

**PENGARUH PEMAKAIAN SAMBUNGAN BAJA TIPE CIC
PADA BALOK BETON BERTULANG DENGAN
PERLETAKAN UJUNG JEPIT-JEPIT**

Ketua Peneliti : Ir. Sutanto Muliawan M.Eng
NIP : 131 855 590
Program Studi : Teknik Sipil

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA
OKTOBER 2004**

RINGKASAN

Beton bertulang sebagai bahan bangunan hingga saat ini masih menempati urutan pertama dalam pemakaianya, sehingga setiap perkembangan yang ada di bidang teknologi beton sangat menarik minat para ahli di bidang tersebut.

Di dalam empat dekade terakhir ini dengan adanya tuntutan kebutuhan dan ekonomi, telah terdapat perkembangan yang cukup pesat didalam dunia konstruksi bangunan gedung dan bangunan sipil lainnya. Dengan semakin meningkatnya harga material pembentuk beton dan biaya kontruksi lainnya, maka telah dibuatlah berbagai metode pelaksanaan konstruksi dengan tujuan memperpendek waktu pelaksanaan.

Di dalam penelitian ini penulis membuat sambungan baja tipe CIC sebagai sambungan balok beton pracetak dengan metode perhitungan konvensional. Balok beton bertulang tersebut menggunakan peretakan ujung jepit-jepit. Selain itu juga dibuat balok beton bertulang polos dengan perletakan yang sama sebagai perbandingan.

Pembebanan dilakukan dengan menggunakan sistem two point loading

Dari hasil penelitian ini didapat bahwa loading capacity pada balok beton bertulang dengan sambungan baja ternyata lebih kurang sama dengan loading capacity pada balok beton bertulang tanpa sambungan baja. Keruntuhan yang terjadi pada waktu beban maksimum tidak terjadi pada bidang kontak antara beton dan sambungan baja. Lendutan yang terjadi pada waktu beban maksimum juga tidak terlalu jauh dengan lendutan yang terjadi pada balok beton bertulang tanpa sambungan baja. Dengan demikian dapat penulis simpulkan bahwa sambungan baja bisa diaplikasikan sebagai penyambung balok-balok beton pracetak konvensional.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
RINGKASAN	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Teori Dasar Struktur Beton Bertulang	4
2.1.1 Kuat Beton terhadap Gaya Tekan	4
2.1.2 Kuat Beton terhadap Gaya Tarik	8
2.1.3 Kuat Lentur Balok Beton Bertulang.....	13
2.2 Teori Baja sebagai Bahan Konstruksi	15
2.3 Teori Sambungan Baja	16
2.3.1 Baut Berkekuatan Tinggi	20
2.3.2 Las Lumer.....	24
2.3.3 Las Bersiku	26
2.3.4 Las Tumpul.....	29
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	33
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	38
BAB V. PENUTUP	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Standar batang baja tulangan ASTM	12
Tabel 2.2 Jenis dan kelas baja tulangan sesuai SII 0136-80	13
Tabel 4.1 Hasil pengujian benda uji 1.....	39
Tabel 4.2 Hasil pengujian benda uji 2.....	41

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Grafik hubungan tegangan dan regangan beton karena gaya tekan	5
Gambar 2.2 Grafik kuat tekan benda uji beton berumur 28 hari.....	7
Gambar 2.3 Diagram tegangan regangan	15
Gambar 2.4 Las bersiku datar.....	26
Gambar 2.5 Las bersiku cekung.....	26
Gambar 2.6 Las bersiku bulat.....	27
Gambar 2.7 Penggerjaan las besiku datar	27
Gambar 2.8 Kesalahan dalam penegerjaan las bersiku	28
Gambar 2.9 Las tumpul V	30
Gambar 2.10 Kesalahan penggerjaan las tumpul V	30
Gambar 2.11 Las tumpul X	31
Gambar 2.12 Penggerjaan awal las tumpul U	32
Gambar 2.13 Las tumpul U	32
Gambar 3.1 Benda uji 1.....	33
Gambar 3.2 Benda uji 2	34
Gambar 3.3 Alat uji tekan balok beton betulang.....	35
Gambar 3.4 Rangkaian tulangan dan sambungan baja.....	35
Gambar 4.1 Grafik hubngan lendutan dan pembebanan pada benda uji 1.....	43
Gambar 4.2 Grafik hubngan lendutan dan pembebanan pada benda uji 2.....	44
Gambar 4.3 Grafik hubngan lendutan dan pembebanan pada benda uji 1,2	44

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia konstruksi sipil, banyak material yang bisa dipakai sebagai bahan bangunan, seperti beton, baja, kayu, dan lain-lain. Penggunaan setiap bahan bangunan sangat bervariatif dan memiliki keunggulan serta kelemahan tersendiri. Dengan dasar analisa dan desain tertentu, bahan-bahan bangunan tersebut dapat dipilih mana yang lebih layak dipakai untuk konstruksi bangunan.

Dalam beberapa puluh tahun belakangan ini pembangunan konstruksi bangunan sipil berkembang cukup pesat. Pada saat ini struktur bangunan banyak menggunakan struktur beton bertulang yang diperkirakan pemakaiannya sekitar 60-65% baik pada bangunan gedung maupun bangunan sipil lainnya. Keuntungan digunakannya konstruksi beton bertulang adalah:

1. Beton mempunyai perlindungan yang besar terhadap bahaya kebakaran.
2. Beton mudah dibentuk.
3. Struktur beton mempunyai perlindungan yang besar terhadap cuaca, sehingga setelah pekerjaan tidak terlalu banyak memerlukan pemeliharaan.

Akan tetapi konstruksi beton bertulang juga mempunyai kelemahan diantaranya:

1. Konstruksi beton tidak dapat dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain.
2. Pekerjaan beton bertulang membutuhkan waktu yang lebih lama dan harus dilakukan secara bertahap karena untuk mencapai beton bertulang dengan kekuatan tertentu membutuhkan waktu yang cukup lama.
3. Kualitas beton bertulang yang dikerjakan di lapangan tidak selalu mendapatkan hasil yang maksimal karena dipengaruhi oleh kondisi pelaksanaan di lapangan.

Untuk mengatasi kelemahan beton bertulang tersebut, maka para ahli melakukan berbagai penelitian sehingga dalam perkembangan beton bertulang konvensional ditemukan berbagai macam metode diantaranya sistem beton prategang dan dinding geser.

Di dalam penelitian ini penulis mencoba metode baru yaitu pembuatan beton konvensional pracetak dengan menggunakan sambungan baja sehingga dapat menutupi kelemahan beton yang disebutkan diatas. Dengan menggunakan metode baru ini diharapkan beton bertulang yang dihasilkan dapat memberikan keuntungan sebagai berikut:

1. Konstruksi beton dapat dibongkar pasang dan dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain.
2. Pekerjaan konstruksi beton bertulang memerlukan waktu yang singkat karena menggunakan sistem pracetak.
3. Beton bertulang yang dihasilkan mempunyai kualitas maksimal karena dikerjakan di bengkel dengan pengawasan mutu yang memenuhi standar.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh pemakaian sambungan baja pada balok beton bertulang terhadap pembebanan.
2. Mengetahui pengaruh pemakaian sambungan baja pada balok beton bertulang terhadap lendutan.
3. Mengetahui posisi keruntuhan yang terjadi pada balok beton bertulang dengan sambungan baja setelah diberi pembebanan maksimum.

1.3 Ruang Lingkup

Penelitian ini merupakan studi awal untuk beton bertulang dengan sambungan baja. Oleh karena itu ruang lingkup pembahasan hanya dibatasi dalam skala makro saja tanpa dibahas secara detail bagian-bagian dari sambungan baja tersebut. Pembahasan hanya menjelaskan pengaruh yang terjadi pada balok beton bertulang yang menggunakan baja sebagai sambungan terhadap pembebanan dan lendutan serta perilaku beton yang terjadi akibat pembebanan maksimum. Diharapkan perilaku yang terjadi dapat dijadikan input untuk studi lanjutan penelitian ini dalam skala mikro seperti kekuatan sambungan yang meliputi

dimensi plat, *ring cap*, jumlah baut dan kekuatan *shear connector* yang dibutuhkan.

1.4 Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran terhadap penulisan tugas akhir ini, maka penulis menjabarkan dalam bentuk sistematika penulisan yang terdiri dari 5 bab yaitu:

Bab I. Pendahuluan

Bab ini menguraikan latar belakang, tujuan, ruang lingkup dan sistematika penulisan.

Bab II. Tinjauan Pustaka

Bab ini menguraikan teori-teori dasar beton bertulang konvensional serta sambungan baja yang digunakan sebagai dasar teori analisis dan perhitungan hasil pengujian.

Bab III. Metodologi Penelitian

Bab ini menguraikan prosedur penelitian serta penjelasan tentang alat uji dan benda uji secara detail.

Bab IV. Perhitungan dan Pembahasan

Bab ini menguraikan perhitungan kekuatan benda uji berdasarkan perumusan beton bertulang konvensional dan sambungan baja kemudian dilakukan pembahasan perilaku beton yang telah diberi pembebanan maksimum.

Bab V. Penutup

Bab ini menyajikan kesimpulan yang didapat dari hasil pengujian serta saran yang dapat dijadikan input untuk penelitian ini selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Dasar Struktur Beton Bertulang

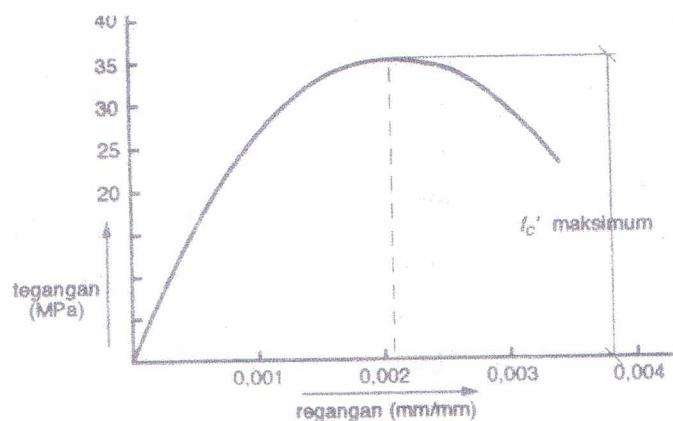
Beton merupakan material struktur yang kuat dalam menahan gaya tekan, tetapi lemah terhadap gaya tarik. Penggunaan tulangan baja di beton bertulang menambah kekuatan beton terhadap gaya tarik saat mengalami pembebahan. Saat merespon pembebahan beton dan baja tulangan sudah menjadi satu kesatuan. Banyak peraturan yang membahas masalah disain struktur beton bertulang, ini dilakukan untuk menjamin keselamatan masyarakat. Di negara-negara maju dan berkembang telah memiliki *code* (peraturan) seperti di Amerika, Canada, New Zealand, dan beberapa bagian Amerika Latin menggunakan *ACI Code*, dan di Indonesia memiliki peraturan SK-SNI untuk perhitungan beton bertulang.

Beton sebagai bahan yang berasal dari pengadukan agregat kasar dan halus kemudian diikat dengan semen yang bereaksi dengan air sebagai bahan pengikat, harus dicampur dan diaduk dengan benar dan merata agar dapat dicapai mutu beton yang baik. Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai, bahwa nilai kuat tarik beton normal hanya berkisar antara 9-15 % dari kuat tekannya. Untuk itu, agar beton dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberinya perkuatan penulangan yang terutama berfungsi menahan gaya tarik yang akan timbul di dalam sistem.

2.1.1 Kuat Beton Terhadap Gaya Tekan

Pembahasan lebih rinci mengenai teori serta teknologi beton berkaitan dengan merancang serta penyusunan bahan-bahan termasuk cara pelaksanaan pengadukan, penuangan, *finishing*, serta perawatan keras adalah di luar lingkup pembahasan. Hal yang demikian bukanlah berarti bahwa pengetahuan perencanaan dan penyusunan bahan beton dikesampingkan, tetapi tujuan penulisan ini lebih diutamakan dan ditujukan untuk membahas masalah

perencanaan dan analisis struktur beton bertulang. Perhatian diutamakan dan dipusatkan kepada persoalan bagaimakah perilaku komponen struktur beton bertulang pada waktu menahan berbagai beban diantaranya ialah gaya aksial, lenturan, gaya geser, puntiran, ataupun merupakan gabungan dari gaya-gaya tersebut. Secara umum dapat dipahami bahwa perilaku tersebut tergantung pada hubungan regangan-tegangan yang terjadi di dalam beton dan juga jenis tegangan yang dapat ditahan. Karena sifat bahan beton yang hanya mempunyai nilai kuat tarik relatif rendah, maka pada umumnya hanya diperhitungkan bekerja dengan baik di daerah tekan pada penampangnya, dan hubungan regangan-tegangan yang timbul karena pengaruh gaya tekan tersebut digunakan sebagai dasar pertimbangan.



