

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Struktur dalam hubungannya dengan bangunan ialah bahwa struktur merupakan sarana untuk menyalurkan beban dan akibat penggunaan dan atau kehadiran bangunan ke dalam tanah. Studi tentang struktur tentu saja menyangkut pemahaman prinsip-prinsip dasar yang menunjukkan dan menandai perilaku objek-objek fisik yang dipengaruhi oleh gaya (*Schodek, 1991*).

Begitu pula dengan struktur rangka batang yang terdiri dari kumpulan batang bekerja bersama dalam menyalurkan beban dalam bentuk gaya-gaya batang. Struktur rangka batang dibuat dengan menyusun batang yang relatif pendek dan lurus menjadi pola-pola segitiga. Struktur rangka batang merupakan jenis struktur yang umum digunakan pada teknik sipil. Rangka batang sederhana yang menggunakan batang relatif sedikit sering dijumpai pada atap (*Schodek, 1995*). Dalam praktiknya, pada penelitian ini atap yang akan digunakan ialah atap berbentuk rangka batang.

2.2 Beton

Beton sederhana dibentuk oleh pengerasan campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar (batu pecah atau kerikil), udara, dan kadang kadang campuran tambahan lainnya. Campuran yang masih plastis ini di cor ke dalam acuan dan dirawat untuk mempercepat reaksi hidrasi campuran semen-air, yang menyebabkan pengerasan beton. Bahan yang terbentuk ini memiliki kekuatan tekan yang tinggi, dan ketahanan terhadap tarik rendah, atau kira kira kekuatan tariknya 0,1 kali kekuatan terhadap tekan (*Edward, 1998*).

Komposisi bahan baku yang berbeda akan mempengaruhi mutu beton. Komponen pembentuk beton ini digunakan sesuai komposisi nya untuk dapat mencapai target mutu yang dibutuhkan. Komposisi ini penting dikarenakan jika mutu beton tidak sesuai, misalnya terlalu tinggi maka biaya pembuatan beton akan boros dan tidak efektif.

Dikarenakan beton merupakan campuran beberapa bahan secara mikroskopis maupun makroskopis, maka beton digolongkan dalam bahan komposit.

Struktur komposit adalah struktur yang tergabung dari beberapa bahan dasar yang bekerja sama membentuk sebuah kesatuan struktur dan sekaligus memenuhi kebutuhan lingkungan yang menjadi tugas utamanya. Sebagai gabungan dari beberapa bahan dasar

maka struktur ini mengadopsi sifat bahan dasar dan juga interaksi antara bahan dasar, baik dalam segi fisik, kimia, dan mekanik. Dengan penggabungan ini kekurangan pada suatu bahan ditutupi kelebihan bahan dasar lain (*Dewi, 2008*).

2.2.1 Material Penyusun Beton

a. Semen

Semen merupakan bahan pengikat dalam beton. Semen bersama dengan air akan membentuk pasta yang akan mengikat agregat, mulai dari agregat kasar sampai agregat halus.

Menurut ASTM C-150, semen dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan penggunaannya, yaitu:

1. Jenis I, merupakan jenis semen Portland untuk penggunaan umum tanpa spesifikasi kegunaan khusus
2. Jenis II, merupakan semen yang penggunaannya membutuhkan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi
3. Jenis III, merupakan semen yang penggunaannya membutuhkan kekuatan yang tinggi pada proses pengecoran awal setelah pengikatan terjadi
4. Jenis IV, merupakan semen yang penggunaannya pada saat memerlukan kalor hidrasi yang rendah
5. Jenis V, merupakan jenis semen yang penggunaannya membutuhkan kadar sulfat yang tinggi.

Jenis semen yang akan digunakan dalam penelitian kali ini ialah semen portland.

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen Portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI-15-2049-2004).

b. Air

Air yang cukup digunakan untuk melarutkan semen secukupnya. Air disini berfungsi sebagai pereaksi, yaitu menciptakan reaksi bagi semen agar bisa menjadi pasta dan dapat mengikat agregat.

Menurut SNI 02-2847-2002, air yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- 1 Air untuk pembuatan campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan perusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, ataupun bahan lainnya yang merugikan beton atau tulangan.
- 2 Air yang digunakan untuk campuran beton prategang atau pada beton yang di dalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
- 3 Apabila air tidak dapat diminum maka pemilihan proposi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.

Air berpengaruh pada kuat tekan beton, kelebihan air akan menyebabkan penurunan pada kekuatan beton itu sendiri. Air pada campuran beton akan berpengaruh pada nilai susut beton, kelangsungan reaksi pada semen portland, sehingga kadar adukan air pada beton diperlukan untuk menjamin pengerasan yang baik

c. Agregat Kasar

Agregat kasar dapat berupa kerikil hasil desintergrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu dengan besar butir lebih dari 5 mm. Menurut standar SK SNI S-04-1989-F (Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A), agregat kasar untuk bahan bangunan sebaiknya dipilih yang memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Butir-butirnya keras dan tidak berpori, indeks kekerasan ≤ 5 % (diuji dengan goresan batang tembaga). Bila diuji dengan bejana Rudeloff atau Los Angeles.
2. Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan). Jika diuji dengan larutan garam Natrium Sulfat bagian yang hancur maksimum 12 %, jika dengan garam Magnesium Sulfat maksimum 18 %.
3. Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 1 %.
4. Tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali
5. Butiran agregat yang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20 %
6. Modulus halus butir antara 6 – 7,10 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi
7. Ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari : $1/5$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $1/3$ tebal pelat beton, $3/4$ jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan

Tabel 2.1 *Persyaratan Sifat Fisis Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural.*

No	Sifat fisis	Persyaratan
1	Berat Jenis	1,0 – 1,8

2	Penyerapan air maksimum (%), setelah direndam 24 jam	20
3	Berat isi maksimum:	
	- gembur kering (kg/cm)	1120
	- agregat halus	880
	- agregat kasar	1040
	- campuran agregat kasar dan halus	60
4	Nilai presentase volume padat (%)	9-14
5	Nilai 10 % kehalusan (ton)	
6	Kadar bagian yang terapung setelah direndam dalam air 10 menit maksimum (%)	5
7	Kadar bahan yang mentah (clay dump) (%)	<1
8	Nilai keawetan, jika dalam larutan magnesium sulfat selama 16 – 18 jam, bagian yang larut maksimum (%)	12

CATATAN:

Nilai keremukan ditemukan sebagai hasil bagi banyaknya fraksi yang lolos pada ayaman 2,4 mm dengan banyaknya bahan agregat kering oven semula dikalikan 100%

(Sumber: SNI 03-2461-2002)

Tabel 2.2 Persyaratan Susunan Besar Butir Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural.

Ukuran	Prosentase yang lulus angka (% berat)								
	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,60	0,3
Agregat halus :									
(4,75 – 0) mm	-	-	-	100	85-100	-	40-80	10-35	5-25
Agregat kasar :									
(25,0 – 4,75) mm	95-100	-	25-60	-	0-10	-	-	-	-
(19,0 – 4,75) mm	100	90-100	-	10-50	0-15	-	-	-	-
(12,5 – 4,75) mm	-	100	90-100	40-80	0-20	0-10	-	-	-
(9,5 – 2,36) mm	-	-	100	80-100	5-40	0-20	0-10	-	-
Kombinasi agregat Halus & kasar:									
(12,5 – 8,0) mm	-	100	95-100	-	40-80	-	-	5-20	2-15
(9,5 – 8) mm	-	-	100	90-100	65-90	35-65	-	10-25	5-15

(Sumber: SNI 03-2461-2002)

Jika agregat kasar terlalu banyak, maka kondisi beton bisa saja menjadi berongga karena pasir tidak cukup untuk mengisi rongga dicelah celah kerikil atau split tersebut.

Pada penelitian kali ini akan digunakan batu bata sebagai pengganti dari agregat kasar pada campuran. Batu bata merupakan suatu unsur bangunan yang di peruntukkan pembuatan konstruksi bangunan dan yang dibuat dari tanah dengan atau tanpa campuran bahan-bahan lain, dibakar cukup tinggi, hingga tidak dapat hancur lagi bila direndam dalam air (SNI 15-2094-1991, SII-0021-78).

