

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (*SNI-03-2847-2002*). Semen adalah bahan bangunan bersifat hidrolis yaitu bersifat perekat. Agregat halus dan agregat kasar merupakan bahan utama pembentuk beton. Air digunakan agar terjadi reaksi kimia pada pengerasan beton saat tercampur dengan semen serta perawatan setelah beton mengeras.

Beton merupakan bahan komposit, yaitu heterogen secara mikroskopis maupun makroskopis yang diperoleh dari bahan-bahan penyusunnya. Bila pembuatan beton dilakukan dengan baik maka setiap agregat akan terlapisi oleh pasta semen sehingga kualitas pasta sangat menentukan kualitas betonnya. Selain itu, agregat sebagai bahan pengisi akan menempati (60-70) % dari volume total sehingga seleksi bahan ini merupakan hal hal yang penting. Secara fisik, beton mempunyai dua bentuk, beton segar bersifat plastis, yaitu mampu dibentuk tanpa kehilangan kontinuitasnya maupun mampu mempertahankan bentuk tersebut yang ditunjukkan pada saat pencampurannya dan beton keras bersifat kuat yang ditunjukkan setelah siap dioperasikan (*Suseno, 2010*).

Struktur komposit adalah struktur yang tergabung dari beberapa bahan dasar yang bekerja sama membentuk suatu 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 dasar lain (*Dewi, 2008*)

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

2.1.1. Material Penyusun Beton

Bahan dasar beton terdiri dari semen, air, agregat halus, dan agregat kasar. Pada dasarnya, bahan dasar beton harus bisa mengisi satu sama lain agar beton dapat menjadi satu kesatuan. Bahan tambahan campuran adalah bahan kimia atau mineral pembantu yang ditambahkan pada saat pencampuran dengan tujuan- tujuan tertentu (Suseno, 2010).

2.1.1.1. Air

Untuk membuat dan mengusahakan tetap basah dari beton selama minggu pertama harus dipakai air murni. Kepadatan beton juga tergantung kepada kemurnian air yang dipakai. Untuk konstruksi, air yang biasa dipakai adalah air pipa. Untuk penyelidikan yang sederhana di pekerjaan, air itu diuji menurut jernihnya dan rasanya. Selanjutnya air tidak boleh berbau, lalu bila ditiup air tersebut tidak berubah menjadi keruh (*Ir. J. Honing, 1977*).

Menurut SNI 02-2847-2002, air yang digunakan untuk campuran dasar 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.

2.1.1.2. Semen

Semen merupakan bahan pengikat dalam beton. Material semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif yang diperlukan untuk mengikat agregat-agregat menjadi suatu massa yang padat yang mempunyai kekuatan yang cukup. Pada tahun 1824 semen Portland dipatenkan di Inggris. Semen Portland merupakan bubuk yang sangat halus terdiri dari kalsium dan aluminium silikat. Beton yang dibuat dari semen Portland biasanya memerlukan waktu kurang lebih dua minggu untuk mencapai kekuatan yang cukup pada saat cetakan dapat dibuka dan dapat memikul beban yang sesuai. Struktur beton tersebut akan mencapai kekuatan rencana setelah 28 hari dan setelah masa tersebut kekuatan beton akan terus bertambah sedikit demi sedikit (George dan Arthur, 1993).

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).

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.

2.1.1.3. Agregat

Agregat merupakan pengisi dari beton. Maka dari itu, gradasi dari agregat berperan penting untuk menghasilkan susunan beton yang padat. Agregat secara umum diklasifikasikan sebagai agregat halus dan kasar. Agregat halus atau biasa disebut pasir, adalah material yang lolos saringan nomor 4, yaitu, saringan yang setiap 1 inci panjang mempunyai 4 lubang. Material yang lebih kasar dari ukurang saringan nomor 4 disebut sebagai gregat kasar atau dalam penelitian ini adalah limbah batu bata. Ukuran maksimum dari agegat kasar dalam beton bertulang diatur sesuai kebutuhan dimana agregat kasar tersebut dapat mengisi celah-celah yang terdapat antara beton dan tulangan beton tersebut (*George dan Arthur, 1993*).

Agregat untuk beton ringan dipilih berdasarkan tujuan konstruksi harus memenuhi syarat seperti tertera di Tabel 2.1. Agregat untuk beton ringan juga harus memenuhi persyaratan sifat fisik seperti yang tertera di Tabel 2.2 dan memenuhi persyaratan susunan butir agregat untuk beton ringan struktural seperti Tabel 2.3 Agregat dibedakan menjadi agregat halus dan agregat kasar.

A. Agregat Kasar

Agregat kasar, menurut SNI-03-2834-2000, adalah sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperlah dari industry pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm. Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi oleh kerikil yang dapat menjadi agregat kasar pada bahan pembentuk beton.

Tabel 2.1 Jenis Agregat Ringan Yang Dipilih Berdasarkan Tujuan Konstruksi.

KONSTRUKSI BANGUNAN	BETON RINGAN		JENIS AGREGAT RINGAN
	KUAT TEKAN MPa	BERAT ISI kg/m ³	
-Struktual : Minimum	17,24	1400	- Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan dari batu
Maksimum	41,36	1850	
-Struktual : Minimum	6,89	800	- serpih, batu lempung, batu sabak, terak besi atau terak abu terbang
Ringan			
Maksimum	17,24	1400	-Agregat ringan alam : skoria atau batu
-Struktual : Minumum	-	-	

(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)

Syarat-syarat mutu agregat kasar menurut PBI 1971, yaitu:

1. Agregat Kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori.
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui 0,063 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 1%, maka agregat kasar harus dicuci.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
4. Kekerasan agregat kasar diperiksa dengan bejana penguji dari Rudeloff dengan beban penguji 20t, dengan mana harus dipenuhi syarat-syarat berikut:
 - a. Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5 – 19 mm lebih dari 24% berat.
 - b. Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19 – 30 mm lebih dari 22%, atau dengan mesin Pengaus Los Angelos, dengan mana tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50%.
5. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan harus memenuhi syarat-syarat berikut:
 - a. Sisa di atas ayakan 31,5 mm, harus 0% berat..
 - b. Sisa di atas ayakan 4 mm, harus berkisar antara 90% dan 98% berat.
 - c. Selisih antara sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.
6. Besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan, sepertiga dari tebal pelat atau tigaperempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

Syarat mutu agregat kasar menurut SK SNI S-04-1989-F, yaitu:

- a. Butirannya tajam, kuat dan keras.
- b. Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
- c. Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut :
 - Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12 %
 - Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10 %
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060mm) lebih dari 1%. Apabila lebih dari 1 % maka kerikil harus dicuci.
- e. Tidak boleh mengandung zat organik dan bahan alkali yang dapat merusak beton.
- f. Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 6 – 7,10 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut :
 - Sisa di atas ayakan 38 mm, harus 0 % dari berat
 - Sisa di atas ayakan 4,8 mm, 90 % - 98 % dari berat
 - Selisih antara sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan, maksimum 60 % dan minimum 10 % dari berat.
- g. Tidak boleh mengandung garam.

