuhan. Kemampuan struktur untuk berdeformasi plastis ini harus diperhatikan dalam perencanaan struktur. Pada struktur yang diberikan beban statis ini, energi yang diserap dalam satu kali pembebanan adalah jumlah dari energi yang diserap struktur pada saat menerima beban tarik dan beban tekan. Sehingga total energi yang terdisipasi selama pembebanan berlangsung merupakan luar daerah beban (P)-*Displacement* (Aziz, 2010).

Metode yang digunakan dalam menentukan luas yang terjadi pada grafik hubungan beban (P) dan *displacement* (σ) adalah metode trapesium dengan banyak pias. Metode ini digunakan untuk mengurangi kesalahan yang terjadi maka kurva lengkung didekati oleh sejumlah garis lurus, sehingga terbentuk banyak pias. Luas bidang adalah jumlah dari luas beberapa pias tersebut. Semakin kecil pias yang digunakan, hasil yang didapat menjadi semakin teliti. Dalam Gambar 3.11 panjang tiap pias adalah sama yaitu Δx . Apabila terdapat n pias, berarti panjang masing-masing pias adalah (Triatmodjo,2002):

$$\Delta x = \frac{b-a}{n} \dots\dots\dots (3.8)$$

Luas bidang dihitung dengan persamaan

$$I = \frac{\Delta x}{2} [f(a) + f(b) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i)] \dots \dots \dots (3.9)$$



Gambar 3.11 Metode trapesium dengan banyak pias (Triatmodjo, 2002)

J. Pola Keretakan

Retak 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, yang secara visual tampak seperti garis. Retak yang terjadi pada saat beton mulai mengeras (beton belum mampu menahan beban layan) antara lain terjadi karena pembekuan udara dingin (pada daerah dengan musim dingin), susut (*shrinkage*), serta penurunan (*settlement*). Retak yang terjadi saat beton mengeras salah satunya adalah retak structural. Retak ini terjadi karena adanya pembebanan yang mengakibatkan timbulnya tegangan lentur, tegangan geser, dan tegangan tarik (Aziz, 2014). Pada dasarnya retak yang terjadi pada elemen atau struktur seperti pada Gambar 3.12, terdiri atas tiga jenis, antara lain;

1. Retak Lentur (*flexural crack*)

Retak yang terjadi akibat beban lentur yang jauh lebih besar dari beban geser. Bentuk retak akan berupa garis lurus sejajar dengan arah gaya yang bekerja

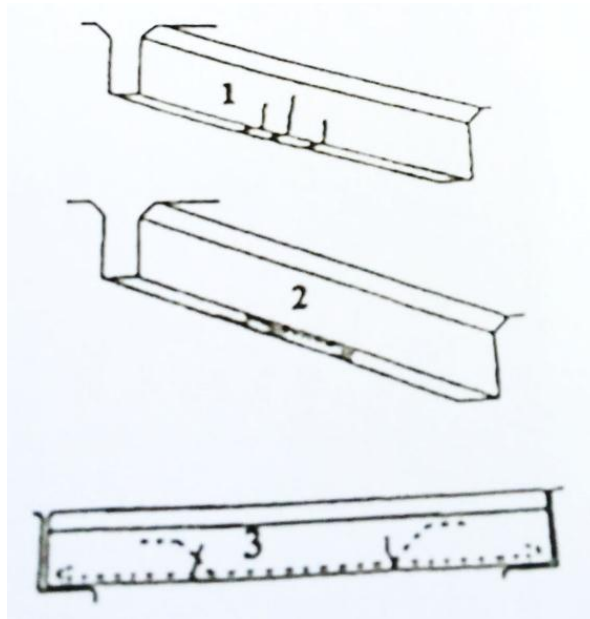
pada komponen tersebut, mengarah/ menjalar dari bagian tarik menuju bagian tekan (Noiyya, 2012 dalam Aziz, 2014).

2. Retak Arah Memanjang

Retak yang terjadi akibat pelaksanaan tidak baik atau karena selimut beton tidak mencukupi (Triwiyono, 2004 dalam Aziz, 2014).