Batu bata merupakan salah satu bahan material yang pada umumnya dibuat sebagai bahan pembuat dinding. Batu bata terbuat dari tanah liat yang dibakar sampai berwarna kemerah merahan. Seiring perkembangan teknologi, penggunaan batu bata semakin

menurun. Munculnya material-material baru seperti gypsum lebih dipilih karena memiliki harga lebih murah dan secara arsitektur lebih indah.

d. Agregat Halus

Menurut SNI-03-2834-2000, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Agregat halus atau pasir ini berfungsi sebagai bahan pengisi, yaitu mengisi rongga-rongga pada antar agregat kasar. Agregat kasar dan halus ini nantinya akan diikat oleh pasta, campuran semen dan air. Menurut standar SK SNI S-04-1989-F (Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A), agregat halus untuk bahan bangunan sebaiknya dipilih yang memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Butir-butirnya tajam dan keras, dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$
2. Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan). Jika di uji dengan larutan garam Natrium Sulfat bagian yang hancur maksimum 12 %, jika dengan garam Magnesium Sulfat maksimum 18 %.
3. Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 5%.
4. Tidak mengandung zat organik terlalu banyak, yang dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan 3 % NaOH, yaitu warna cairan di atas endapan agregat halus tidak boleh lebih gelap daripada warna standar / pembanding.
5. Modulus halus butir antara 1,50 – 3,80 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
6. Agregat halus dari laut / pantai, boleh dipakai asalkan dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

2.2.2 Jenis Beton

Sudah dijelaskan sebelumnya bahwa komposisi dari setiap komponen pengisi beton akan mempengaruhi sifat dan mutu beton tersebut. Hal ini tentu berkaitan dengan aplikasi kegunaan beton. Hal ini membuat beton menjadi bermacam-macam. Macam-macam beton berdasarkan SNI-2847-2002 sebagai berikut:

1. Beton bertulang : Beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja,
2. Beton normal : Beton yang mempunyai berat satuan 2.200 kg/m³ sampai 2.500 kg/m³ dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.

3. Beton polos : Beton tanpa tulangan atau mempunyai tulangan tetapi kurang dari ketentuan minimum.
4. Beton pracetak : Elemen atau komponen beton tanpa atau dengan tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan.
5. Beton prategang : Beton bertulang yang telah diberi tegangan tekan untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja.
6. Beton ringan : beton yang mempunyai agregat ringan yang memiliki berat satuan tidak lebih dari 1.900 kg/m^3 .
7. Beton ringan-pasir : Beton ringan yang semua agregat halusya merupakan pasir berat normal.
8. Beton ringan-total : Beton ringan yang agregat halusya bukan merupakan pasir alami

2.3 Beton Bertulang

Sudah dijelaskan sebelumnya bahwa kuat tarik beton hanya sekitar 0,1 kali kuat tekannya, maka dari itu untuk dapat membuat beton dapat menahan gaya tarik diperlukan bahan pelengkap yang selanjutnya akan disebut “tulangan”. Dan beton yang dilengkapi dengan tulangan ini akan disebut beton bertulang.

Berdasarkan SNI-2847-2002, beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. Beton kuat terhadap tekan, tapi lemah terhadap tarik. Oleh karena itu, perlu tulangan untuk menahan gaya tarik untuk memikul beban-beban yang bekerja pada beton. (Nawy, 1990)

2.4 Bahan Grouting

Bahan grout halus harus dibuat dengan agregat halus sesuai dengan Spesifikasi agregat halus untuk pekerjaan adukan dan plesteran dengan bahan dasar semen SK SNI S-02-1994-03. Bahan grout kasar harus dibuat dengan agregat gabungan kasar dan halus sesuai dengan ASTM C-404.

Bahan-bahan yang digunakan sebagai campuran bahan grout harus sesuai persyaratan sebagai berikut :

1. Bahan pengikat harus memenuhi salah satu dari persyaratan berikut ini :
 - a. Semen Portland Tipe I, IA, II, IIA, III, IIIA, sesuai dengan ASTM C

- b. Semen campuran Tipe IS, IS (MS), IS-A, IS-A (MS), IP atau 1P-A sesuai dengan ASTM C-595.
 - c. Kapur terhidrasi cepat sesuai dengan ASTM C-5.
 - d. Kapur terhidrasi Tipe S sesuai dengan ASTM C-207
2. Bahan tambah gelembung udara harus memenuhi SK SNI S-19-1990-03
 3. Agregat harus memenuhi persyaratan ASTM C-404.
 4. Air harus jernih dan layak diminum.
 5. Bahan tambah lain.
 - a. Bahan tambah untuk kedap air, mempercepat pengerasan, atau bahan tanbah lainnya yang tidak tersebut dalam spesifikasi ini, tidak boleh digunakan untuk bahan graut pada pekerjaan pasangan bertulang tanpa persetujuan dari pihak pembeli.
 - b. Jika bahan graut akan digunakan untuk mengikat komponen tulangan menggunakan bahan gelembung udara tidak boleh digunakan.
 6. Tipe bahan graut halus yang dibuat dengan agregat halus atau bahan graut kasar yang dibuat dari komposisi agregat halus dan agregat kasar harus dipilih sesuai Peraturan. Bangunan dan ukuran jarak. Berat masing-masing bahan per m³ sesuai Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Berat masing-masing bahan per m³

Bahan	Berat (kg/M ³)
Semen Portland	1504
Semen Campuran	Berat Tertera pada Kemasan
Kapur Padam	640
Pasata Kapur	1281
Pasir	1281 Berat Pasir Kering

(Sumber: SNI 03-6891-2002)

Semua kapur yang bereaksi cepat harus dicampur sesuai petunjuk pabrik.

Seluruh pasta kapur yang bereaksi cepat kecuali pasta kapur yang bereaksi cepat, yang berupa bubuk, harus lolos saringan No. 20 (850-mm) dan dibiarkan mendingin sampai temperature 26,7°C.

Berat pasta kapur yang bereaksi cepat paling sedikit 1281 Kg/m³. Berat pasta yang kurang dari ketentuan diatas dapat digunakan, jika menambah kapur agar memenuhi persyaratan berat minimum.

7. Campuran bahan graut.

Campuran bahan graut harus memenuhi salah satu dari komposisi dalam Table 2.4. atau ditetapkan sesuai kekuatan tekan bahan graut. Bila kuat tekan bahan graut ditetapkan, bahan graut harus mempunyai kuat tekan minimum 14 MPa pada umur 28 hari dan harus diuji sesuai dengan ASTM C-1019.

Tabel 2.4 *Komposisi campuran bahan graut*

Tipe Bahan Graut	Semen Portland Atau Semen Campuran Dalam Ukuran Volume	Kapur Pidrasasi atau Pasta Kasur dalam ukuran Volume	Agregat Diukur Dalam Keadaan Kondisi Lembab Dan Gembur	
			Halus	Kasar
Halus	1	0-1/10	(2 ¹ / 4 ⁻³) kali volume bahan pengikat	
Kasar	1	0-1/10	(2 ¹ / 4 ⁻³) kali volume bahan pengikat	(1-2) kali volume bahan pengikat

(Sumber: SNI 03-6891-2002)

2.5 Tulangan Bambu

Bambu merupakan tanaman rumput-rumputan yang mempunyai batang berongga dan beruas. Bambu tercatat sebagai tanaman dengan tingkat pertumbuhan paling cepat di dunia, yakni lebih dari 60 cm per hari.

Beton bertulang bambu menggunakan bilah bambu sebagai tulangan yang akan menerima beban gaya tarik. Bambu akan menyusut 4 kali lipat dari beton sehingga pengikatan antara beton dan bambu akan menghilang. Penyusutan bambu diakibatkan oleh proses pengeringan. Karena beton pada waktu mengecor mengandung banyak air, tidak ada gunanya jika bambu dikeringkan terlebih dahulu. Permasalahan tersebut dapat ditanggulangi dengan mengeringkan bilah bambu yang akan digunakan sebagai tulangan beton, kemudian dicat dengan aspal cair (panas) yang ditaburi pasir. Sesudah aspal kering, dipasang paku 1" BWG 16 berjarak 75 mm. (Heinz, 2004)

Berat jenis bambu berbeda beda menurut jenis bambu yaitu 670-720 kg/m³, dan pada bagian batang yaitu 570-760 kg/m³, serta pada bagian dinding batang dalam 370-830 kg/m³ atau bagian luar yaitu 700-850 kg/m³. Berat jenis ini pun cepat turun sesuai proses pengeringan. Namun untuk konstruksi bangunan bambu (bahan bangunan yang kering dengan kadar air 12%) berat jenis bambu di Indonesia dianggap rata-rata 700 kg/m³ (Heinz, 2004).

Kekuatan tarik bambu untuk menahan gaya tarik berbeda-beda pada bagian dinding batang dalam atau bagian luar, garis-garis batang (batang langsing memiliki ketahanan terhadap gaya tarik yang lebih tinggi), serta pada bagian batang mana yang digunakan karena bagian kepala memiliki kekuatan terhadap gaya tarik yang 12% lebih rendah dibandingkan dengan bagian batang kaki. Di Indonesia tegangan tarik yang diizinkan sejajar arah serat adalah $29,4 \text{ N/mm}^2$. (Heinz, 2004).