B. 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. Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi oleh pasir yang dapat menjadi agregat halus pada bahan pembentuk beton.

Syarat-syarat mutu agregat halus menurut PBI 1971, yaitu:

1. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras.
2. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 5%, maka agregat halus harus dicuci.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Harder (dengan larutan NaOH).

4. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus memenuhi syarat-syarat berikut:
 - a. Sisa di atas ayakan 4 mm, harus minimum 2% berat.
 - b. Sisa di atas ayakan 1 mm, harus minimum 10% berat.
 - c. Sisa di atas ayakan 0,25 mm, harus berkisar antara 80%-95% berat.
5. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

Syarat mutu agregat halus menurut SK SNI S-04-1989-F, yaitu:

- a. Butirannya tajam, kuat dan keras.
- b. Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
- c. Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut :
 - Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12 %
 - Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10 %
- d. Agregat halus tidak boleh mengandung Lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 5 %. Apabila lebih dari 5 % maka pasir harus dicuci.
- e. Tidak boleh mengandung zat organik, karena akan mempengaruhi mutu beton. Bila direndam dalam larutan 3 % NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding.
- f. Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 1,5-3,8. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut zone 1, 2, 3 atau 4 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut :
 - Sisa di atas ayakan 4,8 mm, mak 2 % dari berat.
 - Sisa di atas ayakan 1,2 mm, mak 10 % dari berat.
 - Sisa di atas ayakan 0,30 mm, mak 15 % dari berat .
- g. Tidak boleh mengandung garam.

Syarat mutu agregat halus menurut ASTM C33-86, yaitu:

- a. Kadar Lumpur atau bagaian butir lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no 200), dalam % berat, maksimum :
 - Untuk beton yg mengalami abrasi : 3,0.
 - Untuk jenis beton lainnya : 5,0.
- b. Kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah direpihkan, mak 3,0 %.
- c. Kandungan arang dan lignit :
 - Bila tampak, permukaan beton dipandang penting kandungan mak 0,5 %.
 - Untuk beton jenis lainnya 1,0 %.
- d. Agregat halus bebas dari pengotoran zat organik yang merugikan beton. Bila diuji dengan larutan Natrium Sulfat dan dibandingkan dengan warna standar, tidak lebih tua dari warna standar. Jika warna lebih tua maka agregat halus itu harus ditolak, kecuali apabila :
 - Warna lebih tua timbul oleh adanya sedikit arang lignit atau yg sejenisnya.
 - Diuji dengan cara melakukan percobaan perbandingan kuat tekan mortar yg memakai agregat tersebut terhadap kuat tekan mortar yg memakai pasir standar silika, menunjukkan nilai kuat tekan mortar tidak kurang dari 95 % kuat tekan mortar memakai pasir standar. Uji kuat tekan mortar harus dilakukan sesuai dengan cara ASTM C87.
- e. Agregat halus yg akan dipergunakan untuk membuat beton yg akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yg berhubungan dg tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yg bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen, yg jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaiian yg berlebihan di dalam mortar atau beton. Agregat yang reaktif terhadap alkali boleh dipakai untuk membuat beton dengan semen yg kadar alkalinya dihitung sebagai setara Natrium Oksida ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$) tidak lebih dari 0,60 % atau dengan penambahan yang dapat mencegah terjadinya pemuaiian yang membahayakan akibat reaksi alkali agregat tersebut.
- f. Sifat kekal diuji dengan larutan jenuh Garam-Sulfat :
 - Jika dipakai Natrium Sulfat , bagian yg hancur mak 10 %.
 - Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur mak 15 %.
- g. Susunan besar butir (gradasi). Agregat halus tidak boleh lebih mengandung bagian yang lolos lebih dari 45 % pada suatu ukuran ayakan dan tertahan pada

ayakan berikutnya. Modulus kehalusannya tidak kurang dari 2,3 dan tidak lebih dari 3,1.

2.2 Batu Bata

Berdasarkan SNI 15-2094-1991, SII-0021-78, 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. Bahan utama pembentuk batu bata adalah tanah lempung. Lempung adalah suatu bahan bangunan yang diperoleh dari hasil penggalian lapisan tanah pembentuk kerak bumi yang berbentuk kerak bumi yang bersifat lepas tidak tersementasi, kohesif (saling berikatan), plastis (mudah dibentuk tanpa perubahan bentuk, tanpa kembali ke bentuk semula dan tanpa terjadi retak-retak) serta merupakan hasil pelapukan kimiawi dari batuan yang mengandung mineral feldspar dan mika (*Suseno, 2010*).

Dalam penelitian ini batu bata yang digunakan adalah limbah batu bata dari kegiatan konstruksi yang sudah tidak terpakai. Limbah batu bata digunakan sebagai pengganti agregat pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu. Faktor penting yang mempengaruhi ikatan agregat dengan pasta semen adalah porositas dan absorpsi. Porositas adalah ukuran ruang kosong dalam suatu material. Absorpsi adalah banyaknya air yang terdapat pada permukaan kering jenuh (*Kasegic, 2008*).

Tabel 2.4 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)

Dengan menggunakan limbah batu bata sebagai agregat pada campuran beton, memungkinkan untuk merancang campuran beton dengan cara yang sama dengan batu pecah pada umumnya. Absorpsi air limbah batu bata diestimasikan 22%-25% dari berat material dalam keadaan kering. Dengan perendaman selama 24 jam hanya meningkatkan absorpsi air sebanyak 2%. Dari studi tentang absorpsi air agregat limbah batu bata, limbah batu bata mendekati jenuh hanya dengan 30 menit perendaman dalam air (Kasegic, 2008).

2.3. 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 Graoting

Bahan grouting terbagi menjadi 2 yaitu bahan grouting halus dan bahan grouting kasar. Dimana kedua bahan tersebut memiliki perbedaan karakteristik. 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 graut 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 keadap air, mempercepat pengerasan, atau bahan tambah 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 2.5.