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 terjadi (Noiyya, 2012 dalam Aziz, 2014).

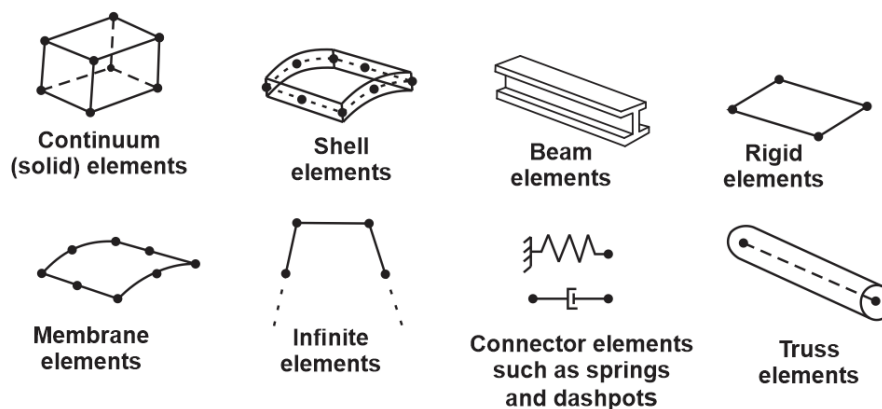


Gambar 3.12 Retak pada balok beton bertulang (Aziz, 2014)

K. Permodelan Elemen Hingga

Kurniawan (2014) menjelaskan bahwa ABAQUS merupakan program komputer berbasis elemen hingga untuk menganalisis berbagai macam permasalahan nonlinier termasuk beton bertulang. Kemampuan program ini tidak lagi 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.

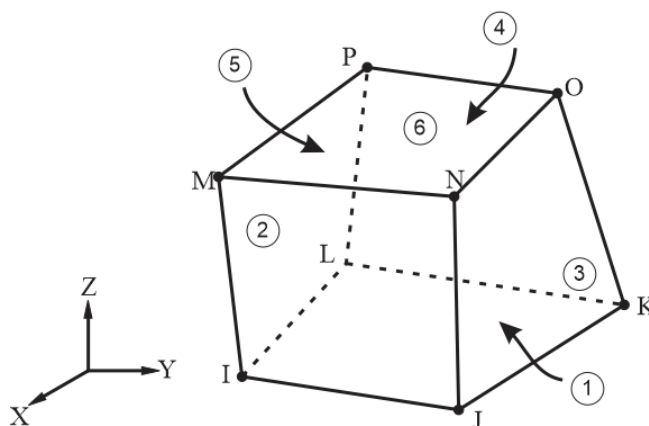
ABAQUS memberikan solusi berbagai persamaan konstitutif untuk menyelesaikan permasalahan nonlinier sehingga memudahkan pengguna untuk memilih solusi yang tepat untuk model yang akan dianalisis. Beberapa parameter awal yang merupakan sifat material, geometri yang tepat dan pemilihan solusi untuk memecahkan masalah menjadi bagian yang penting. Konsistensi ABAQUS dalam pengembangan *software* memberikan kemajuan dalam ketepatan permodelan material, geometri dan model pembebanan sehingga dapat memperoleh hasil yang eksak dan mendekati kondisi nyata. Dalam permodelan, ABAQUS memberikan banyak pilihan model yang dapat digunakan. Pengguna dapat memilih model sesuai dengan geometri, material, perilaku benda uji yang akan dimodelkan. Gambar 3.13 menunjukkan beberapa bentuk model yang dapat dipilih secara langsung dengan menggunakan program ABAQUS.



Gambar 3.13 Macam-macam model elemen (Hibbitt, 2006)

1. Model beton

Dalam permodelannya, beton dimodelkan sebagai *three-dimensional solid part/ continuum element*. Pertimbangannya adalah penggunaan *three-dimensional model* akan memberikan kemungkinan untuk menggunakan kondisi batas yang kompleks dan diharapkan lebih mendekati kondisi aktual sebenarnya dari benda uji. Tipe elemen ini memiliki delapan titik dengan tiga derajat kebebasan pada tiap titiknya 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 3.14.