2.6 Batu Bata

Limbah batu bata digunakan sebagai pengganti agregat pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu. Faktor yang paling mempengaruhi ikatan agregat batu bata dengan pasta dari semen adalah porositas dan absorpsi. Porositas merupakan isi ruang kosong dalam suatu material, sementara absorpsi merupakan banyaknya air pada permukaan kering jenuh. Limbah batu bata sebagai agregat kasar pada campuran beton, memungkinkan untuk membuat campuran beton dengan cara yang sama dengan cara beton normal dengan batu pecah pada umumnya. Absorpsi air pada limbah batu bata diestimasikan 22%-25% dari berat material dalam keadaan kering (Kasegic, 2008).

Tabel 2.5 Persyaratan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Rata-Rata untuk Beton Ringan Struktural.

Berat isi kering udara 28 hari, maksimum (kg/cm^3)	Kuat tarik belah (tidak langsung) rata-rata (MPa)	Kuat tekan rata-rata, 28 hari, minimum (MPa)
Semua agregat ringan		
1760	2,2	28
1680	2,1	21
1600	2,0	17
Agregat ringan dan pasir		
1840	2,3	28
1760	2,1	21
1680	2,0	17

CATATAN 1 Nilai kuat tekan dan berat isi diambil dari rata-rata 2 buah benda uji sedangkan kuat tarik belah diambil rata-rata dari 6 benda uji,

CATATAN 2 Nilai antara untuk kekuatan tekan dan nilai berat isi yang berkait dapat diperoleh dengan penambahan atau interpolasi,

CATATAN 3 Bahan-bahan yang tidak memenuhi persyaratan kuat tarik rata-rata minimum dapat digunakan bila rancangannya dimodifikasi untuk mengimbangi nilai yang lebih rendah,

CATATAN 4 $1 \text{ MPA} \approx 10 \text{ kg/cm}^2$

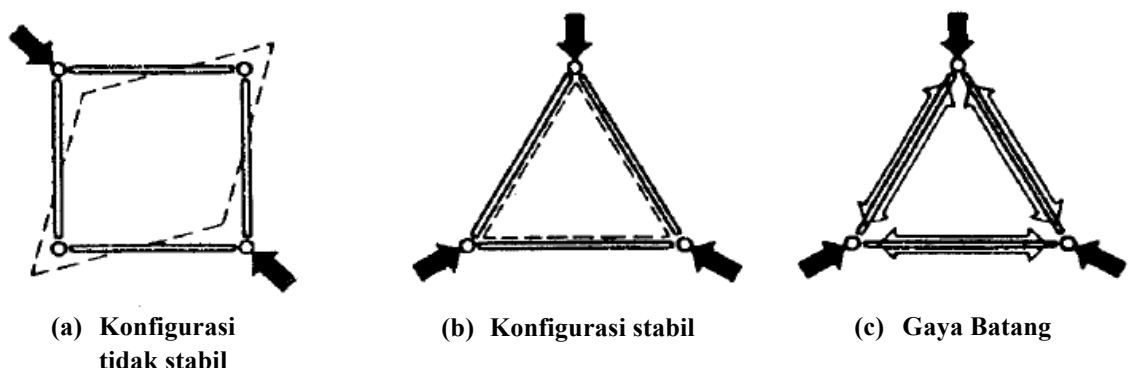
(Sumber: SNI 03-2461-2002)

2.7 Struktur Rangka Batang

Rangka batang adalah susunan elemen-elemen linear yang membentuk segitiga atau kombinasi segitiga, sehingga menjadi bentuk rangka yang tidak dapat berubah bentuk apabila diberi beban eksternal tanpa adanya perubahan bentuk pada satu atau lebih batangnya. Setiap elemen tersebut secara khas dianggap tergabung pada titik hubung sendi.

Batang-batang disusun sedemikian rupa sehingga semua beban dan reaksi hanya terjadi pada titik hubungan tersebut.

Prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai struktur pemikul beban adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga hingga menjadi bentuk stabil. Perhatikan kedua struktur terhubung sendi seperti terlihat pada Gambar. 2.1 (a) dan 2.1 (b). Apabila itu struktur diberi beban seperti terlihat pada Gambar. 2.1 (a), maka akan ada deformasi masif. Ini adalah struktur tak stabil, yang membentuk mekanisme runtuh (*collapse*) apabila dibebani. Sebaliknya, konfigurasi segitiga pada batang-batang seperti terlihat pada Gambar 2.1 (b) tidak dapat berubah bentuk atau runtuh seperti contoh sebelumnya. Dengan demikian bentuk segitiga ini stabil. Setiap deformasi yang terjadi pada struktur stabil adalah minor dan diasosiasikan dengan perubahan panjang batang yang diakibatkan oleh gaya yang timbul di dalam batang sebagai akibat dari beban eksternal. Selain itu, sudut yang terbentuk di antara dua batang tidak berubah apabila struktur stabil tersebut dibebani. Hal ini sangat bertentangan dengan bentuk tidak stabil, yang sudut di antara dua batangnya berubah sangat besar (lihat Gambar 2.1 (a)). Juga jelas bahwa gaya eksternal menyebabkan timbulnya gaya pada batang-batang struktur bentuk stabil (Schodek, 1995). Gaya-gaya yang timbul pada struktur tersebut adalah tarik atau tekan. Tidak ada lentur pada struktur tersebut.



Gambar 2.1 Susunan batang yang stabil dan tidak stabil.
Sumber: Schodek (1995:136).

Gaya yang muncul di dalam batang akibat dari beban vertikal yang membebani setiap titik nodal struktur rangka batang disebut gaya batang. Gaya-gaya yang ada berupa gaya tarik murni dan tekan murni. Pembentukan segitiga dalam struktur rangka batang menyebabkan beban tidak menumpu ditengah batang tetapi berada di titik nodal atau titik tumpu, sehingga tidak ada momen lentur dalam struktur rangka batang.

Perilaku gaya-gaya dalam batang pada rangka batang dapat digunakan dengan menerapkan persamaan dasar keseimbangan. Salah satu cara untuk menentukan gaya dalam batang pada rangka adalah dengan menggambarkan bentuk deformasi yang mungkin dari struktur yang akan terlihat apabila batang yang hendak diketahui sifat gayanya dibayangkan tidak ada. Dengan demikian sifat gaya (tarik atau tekan) batang itu dapat diketahui berdasarkan analisis mengenai pencegahan deformasi tersebut.

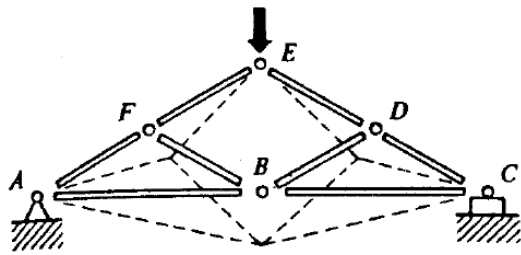
Dalam perencanaan bangunan rangka batang beton komposit dengan menggunakan perhitungan berdasarkan keadaan elastis, besarnya tegangan yang diakibatkan oleh gaya-gaya batang dibatasi oleh besarnya tegangan ijin elemen betonnya (*Schodek, 1995*).

Pada umumnya kita dapat mengatakan melalui pemeriksaan apakah suatu rangka batang stabil atau tidak akibat beban eksternal dengan memperhatikan secara bergiliran apakah setiap titik hubung selalu mempertahankan hubungan yang tetap terhadap titik hubung lain pada kondisi pembebanan tersebut. Konfigurasi segitiga merupakan elemen penyusun yang mendasari kestabilan suatu bentuk rangka batang.

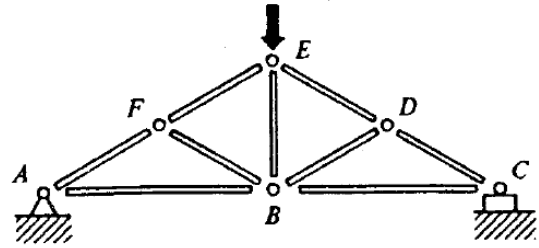
Rangka batang yang terdapat pada Gambar 2.2 (a) tidak stabil dan akan runtuh apabila dibebani seperti yang terdapat digambar. Jelas bahwa rangka batang ini tidak mempunyai jumlah batang cukup untuk mempertahankan hubungan geometri kaku antara titik-titik hubungannya. Apabila batang-batang lainnya dirancang cukup untuk beban tersebut, maka penambahan batang BC seperti terlihat pada Gambar 2.2 (b) akan menjadikan konfigurasi stabil.