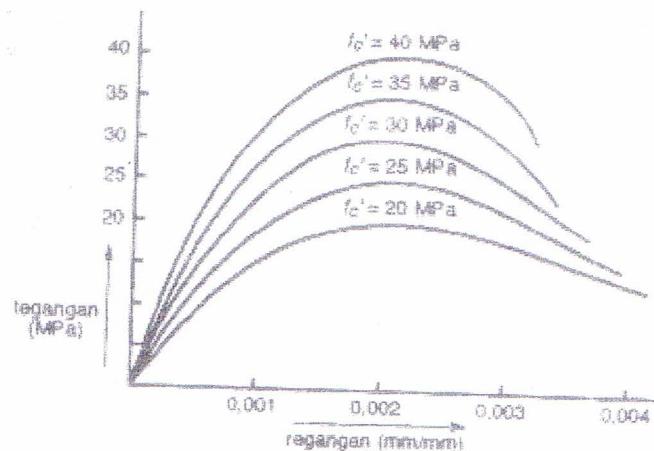
Gambar 2.1 Grafik hubungan tegangan dan regangan beton karena gaya tekan

Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum f'_c dengan satuan N/m^2 atau Mpa (Mega Pascal). Sebelum diberlakukannya sistem satuan SI di Indonesia, nilai tegangan menggunakan satuan kgf/cm^2 . Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar antara nilai $\pm 10\text{-}65$ Mpa. Untuk struktur beton bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17-30 Mpa, sedangkan untuk beton prategangan digunakan beton dengan kuat tekan lebih tinggi, berkisar antar 30-45 Mpa. Untuk keadaan dan keperluan struktur khusus, beton ready-mix sanggup mencapai kuat tekan 62 Mpa dan untuk memproduksi kuat tekan tinggi tersebut umumnya dilaksanakan dengan pengawasan ketat dalam laboratorium.

Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata-cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300mm) sampai hancur. Tata-cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM (*American Society for Testing Materials*) C39-86. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi f_c' yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan. Dengan demikian, seperti tampak pada gambar 2.1 harap dicatat bahwa tegangan f_c' bukanlah tegangan yang timbul pada saat benda uji hancur melainkan maksimum pada saat regangan beton ϵ_b mencapai nilai $\pm 0,002$. Di Indonesia, dengan mengingat berbagai pertimbangan teknis dan ekonomis, masih memperbolehkan menggunakan benda uji berbentuk kubus, umumnya bersisi 150 mm, sebagai alternatif dari bentuk silinder. Dengan demikian, penting untuk disadari adanya perbedaan hasil pengujian dari kedua bentuk benda uji sehubungan dengan gambaran kekuatan beton yang ingin diketahui. Merupakan hal yang sulit untuk dapat merumuskan secara tepat hubungan nilai kekuatan yang dihasilkan oleh kedua bentuk untuk berbagai kondisi beton metode pengujinya. Faktor-faktor seperti kuat tarik beton dan luasan bidang kontak pada mesin uji berpengaruh lebih besar pada kekuatan bentuk kubus dibandingkan dengan bentuk silinder, sehingga diperlukan nilai korelasi rata-rata antara keduanya. Untuk beton berat normal, kuat tekan silinder ukuran 150 mm x 300 mm adalah 80% kuat kubus ukuran 150 mm x 150 mm, dan 83% kuat kubus 200 mm x 200 mm. Seperti diketahui PBI 1971 menggunakan nilai masing-masing 83% dan 87%. Kurva-kurva pada gambar 2.2 memperlihatkan hasil percobaan kuat tekan benda uji beton berumur 28 hari untuk berbagai macam adukan rencana.

Dengan mengamati bermacam kurva tegangan-regangan kuat beton berbeda, tampak bahwa umumnya kuat tekan maksimum tercapai pada saat nilai satuan regangan tekan ϵ' mencapai $\pm 0,002$. Selanjutnya nilai tegangan f_c' akan turun dengan bertambahnya nilai regangan sampai benda uji hancur sampai nilai ϵ' mencapai 0,003-0,005. Beton kuat tinggi lebih getas dan akan hancur pada nilai regangan maksimum yang lebih rendah dibandingkan dengan beton kuat

rendah. Pada SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2 menetapkan bahwa regangan kerja maksimum yang diperhitungkan di serat tepi beton tekan terluar adalah 0,003 sebagai batas hancur. Regangan kerja maksimum 0,003 tersebut boleh jadi tidak konservatif untuk beton kuat tinggi dengan nilai f_c' antara 55-80 Mpa. Tidak seperti pada kurva tegangan-regangan baja, kemiringan awal kurva pada beton sangat beragam dan umumnya sedikit agak melengkung. Kemiringan awal yang beragam tersebut tergantung pada nilai kuat betonnya, dengan demikian nilai modulus elastisitas betonpun akan beragam pula. Sesuai dengan teori elastisitas, secara umum kemiringan kurva pada tahap awal menggambarkan nilai modulus elastisitas suatu bahan. Karena kurva pada beton berbentuk lengkung maka pada nilai regangan tidak berbanding lurus dengan nilai tegangannya berarti bahan beton tidak sepenuhnya bersifat elastis, sedangkan nilai modulus elastisitas berubah-ubah sesuai dengan kekuatannya dan tidak dapat ditetapkan melalui kemiringan kurva. Bahan beton bersifat elasto plastis dimana akibat dari beban tetap yang sangat kecil sekalipun, di samping memperlihatkan kemampuan elastis bahan beton juga menunjukkan deformasi permanen.



Gambar 2.2 Grafik kuat tekan benda uji beton berumur 28 hari

Di dalam perkembangannya di berbagai negara, sejalan dengan semakin berkembangnya penggunaan beton ringan dipandang perlu untuk menyertakan besaran kerapatan (*density*) pada penetapan modulus elastisitas bahan beton.

Sehingga pada penerapannya digunakan rumus-rumus empiris yang menyertakan besaran berat disamping kuat betonnya. Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.1.5 digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton sebagai berikut:

$$E_c = 0,043 w_c^{1,50} \sqrt{f_c'}$$

di mana, E_c = modulus elastisitas beton tekan (MPa)

w_c = berat isi beton (kg/m^3)

f_c' = kuat tekan beton (MPa)

Rumus empiris tersebut hanya berlaku untuk beton dengan berat isi berkisar antara 1500 dan 2500 kg/m^3 . Untuk beton kepadatan normal dengan berat isi $\pm 23 \text{ kN}/\text{m}^3$ dapat digunakan nilai $E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$.

Apabila diperhatikan, hubungan regangan-tegangan untuk mutu beton sama akan membentuk kurva yang berbeda apabila kondisi pembebanan berbeda. Atau dengan kata lain, dengan kondisi pembebanan berbeda, yang berarti nilai regangannya berbeda, akan diperoleh bentuk kurva yang berbeda pula. Pada umumnya nilai kuat maksimum untuk mutu beton tertentu akan berkurang pada tingkat pembebanan yang lebih lamban atau *slower rates of strain*. Nilai kuat beton mencapai umur 28 hari setelah pengecoran. Bentuk kurva kuat beton versus waktu untuk mutu beton tertentu umumnya pada umur 7 hari kuat beton mencapai 70% dan pada umur 14 hari mencapai 85%-90% dari kuat beton umur 28 hari. Pada kondisi pembebanan tekan tertentu beton menunjukkan suatu fenomena yang disebut rangkak (*creep*).

2.1.2 Kuat Beton Terhadap Gaya Tarik

Nilai kuat tekan dan tarik bahan beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai, bahwa nilai kuat tarik bahan beton normal hanya berkisar antara 9%-15% dari kuat tekannya. Kuat tarik bahan beton yang tepat sulit untuk diukur. Suatu nilai pendekatan yang umum dilakukan dengan menggunakan *modulus of rupture*, ialah tegangan tarik lentur beton yang timbul pada pengujian hancur balok beton polos tanpa tulangan, sebagai pengukur

kuat tarik sesuai teori elastisitas. Kuat tarik bahan beton juga ditentukan melalui *pengujian split cilinder* yang umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan mencerminkan kuat tarik yang sebenarnya. Nilai pendekatan yang diperoleh dari pengujian yang berulang kali mencapai kekuatan 0,50-0,60 kali $\sqrt{f'_c}$, sehingga

untuk beton normal digunakan nilai $0,57 \sqrt{f'_c}$. Pengujian tersebut menggunakan benda uji silinder beton berdiameter 150 mm dan panjang 300 mm, diletakkan pada arah memanjang di atas alat penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Apabila kuat-tarik terlampaui, benda uji terbelah menjadi dua bagian dari ujung ke ujung. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut sebagai split cilinder strength, diperhitungkan sebagai berikut:

$$f_t = \frac{2}{\pi} \frac{P}{LD}$$

di mana, f_t = kuat tarik belah (N/m^2),

P = beban pada waktu belah (N),

L = panjang benda uji silinder (m),

D = diameter benda uji silinder (m).

Pada beton yang sedang menahan beban akan terbentuk suatu hubungan regangan dan tegangan yang merupakan fungsi dari waktu pembebanan. Beton menunjukkan sifat elastis murni hanya pada waktu menahan beban singkat. Sedangkan pada beban tidak singkat, sementara beton mengalami regangan dan tegangan akibat beban terjadi pula peningkatan regangan sesuai dengan jangka waktu pembebanan, dan disebut sebagai deformasi rangkak (*creep*). Rangkak adalah sifat dimana beton mengalami perubahan bentuk (deformasi) permanen akibat beban tetap yang bekerja padanya. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang untuk selang waktu tertentu dan kemungkinan berakhir setelah beberapa tahun berjalan. Pada umumnya beton dengan mutu tinggi mempunyai tingkat nilai rangkak yang lebih kecil dibandingkan dengan mutu beton lebih rendah. Besarnya deformasi rangkak sebanding dengan besarnya beban yang

ditahan dan juga jangka waktu pembebanan. Pada umumnya rangkak tidak mengakibatkan dampak langsung terhadap kekuatan struktur tetapi akan mengakibatkan timbulnya redistribusi tegangan pada beban kerja dan kemudian mengakibatkan terjadinya peningkatan lendutan (*defleksi*).

Pada umumnya proses *creep* (rangkak) selalu dihubungkan dengan susut karena keduanya terjadi bersamaan dan seringkali memberikan pengaruh sama, ialah deformasi yang bertambah sesuai dengan berjalannya waktu. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya rangkak adalah: (1) sifat bahan dasar, seperti komposisi dan kehalusan semen, kualitas adukan, dan kandungan mineral dalam agregat; (2) rasio air terhadap jumlah semen, atau kadar air; (3) suhu pada waktu proses pengerasan; (4) kelembaban nisbi selama penggunaan; (5) umur beton pada saat beban bekerja; (6) lama pembebanan; (7) nilai tegangan; (8) nilai banding luas permukaan dan volume komponen struktur; dan (9) nilai *slump*. Sedangkan proses susut secara umum didefinisikan sebagai perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban. Pada umumnya faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya rangkak juga mempengaruhi susut, khususnya faktor-faktor yang berhubungan dengan hilangnya kelembaban. Proses susut pada beton apabila dihalangi secara tidak merata (oleh penulangan misalnya), akan menimbulkan deformasi yang umumnya bersifat menambah terhadap deformasi rangkak. Maka dari itu, agar dapat dicapai tingkat kelayakan baik diperlukan pengendalian dan perhitungan dalam hal proses susut tersebut.

Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Untuk itu, agar beton dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberinya perkuatan penulangan yang terutama akan mengemban tugas menahan gaya tarik yang bakal timbul di dalam sistem. Untuk keperluan penulangan tersebut digunakan bahan baja yang memiliki sifat teknis menguntungkan, dan baja tulangan yang digunakan dapat berupa batang baja lonjoran ataupun kawat rangkai las (*wire mesh*) yang berupa batang kawat baja yang dirangkai atau dianyam dengan teknis pengelasan. Yang terakhir tersebut, terutama dipakai untuk plat dan cangkang tipis atau struktur lain yang tidak mempunyai tempat cukup bebas untuk pemasangan tulangan, jarak

spasi, dan selimut beton sesuai dengan persyaratan pada umumnya. Bahan batang baja rangkai dengan pengelasan yang dimaksud, didapat dari hasil penarikan baja pada suhu dingin dan dibentuk dengan pola ortogonal, bujur sangkar, atau persegi empat, dengan dilas pada semua titik pertemuannya.

Untuk penulangan beton prategangan digunakan kawat, baik tunggal ataupun sebagai kumpulan kawat membentuk *strand*. Tersedia banyak variasi kawat dan *strand* dari kekuatan dan sifat yang berbeda-beda, yang paling menonjol dan lebih sering dipakai adalah *strand* yang berisi 7 batang kawat (satu batang di tengah, enam mengelilingi secara heliks). Kuat tarik ultimit minimum untuk *strand* mutu 170 dan 1700 MPa dan mutu 180 adalah 1800 MPa, dengan titik luluh yang tidak jelas. Dalam strata pelayanan beban kerja, *strand* prategangan mempunyai nilai tegangan 1000 MPa sampai dengan 1100 MPa.