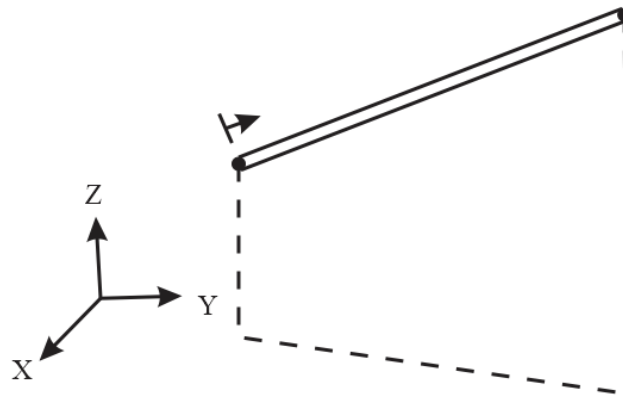
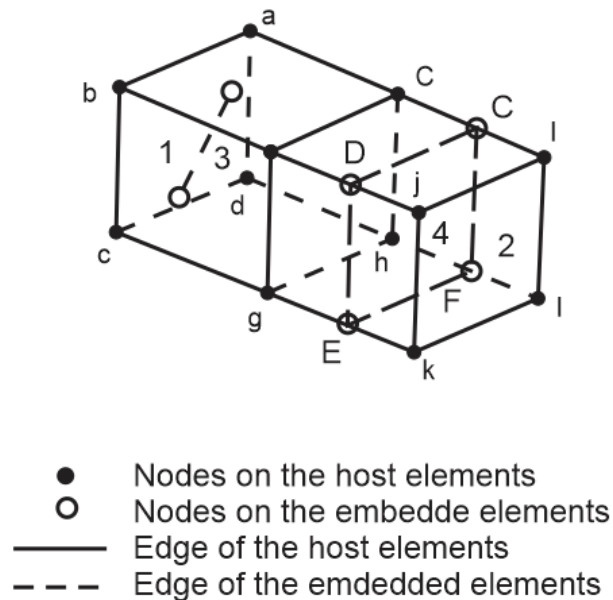


Gambar 3. 14 *Three dimensional solid element* (Hibbitt, 2006)

2. Model baja tulangan dan plat sambung

Model *truss* disediakan ABAQUS untuk memodelkan baja tulangan. Diperlukan minimal dua titik untuk dapat menggunakan elemen ini. Tiap titiknya memiliki tiga derajat kebebasan dan translasinya pada arah x, y, z. elemen ini memiliki kemampuan untuk mengalami deformasi plastis. Bentuk geometri dan posisi penempatan titik dapat dilihat pada Gambar 3.15.

ABAQUS memberikan dua pilihan untuk mendeskripsikan 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 permodelan plat, untuk benda uji berupa balok kolom beton atau joint digunakan *embedded of truss element*. Untuk plat sambung digunakan permodelan *embedded* dalam interaksinya dengan elemen beton. Konsep jika interaksi elemen di definisikan sebagai *embedded* maka akan terjadi interaksi yang sama antaraa 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 lebih lanjut dapat dilihat pada Gambar 3.16.

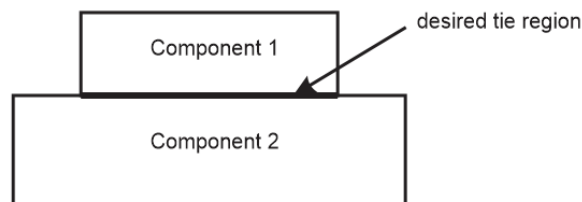
Gambar 3.15 *Truss* elemen (Hibbitt, 2006)Gambar 3.16 Konsep *embedded* elemen (Hibbitt, 2006)

3. Model material *grouting*

Material *grouting* sebagai pengisi memiliki karakter yang sama dengan beton sehingga permodelannya pun menggunakan *three dimensional solid part*. Perbedaannya ada pada interaksi antara beton basah dengan beton pracetak dimana diusulkan oleh Lin Xin (2007) menggunakan *function* dalam permodelannya sehingga terjadi perbedaan perilaku pada daerah pertemuan antara beton pracetak dengan material pengisi. Pada Tabel 3.1 dapat dilihat jenis karakter permukaan yang dapat diterapkan dalam interaksi *tie function*. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3.17.