Perlu diperhatikan bahwa rangka batang dengan satu atau lebih konfigurasi bukan segitiga dapat saja merupakan struktur stabil. Pada Gambar 2.3 terlihat struktur rangka batang yang terdiri atas sekumpulan pola batang segitiga yang dihubungkan hingga berpola segitiga, tetapi masih merupakan struktur stabil. Kelompok segitiga di antara *A* dan *C* membentuk pola kaku, begitu pula yang ada di antara *B* dan *C* sehingga posisi relative *C* ke titik *A* dan *B* dapat dipertahankan, yang berarti rangka batang tersebut stabil. Kumpulan segitiga di antara *A* dan *C* dapat dianggap sebagai “batang”, begitu pula di antara *B* dan *C*.

Pada satu rangka batang kita dapat menggunakan batang melebihi minimum yang diperlukan untuk kestabilan. Sebagai contoh adalah rangka batang pada Gambar 2.4, salah satu batang diagonalnya dapat dipandang sebagai redundan. Batang BE atau CF dapat dibuang dan konfigurasi yang tertinggal akan tetap stabil. Jelaslah apabila dibuang keduanya, konfigurasi yang tertinggal tidak stabil.

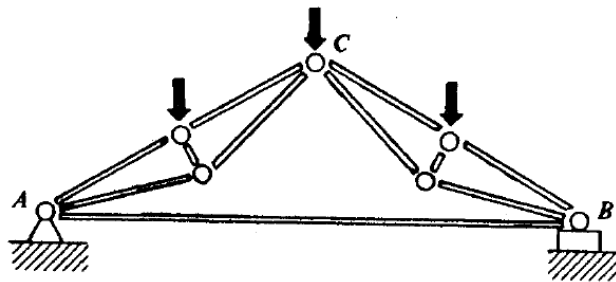


(a) Rangka batang tak stabil: daerah yang tidak segitiga pada rangka batang akan sangat berubah bentuk apabila mengalami suatu kondisi pembebanan yang dapat disebut terjadinya keruntuhan rangka batang tersebut.

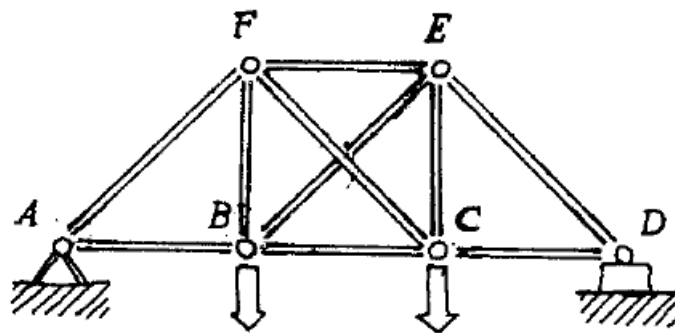


(b) Rangka batang stabil: pola batang yang seluruhnya segitiga

Gambar 2.2 Konfigurasi Batang Stabil dan Tidak Stabil.
Sumber: Schodek (1995:140).



Gambar 2.3 Rangka Batang Stabil Dengan Pola Batang Bukan Segitiga
Sumber: Schodek (1995:141).



Gambar 2.4 Rangka Batang Stabil Yang Jumlah Batangnya Melebihi Yang Diperlukan Untuk Kestabilan.
Sumber: Schodek (1995:141).

Pentingnya penentuan apakah konfigurasi batang stabil atau tidak dapat dilebih-lebihkan karena hal ini dapat membahayakan. Keruntuhan total dapat langsung terjadi kalau struktur tak stabil dibebani. Pola yang tidak biasa sering kali menyulitkan penyelidikan kestabilannya. Sebagai pembantu dalam menentukan kestabilan rangka batang bidang digunakan persamaan aljabar yang menghubungkan banyak titik hubung pada rangka batang dengan banyak batang yang diperlukan untuk kestabilan. Apabila n adalah banyaknya batang yang diperlukan, dan j adalah banyak titik hubung, maka:

$$n = 2j - 3 \quad (2-1)$$

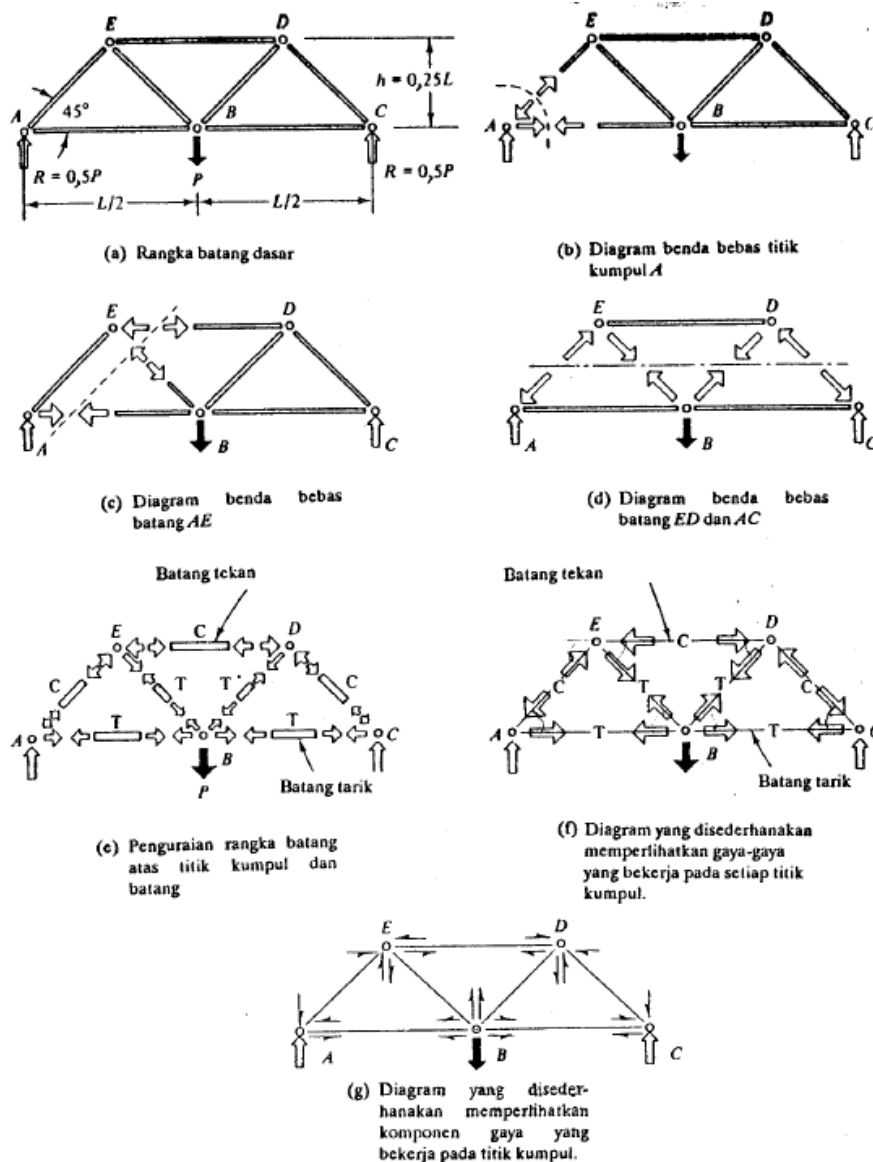
Pada umumnya dapat dikatakan bahwa apabila jumlah batang lebih kecil dari pada yang diperlukan, maka strukturnya tidak stabil, sedangkan apabila jumlahnya lebih besar dari yang diperlukan, maka strukturnya mengandung redundan. Akan tetapi, persamaan diatas belum cukup, dan tidak boleh begitu saja digunakan sebagai ganti penyelidikan visual untuk menentukan kestabilan struktur. Persamaan itu hanya merupakan indikator apakah suatu gaya batang pada struktur dapat dihitung dengan persamaan keseimbangan saja atau tidak, dan sebenarnya tidak ditujukan untuk meninjau kestabilan. Sekalipun demikian, persamaan tersebut memang dapat digunakan sebagai petunjuk awal kestabilan karena kita tidak dapat menghitung gaya-gaya pada struktur tidak stabil dengan persamaan statika.

Fakta bahwa setiap bagian pada setiap struktur harus berada dalam keadaan keseimbangan adalah dasar semua analisis rangka batang untuk mencari gaya batang. Pada analisis rangka batang dengan metode titik kumpul (titik hubung, joints), rangka batang dianggap sebagai gabungan batang dan titik kumpul. Gaya batang diperoleh dengan meninjau keseimbangan titik-titik kumpul. Gaya batang diperoleh dengan meninjau keseimbangan titik-titik kumpul. Setiap titik kumpul harus berada dalam keseimbangan.