Tabel 2.5 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- μ m) 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 2.6. 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 2.6 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 adalah suatu bahan bangunan yang diperoleh dari hasil penebangan rumpun-rumpun bambu di hutan rimba alami atau hasil dari budidaya. Ukuran panjang dan diameter batang tergantung dari jenis bambu yang dapat tumbuh hamper di seluruh daerah Indonesia. Bambu ini merupakan bahan yang dapat dipakai sebagai pengganti kayu terutama untuk bangunan ringan di pedesaan dan sebagai struktur pembantu atau sementara. (Suseno, 2010)

Bambu dengan bentuk batang beruas-ruas merupakan bahan heterogen namun untuk keperluan desain diidealisasikan homogen, seperti kayu juga merupakan bahan getas, orthotropis, dan dianggap elastis linier. Sifat mekanika bambu sangat dipengaruhi oleh jenis, umur penebangan, kadar air kesetimbangan batang dan bagian batang seperti pangkal, tengah, ujung, ruas beban tekan, dan lentur. Kuat lentur bambu berkisar (12,83-66,3) MPa, modulus elastisitas berkisar (2,38-10,10) GPa, kuat tekan sejajar serat berkisar (19,33-58,43) MPa, kuat tarik sejajar arah serat berkisar (115,3-309,3) MPa, kuat geser berkisar (3,95-6,14) MPa, dan kuat belah berkisar (4,14-5,82) MPa. (Suseno, 2010)

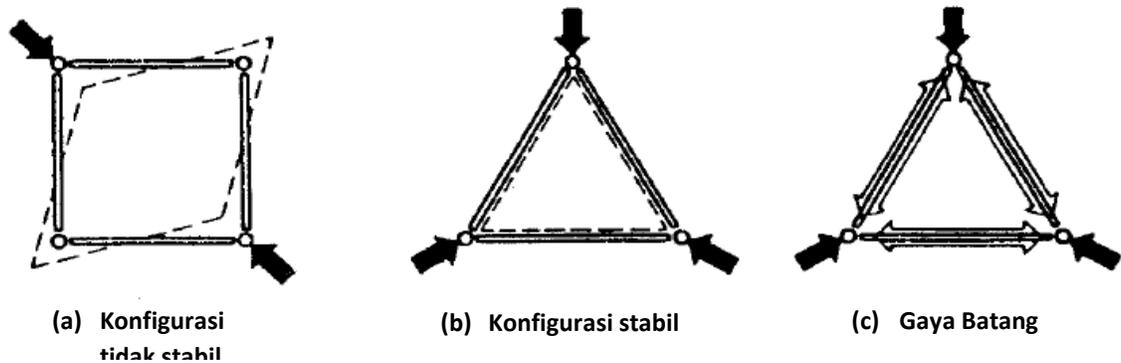
Beton bertulang bambu menggunakan bilah bambu sebagai tulangan yang akan menerima beban gaya tarik. Bambu akan menyusut 4 kali lipat dari beton sehingga pengikatan antara beton dan bambu akan menghilang. Penyusutan bambu diakibatkan oleh proses pengeringan.

Karena beton pada waktu pengecor 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 Frick, 2004)

2.6. 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).

2.6.1. Gaya Batang

Gaya batang adalah gaya yang muncul di dalam batang akibat dari beban vertikal yang membebani setiap titik nodal struktur rangka 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*).

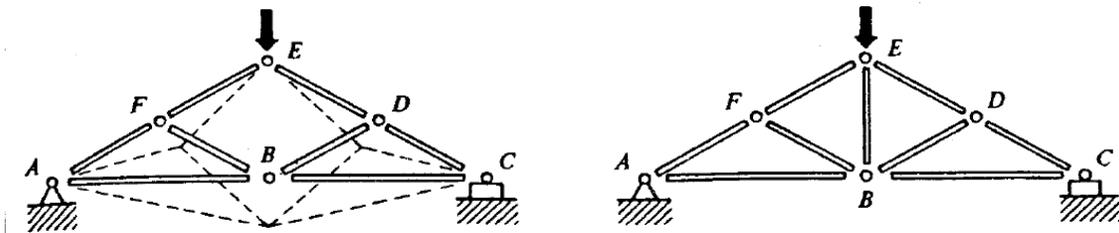
2.6.2. Stabilitas Rangka Batang

Pada umumnya dengan 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 diantara B dan C.

Pada satu rangka batang 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. Jelas apabila dibuang kedua-duanya, konfigurasi yang tertinggal tidak stabil.

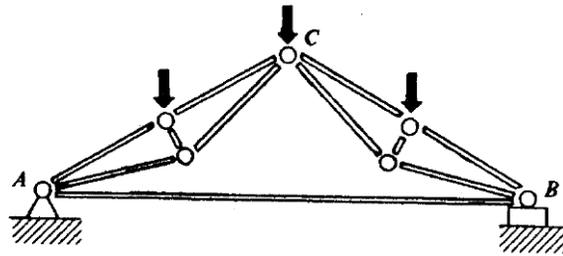


(a) Rangka batang tak stabil: daerah yang tidak segitiga pada rangka batang akan sangat berubah bentuk apabila mengalami suatu kondisi pembebanan yang dapat disebut terjadinya keruntuhan

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

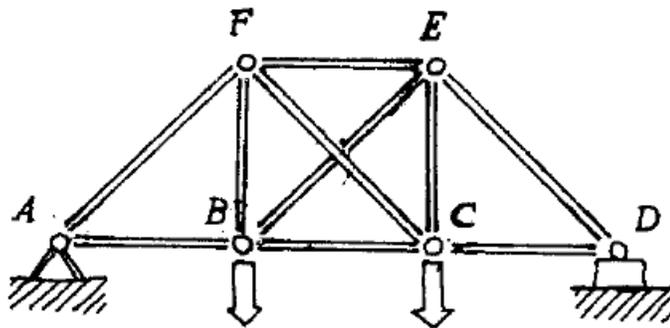
Gambar 2.2 Konfigurasi Batang stabil dan tidak stabil

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 daripada 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 indicator 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 tidak akan bisa menghitung gaya-gaya pada struktur tidak stabil dengan persamaan statika.