Agar dapat berlangsung lekat erat antara baja tulangan dengan beton, selain batang polos berpenampang bulat (BJPT) juga digunakan batang deformasi (BJTD), yaitu batang tulangan baja yang permukaannya dikasarkan secara khusus, diberi sirip teratur dengan pola tertentu, atau batang tulangan yang dipilin pada proses produksinya. Pola permukaan yang dikasarkan atau pola sirip sangat beragam tergantung pada mesin giling atau cetak yang dimiliki oleh produsen, asal asih dalam batas-batas spesifikasi teknik yang diperkenankan oleh standar. Baja tulangan polos (BJPT) hanya digunakan untuk tulangan pengikat sengkang atau spiral, umumnya diberi kait pada ujungnya.

Di banyak negara termasuk di negara kita, telah dilaksanakan banyak percobaan serta pengujian untuk melakukan pendekatan dan penelitian yang berhubungan dengan ekonomi penulangan beton. Di antaranya adalah percobaan penulangan dengan cara *ferro cement* di mana digunakan bahan kayu, bambu, atau bahan lain untuk penulangan beton. Ataupun beton dengan perkuatan *fiber* (serat) dimana sebagai bahan imbuhan perkuatan digunakan serat-serat baja atau serat dan serbuk bahan lain, demikian pula usaha memperbaiki mutu bahan betonnya sendiri dengan menggunakan abu terbang (*fly ash*) dan sebagainya.

Sifat fisik batang tulangan baja yang paling penting untuk digunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang ialah tegangan luluh f_y dan modulus

elastisitas E_s . Tegangan luluh (titik luluh) baja ditentukan melalui prosedur pengujian standar sesuai SII 0136-84 dengan ketentuan bahwa tegangan luluh adalah tegangan baja pada saat dimana meningkatnya tegangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya. Di dalam perencanaan atau analisis beton bertulang umumnya nilai tegangan luluh baja tulangan diketahui atau ditentukan pada awal perhitungan.

Disamping usaha standarisasi yang telah dilakukan oleh masing-masing negara produsen baja, kebanyakan produksi baja tulangan beton pada dewasa ini masih berorientasi pada spesifikasi teknis yang ditetapkan ASTM. Di Indonesia produksi baja tulangan dan baja struktur telah diatur sesuai dengan Standar Industri Indonesia, antara lain dengan SII 0136-80 dan SII 318-80.

Modulus elastisitas baja tulangan ditentukan berdasarkan kemiringan awal kurva tegangan-regangan di daerah elastik dimana mutu baja yang satu dengan lainnya tidak bervariasi. Ketentuan SK SNI T-15-1991-03 menetapkan bahwa nilai modulus elastisitas baja adalah 200.000 Mpa, sedangkan modulus elastisitas untuk tendon prategangan harus dibuktikan dan ditentukan melalui pengujian atau dipasok oleh pabrik produsen. Umumnya untuk tendon prategangan nilai modulusnya lebih rendah, sesuai dengan penetapan ASTM A416 biasanya dipakai nilai 186.000 Mpa.

Tabel 2.1 Standar batang baja tulangan ASTM

nomor batang	diameter nominal (inch)	(mm)	luas nominal (inches) (mm ²)	berat nominal (kg/m)
# 3	0,375	9,50	0,110	71
4	0,500	12,7	0,200	129
5	0,625	15,9	0,310	200
6	0,750	19,1	0,440	284
7	0,875	22,2	0,600	387
8	1,000	25,4	0,790	510
9	1,128	28,7	1,000	645
10	1,270	32,3	1,270	819
11	1,410	35,8	1,560	1006
14	1,693	43,0	2,250	1452
18	2,257	57,3	4,000	2581
				20,240

Menurut SII 0136-80 dilakukan pengelompokan baja tulangan untuk beton bertulang seperti tertera pada daftar berikut :

Tabel 2.2 Jenis dan kelas baja tulangan sesuai SII 0136-80

JENIS	KELAS	SIMBOL	BATAS ULUR MINIMUM N/mm ² (kgf/mm ²)	KUAT TARIK MINIMUM N/mm ² (kgf/mm ²)
polos	1	BJTP24	235 (24)	382 (39)
	2	BJTP30	294 (30)	480 (49)
defor-masian	1	BJTD24	235 (24)	382 (39)
	2	BJTD30	294 (30)	480 (49)
	3	BJTD35	343 (35)	490 (50)
	4	BJTD40	392 (40)	559 (57)
	5	BJTD50	490 (50)	61 (63)

2.1.3 Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

Distribusi tegangan beton tekan pada penampang bentuknya setara dengan kurva tegangan-regangan beton tekan. Distribusi tegangan tersebut berupa garis lengkung dengan nilai nol pada garis netral, dan untuk mutu beton yang berbedaan lain pula bentuk kurva dan lengkungnya. Tegangan tekan f_c' , yang merupakan tegangan maksimum, posisinya bukan pada serat tepi terluar tetapi agak masuk ke dalam.

Kuat lentur suatu balok beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan-tegangan dalam yang timbul di dalam balok yang pada keadaan tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam. Pada gambar 2.3 N_D adalah resultante gaya tekan dalam, merupakan resultante seluruh gaya tekan pada daerah diatas garis netral. Sedangkan N_T adalah resultante gaya tarik dalam, merupakan jumlah seluruh gaya tarik yang diperhitungkan untuk daerah dibawah garis netral. Kedua

gaya ini, arah garis kerjanya sejajar, sama besar, tetapi berlawanan arah dan dipisahkan dengan jarak z sehingga membentuk kopel momen tahanan dalam dimana nilai maksimumnya disebut sebagai kuat lentur atau momen tahanan penampang komponen struktur terlentur.

Momen tahanan dalam tersebut yang akan menahan atau memikul momen lentur rencana aktual yang ditimbulkan oleh beban luar. Untuk itu dalam merencanakan balok dalam kondisi pembebanan tertentu harus disusun komposisi dimensi balok beton dan jumlah serta luas baja tulangannya sedemikian rupa sehingga dapat menimbulkan momen tahanan dalam paling tidak sama dengan momen lentur maksimum yang ditimbulkan oleh beban. Menentukan momen tahanan dalam merupakan hal yang kompleks sehubungan dengan bentuk diagram tegangan tekan diatas garis netral yang berbentuk garis lengkung. Kesulitan timbul tidak hanya pada waktu menghitung besarnya N_D , tetapi juga penentuan letak garis kerja gaya relatif terhadap pusat berat tulangan baja tarik. Tetapi karena momen tahanan dalam pada dasarnya merupakan fungsi dari N_D dan z , tidaklah penting untuk mengetahui bentuk tepat distribusi tegangan tekan diatas garis netral. Untuk menentukan momen tahanan dalam, yang penting adalah mengetahui terlebih dahulu resultante total gaya beton tekan N_D , dan letak garis kerja gaya dihitung dari serat tepi tekan terluar, sehingga jarak z dapat dihitung. Kedua nilai tersebut dapat ditentukan melalui penyederhanaan bentuk distribusi tegangan lengkung digantikan dengan bentuk ekivalen yang lebih sederhana, dengan menggunakan nilai intensitas tegangan rata-rata sedemikian sehingga nilai dan letak resultante tidak berubah.

Untuk tujuan penyederhanaan, Whitney telah mengusulkan bentuk persegi panjang sebagai distribusi beton yekan ekivalen. Standar SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2 ayat 7 juga menetapkan bentuk tersebut sebagai ketentuan, meskipun pada ayat 6 tidak menutup kemungkinan untuk menggunakan bentuk-bentuk yang lain sepanjang hal tersebut merupakan hasil pengujian. Pada kenyataannya, usulan Whitney telah digunakan secara luas karena bentuknya berupa empat persegi panjang yang memudahkan dalam penggunaannya, baik untuk perencanaan maupun analisis.

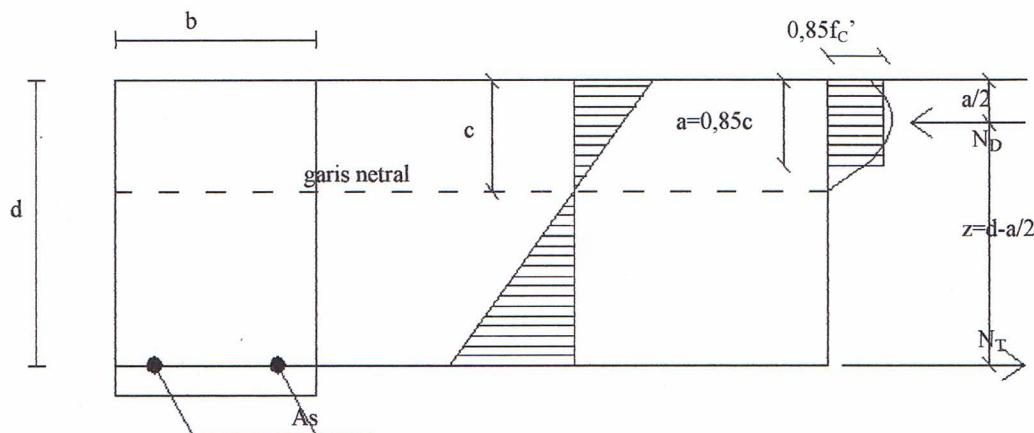
Berdasarkan bentuk empat persegi panjang, intensitas tegangan beton rata-rata ditentukan sebesar $0,85 f_c'$ dan dianggap bekerja pada daerah tekan dari penampang balok selebar b dan sedalam a , yang mana besarnya ditentukan dengan rumus :

$$a = \beta_1 c$$

dimana, c = jarak serat tekan terluar ke garis netral

β_1 = Konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton

Standar SK SNI T-15-1991-03 menetapkan nilai β_1 diambil 0,85 untuk $f_c' \leq 30$ MPa , berkurang 0,008 untuk setiap kenaikan 1 MPa kuat beton, dan nilai tersebut tidak boleh kurang dari 0,65. Dari berbagai hasil penelitian dan pengujian telah terbukti bahwa hasil perhitungan dengan menggunakan distribusi tegangan persegi empat ekivalen tersebut memberikan hasil yang mendekati terhadap tegangan aktual yang rumit.



Gambar 2.3 Diagram tegangan regangan

2.2 Teori Baja Sebagai Bahan Konstruksi

Baja sebagai salah satu bahan konstruksi yang penting, karena memiliki kekuatan yang tinggi dan sifat keliatannya (*ductility*) dibandingkan dengan bahan lain. Duktilitas adalah kemampuan untuk berdeformasi secara nyata baik dalam tegangan maupun dalam kompresi sebelum terjadi kegagalan. Pertimbangan-pertimbangan penting yang lainnya dalam penggunaan baja termasuk mudahnya

untuk menyediakan secara luas dan daya tahannya (*durability*), khususnya dengan menyediakan proteksi terhadap cuaca sekitarnya.

Beberapa di antara sifat-sifat konstruksi yang paling penting dari baja adalah sebagai berikut :

1. Modulus elastisitas (E). Jangkauan khas untuk semua baja (yang secara relatif tidak tergantung dari kuat luluh) adalah 28.000 sampai 30.000 ksi atau 193.000 sampai 207.000 Mpa. Nilai yang lazimnya diambil sebesar 29.000 atau 200.000 Mpa.
2. Modulus geser (G). Modulus geser setiap bahan elastis dihitung sebagai :

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

di mana μ = perbandingan Poisson yang diambil sebagai 0,3 untuk baja. Dengan menggunakan μ = maka akan memberikan $G = 11.000$ ksi atau 77.000 Mpa.

3. Koefisien ekspansi (α) dapat diambil sebagai berikut :

$$\alpha = 11,25 \times 10^{-6} \text{ per } {}^\circ\text{C}$$

$$\Delta L = \alpha (T_f - T_i)L \text{ (kaki atau m yang bergantung pada panjang L)}$$

Dalam persamaan – persamaan ini temperatur dinyatakan dalam derajat Celsius. Untuk mengubah dari Farenheit ke Celcius, gunakanlah :

$$C = \frac{5}{9}(F - 32)$$

4. Titik luluh dan kuat ultimit. Pada tabel 2.1 memberikan titik luluh dari beberapa mutu baja yang penting bagi perancang konstruksi yang dihasilkan oleh pabrik – pabrik baja.
5. Sifat – sifat lain yang penting. Sifat-sifat ini termasuk masssa jenis baja, yang sama dengan 490pcf atau $7,850 \text{ t/m}^3$; atau dalam berat satuan, nilai untuk baja sama dengan 490 pcf atau $76,975 \text{ kN/m}^3$. Berat jenis baja umumnya diterima sebesar $7,85 \text{ t/m}^3$.

2.3 Teori Sambungan Baja

Sebuah konstruksi baja dihasilkan sebagai suatu kumpulan bagian konstruksi yang menjadikan bangunan kerangka (*framework*). Sambungan-sambungan diperlukan di mana berbagai ujung bagian konstruksi harus diikatkan

kepada bagian konstruksi lain yang cukup untuk membolehkan beban untuk terus menyebar secara tertib ke pondasi. Karena sambungan tersebut berperan untuk mengangkut beban dari atau ke tetangga bagian konstruksi, maka sambungan tersebut haruslah dirancang secara memadai. Disain sambungan akan melibatkan cara yang menghasilkan sebuah sambungan yang aman, hemat bahan, dan mampu untuk dibuat (sambungan tersebut harus praktis). Sambungan yang lebih praktis biasanya akan lebih ekonomis, karena biaya pembuatan akan sangat mempengaruhi hematnya sambungan dan bagian konstruksi itu sendiri, khususnya yang menyangkut bagian konstruksi tegangan tersusun dan bagian konstruksi kompresi atau tegangan.