Gambar 2.5(e) mengilustrasikan rangka batang khas yang telah diuraikan atas kumpulan elemen-elemen linear dan titik kumpul ideal. Diagram benda bebas untuk semua titik kumpul dan batang juga diperhatikan. Dengan meninjau titik-titik kumpul saja, terlihat bahwa sistem gaya yang bekerja pada setiap titik kumpul terdiri atas gaya batang yang berkumpul padanya dan beban eksternal yang bekerja padanya. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.5(e), gaya batang pada titik kumpul sama dan berlawanan arah dengan yang bekerja pada batang. Setiap titik kumpul harus berada dalam keadaan seimbang. Setiap titik kumpul harus berada dalam keadaan seimbang. Sistem gaya yang bekerja pada titik kumpul bekerja melalui titik yang sama. Hal ini berarti bahwa peninjauan keseimbangan yang diperlukan hanyalah translasi. Keseimbangan rotasi tidak perlu ditinjau karena semua

gaya melalui satu titik, yaitu satu titik yang diperlukan. Diagram benda bebas pada Gambar 2.5(e), (f), dan (g) digunakan sebagai solusi gaya batang dengan metode keseimbangan titik hubung.

Analisa gaya batang dengan metode keseimbangan titik kumpul pada umumnya dapat dikerjakan berurutan, titik demi titik. Untuk rangka batang yang terlihat pada Gambar 2.5, langkah pertama adalah menggambarkan sekumpulan diagram benda bebas seperti pada Gambar 2.5(e). Alternatif lain ialah dengan menggambarkan diagram benda bebas titik-titik kumpul [lihat Gambar 2.5(f) Gambar 2.5]. Persamaan keseimbangan translasi ($\Sigma F_x = 0$ dan $\Sigma F_y = 0$) diterapkan pada setiap titik kumpul. Dalam menggambarkan diagram benda bebas dan persamaan keseimbangan tersebut, gaya yang belum diketahui perlu dimisalkan dahulu sifatnya, tarik atau tekan. Benar-tidaknya pemisalan ini akan terlihat dari tanda aljabar gaya yang diperoleh dari persamaan keseimbangan. Apabila bertanda positif, berarti arah pemisalannya sudah benar; dan bila bertanda negatif, berarti arah kenyataan berlawanan dengan pemisalan (*Schodek, 1995*).



Gambar 2.5 Diagram Benda Bebas Pada Rangka Batang
Sumber: Schodek (1995:142).

Kekuatan pada kuda-kuda sebagai struktur rangka batang merupakan beban maksimum yang mampu ditahan oleh setiap batang selaku elemen struktur tersebut. Beban-beban yang bekerja pada kuda-kuda beton bertulang bambu dengan campuran batu-bata ini, seperti beban gravitasi (arah vertikal) dan beban angin (arah horizontal), dapat menyebabkan adanya lendutan dan deformasi pada elemen struktur kuda-kuda tersebut.

Lendutan pada struktur rangka batang merupakan deformasi total elemen-elemen batang pada titik pertemuannya akibat adanya gaya-gaya aksial dalam elemen-elemen batang tersebut. Nilai deformasi pada elemen-elemen batang akibat gaya-gaya aksial tersebut dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$\Delta = \frac{PL}{AE} \quad (2-2)$$

Dimana P merupakan gaya normal atau aksial pada batang yang diakibatkan oleh beban eksternal. Oleh karena itu persamaan gaya semu untuk rangka batang adalah

$$1. \Delta = \sum \frac{nPL}{AE} \quad (2-3)$$

dengan:

1 = beban satuan semu yang bekerja pada titik hubung rangka batang dalam arah Δ

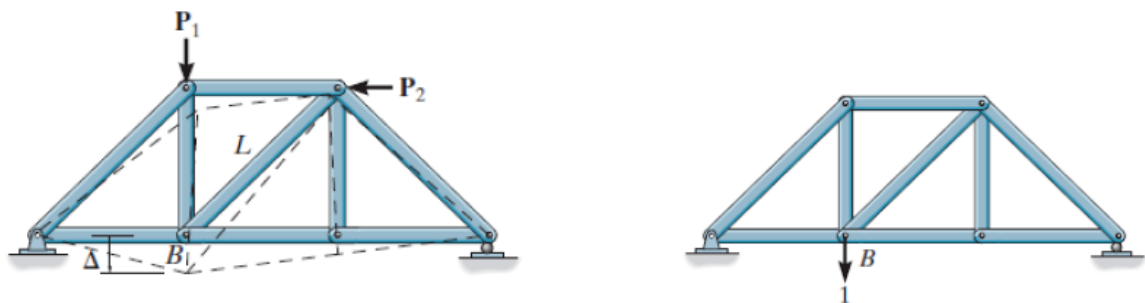
n = gaya normal semu internal pada sebuah batang yang diakibatkan oleh satuan beban semu eksternal

P = gaya normal internal pada sebuah batang yang diakibatkan oleh beban sesungguhnya

L = panjang batang yang ditinjau

A = luas penampang batang yang ditinjau

E = modulus elastis batang yang ditinjau



Gambar 2.6 Lendutan Pada Rangka Batang

Disini beban satuan semu eksternal menghasilkan gaya semu internal n pada setiap batang dari rangka batang. Beban sesungguhnya kemudian mengakibatkan perpindahan titik buhul sejauh Δ dalam arah yang sama dengan beban satuan semu dan setiap anggota bagian dipindahkan sejauh PL/AE dalam arah yang sama dengan gaya n yang diberikan. Akibatnya kerja semu eksternal $1. \Delta$ sama dengan kerja semu internal atau energi tegangan (semu) internal yang disimpan dalam semua batang rangka batang $\sum nPL/AE$ (Hibbeler, 2002).

2.8 Sistem Pracetak

Sebagian besar dari elemen struktur pracetak dicetak ditempat tertentu (dapat dilokasi proyek ataupun diluar lokasi proyek yang memang pada umumnya memproduksi elemen-elemen beton pracetak).Selanjutnya komponen-komponen tersebut dipasang sesuai keberadaannya sebagai komponen struktur, sebagai bagian dari sistem struktur beton.

Sistem pracetak mempunyai perbandingan-perbandingan dengan sistem konvensional sebagai berikut:

Tabel 2.6 Perbandingan sistem konvensional dengan pracetak

Item	Konvensional	Pracetak
Desain	Sederhana	Membutuhkan wawasan yang luas terutama yang ada kaitannya dengan fabrikasi sistem, transportasi serta pelaksanaan atau pemasangan komponen, sistem sambungan dan sebagainya
Bentuk dan ukurannya	Efisien untuk bentuk yang tidak teratur dan bentang-bentang yang tidak mengulang	Efisien untuk bentuk yang teratur/relatif besar dengan jumlah bentuk-bentuk yang berulang.
Waktu Pelaksanaan	Lebih Lama	Lebih cepat, karena dapat dilaksanakan secara paralel sehingga hemat waktu 20-25%.
Teknologi pelaksanaan	Konvensional	Butuh tenaga yang mempunyai keahlian.
Koordinasi pelaksanaan	Kompleks	Lebih sederhana, karena semua pengecoran elemen struktur pracetak telah dilakukan di pabrik.
Pengawasan / kontrol kerja	Bersifat kompleks, serta dilakukan dengan cara terus menerus.	Sifatnya lebih mudah karena telah dilakukan pengawasan oleh kualitas kontrol di pabrik.
Kondisi lahan	Butuh area yang relatif luas karena butuh adanya penimbunan material dan ruang gerak.	Tidak memerlukan lahan yang luas untuk penyimpanan material selama proses pengerjaan konstruksi berlangsung, sehingga lebih bersih terhadap lingkungan.
Kondisi cuaca	Banyak dipengaruhi oleh keadaan cuaca.	Tidak dipengaruhi cuaca karena dibuat di pabrik.
Ketepatan / akurasi ukuran	Sangat tergantung keahlian pelaksana.	Karena dilaksanakan di pabrik, maka ketepatan ukuran lebih terjamin.