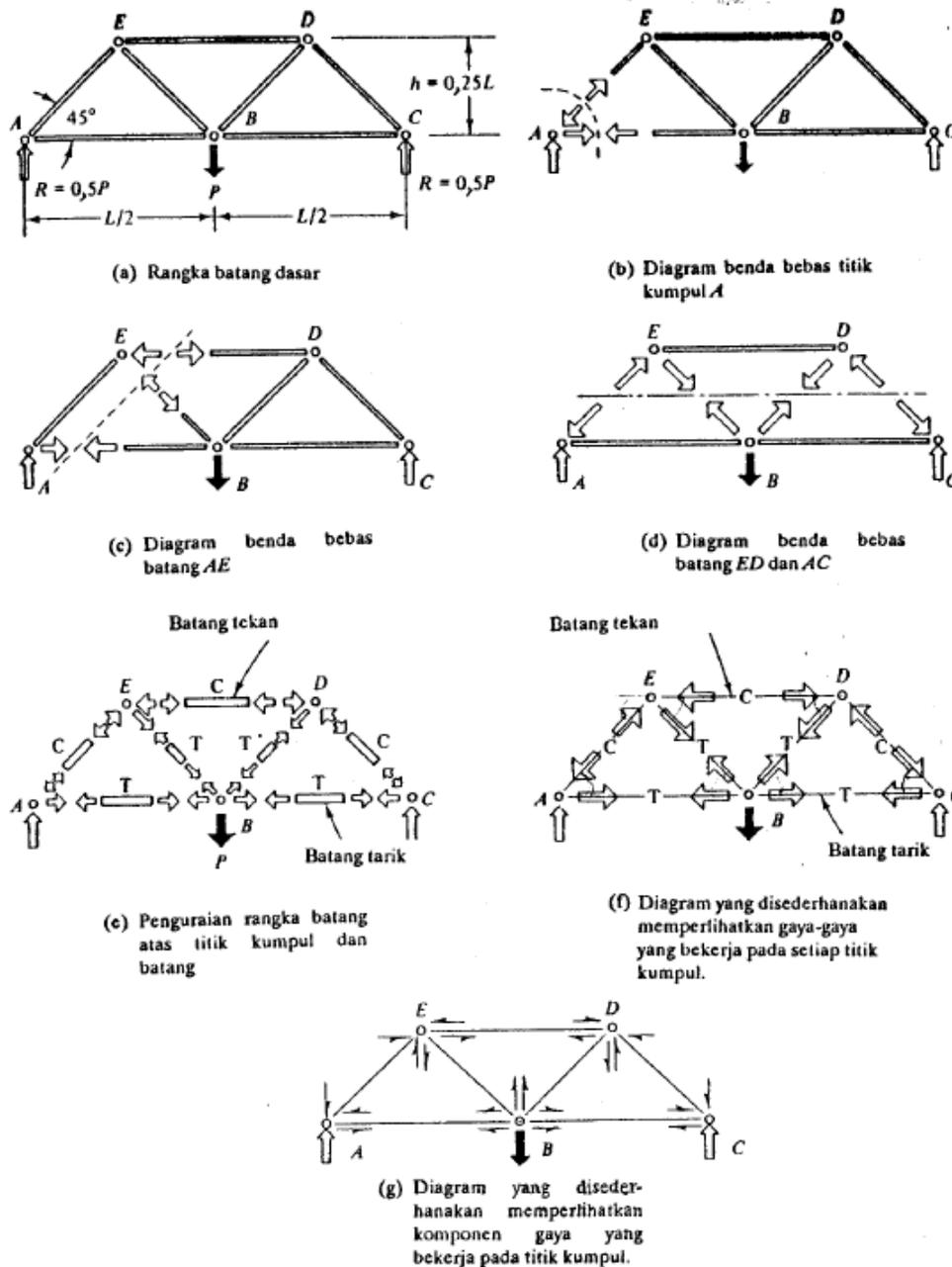
2.6.3. Keseimbangan Titik Tumpul

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 ($\sum F_x = 0$ dan $\sum F_y = 0$) 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 pemisalnya 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).

2.6.4. Lendutan Pada Struktur Rangka Batang

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:

l = 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 elastisitas 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 $\frac{PL}{AE}$ dalam arah yang sama dengan gaya n yang diberikan. Akibatnya kerja semu eksternal $1 \cdot \Delta$ sama dengan kerja semu internal atau energi tegangan (semu) internal yang disimpan dalam semua batang rangka batang $\sum \frac{nPL}{AE}$ (Hibbeler, 2002).

2.7. Struktur Komposit

Kebutuhan untuk mendapatkan struktur yang andal dalam berbagai situasi seperti struktur yang kaku, yang kuat, tahan api, ringan, tahan karat, akustiknya baik, corak atraktif, dan tahan fatik pada bangunan maupun peralatan menyebabkan studi tentang struktur komposit berkembang pesat saat ini. Selain sifat mekanik dan fisik diatas sifat elektromagnetik dan konduktivitas bahan juga direkayasa dengan cara komposit (Dewi,2008).

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 antar bahan dasar, baik dalam segi fisik, kimia dan mekanika. Dengan penggabungan ini kekurangan pada satu bahan dasar ditutupi oleh kelebihan bahan dasar yang lain (Dewi,2008).

2.8. Kapasitas Rangka Batang Beton Komposit

Secara teoritis gaya maksimum yang mampu dipikul oleh rangka beton komposit adalah beban yang menyebabkan terjadinya tegangan f'_c pada beton. Suatu rangka komposit dengan luas A_g dengan lebar b dan tinggi total h , bertulangan bambu dengan luasan A_b (terbagi pada semua sisi rangka). Luas bersih penampang rangka komposit adalah $A_g - A_b$.

Kapasitas beban sentris maksimum pada rangka komposit dapat diperoleh dengan menambahkan kontribusi beton, yaitu $(A_g - A_b) 0,85 f'_c$ dan kontribusi bambu $A_b F_yb$. Dalam hal ini digunakan $0,85 f'_c$ karena kekuatan maksimum yang dapat dipertahankan pada struktur aktual mendekati harga $0,85 f'_c$. Dengan demikian, kapasitas beban sentris maksimum adalah P_o yang dapat dinyatakan sebagai:

$$P_o = (A_g - A_b) 0,85 f'_c + A_b F_yb \quad (2-4)$$

Beban sentris menyebabkan tegangan tekan yang merata di seluruh bagian penampang. Ini berarti bahwa pada saat terjadi keruntuhan, tegangan dan regangannya akan sama diseluruh bagian penampang.

Mengadakan eksentrisitas sebesar nol merupakan hal yang amat mustahil di dalam struktur aktual. Untuk mengurangi perhitungan eksentrisitas minimum yang diperlukan dalam analisa dan desain maka disyaratkan suatu reduksi beban aksial sebesar 20% pada rangka komposit. Dengan menggunakan faktor-faktor ini, maka kapasitas beban aksial nominal pada rangka komposit tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$Po(max) = 0,8 \{ (Ag - Ab) 0,85 f'c + Ab Fyb \} \quad (2-5)$$

2.9. 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 2.7 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	Sifatnya lebih mudah karena telah dilakukan pengawasan oleh kualitas

	menerus.	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)

2.10. 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:

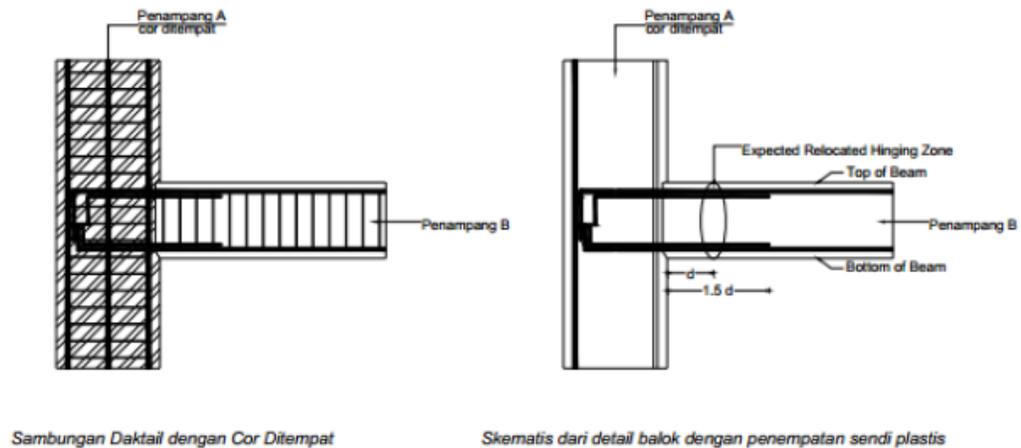
1. Gaya-dalam yang disalurkan berada dalam keseimbangan dengan gaya-gaya yang bekerja pada sambungan.
2. Deformasi pada sambungan masih berada dalam batas kemampuan deformasi sambungan.
3. Sambungan dan komponen yang berdekatan harus mampu memikul gaya-gaya yang bekerja padanya.