Sambungan atau sambungan konstruksi dapat digolongkan menurut :

1. Metode alat semat, seperti paku keling (hampir tidak pernah digunakan), baut, atau pengelasan. Sambungan yang menggunakan baut selanjutnya disebut sebagai sambungan jenis dukung (*bearing type connection*) atau sambungan jenis gesekan (*friction type connection*).
2. Ketegaran geser sambungan (*connection rigidity*), yang mungkin merupakan ketegaran sederhana, ketegaran yang tegar (seperti yang dihasilkan oleh analisis konstruksi yang tak tentu) atau mungkin merupakan ketegaran tengah (*intermediate rigidity*). AISC menggolongkan sambungan-sambungan yang didasarkan pada ketegaran geser sambungan sebagai :
Jenis 1 : sambungan tegar yang mengembangkan kapasitas momen penuh dari bagian konstruksi penghubung dan yang mempertahankan sudut yang relatif konstan di antara bagian – bagian yang disambung di bawah setiap rotasi sambungan.
Jenis 2 : kerangka sederhana tanpa terjadinya perpindahan momen di antara bagian-bagian yang disambungkan. Sebenarnya sejumlah kecil momen akan dikembangkan tetapi momen tersebut diabaikan dalam disain. Setiap eksentrisitas sambungan yang kurang daripada $2\frac{1}{2}$ in (63 mm) akan diabaikan.
Jenis 3 : sambungan semi tegar dengan kapasitas momen yang dipindahkan kurang daripada kapasitas momen penuh dari bagian-bagian

- konstruksi yang disambungkan. Disain sambungan ini akan mengharuskan kita untuk menganggap adanya sejumlah kapasitas momen yang sembarang (misalnya 20, 30, atau 75 persen dari kapasitas bagian konstruksi).
3. Jenis gaya-gaya yang dipindahkan melalui sambungan konstruksi :
 - a. Gaya-gaya lintang : yang lazim untuk balok lantai dan batang lantai.
 - b. Momen : baik momen lentur maupun momen puntiran.
 - c. Gaya lintang dan momen : seperti sambungan jenis 1 atau jenis 3.
 - d. Tegangan dan desakan : seperti untuk sambungan kolom dan untuk bagian rangka bersendi.
 - e. Tegangan atau desakan dengan gaya lintang : seperti untuk batang kukuh diagonal.
 4. Geometri sambungan :
 - a. Sudut-sudut kerangka yang digunakan untuk menyambung batang lantai (*floor joint*) dan papan tepi tangga (*stringer*) ke balok dan kolom.
 - b. Sambungan las yang menggunakan plat dan sudut.
 - c. Plat ujung pada balok atau usuk (*rafter*).
 - d. Plat atau sudut yang digunakan pada satu sisi batang lantai atau balok.
 - e. Sudut kedudukan dengan atau tanpa profil pengaku (*stiffener*).
 5. Tempat pembuatan :
 - a. Sambungan bengkel : yang dihasilkan dalam bengkel pembuatan.
 - b. Sambungan lapangan : bagian konstruksi sambung yang dibuat dalam bengkel tetapi dipasang di tempat pekerjaan.
 6. Tahanan sambungan (*joint resistance*). Bila kita meninjau tahanan sambungan atau hubungan, maka kita memperoleh :
 - a. Sambungan gesekan. Sambungan yang dirancang sebagai sambungan gesekan mempunyai tahanan primernya yang dianggap dikembangkan sebagai gaya lintang pada konektor (baut dan paku keling) pada bidang slip potensial di antara bagian-bagian konstruksi yang disambungkan. Tidak ada gerakan relatif di antara bagian-bagian konstruksi yang disambungkan berkembang sampai beban disain dilebihi cukup banyak. Sesungguhnya, kekuatan sambungan gesekan tersebut dikembangkan

sebagai tahanan gaya lintang konektor tersebut, tetapi kekuatan sambungan gesekan tersebut dikembangkan sebagai hasil kali gaya lam (*clamping force*) yang dihasilkan oleh pengertatan baut atau pemancangan paku keling dan koefisien gesekan di antara bagian-bagian yang di klam. Diharapkan bahwa dalam disain tahan faktor beban hal ini akan langsung digunakan sebagai parameter disain, yang menghasilkan sebuah persamaan berbentuk umum yang digunakan dalam beberapa kode disain yang lain di luar Amerika Serikat sebagai :

$$P = \Phi \cdot \mu \cdot \Sigma A_b F_y$$

Dimana Φ = faktor daya guna (0,67 sampai 0,70)

μ = koefisien gaya gesekan x banyaknya permukaan slip

$\Sigma A_b F_y$ = gaya klam seluruhnya yang dikembangkan sebagai jumlah dari seluruh baut yang digunakan dalam sambungan tersebut.

- b. Sambungan dukung (*bearing connection*). Sambungan di mana tahanan sambungan diambil sebagai gabungan dari tahanan gaya lintang konektor dan dukungan bahan yang disambungkan melawan konektor tersebut. Cara seperti ini akan berkembang jika slip yang mencukupi terjadi untuk membuat bahan yang disambungkan bersentuhan dengan proyeksi belakang dari konektor yang dekat beban kerja atau disain. Karena gaya lintang konektor adalah sebagian dari tahanan dalam analisis sambungan dukung, maka luas geser yang direduksi yang tersedia untuk konektor berulir sekrup bila ulir sekrup berada dalam sembarang bidang slip akan memerlukan reduksi beban disain. Dalam praktek yang sesungguhnya, ulir sekrup dalam bidang geser akan mengakibatkan tegangan geser disain yang lebih rendah yang diperbolehkan untuk alat semat.

Disain dari kedua-dua sambungan gesekan dan sambungan dukung akan melibatkan penggunaan tegangan geser yang diperbolehkan. Nilai tersebut jauh lebih rendah untuk sambungan gesekan, karena kita tidak menginginkan suatu slip

sambungan di bawah beban kerja. Nilai tersebut jauh lebih besar untuk sambungan dukung, karena sejumlah kecil pergerakan relatif di antara bagian-bagian yang membentuk sambungan tersebut dapat ditolelir. Kedua-dua jenis sambungan, sebagai tambahan kepada yang dirancang untuk geseran, maka tegangan pada tampang bersih dan dukungan bahan yang disambungkan yang melawan konektor tersebut diperiksa secara rutin.

Praktek pembuatan sekarang ini cenderung menggunakan lobang buka yang berukuran berlebihan dalam sambungan gesekan. Celah tersebut membolehkan penegakan yang lebih mudah di lapangan karena toleransi penjajaran yang lebih besar tersedia untuk baut-baut penegakan yang bersifat sementara.

2.3.1 Baut Berkekuatan Tinggi

Ada dua golongan baut yang umum digunakan dalam pemakian konstruksi. Kedua golongan ini adalah golongan A-307 (penetapan ASTM) yang digunakan secara umum, kadang-kadang dinamakan baut yang belum diselesaikan atau dihaluskan. Baut-baut ini mempunyai tangkai dan permukaan dukung yang agak kasar, karena tidak sangat hati-hati sewaktu pembuatannya. Baut A-307 dibuat dengan baja dengan kuat tarik ultimit F_u dengan orde sebesar 60 (kualitas A) sampai 100 (kualitas B) ksi (415 sampai 690 Mpa) dan yang diameternya tersedia dari $\frac{1}{4}$ inci (6 mm) sampai 4 inci (102 mm) dan panjangnya dari 1 sampai 8 inci, dalam pertambahan sebesar $\frac{1}{2}$ inci. Baut A-307 tersedia dengan beberapa konfigurasi kepala dan kacang-kacangan, tetapi kepala heksagonal dan kepala segi empat siku-siku paling lazim digunakan. Beberapa ukuran baut A-307.

Baut A-307 lebih murah daripada baut A-325 dan baut A-490 dan bilamana saja mungkin maka harus diunakan dalam konstruksi kecil, tempat-tempat dimana pemasangan baut dapat dilihat untuk pemeriksaaan yang dapat dilakukan secara teratur, dan dalam beban layanan yang relatif kecil.

Konfigurasi panjang umum, konfigurasi kepala, dan konfigurasi kacang-kacangan adalah sama seperti untuk baut A-307 kecuali bahwa diameter yang lebih besar mungkin tidak tersedia. Baut A-325 dapat diperoleh dengan metallurgi

untuk tujuan khusus, seperti ketahanan tinggi terhadap korosi. Baut A-325 dapat juga diperoleh dengan lapisan penggalvanisasi.

Ketika baut berkekuatan tinggi diperkenalkan untuk pertama kali kedalam pemakaian konstruksi, maka diperlukan cincin tutup untuk menyebarkan beban baut kepada luas yang lebih besar dalam logam yang lebih lunak dari bagian yang disemat. Perlunya cincin tutup ini sebagian disebabkan oleh kacang-kacangan dan kepala yang cenderung menggali (yang dinamakan penyebab gangguan) kedalam baja A-33 dan A-7 ($F_y = 33$ ksi) yang tersedia pada waktu itu. Pemakaian baut berkekuatan tinggi sekarang memerlukan bahwa sebuah cincin tutup yang dikeraskan harus digunakan dibawah elemen ketat. Cincin tutup bidang miring diperlukan pada waktu lereng diantara kepala baut atau kacang-kacangan bila lereng bagian sambungan melebihi 1:20, seperti untuk bentuk C dan S. Beberapa baut A-325 dan A-490

Baut dan alat-alat ekstra pemilik tersedia dan termasuk baut interferensi, yang harus dupancangkan kedalam lobang baut dan menyediakan kecocokan erat (*tight fit*) yang serupa dengan paku keleng yang dipancangkan. Baut celah tersedia juga sehingga seorang pemasang tunggal yang menggunakan sebuah pemancang tenaga dapat memutar baut tersebut tanpa menggunakan seorang pembantu untuk memegang kepala baut untuk melawan perputaran. Juga yang tersedia adalah cincin tutup rusuk (*ribbed washer*), yang meratakan pada puntiran yang dispesifikasi sehingga pemasang tersebut dapat mengamati secara visual tarikan baut yang memadai. Kacang-kacangan yang mengunci sendiri tersedia juga untuk pemasangan dalam sambungan yang pada pembebanan dinamik, sehingga kacang-kacangan tersebut tidak menjadi longgar dalam pelayanan.

Baut dalam pemakaian konstruksi mempunyai jangkauan diameter dari $\frac{1}{2}$ sampai $1\frac{1}{2}$ in (sekali-sekali digunakan diameter yang lebih besar, khasnya sebagai baut angker kolom dalam sambungan penahan momen kepada pondasi beton). Karena sebuah keseimbangan diantara tampilan bersih ukuran sambungan dan banyaknya alat semat harus dibuat maka diameter paku keleng yang paling lazim adalah $\frac{3}{4}$ dan $\frac{7}{8}$ in (20 dan 22 mm).

Baut berkekuatan tinggi diapasangkan dengan tarikan yang dikembangkan dalam tangkai baut yang besarnya kira-kira 70 persen dari kuat tarik minimum yang dispesifikasiakan oleh salah satu metoda berikut:

1. Metoda putaran kacang-kacangan. Kacang-kacangan pada mulanya diikat erat kesebuah acuan titik (*snug fit*: *snug* adalah dimana sebuah kunci mekanik mulai membentur, atau kira-kira $\frac{1}{2}$ putaran dari waktu dikembangkannya suatu tahanan kacang-kacangan dengan menggunakan sebuah kunci inggris). Dari titik ini kacang-kacangan tersebut diputar terhadap tangkai baut sebanyak $\frac{1}{2}$ putaran tambahan ($\frac{3}{4}$ putaran bila $L > 8D$ atau 200mm).
2. Kontrol puntiran. Digunakan puntiran yang dikalibrasi maupun kunci mekanik. Metoda ini mengharuskan penggunaan cincin tutup yang dikeraskan di bawah elemen yang diputar (baik kacang-kacangan maupun kepala baut) untuk mencegah terjadinya gangguan dan untuk menyediakan gesekan yang lebih uniform.

Pengujian-pengujian pada sejumlah besar sambungan baut menunjukkan bahwa yang manapun diantara kedua metoda ini akan menaruh regangan yang mencukupi ke dalam tangkai baut untuk menghasilkan tarikan yang diinginkan. Jika baut tersebut terlalu regang, maka baut tersebut akan ambruk dan sebuah baut yang baru dapat dipasangkan. Sebuah baut yang buatannya jelek dapat mudah dideteksi. Apa yang tidak dapat dideteksi adalah bahwa regangan yang memadai dapat dikembangkan, karena itu perlu diadakan pemeriksaan pekerjaan yang hati-hati dengan pemeriksaan peralatan pemasangan yang sering unutk memastikan kecukupan sambungan.