Kualitas	Sangat tergantung banyak faktor, terutama keahlian pekerja dan pengawasan.	Lebih terjamin kualitasnya karena di kerjakan di pabrik dengan menggunakan sistem pengawasan pabrik.
----------	--	--

Sumber :M.Ali Affandi (2004)

2.9 Sambungan Pracetak

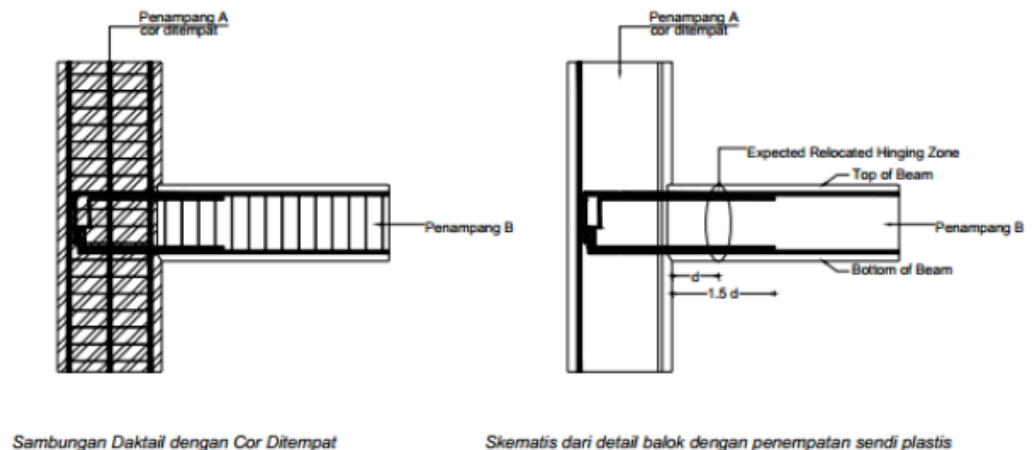
Sambungan terdiri dari komponen sambungan (pelat pengisi, pelat buhul, pelat pendukung, dan pelat penyambung) dan alat pengencang (baut dan las). Menurut SNI 03-1729-2002, kuat rencana setiap komponen sambungan tidak boleh kurang dari beban terfaktor yang dihitung. Perencanaan sambungan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Gaya-dalam yang disalurkan berada dalam keseimbangan dengan gaya-gaya yang bekerja pada sambungan.
- Deformasi pada sambungan masih berada dalam batas kemampuan deformasi sambungan.
- Sambungan dan komponen yang berdekatan harus mampu memikul gaya-gaya yang bekerja padanya.

Sambungan pracetak ada dua jenis yaitu sambungan basah dan sambungan kering. Sambungan pracetak sebisa mungkin dibuat sesederhana mungkin untuk dapat mudah dilaksanakan tetapi masih memenuhi kriteria sambungan yang disyaratkan. Sambungan pracetak yang baik adalah sambungan yang memiliki perilaku seperti sambungan monolit.

Sambungan kering merupakan sambungan yang menggunakan komponen daktail berupa metal atau detail beton tanpa diakhiri pengecoran. Sambungan kering mempunyai contoh berupa: sambungan dengan sistem tautan detail beton, sambungan dengan pelat dan baut, sambungan dengan pelat dan las, sambungan dengan sistem prestress.

Sambungan basah merupakan sambungan dengan menggunakan tulangan biasa sebagai penyambung/penghubung antar elemen beton baik antar pracetak ataupun antara pracetak dengan cor ditempat. Elemen pracetak yang sudah berada di tempatnya akan di cor bagian ujungnya untuk menyambungkan elemen satu dengan yang lain agar menjadi satu kesatuan yang monolit.



Gambar 2.7 Sambungan Basah

Sumber : M.Ali Effendi (2004)

Kekuatan tulangan baja yang akan disambung pada pelat sambung harus mampu memikul kuat geser dan kuat tumpu. Pada kuat geser rencana dari suatu tulangan sebagai berikut:

$$T_u = \phi.T_n = \phi.m.r.f_u.A \quad (2-4)$$

Keterangan:

$\phi = 0,75$ adalah faktor reduksi kekuatan untuk faktor

M = adalah jumlah bidang geser

$r = 0,5$ untuk tulangan baja polos pada bidang geser

f_u = adalah tegangan tarik putus tulangan

A = adalah luas bruto penampang tulangan pada bidang geser

Kuat tumpu rencana bergantung pada yang terlemah dari tulangan atau pelat sambung.

Kuat tumpu rencana tulangan dapat dihitung sebagai berikut:

$$T_u = \phi.T_n = \phi.2,4.db.tb.f_u \quad (2-5)$$

Keterangan:

$\phi = 0,75$ adalah faktor reduksi kekuatan untuk faktor

db = adalah diameter tulangan

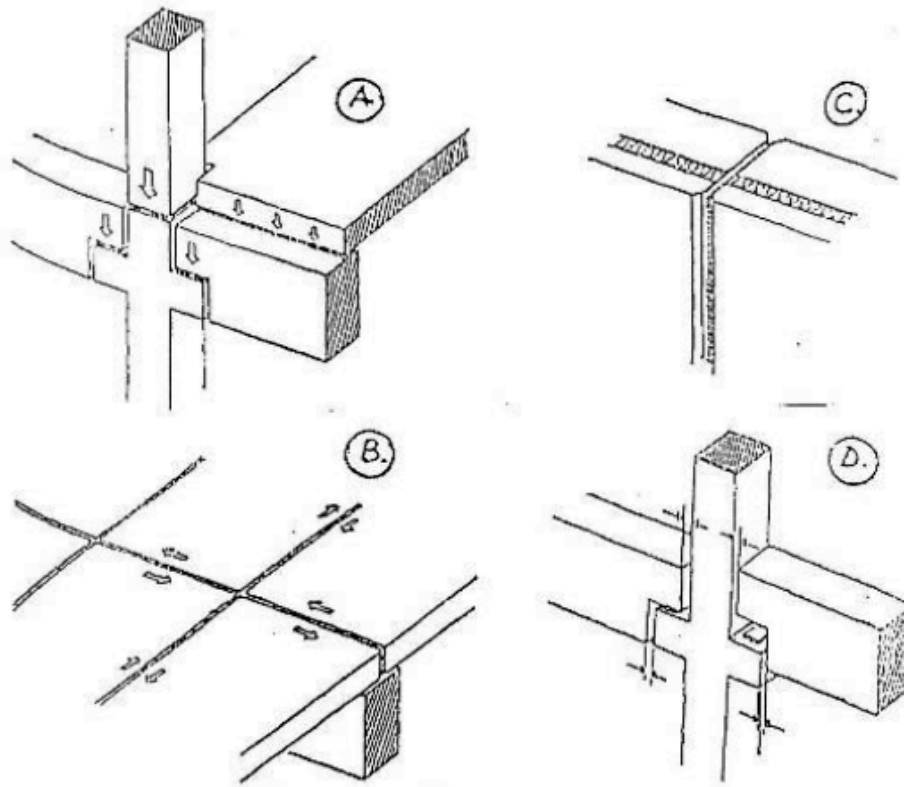
tb = adalah tebal pelat penyambung

f_u = adalah tegangan tarik putus tulangan

Pada umumnya sambungan-sambungan bisa dikelompokkan sebagai berikut:

- A. Sambungan yang pada pemasangan harus langsung menerima beban (biasanya beban vertical) akibat berat sendiri dari komponen (lihat gambar. 2.8-A)
- B. Sambungan yang pada keadaan akhir akan harus menerima beban, yang selama pemasangan diterima oleh pendukung pembantu (lihat gambar. 2.8-B)

- C. Sambungan dimana tidak ada persyaratan-persyaratan ilmu gaya, tapi harus bisa memenuhi persyaratan-persyaratan lain, seperti kedekatan terhadap air, suara dan lain-lain (lihat gambar 2.8-C)
- D. Sambungan-sambungan tanpa persyaratan konstruktif, dan semata-mata menyediakan ruang gerak untuk pemasangan (lihat gambar 2.8-D)



Gambar 2.8 Macam-macam Sambungan

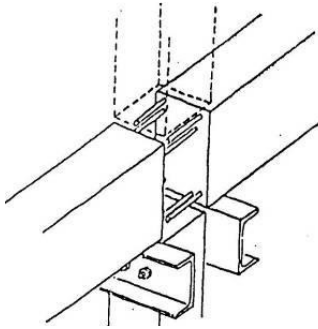
Sumber : Muji Indarwanto (Pusat Pengembangan bahan ajar-UMB)

Cara mengikatkan/melekatkan suatu komponen terhadap bagian konstruksi yang lain, secara prinsipnya bisa dibedakan sebagai berikut:

Ikatan Cor

Penyakuran gaya-gaya dilakukan lewat beton yang dicorkan.