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:

$$T_u = \phi \cdot T_n = \phi \cdot m \cdot r \cdot f_u \cdot A \quad (2-6)$$

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:

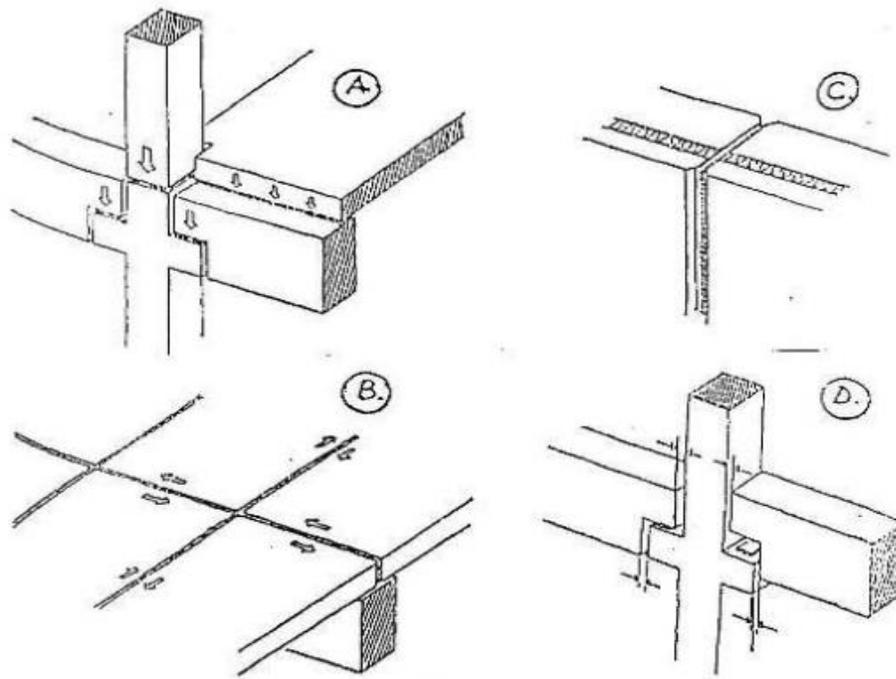
$$T_u = \phi \cdot T_n = \phi \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_b \cdot f_u \quad (2-7)$$

Keterangan:

- $\phi = 0,75$ adalah faktor reduksi kekuatan untuk faktor
 d_b adalah diameter tulangan
 t_b adalah tebal pelat penyanggung
 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

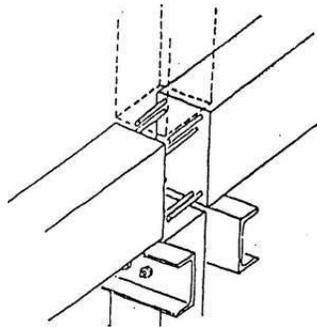
Sumber : Muji Indarwanto (Pusat Pengembangan bahan ajar-UMB)

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

1. Ikatan Cor

Penyakuran gaya-gaya dilakukan lewat beton yang dicorkan.

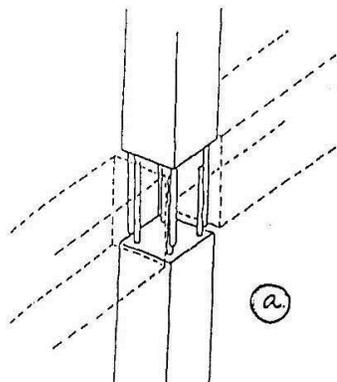
- Diperlukan penunjang/pendukung pembantu selama pemasangan sampai beton cor cukup untuk mengeras
- Penyetelan berlangsung dengan bantuan adanya penunjang/pendukung pembantu. Toleransi diserap oleh coran beton



Gambar 2.9 Sambungan dengan ikatan cor

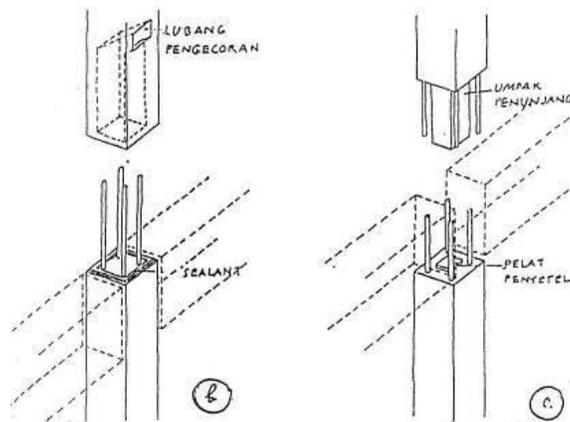
Sumber : Muji Indarwanto (Pusat Pengembangan bahan ajar-UMB)

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)



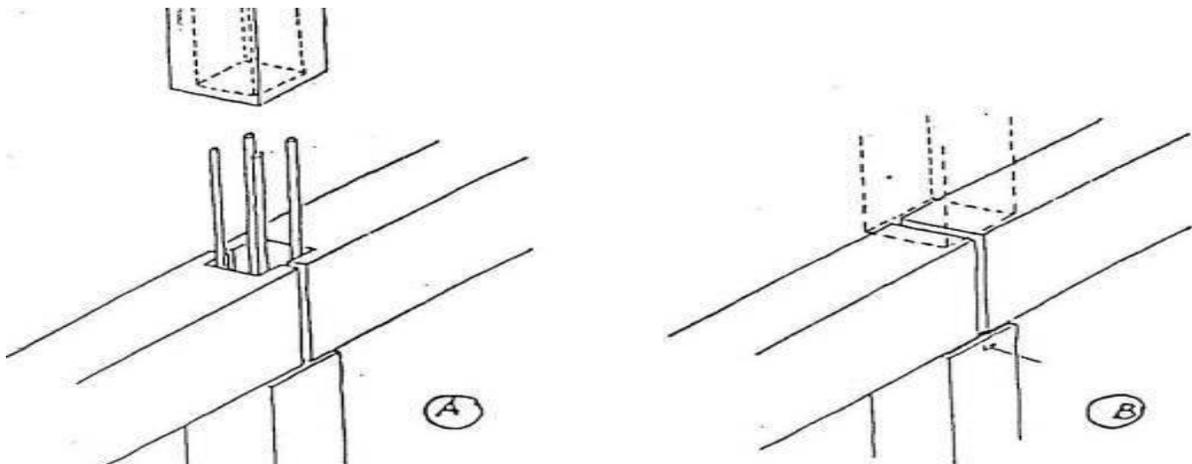
Gambar 2.11 Sambungan dengan ikatan cor b dan c