Sebuah tarikan baut sebesar kira-kira $0,7F_u$ akan memberikan kekuatan cadangan yang memadai scandainya baut tersebut agak terlalu tegang (katakanlah, $\frac{3}{4}$ putaran sebagai ganti dari $\frac{1}{2}$ putaran). Baut tersebut bertindak sebagai sebuah pegas yang masif (pegas yang kuat) tarikannya untuk memegang bagian –bagian yang diikatkan atau disematkan dalam kedudukan relaitfnya. Efek pengklam ini juga cenderung untuk memegang sambungan melawan kelonggaran kacang-kacangan dalam sebuah beban yang lelah, sehingga sebuah kacang-

kacangan pengunci hampir selamanya tidak diperlukan. Jika baut-baut A-325 belum terlalu tegang secara berlebihan (tidak lebih daripada $\frac{1}{2}$ sampai $\frac{3}{4}$ putaran kacang-kacangan) maka baut –baut tersebut dapat digunakan kembali sekali atau lebih. Pengujian-pengujian pada penggunaan kembali menunjukkan bahwa baut A-490 seharusnya tidak digunakan kembali dalam situasi yang bagaimanapun.

Tarikan minimum yang didasarkan pada $0,7F_u$ menghasilkan beban beban tahan baut atau tarikan pemasangan . Dengan suatu jumlah baut dalam sebuah sambungan, yang masing-masing mengembangkan tarikan, maka beban pada sambungan yang perlu untuk menghasilkan sebuah slip relatif diantara bagian bagian yang disambungkan dihitung dengan mudah;

$$P_{\text{slip}} = m \cdot \mu \cdot N \cdot T$$

dimana : μ = koefisien slip (biasanya dapat menggunakan 0,35 untuk skala pabrik bersih; kebanyakan permukaan lain lebih kecil daripada nilai ini, dan mungkin perlu menentukan nilai ini melalui pengujian)

m = banyaknya permukaan slip

N = banyaknya alat semat

T = beban tahan dari setiap alat semat

Dari pertimbangan persamaan di atas maka dengan mudah kita dapat melihat bahwa tak perduli bagaimanapun jenis sambungan yang dirancang (gesekan, atau tak ada slip, atau bantalan dengan suatu slip yang diterima), beban sambungan yang dipakaikan harus melebihi P_{slip} baik sebelum geseran baut maupun sebelum dukungan baut (atau bahan) dikembangkan. Kita sekarang dapat melihat dasar pemikiran untuk $P_t = A_g F_t$ karena efek klam didistribusikan jauh dari lobang-lobang tersebut sepanjang penampang kritis. Setelah P_{slip} maka sambungan tersebut sebenarnya mengembangkan tahanan sebagai sebuah gabungan dari geseran baut dan dukungan.

2.3.2 Las Lumer

Disamping sambungan bagian-bagian dengan paku-paku dan baut-baut muncullah suatu cara bekerja, dimana mempersatukan itu mempunyai sifat yang lain. Di dalam kampuh-kampuh dalam bentuk tertentu dimasukkan bahan cair, pinggir-pinggir kampuh atau bagian-bagian plat yang pada ini dicairkan juga, karena itu dua bagian atau lebih dijadikan satu sesudah didinginkan. Maka didapat sebuah sambungan yang jauh lebih kaku dibandingkan sambungan dengan paku-paku; hal ini memberikan keuntungan-keuntungan yang besar, tetapi memerlukan pula persiapan-persiapan; karena sambungan kaku yang terdapat itu harus pula cukup kuat.

Mengisikan bahan cair di bangunan baja sekarang dilakukan terutama sekali dengan proses las busur cahaya, dimana suatu katup terbentuk oleh benda kerja, sedangkan batang las sebagai katub kedua menjadi cair karena panasnya busur itu dan memberi bahan kepada bubungan yang cair kepada benda kerja itu. Selama pekerjaan las itu diteruskan, maka oleh karena panas yang meamancar dari busur mencairlah bahan benda kerja yang baru, apa yang dinamakan bahan induk, dan mencampurkan diri dengan batang las yang mencair. Ukuran dalam yang terjadi oleh karena penggeraan panas busur cahaya pada bahan induk itu sangat dipengaruhi oleh cara las-nya, batang las di waktu dijalankan dilambaikan menurut arah-arah panah, karena itu terjadilah apa yang dinamakan rigi-rigi las dengan pemakaran dalam yang baik.

Jika selama menlas batang las itu tidak dilambaikan tetapi ditarik, maka terjadilah sebuah snur las, yang mempunyai pembakaran dalam yang kurang. Panas busur cahaya pada rigi-rigi las masuk lebih lama pada suatu tempat sedang penangas yang cair itu lebih besar dan pembekuan tidak dapat terjadi dengan cepat.

Dengan batang-batang las yang tidak terbungkus tipis terdapat pembakaran dalam kecil yang sama . Menlas otogen, dimana dipakai panas api zat asam gas karbit , dipergunakan pada plat-plat tipis atau pipa-pipa dan untuk panjang las yang kecil, diman pemanasan sekelilingnya yang kuat, dan tidak dapat dihindarkan pada proses, tidak mengganggu.

Jika dipergunakan busur cahaya arang, terdapatlah kemungkinan untuk bekerja dengan tiada penambahan bahan pada bentuk-bentuk las tertentu. Tetapi cara ini tidak banyak terdapat pada konstruksi-konstruksi baja.

Juga menlas titik dan menlas akmpub golong demikian juga menlas busur cahaya dengan kedua ujung yang akan disambungkan sebagai kutub (ump. Pada rantai-rantai dan pada pipa-pipa pemanas uap), tidak banyak terdapat dalam bangunan baja.

Kalau menlas titik yang dipergunakan, umpama dalam menyambung batang-batang tunggal melalui seluruh panjangnya menjadi satu kolom, maka jarak antaranya diambil sama dengan jarak antara paku-paku tempel. Beberapa pabrik mempunyai yang dengan cara ini dapat digunakan untuk menyambung plat-plat sampai tebalnya bersama kurang lebih 25 mm.

Jika selanjutnya kita membicarakan hal menlas, karena itu selalu dimaksudkan menlas busur-busur cahaya dengan batang-batang las apa yang dinamakan menlas listrik, kecuali bila dengan tegas dimaksudkan kebalikannya. Pada proses menlas ini, kualitas las yang dibentuk dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut:

1. Bahan induk
2. Bentuk-bentuk las
3. Pengerjaan pendahuluan
4. Batang-batang las dengan lapisannya
5. Caranya menlas

Semua jenis baja yang lunak, yang terdapat dalam perdagangan untuk bangunan baja, dapat dilas dengan baik. Kalau persentase zat arangnya sedikit naik, maka terasalah, bahwa baja itu akan tersepuh karena kubangan las mendingin dengan cepat. Sampai 0,25 % C (Bd. 37 rata-rata terdapat 0,12 % C) belum menimbulkan kesulitan-kesulitan besar.

Keserbasamaan dan kemurnian bahan induk adalah sangat penting; terutama sekali jangan ada belerang dan fosfor dalam persentase yang besar karena kalau pengawasannya tidak cukup unsur-unsur ini dapat, menyebabkan sobekan-sobekan kecil disamping las itu. Kalau pembuatannya kurang teliti, maka baja itu

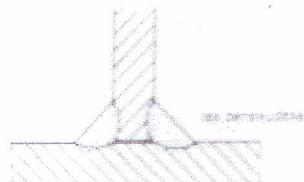
dapat mengandung sedikit N, yang tidak boleh terdapat, karena ini menyebabkan terbentuknya bagian-bagian keras, yang disebabkan oleh terjadinya nitrid-nitrid.

Karena terdapatnya kadar C yang lebih tinggi dan terdapatnya berbagai unsur-unsur campuran logam seperti Cr + Cu atau Mn + Si atau Mo, maka menlas bidang 52 memberi kesukaran-kesukaran, yaitu karena terjadinya sobekan-sobekan kecil di dalam las. Dalam pemeriksaan sambungan-sambungan yang dilas dan yang dibebani secara dinamis umpama dengan percobaan datar lengkung, maka ternyata bahwa angka-angka kekuatan sambungan-sambungan yang dilas dari Bd. 37 tidak begitu baik. Dengan banyak persiapan-persiapan, jenis-jenis baja ini terutama Bd. 52 yang dicampur dengan Ni dan Cu dapat juga dilas dengan baik tetapi dalam-dalam bangunan baja, bahan ini masih tidak terpakai.

2.3.3 Las Bersiku

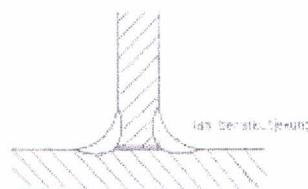
Dalam bangunan baja terutama terdapat dua bentuk menlas cair, pertama las bersiku dan kedua las tumpul. Las bersiku itu terkenal dalam tiga jenis:

- a. Las bersiku datar menurut gambar 2.3, yang dibuat dengan sebuah batang las yang dibungkus tebal,



Gambar 2.4 Las bersiku datar

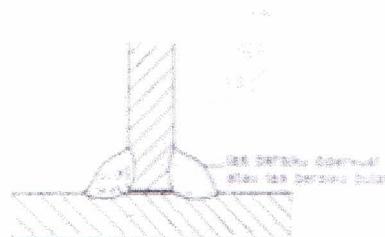
- b. Las bersiku cekung (gambar 2.4), yang terjadi dengan apa yang dinamakan elektroda yang mencair cepat,



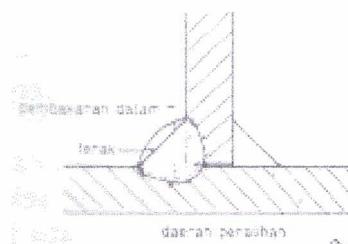
Gambar 2.5 Las bersiku cekung

- c. Las bersiku bulat (gambar 2.5) yang dilas dengan sebuah batang las yang tidak terbungkus atau terbungkus tipis. Kadang-kadang las ini disebut las bersiku yang diperkuat walaupun disini hampir tidak dapat dikatakan ada penguatan yang sebenarnya.

Las bersiku cekung dan bulat boleh dikatakan tidak lagi terpakai. Las bersiku dapat dibuat dengan penggerjaan pendahuluan dari bagian-bagiannya. Dalam mengerjakan las harus selalu dijaga adanya kekuatan arus yang cukup besar untuk suatu pembakaran dalam yang baik (gambar 2.6). Dalam gambar ini, pembakaran dalam sudut itu digambar, pembakaran dalam sudut itu digambar sangat terlampaui bagus, sebab jika sudut batang plat-plat iut dicapai kita boleh puas, sekalipun digunakan batang las yang tidak terbungkus atau dibungkus tipis, serin-sering sudut itu tidak tercapai. Tetapi apa yang dinamakan tebalnya las selalu diukur sampai sudut, dengan ukuran a. Dalam gambar ini sekalian dilukiskan daerah peralihan dengan garis-garis gores.



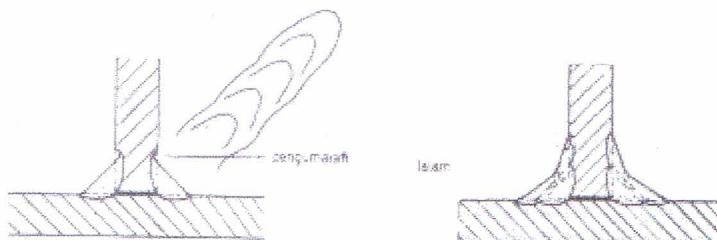
Gambar 2.6 Las bersiku bulat



Gambar 2.7 Pengerjaan las besiku datar

Di daerah itu terlihat permulaan campuran dari bahan las dan bahan induk dari satu pihak, sedang dari lain pihak panasnya kubangan las dalam bahan plat yang tidak menjadi cair, menjadikan sedikit perubahan struktur.

Karena penutupan oleh terak, yang terjadi dari bungkus batang las itu, berhenti didekat pinggiran rigi-rigi las dan suatu bagian yanhg boleh dikatakan tipis dari bahan yang cair itu membeku menyandar pada sebuah benda padat yang besar, sehingga pengambilan panas akan berlangsung sangat cepat, maka disana akan terjadi suatu bagian yang keras. Hal ini tepat terjadi pada peralihan, jadi pada suatu tempat yang berbahaya, sehingga kesalahan di sana, seperti penggunaian dalam dari gambar 2.7 mempunyai akibat yang sangat berbahaya. Penggunaian dalam itu menyebabkan pengerajan taktik di salah satu tempat yang terpeka dari rigi-rigi las, adalah salah satu dari kesalahan-kesalahan yang sering sekali terdapat disepanjang sebelah luar dari las bersiku.



Gambar 2.8 Kesalahan dalam penegerjaan las bersiku

Penggunaian dalam itu dapat terjadi karena sebab-sebab sebagai berikut:

1. Menlas dengan kekuatan arus yang terlalu tinggi,
2. Sikap batang las salah (terlalu curam, sikap yang benar adalah dibawah 45^0 dengan pinggir plat),
3. Batang-batang las basah.