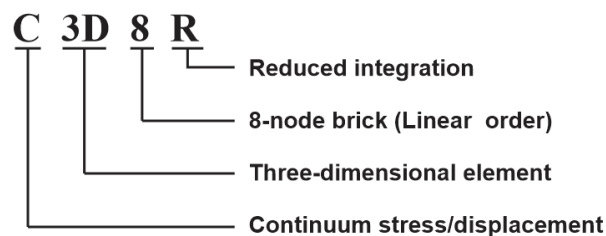
Tabel 3.1 Perbandingan Karakter Permukaan *tie formulation* (Hibbitt, 2006)

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

Gambar 3.17 Model *Tie Function* (Hibbitt, 2006)

4. *Meshing* beton

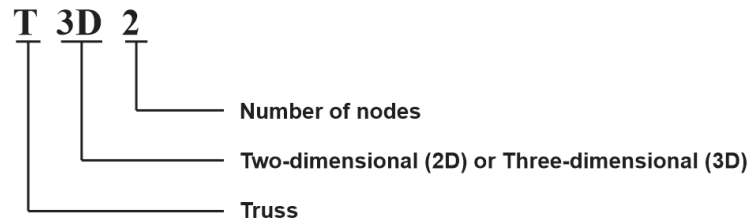
Permodelan elemen hingga pada penelitian ini dibatasi oleh jenis material yang tersedia dalam ABAQUS yang dinamakan *brick elements* sehingga dapat diperoleh distribusi gaya yang paling tepat pada analisis 3 dimensi. ABAQUS menyediakan beberapa tipe contohnya C3D8R elemen, dengan penjelasan pada Gambar 3.18.

Gambar 3.18 Model *brick* elemet 3D untuk beton (Hibbitt, 2006)

5. *Meshing* baja tulangan

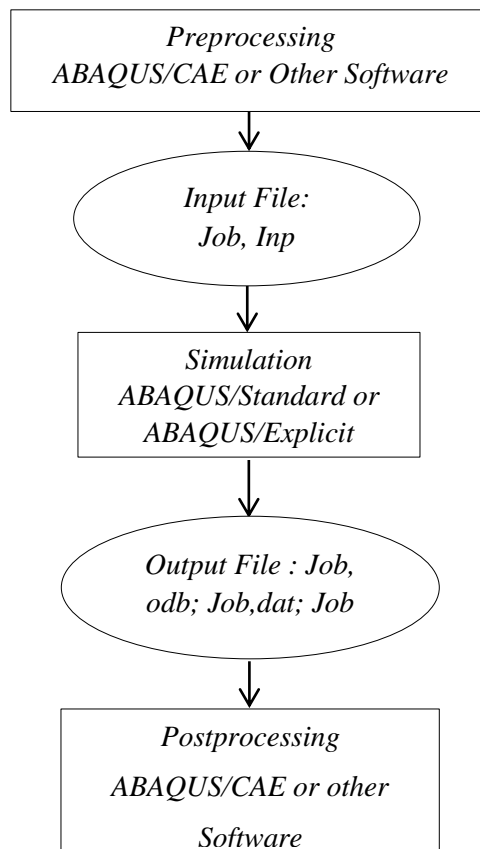
Tulangan merupakan elemen tarik pada beton bertulang, dapat didefinisikan sebagai elemen *truss* tiga dimensi baik secara linear (T3D2)

ataupun *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. Penjelasan dapat dilihat pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Model *truss element* 3D (Hibbitt, 2006)

Analisis ABAQUS secara lengkap biasanya terdiri dari tiga tingkat tertentu: *preprocessing*, simulasi, dan *postprocessing* seperti yang ditunjukkan pada diagram berikut ini (Hibbit, 2006 dalam Hastomo, 2009):



Gambar 3.20 Diagram alir proses *running* (Hibbit, 2006 dalam Hastomo, 2009)

1. *Preprocessing* (ABAQUS CAE)