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

2. Ikatan Terapan

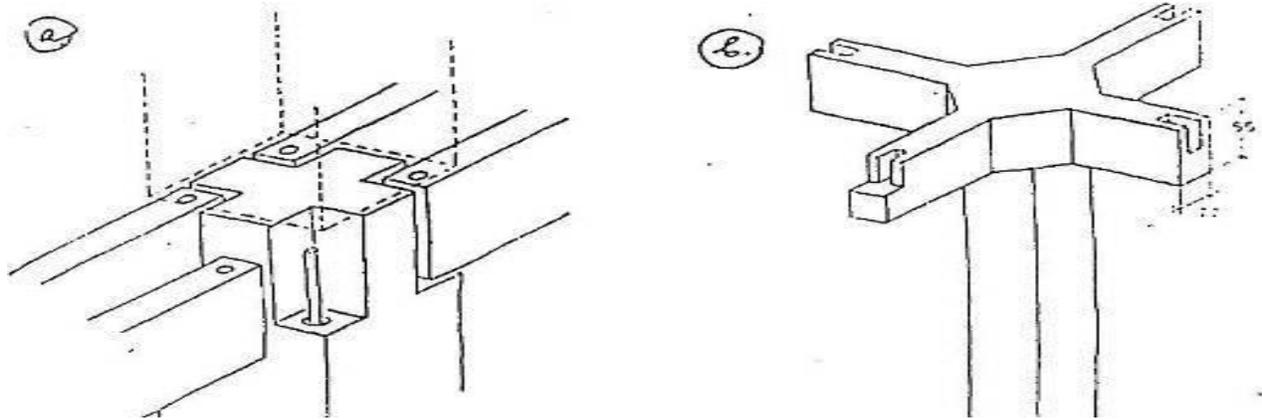
Cara menghubungkan komponen satu dengan yang lain secara lego (permainan balok susun anak), disebut ikatan terapan. Dimulai dengan hubungan dengan cara perletakan, teknik ini berkembang menjadi “saling menggigit”.

- Proses pemasangan dimungkinkan tanpa adanya pendukung/penunjang pembantu.



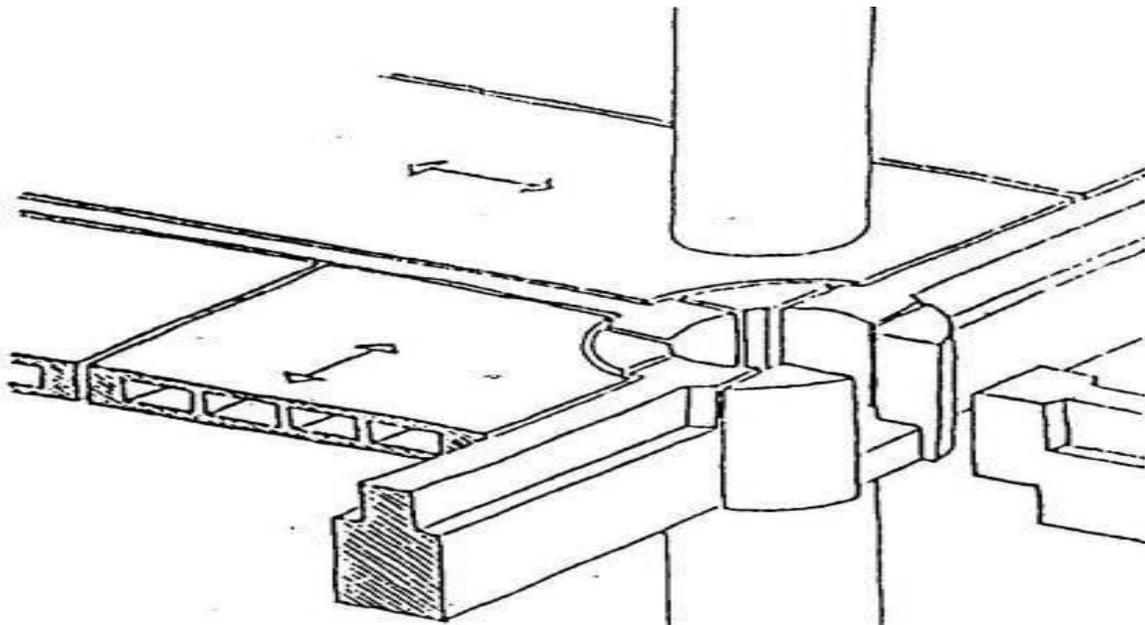
Gambar 2.12 Sambungan dengan ikatan terapan

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)