Paling banyak terdapat penggunaan-penggunaan dalam karena sikap elektroda salah seorang tukang las yang diteliti dapat mencegah kesalahan ini. Biasanya dipergunakan las-las bersiku yang sama sisi (gambar 2.3). Kalau harus dibuat las bersiku yang sama tidak sama sisi, maka kalau las itu dibuat dalam lapisan yang lebih, hendaknya dijaga, supaya lapisan lapisan kedua menyandar pada kaki yang tegak, sebab jika tidak begitu, sekelilingnya menjadi terlalu

panas, sehingga tidak terdapat pembekuan yang cukup cepat (gambar 2.7). Dalam gambar kejadian yang demikian itu terdapat pada ujung pada sebuah plat pada apa yang dinamakan las kepala.

Waktu menlas kampuh-kampuh panjang adalah lebih baik untuk membuat las yang tipis melalui seluruh panjangnya daripada las yang lebih tebal dan terputus-putus. Dengan demikian ujung-ujung kepala dan ujung-ujung kawah sebanyak mungkin dicegah terbentuk karat.

Supaya tidak terdapat bakaran-dalam yang terlampaui besar, yang menyebabkan bahan menjadi lemah, adalah lebih baik kalau tebalnya las bersiku (jadi hanya dipisahkan oleh tebalnya plat), maka plat itu lebih baik jangan dibuat lebih tebal daripada setengah atau lebih sedikit dari setengah tebalnya plat s.

Pada sebuah sambungan bersilang dimana 4 buah las bersiku dibuat yang satu dekat dengan yang lain, sudah barang tentu diperlukan pemakaian harga – harga maksimum yang diberikan dalam daftar di bawah ini, jika las itu dibuat dalam satu lapisan.

2.3.4 Las tumpul

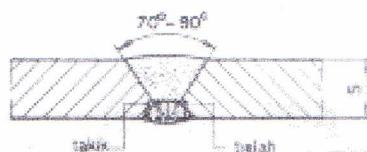
Las ini menghasilkan pelbagai bentuk berhubung dengan tebalnya plat.

- a. Tumpul dengan tiada pengeraian dilas seisi sampai ukuran tebal plat dari 4 mm dengan kampuh yang menutup. Menlas dua sisi dapat dilakukan dengan tiada pengeraian pendahuluan untuk ukuran-ukuran tebal plat sampai 8 mm, kalau ada kemungkinan untuk membalik benda kerja itu. Las ini sangat baik berhubung dengan perubahan-perubahan bentuk yang disebabkan oleh tegangan-tegangan isut, sehingga las itu untuk plat-datar dipergunakan dengan bermanfaat. Kalau liang plat-plat itu lebih besar daripada yang diingini, maka dapat dicapai hasil – hasil baik dengan membuat lapisan yang pertama dengan sebuah batang las yang dibungkus tipis. Sesudah benda kerja dibalikkan, maka lapisan-lawannya dilas dengan elektroda normal yang dibungkus tebal.
- b. Kalau benda kerja itu mungkin dilas seisi, dipergunakanlah las V pada ukuran tebal dari 4 sampai 20 mm, biasanya dari 8 sampai 13 mm. Pengelasan terus dari lapisan dasar, yaitu lapisan pertama yang dibuat, adalah sangat penting,

sebab pembentulan kesalahan – kesalahan di dasarnya las V itu di sini tidak mungkin. Pengerjaan pendahuluan dari pinggir – pinggir plat dilakukan dengan mengetamnya atau memotongnya secara otomatis demikian rupa, sehingga terbuat suatu sudut liang dari 70° a 90° . Yaitu 70° kalau dipakai batang las yang dibungkus tebal, sedangkan sudut luang maksimum dari 90° dipakai untuk elektroda-elektroda yang dibungkus tipis. Dasar kampuh itu menjadi tajam dengan sebuah ruang kecil dari 1 a 2 mm, menyimpang dari bentuk las V yang dulu-dulu dimana dibiarkan sebuah plat b yang tetap dan tegak. Hal itu memberi kesukaran-kesukaran di waktu menlas terus. Tambahan pula ditunjukkan dua kesalahan. Di a terdapat sebuah tombol yang tidak baik dan sebuah bidang atas kasar dan di c terbakar terus melalui dasarnya dan terdapat sebuah tetes. Sebuah las tumpul harus dilas penuh dan rata, sebab dengan begitu dicegah terjadinya perubahan-perubahan penampang (yang tiba-tiba) dari plat yang dilas itu. Jika benda kerja dapat dibalik, maka dari 4 mm sampai 12 mm dipergunakan las V dengan las lawan (gambar 2.8). Di sini lapisan dasar tidak memberi kesukaran – kesukaran, sebab lapisan dasar tidak itu sesudah dibalik dipahat dengan pahat yang dibulatkan sampai ukuran dalam di mana ikalnya tidak lagi pecah. Kalau diambil ujung pahat yang segi panjang, maka besar kemungkinannya terdapat kesalahan-kesalahan las (gambar 2.9). Suatu celah tetap ada didalam, jadi tidak terlihat, dan menyebabkan penggerjaan takik.



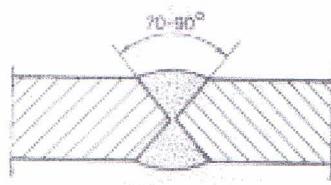
Gambar 2.9 Las tumpul V



Gambar 2.10 Kesalahan pengerjaan las tumpul V

Pada las V dengan las lawan dapat juga dilakukan penggeraan pendahuluan dengan suatu bagian plat yang *tetap dan tegak* dengan tiada ragu-ragu lagi. Sebab di sini lapisan dasar itu tidak usah dilas terus. Sesudah dipahat hal tersebut dapat diselesaikan.

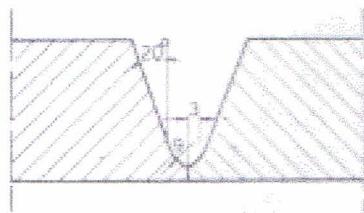
c. Untuk ukuran-ukuran plat dari 12-30 mm, kalau benda-benda kerja dapat dibalik dengan mudah, maka las X dengan pengisian yang kurang dari las V adalah ekonomis, sedangkan selain itu pemanasan benda kerja itu adalah lebih kurang dan lebih setangkup (gambar 2.10). Bentuk tidak begitu banyak berubah seperti pada las V.



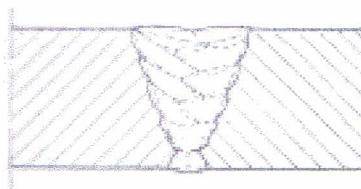
Gambar 2.11 Las tumpul X

Kalau dipakai batang-batang las yang terbungkus tebal, maka penggeraan pendahuluan adalah tajam didasarnya dengan 70° sudut liang dan liang dari 1 a 2 mm. Menlas lapisan dasar yang harus dilakukan dengan sangat baik, kadang-kadang memberi kesukaran-kesukaran. Karena itu lapisan yang pertama dan terutama lapisan kedua dibuat pada sisi-balik dengan kekuatan arus yang setinggi-tingginya. Ir. Gerritsen memberi pada : $3,25 \Phi$ batang las yang dibungkus tebal untuk lapisan pertama dengan 135 A dan untuk lapisan kedua dengan 155 A. Antara las-V dan las X terdapat las X tidak sama sisi, dimana benda kerja itu dibalik tidak begitu sering (gambar 2.10). Menlas terus lapisan dasar disini tidak begitu sukar dibanding las-X sama sisi. Sebab pembuangan kalor berjalan lebih perlahan-lahan karena letak puncak yang tajam adalah diluar tengah-tengah plat. Lapisan pertama dengan beruntung dibuat diliang yang kecil itu. Sudut liang siar-las (lasvoeg) yang kecil itu diambil $\geq 90^\circ$, sedangkan sudut liang siar yang besar $\geq 70^\circ$, sebab ketidakrataan dari sudut-sudut liang itu mengurangi perubahan bentuk benda kerja, karena las mengisut.

d. Oleh karena untuk membalikkan benda kerja diwaktu penggeraan pendahuluan dan diwaktu mengelas suatu las X diperlukan waktu ekstra, maka untuk ukuran-ukuran tebal plat yang lebih besar dari pada 20 mm dan lebih tinggi, diambil las U. Penggeraan pendahuluan menurut gambar 2.11 harus diketam, satu bagian tegak yang tetap dari 3 a 4 mm dan bentuk las yang tertutup memberikan kesempatan untuk membuat lapisan dasar itu dengan arus las yang agak ditinggikan. Jika tidak dilas terus, tidak menjadi halangan, sebab sesudah dipahat dibuat juga las lawan supaya tidak terdapat kesalahan-kesalahan di sebelah sisi, maka titik tengah pembulatan (dengan jari-jari 9 mm) dari penggeraan pendahuluan terletak 3 mm di luar sumbu kampuh.



Gambar 2.12 Penggeraan awal las tumpul U



Gambar 2.13 Las tumpul U

Di dalam selokan, yang terjadi karena itu, dapat dibuat las dengan baik. Lapisan-lapisan berikutnya sekarang dilas dengan tidak memakai segi-segi empat, segi-segi empat itu dilukiskan dalam gambar 2.12. Seperti juga pada las X, maka pada las U terdapat ubahan-ubahan seperti las U dengan penggeraan pendahuluan yang berbentuk V pada sisi balik atau las U berganda dua.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam melakukan pengujian ini, penulis melakukan prosedur pengujian sebagai berikut:

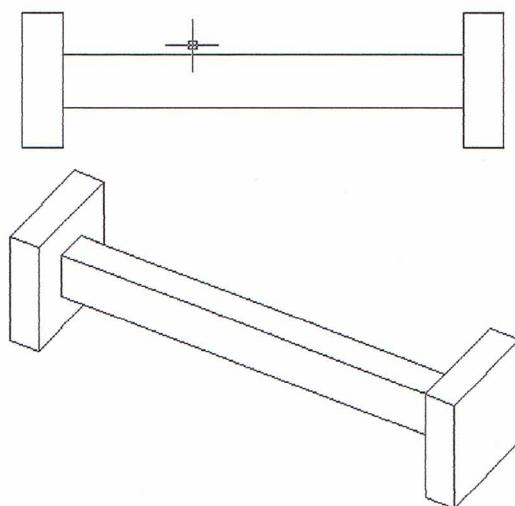
1. Persiapan

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan perlengkapan penelitian, berupa penyiapan material atau bahan penelitian antara lain baja tulangan, kayu bekisting, plat baja, serta persiapan alat-alat bantu perangkaian tulangan dan sambungan baja. Selain itu dipersiapkan juga ukuran dan jumlah benda uji yang akan digunakan.

Benda uji yang akan digunakan berjumlah 2 buah dengan spesifikasi sebagai berikut:

a. Benda uji 1

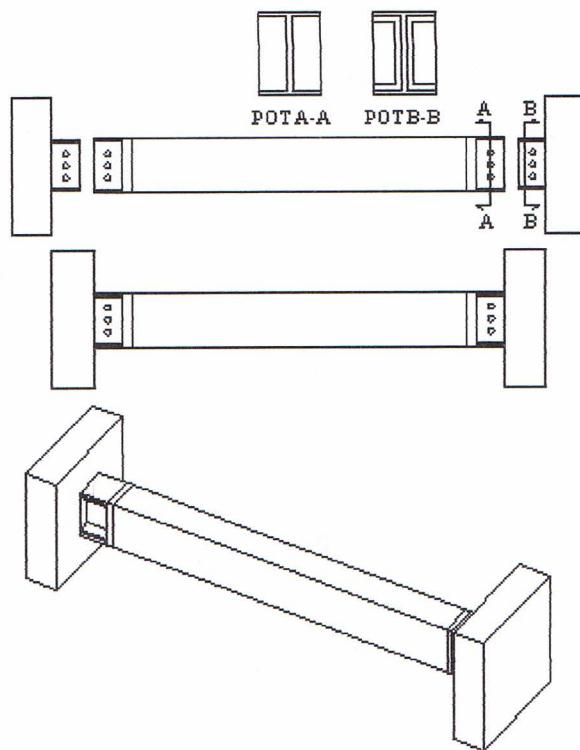
Berdimensi 200x15x20 cm tanpa menggunakan sambungan baja dengan perletakan ujung jepit-jepit. Perletakan dibuat dengan melakukan pengecoran benda uji pada kaki secara langsung, dengan ukuran kaki 50x50x15 cm seperti pada gambar 3.1. Pada bagian atas dan bawah kaki diberi penahan agar tidak terjadi putaran sudut pada ujung-ujung benda uji sehingga diharapkan konstruksi mendekati perletakan jepit sempurna.