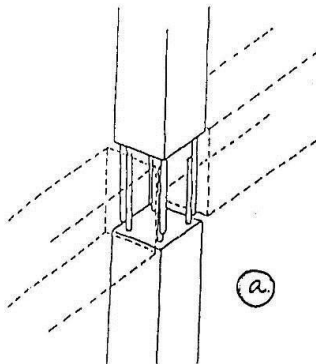
- Diperlukan penunjang/pendukung pembantu selama pemasangan sampai beton cor cukup untuk mengeras
- Penyetelan berlangsung dengan bantuan adanya penunjang/pendukung pembantu. Toleransi diserap oleh coran beton



Gambar 2.9 Sambungan dengan ikatan cor

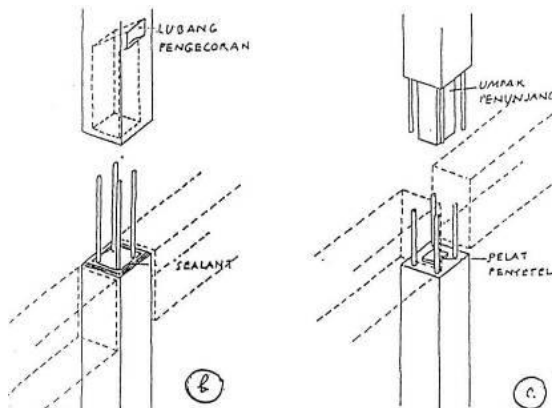
Sumber : Muji Indarwanto (Pusat Pengembangan bahan ajar-UMB)

Perkembangan lebih jauh dari ikatan cor ini dapat dilihat dari contoh-contoh berikut ini:



Gambar 2.10 Sambungan dengan ikatan cor a

Sumber : Muji Indarwanto (Pusat Pengembangan bahan ajar-UMB)



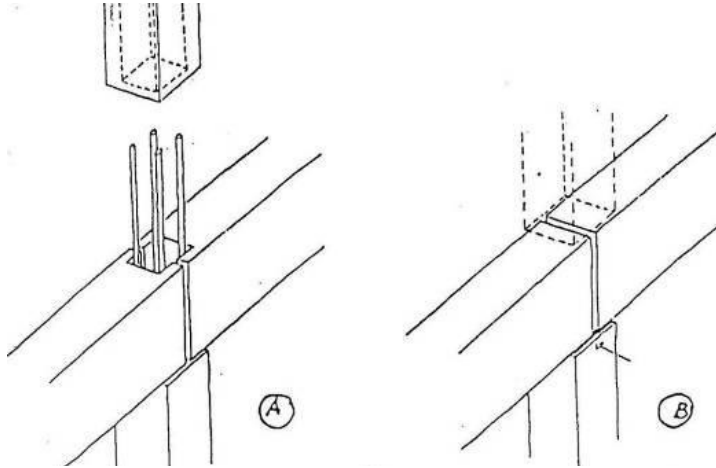
Gambar 2.11 Sambungan dengan ikatan cor b dan c

Sumber : Muji Indarwanto (Pusat Pengembangan bahan ajar-UMB)

Ikatan Terapan

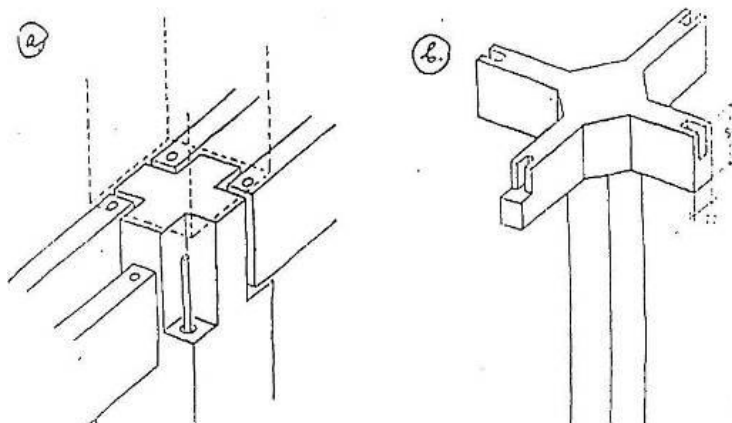
Cara menghubungkan komponen satu dengan yang lain secara lego (permainan balok susun anak), disebut ikatan terapan. Dimulai dengan hubungan dengan cara perletakan, teknik ini berkembang menjadi “saling menggigit”.

- Proses pemasangan dimungkinkan tanpa adanya pendukung/penunjang pembantu.



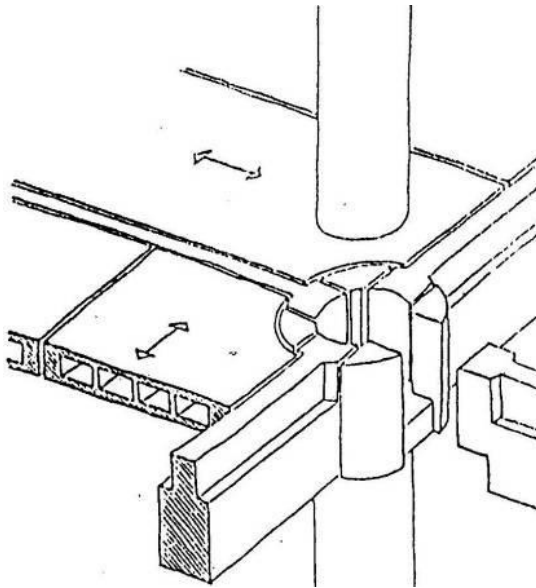
Gambar 2.12 Sambungan dengan ikatan terapan

Sumber : Muji Indarwanto (Pusat Pengembangan bahan ajar-UMB)



Gambar 2.13 Macam-Macam sambungan dengan ikatan terapan

Sumber : Muji Indarwanto (Pusat Pengembangan bahan ajar-UMB)



Gambar 2.14 Perkembangan lebih lanjut sambungan dengan ikatan terapan

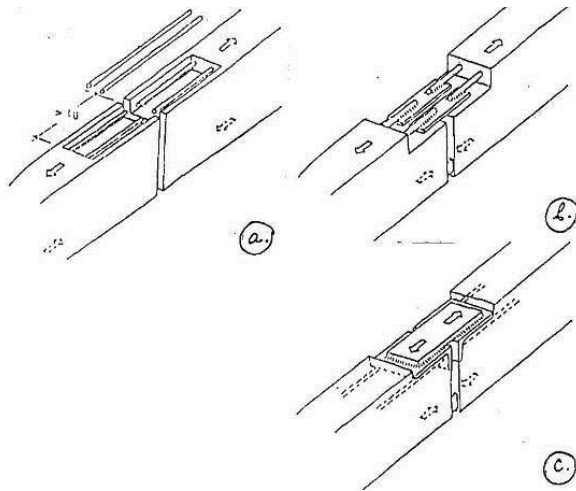
Sumber : Muji Indarwanto (Pusat Pengembangan bahan ajar-UMB)

- Penyetelan dan perataan beton bias dilakukan pada bidang kontak dengan memakai aduk beton, neoprene, pelat baja, lempeng timah dan lain-lain
- Untuk menyalurkan gaya horizontal bisa dibantu baut, angker, dan lain-lain
- Gambar 2.14 bisa menggambarkan varian dan perkembangan dari teknik ini

Ikatan Baja

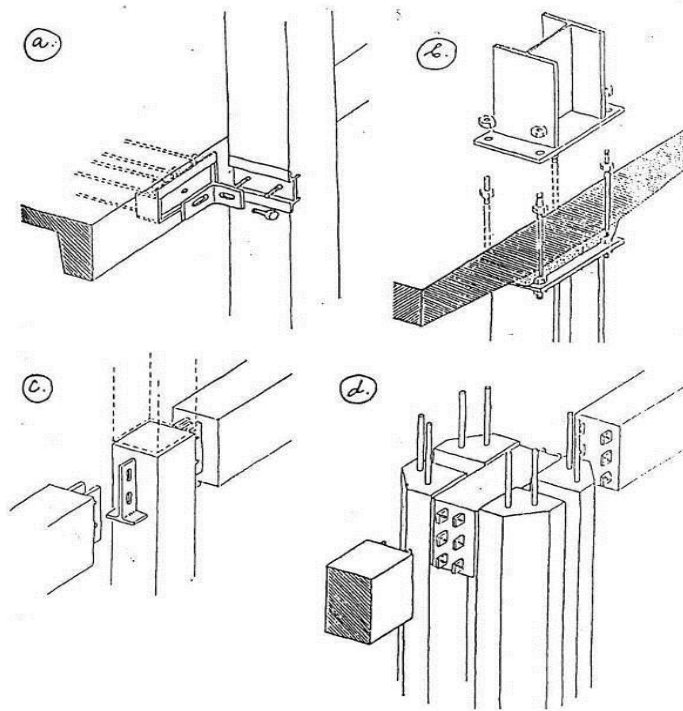
Sebagai bahan pengikat dalam ikatan ini dipakai baja, yang dalam hal ini bisa dibedakan sebagai berikut:

- Memakai Las
 - Memakai baut/mur/ulir
1. Harga dari profil baja sebagai bahan pengikat cukup tinggi.
 2. Mungkin dilaksanakan tanpa pendukung/penunjang pembantu
 3. Harus dilindungi terhadap karat dan api, yang kadang-kadang dilakukan dengan mencor beton sebagai pelindung / *finishing* dari ikatan.
 4. Contoh-contoh pada gambar 2.15, 2.16, dan 2.17 memberikan gambaran mengenai berbagai varian dalam pembentukan ikatan baja ini.