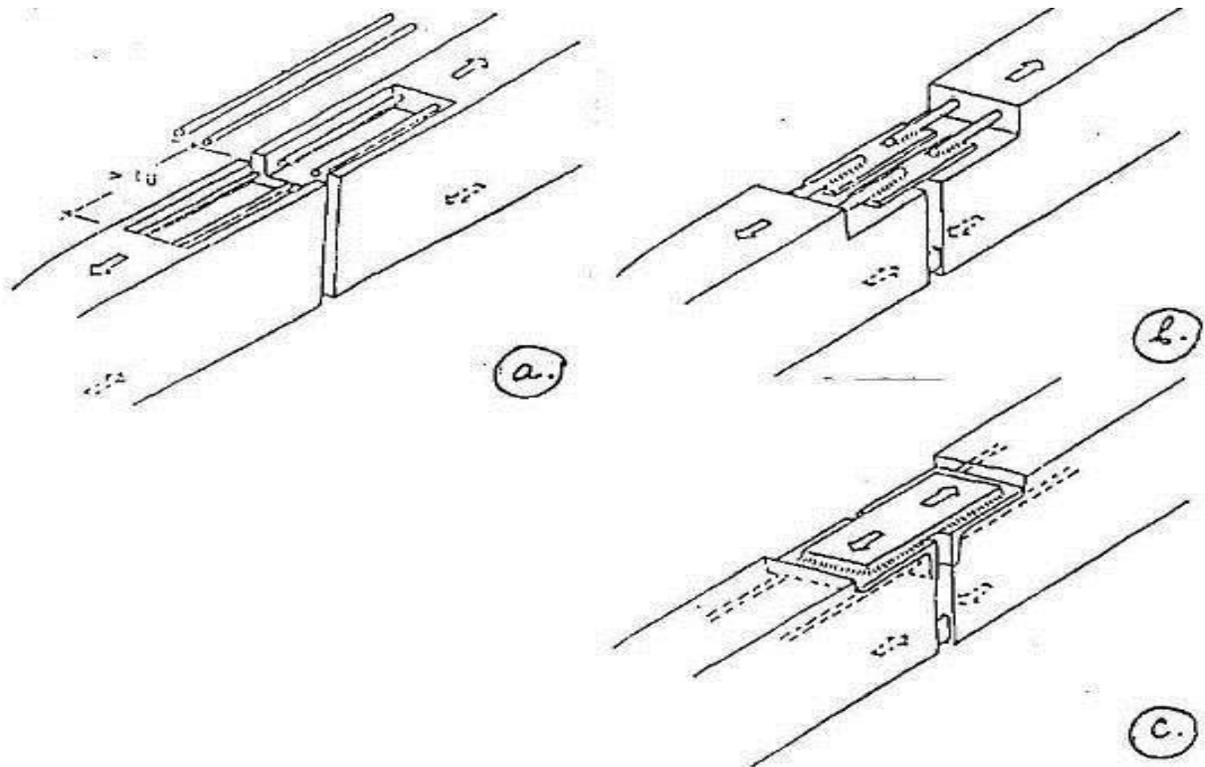
- Penyetelan dan perataan beton bias dilakukan pada bidang kontak dengan memakai aduk beton, neoprene, pelat baja, lempeng timah dan lain-lain
 - Untuk menyalurkan gaya horizontal bisa dibantu baut, angker, dan lain-lain

- Gambar 2.14 bisa menggambarkan varian dan perkembangan dari teknik ini

3. Ikatan Baja

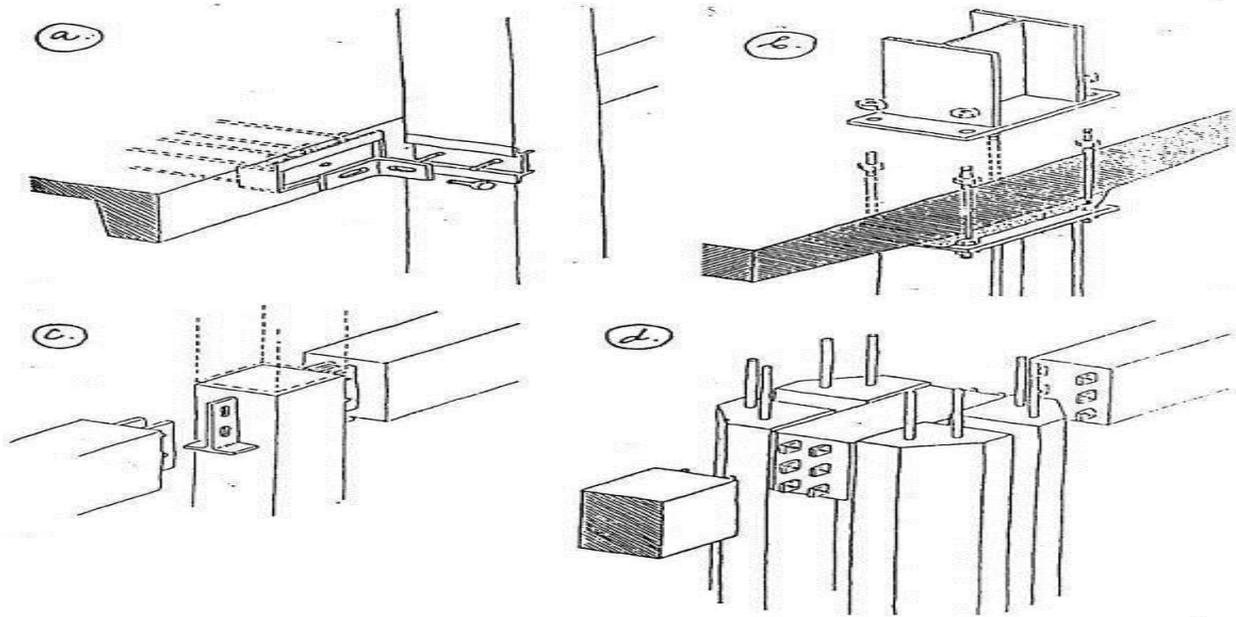
Sebagai bahan pengikat dalam ikatan ini dipakai baja, yang dalam hal ini bisa dibedakan sebagai berikut:

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



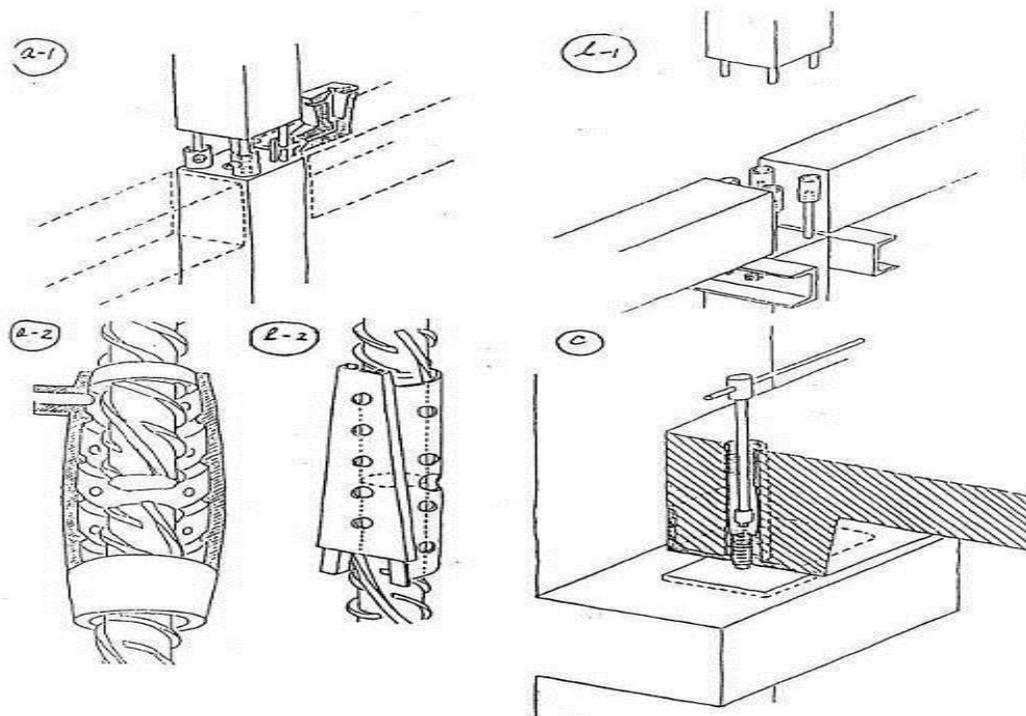
Gambar 2.15 Teknik pengelasan untuk membentuk ikatan