Gambar 3.1. Benda uji 1

b. Benda uji 2

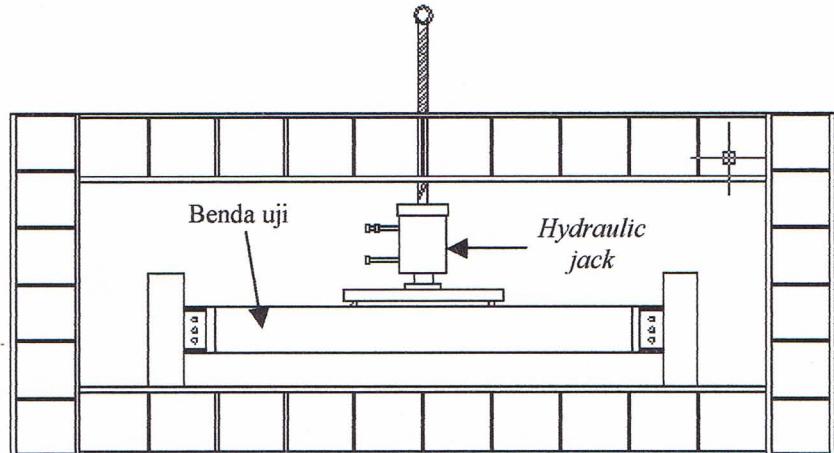
Berdimensi 200x15x20 cm dengan menggunakan sambungan baja tipe CIC pada kedua ujungnya dan diletakkan pada perletakan ujung jepit-jepit. Perletakan dibuat dengan melakukan pengecoran benda uji pada kaki secara langsung, dengan ukuran kaki 50x50x15 cm seperti pada gambar 3.2. Pada bagian atas dan bawah kaki diberi penahan agar kaki tidak bergerak sehingga diharapkan momen maksimum dan lintang maksimum terdapat pada sambungan baja.



Gambar 3.2. Benda Uji 2

2. Pembuatan alat uji

Pembuatan alat uji berupa alat uji tekan beton bertulang berupa *frame* baja profil I yang dirangkaikan dengan *hydraulic jack* berkapasitas 100 kN sebagai pembeban seperti gambar 3.3. Pembebanan dilakukan dengan metode *two point loading*.



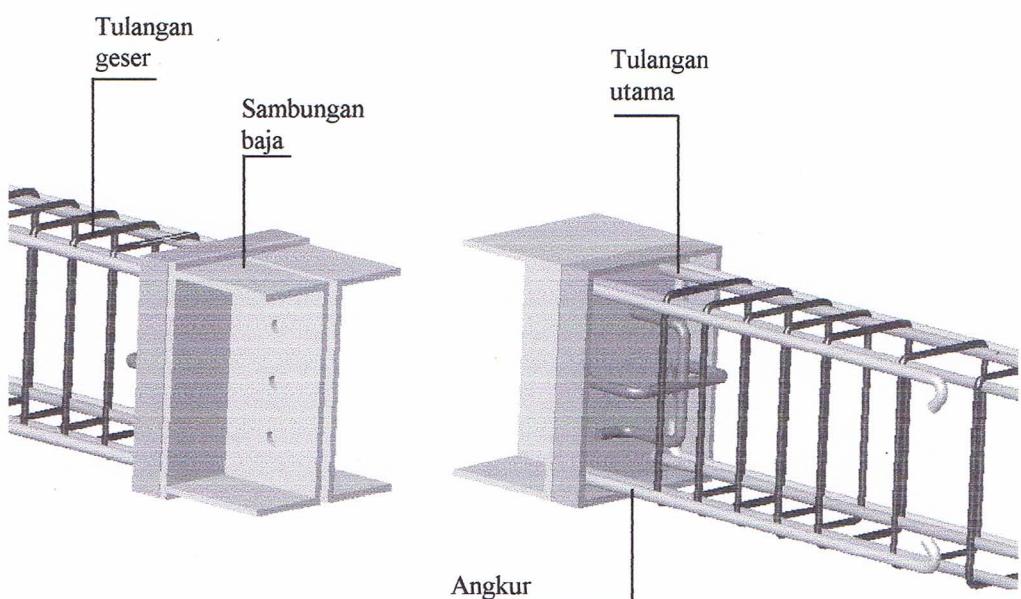
Gambar 3.3. Alat uji tekan balok beton bertulang

3. Pembuatan bekisting

Cetakan dibuat dari kayu berdasarkan dimensi benda uji.

4. Perakitan tulangan dan sambungan

Sambungan baja tipe CIC terbuat dari plat baja ukuran tebal 8 mm dan 6 mm serta memakai baut berdiameter 12 mm. Pada sisi luar pelat sambungan dipasang *shear connector*, angkur dan *ring cap* kemudian sambungan baja tersebut dirangkaikan dengan tulangan seperti gambar 3.4.



Gambar 3.4. Rangkaian tulangan dan sambungan baja

5. Studi literatur

Dalam melakukan penelitian ini, penulis melaksanakan langkah-langkah kerja berdasarkan literatur yang berhubungan dengan konstruksi beton bertulang serta konstruksi baja.

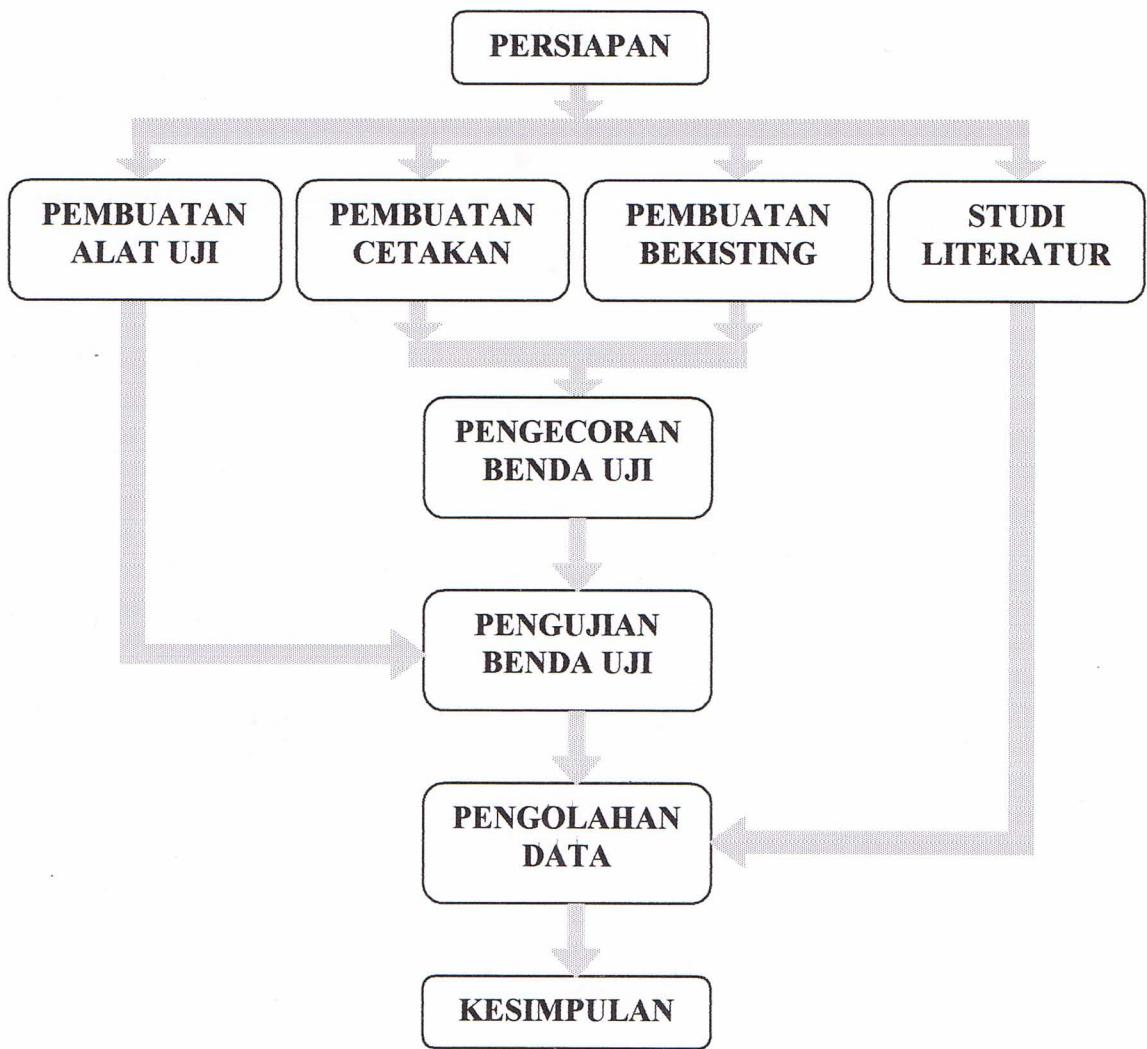
6. Pengecoran

Benda uji yang telah dirangkai tulangannya kemudian diletakkan ke dalam bekisting yang telah disediakan, untuk selanjutnya dilakukan pengecoran dengan menggunakan beton ready mix K-250. Pada saat pengecoran diambil beberapa sampel beton *ready mix* untuk diuji kuat tekannya dengan menggunakan uji tekan kubus dan silinder masing-masing tiga buah sampel.

7. Pengujian

Pengujian benda uji dilakukan setelah beton berumur 28 hari dari waktu pengecoran.

- a. Pengujian benda uji silinder dan kubus untuk mengetahui mutu beton yang dipakai.
- b. Pengujian benda uji 1 dan 2 untuk mengetahui prilaku, kekuatan serta lendutan beton bertulang.



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dengan pembebanan *two point loading* yang diletakkan pada posisi 70 cm dari perletakan dan jarak antara dua pembebanan 60 cm. Beton diletakkan pada frame baja dengan perletakan jepit-jepit. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan alat penekan *hydraulic jack* yang memiliki kapasitas tekan maksimum 100 kN. Pada bagian bawah balok digunakan dial pengukur lendutan yang diletakkan pada posisi tengah bentang.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua sampel yaitu :

1. Benda uji 1

Yaitu balok beton bertulang tanpa sambungan baja bentang 2 m dengan perletakan jepit-jepit.

2. Benda uji 2

Yaitu balok beton konvensional yang menggunakan sambungan baja tipe CIC dengan perletakan jepit-jepit. Sambungan menggunakan baut dengan diameter 12 mm.

Pengujian menggunakan dua sampel tersebut dimaksudkan untuk mendapatkan perbandingan *loading capacity* (kapasitas pembebanan) antara balok konvensional dengan balok yang menggunakan sambungan sehingga didapatkan persentasenya. Kemudian juga dilihat perilaku bidang kontak antara beton dan baja yang diberi angkur dengan panjang 40 cm serta *shear connector* yang diberi perkuatan las pada kaki-kakinya.

Dengan adanya pembebanan nantinya dapat diamati fenomena *crack* dan lendutan yang terjadi. Selama pengujian diamati pada beban berapa mulai terjadi retak, pola retak, beban dan lendutan maksimum ketika terjadi keruntuhan, lalu diukur lebar dan panjang *crack* ketika terjadi keruntuhan tersebut.

Setelah pelaksanaan pengujian maka didapatkan data pembebanan dan lendutan yang terjadi sebagai berikut :

1. Benda uji 1

Tabel 4.1 Hasil pengujian benda uji 1

No	P (kn)	Δ (mm)	Keterangan
1	0	0,000	
2	1	0,000	
3	2	0,000	
4	3	0,190	
5	4	0,240	
6	5	0,270	
7	6	0,275	
8	7	0,320	
9	8	0,400	
10	9	0,450	
11	10	0,505	
12	11	0,555	
13	12	0,595	
14	13	0,650	
15	14	0,760	
16	15	0,820	Retakan mulai terjadi
17	16	0,891	
18	17	0,960	
19	18	1,030	
20	19	1,120	
21	20	1,205	
22	21	1,290	
23	22	1,470	
24	23	1,720	
25	24	1,890	
26	25	2,010	
27	26	2,640	
28	27	2,780	
29	28	3,030	
30	29	3,090	
31	30	3,660	
32	31	3,880	
33	32	4,170	
34	33	4,410	
35	34	4,550	
36	35	4,770	
37	36	5,020	
38	37	5,230	
39	38	5,450	
40	39	5,830	
41	40	6,110	
42	41	6,480	

No	P (kn)	Δ (mm)	Keterangan
43	42	7,250	
44	43	7,930	
45	44	9,150	
46	45	13,960	Bunyi
47	46	14,500	
48	47	15,030	
49	48	15,550	
50	49	16,140	
51	50	16,780	
52	51	17,300	
53	52	18,560	
54	53	19,370	
55	54	19,640	
56	55	20,170	
57	56	20,920	
58	57	21,490	
59	58	22,430	
60	59	22,840	
61	60	23,380	
62	61	23,850	
63	62	25,060	
64	63	26,820	
65	64	27,550	
66	65	28,350	
67	66	30,300	
68	67	30,980	
69	68	32,040	
70	70	32,650	Beban maksimum, lendutan maksimum

Pada saat pembebanan dilakukan, retakan pada beton mulai terjadi ketika pembebanan sebesar 15 kN yaitu pada saat lendutan sebesar 0,82 mm. Kemudian didapatkan pembebanan maksimum sebesar 70 kN dan lendutan pada saat pembebanan maksimum sebesar 32,65 mm. Retak terjadi merata di semua bagian balok.