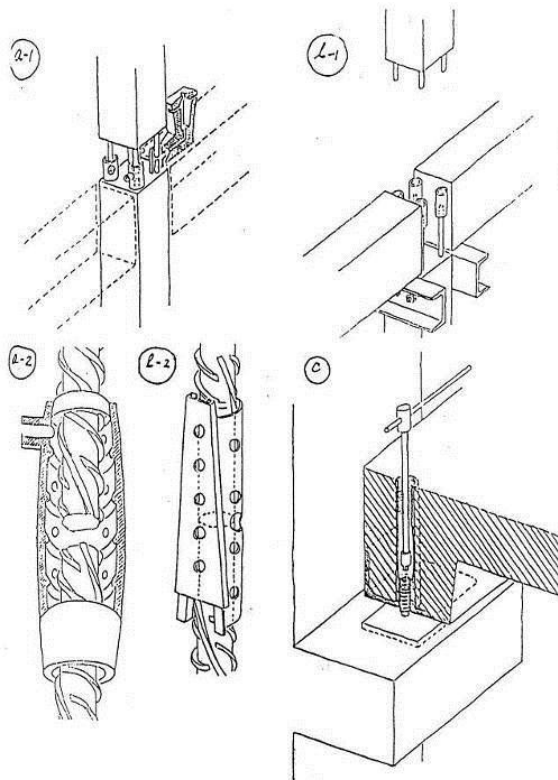
Gambar 2.15 Teknik pengelasan untuk membentuk ikatan

Sumber : Muji Indarwanto (Pusat Pengembangan bahan ajar-UMB)



Gambar 2.16 Pembentukan ikatan baja dengan baut/mur

Sumber : Muji Indarwanto (Pusat Pengembangan bahan ajar-UMB)



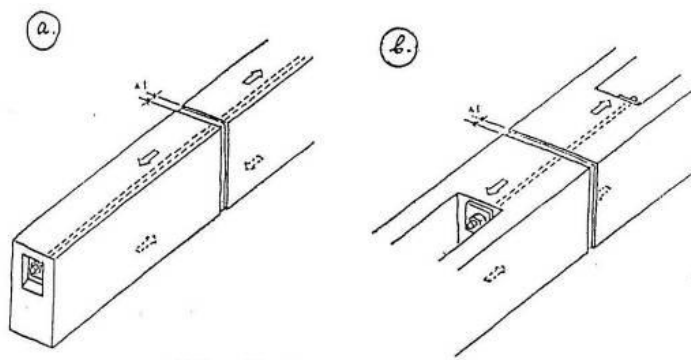
Gambar 2.17 Beberapa macam teknik mengikat pada ikatan baja

Sumber : Muji Indarwanto (Pusat Pengembangan bahan ajar-UMB)

Ikatan Tegangan

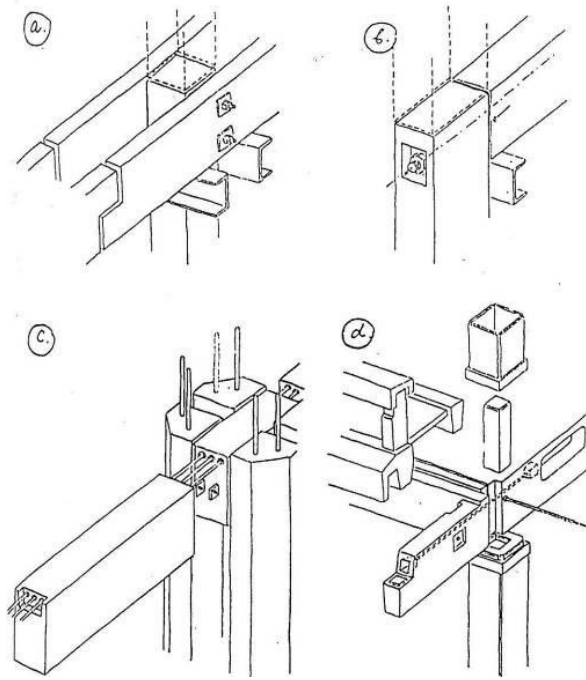
Merupakan perkembangan lebih jauh dari ikatan baja, dengan memasukkan faktor *post tensioning* kedalamnya.

- Memerlukan penunjang/pendukung pembantu selama pemasangan.
- Perlu tempat/ruang gerak untuk melakukan *post tensioning*.
- Angker-angker cukup mahal.



Gambar 2.18 Sambungan dengan ikatan tegangan

Sumber : Muji Indarwanto (Pusat Pengembangan bahan ajar-UMB)



Gambar 2.19 Beberapa macam sambungan dengan ikatan tegangan

Sumber : Muji Indarwanto (Pusat Pengembangan bahan ajar-UMB)

2.10. Pola Keruntuhan

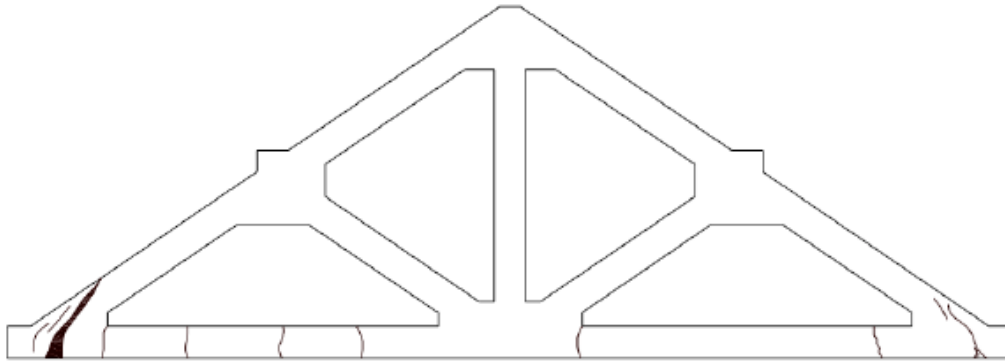
Model keruntuhan yang terjadi pada rangka batang dapat dilihat dari pola retak yang terjadi. Ada berbagai macam pola retak yang dapat terjadi apabila rangka batang yang terbuat dari beton komposit diberi beban vertikal. Pertama, keruntuhan akibat tarik pada batang yang membentuk pola retak berupa retakan-retakan tegak lurus batang diujung-ujung batang tarik. Pola retak akibat gaya tarik dapat dilihat seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 2.20 Pola retak akibat gaya tarik aksial

Sumber : Tedy Wonlele; Sri Murni Dewi; Siti Nurlina ,2013 (Jurnal rekayasa sipil/Volume 7-no.1-2013)

Pola retak yang berikutnya adalah pola retak akibat gaya geser dan tekan pada tumpuan. Bentuk pola retak akibat gaya ini berupa retakan-retakan miring terhadap balok tarik horisontal disekitar tumpuan. Hal ini menyebabkan keruntuhan total struktur. Pola retak akibat gaya geser dan tekan dapat dilihat seperti gambar berikut ini:



Gambar 2.21 Pola Retak akibat gaya geser dan tekan pada tumpuan

Sumber : Tedy Wonlele; Sri Murni Dewi; Siti Nurlina ,2013 (Jurnal rekayasa sipil/Volume 7-no.1-2013)

Ilustrasi pola keretakan yang disajikan pada gambar 2.21 diatas ialah pola keretakan pada kuda-kuda tanpa sambungan dengan bentang total 240cm dan tinggi 100cm. Kuda-kuda tersebut dapat menahan beban vertikal maksimum sebesar 6136kg.

2.11 Hipotesis Penelitian

Setelah mempelajari materi dan tinjauan pustaka serta memahami permasalahan-permasalahan yang akan ditemukan dalam proses penelitian maka dapat diambil hipotesis sebagai berikut:

1. Diduga kekuatan kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dengan sambungan grouting dalam menahan beban vertikal simetris dan vertikal tidak simetris sama dengan kekuatan kuda-kuda beton komposit tulangan bambu tanpa sambungan.
2. Diduga pola retak yang terjadi pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dengan sambungan grouting ketika dibebani dengan beban vertikal simetris dan vertikal tidak simetris sama dengan kuda-kuda beton komposit tulangan bambu tanpa menggunakan sambungan.