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)



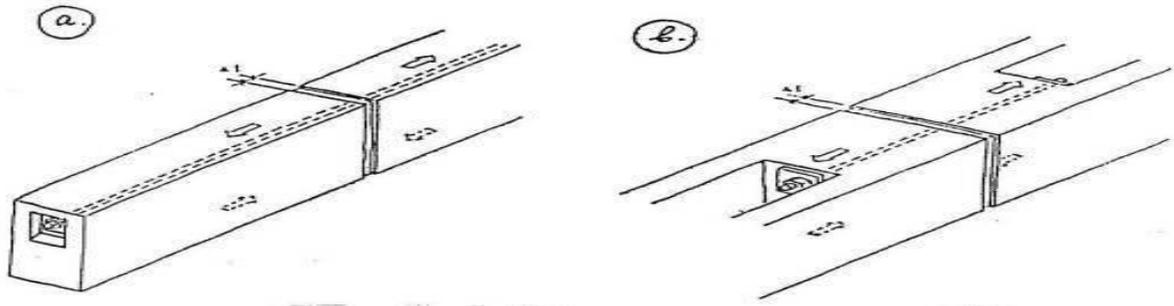
Gambar 2.17 Beberapa macam teknik mengikat pada ikatan baja

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

4. Ikatan Tegangan

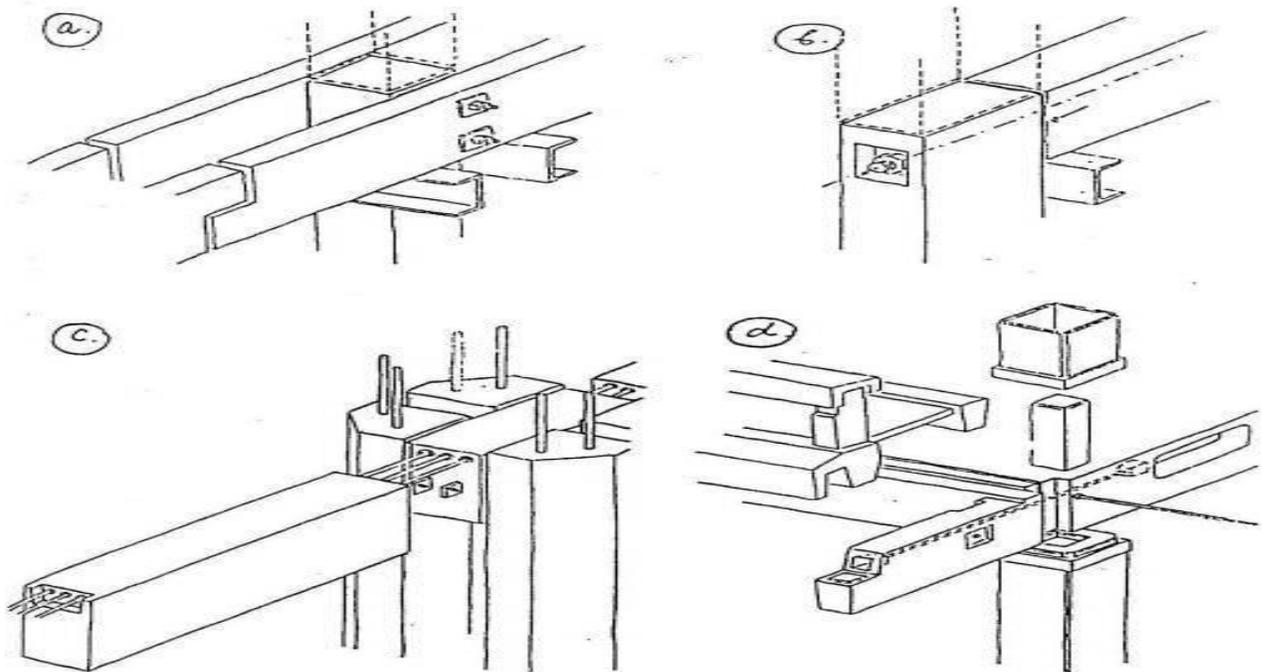
Merupakan perkembangan lebih jauh dari ikatan baja, dengan memasukkan faktor *post tensioning* kedalamnya.

- 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)

2.11. Pola Retak

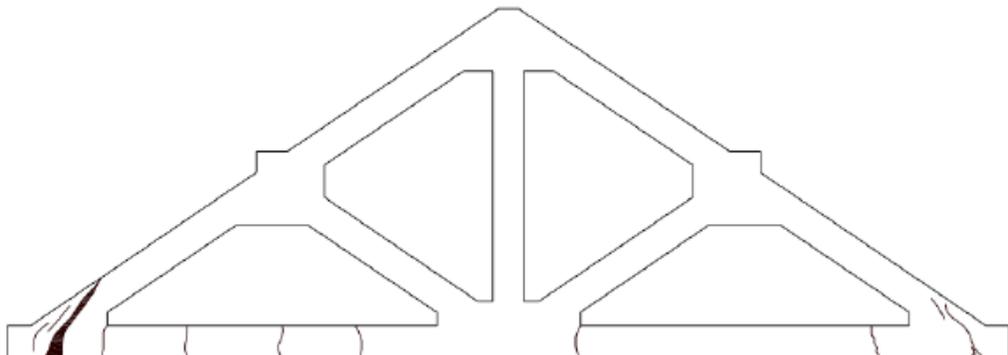
Model keruntuhan yang terjadi pada rangka batang dapat dilihat dari pola retak yang terjadi. Ada berbagai macam pola retak yang dapat terjadi apabila rangka batang yang terbuat dari beton komposit diberi beban vertikal. Pertama, keruntuhan akibat tarik pada batang yang membentuk pola retak berupa retakan-retakan tegak lurus batang diujung 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 horizontal 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)

2.12. Hipotesis Penelitian

Setelah mempelajari materi dari beberapa referensi dan tinjauan pustaka serta mengetahui beberapa permasalahan yang akan ditemukan dalam penelitian, maka dapat diambil hipotesis bahwa:

1. Diduga pengaruh kinerja sambungan pelat-baut dan sambungan grouting pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu akan sama.
2. Diduga beban maksimum yang dapat ditahan kuda-kuda beton kompositi tulangan bambu yang disambung dengan pelat-baut akan sama dengan beban maksimum yang dapat ditahan oleh sambungan grouting.
3. Diduga sambungan pada rangka kuda-kuda beton bertulang bambu lebih kuat daripada kapasitas batang sehingga retakan yang terjadi akan terjadi pada rangka kuda-kuda itu sendiri.

(halaman ini sengaja dikosongkan)