Pemodelan *part* dilakukan dalam ABAQUS CAE dengan memasukkan geometri yang telah di *import* dari *input file*. Dalam menggambarkan model yang akan dianalisis, ditentukan terlebih dahulu koordinat sistem yang akan dibuat. Sebelum melakukan simulasi data dimasukkan ke dalam modul ABAQUS CAE sehingga semua *keyword* dan parameter yang dimasukkan ke dalam *input file* bisa diperiksa kebenarannya sebelum dilakukan proses *running*. Urutan dalam memasukkan data harus diperhatikan dengan benar karena antara satu modul dengan modul lain saling berhubungan.

Secara garis besar urutan memasukkan data ke dalam modul-modul adalah sebagai berikut:

a. Modul *part*

Modul *part* adalah bagian dari modul yang akan digunakan untuk menggambar benda uji yang akan disimulasikan didalam ABAQUS. Modul *part* menyediakan *tool bar* yang berfungsi untuk melakukan modifikasi benda maupun bentuk sesuai dengan model yang akan dibuat.

b. Modul *property*

Modul *property* berfungsi untuk memasukkan sifat mekanis bahan, jenis material, kekuatan bahan, dan spesifikasi teknis dari material yang akan dianalisis. Modul *property* sangat penting sebelum masuk kelangkah berikutnya, karena *property* dari material harus diberikan sebelum melakukan proses *assembly*.

c. Modul *assembly*

Assembly adalah menyusun bagian-bagian komponen (*instance part*) yang dibuat menjadi satu kesatuan model sehingga memungkinkan untuk dilakukan analisis numerik.

d. Modul *step*

Step berfungsi untuk menentukan urutan langkah-langkah yang akan didefinisikan sebagai letak pemberian beban atau kecepatan. Modul *step* menyediakan menu *Set* dan *Surface* untuk meletakkan beban yang akan dikerjakan pada benda.

e. Modul *interaction*

Interaction berfungsi untuk menentukan bagian material yang akan mengalami kontak. *Interaction* juga berguna untuk memberikan *constraint* pada benda yang dianalisis untuk mencegah bergesernya benda dari kedudukan awalnya.

f. Modul *load*

Load digunakan untuk memberikan beban dan *boundary* pada benda uji. Modul *load* juga digunakan sebagai sarana untuk memasukkan tipe kondisi batas (*boundary conditions*) yang akan dibuat.

g. Modul *mesh*

Mesh berfungsi membagi geometri dari benda yang akan dibuat menjadi *node* dan elemen. Modul ini bisa digunakan untuk menentukan *mesh* yang akan diberikan pada benda.

h. Modul *job*

Job berfungsi untuk melakukan proses *running* terhadap model yang telah kita dibuat. Setelah data yang dimasukkan selesai selanjutnya diserahkan pada *job module* untuk melakukan proses penyelesaian secara numerik. Selama proses numerik di dalam *software* pada *message area* yang berada dibawah *viewport* bisa dimonitor apakah *submit job* berhasil atau tidak, apabila terjadi *error message* maka harus kempali kepada modul untuk melakukan modifikasi terhadap bagian-bagian yang masih terdapat kesalahan.

2. Simulasi (ABAQUS *Standard* dan ABAQUS *Explicit*)

ABAQUS *Standard* dan ABAQUS *Explicit* digunakan untuk melakukan simulasi dari hasil *processing* didalam *software* ABAQUS. Pada tingkat ini ABAQUS memecahkan permasalahan yang diberikan kedalam program dengan melakukan penyelesaian secara numerik.

3. *Post Processing* (ABAQUS CAE)

Hasil dari simulasi yang telah lengkap (*Completed*), regangan, tegangan, beban, lendutan atau retakan yang telah selesai dihitung bisa dievaluasi. Evaluasi biasanya dilakukan secara interaktif menggunakan visualisasi modul dari ABAQUS CAE atau *post processor* yang lain. Modul visualisasi,

membaca *binary file output database*, mempunyai bermacam-macam pilihan untuk ditampilkan meliputi plot kontur warna, animasi, plot perubahan bentuk dan plot grafik X-Y.