2. Benda uji 2

Tabel 4.2 Hasil pengujian benda uji 2

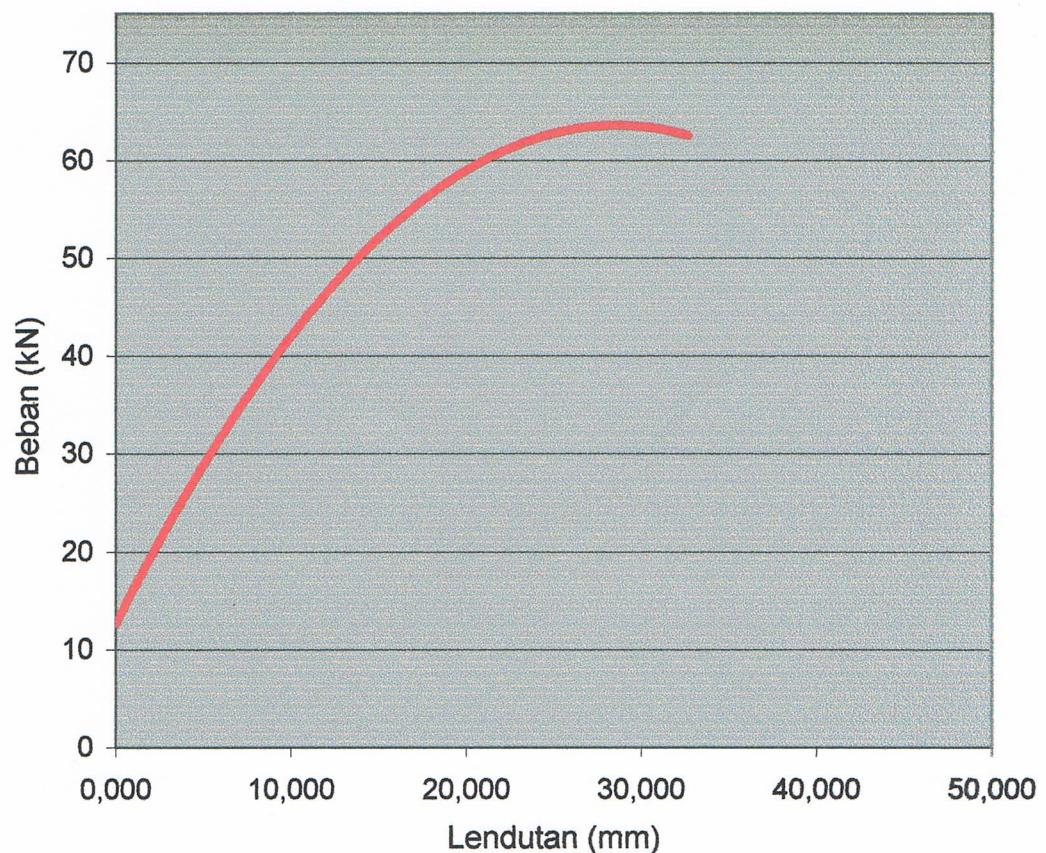
No	P (kn)	Δ (mm)	Keterangan
1	0	0,000	
2	1	0,000	
3	2	0,000	
4	3	0,060	
5	4	0,060	
6	5	0,060	
7	6	0,060	
8	7	0,060	
9	8	0,090	
10	9	0,125	
11	10	0,195	
12	11	0,285	
13	12	0,360	Retakan mulai terjadi
14	13	0,480	
15	14	0,600	
16	15	0,795	
17	16	1,050	
18	17	1,300	
19	18	1,510	
20	19	1,850	
21	20	2,040	
22	21	2,220	
23	22	2,515	
24	23	2,850	
25	24	3,050	
26	25	3,260	
27	26	3,570	
28	27	3,870	
29	28	4,110	
30	29	4,290	
31	30	4,545	
32	31	4,870	
33	32	5,180	
34	33	5,750	
35	34	7,370	
36	35	8,180	
37	36	8,920	
38	37	10,235	
39	38	11,580	
40	39	14,120	
41	40	16,170	
42	41	18,790	

No	P (kn)	Δ (mm)	Keterangan
43	42	19,700	
44	43	21,790	
45	44	25,140	
46	45	25,670	
47	46	26,730	
48	47	28,720	
49	48	29,140	
50	49	29,750	
51	50	30,300	
52	51	31,200	
53	52	32,050	
54	53	32,890	
55	55	33,600	
56	56	34,270	
57	57	35,050	
58	58	35,360	Bunyi
59	59	35,930	Bunyi
60	60	36,490	Bunyi
61	61	36,980	
62	62	37,490	
63	63	37,855	
64	64	39,230	
65	66	39,600	
66	67	40,400	
67	68	40,830	
68	69	41,670	
69	70	41,730	
70	71	41,750	
71	72	48,920	
72	73	49,820	Beban maksimum, lendutan maksimum

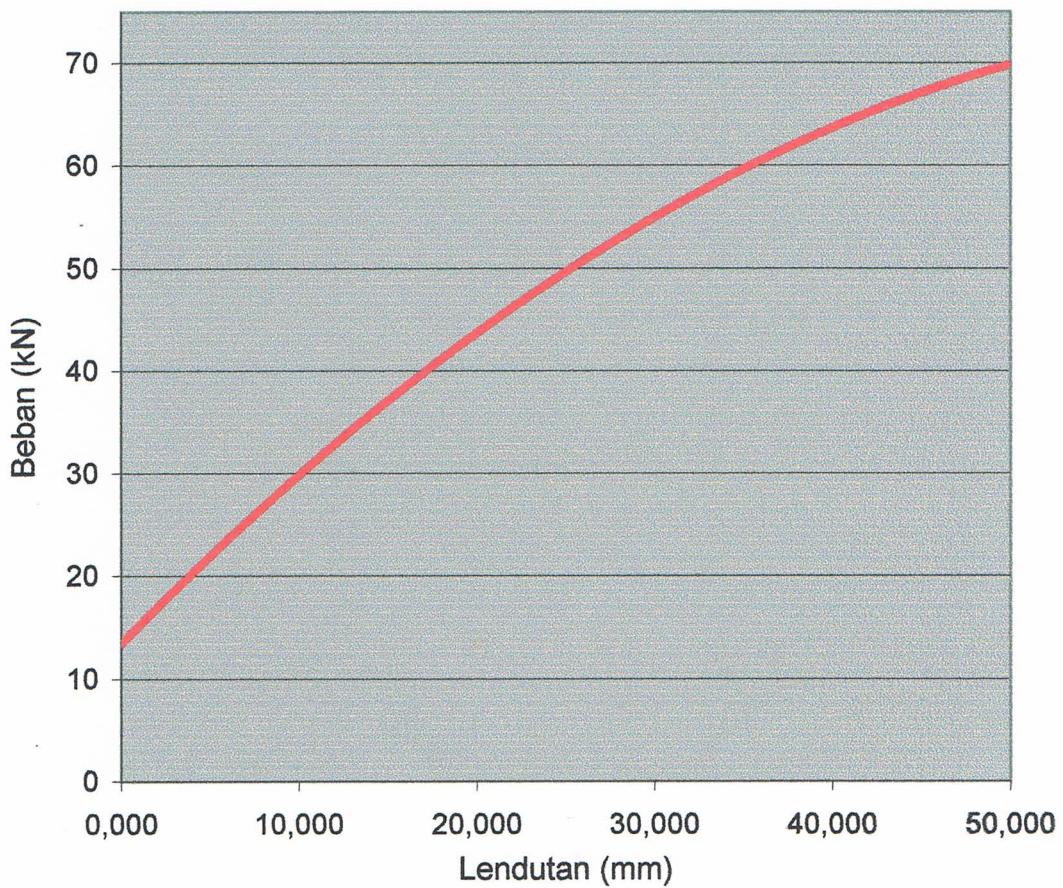
Pada saat pembebanan dilakukan, retakan pada beton mulai terjadi ketika pembebanan sebesar 12 kN dengan lendutan sebesar 0,36 mm. Kemudian didapatkan pembebanan maksimum sebesar 73 kN dan lendutan pada saat pembebanan maksimum sebesar 49,82 mm. Retak terbesar terjadi pada beton di bagian bawah pembebanan. Sementara sambungan baut antar sesama plat baja terjadi pergeseran akibat pembebanan. Sambungan antara plat baja dengan beton terjadi sedikit bukaan.

Dari hasil data yang diperoleh di atas, persentase pembebanan maksimum balok beton bertulang dengan sambungan baja terhadap balok beton bertulang tanpa sambungan sebesar $\pm 104,3\%$. Sedangkan lendutan yang terjadi pada balok beton bertulang dengan sambungan baja $\pm 52,6\%$ lebih besar dari pada balok beton bertulang tanpa sambungan baja.

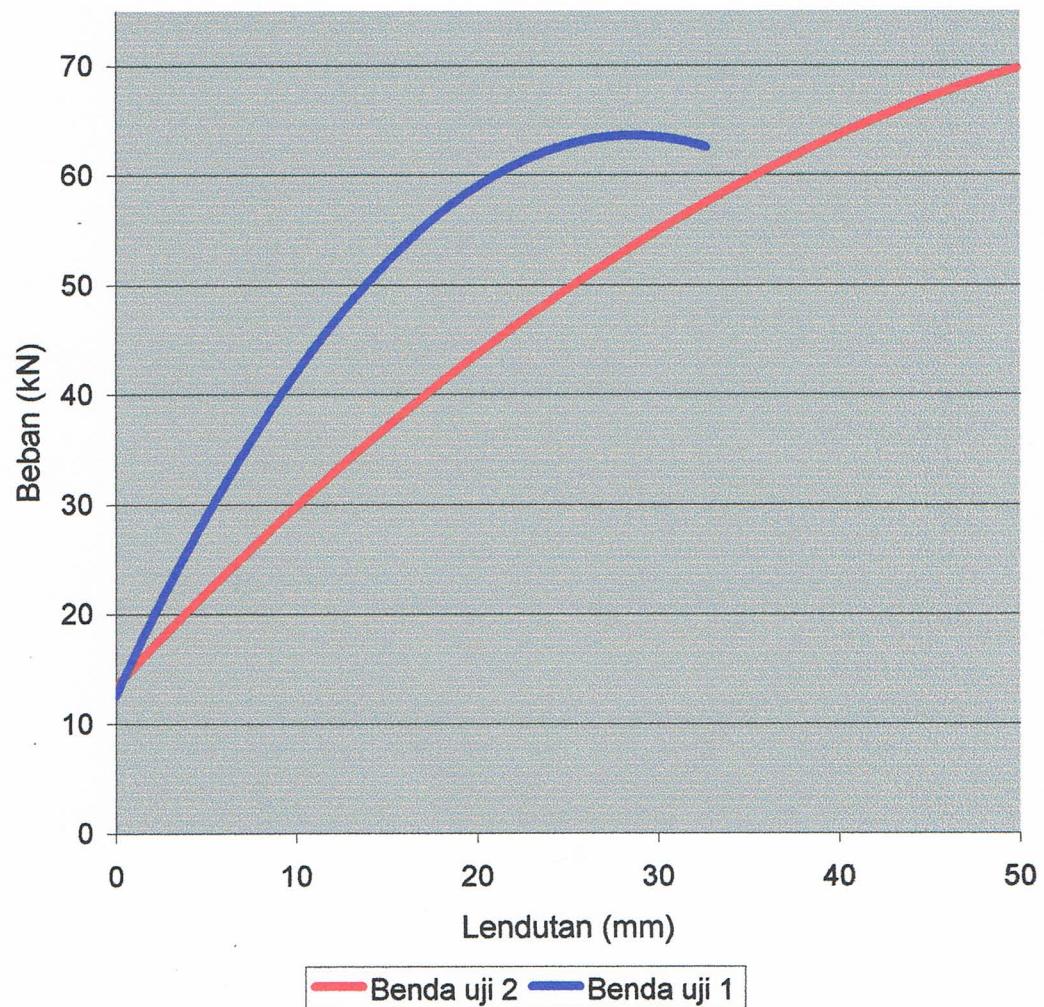
Berdasarkan data di atas maka grafik lendutan yang terjadi adalah sebagai berikut.



Gambar 4.1 Grafik hubungan lendutan dan pembebanan pada benda uji 1



Gambar 4.2 Grafik hubungan lendutan dan pembebanan pada benda uji 2



Gambar 4.3 Grafik perbandingan lendutan dan pembebanan benda uji 1, 2

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil pengujian ternyata didapat persentase *loading capasity* balok beton bertulang dengan sambungan baja 104,3 % dibandingkan dengan balok beton bertulang dengan sambungan baja.
2. Dari hasil pengujian ternyata didapat persentase lendutan balok beton bertulang dengan sambungan baja 152,6 % dibandingkan dengan balok beton bertulang dengan sambungan baja.
3. Keruntuhan terbesar yang terjadi pada balok beton bertulang dengan sambungan baja setelah diberi pembebanan maksimum terdapat pada beton yang mengalami retakan yang cukup besar, selain itu pada sambungan antara plat baja dengan plat baja juga mengalami pergeseran yang cukup lebar. Sedangkan pada bagian dari sambungan antara plat baja dengan beton bertulang hanya terjadi sedikit retakan.
4. Berdasarkan persentase *loading capasity* yang didapatkan dari hasil pengujian, maka dapat disimpulkan sambungan baja tersebut dapat dipakai sebagai penyambung pada beton bertulang.

5.2 Saran

1. Dengan adanya lendutan yang lebih besar yang terjadi pada balok dengan sambungan baja maka perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk mencari cara mendapatkan lendutan yang mendekati atau lebih kecil dari lendutan yang terjadi pada balok tanpa sambungan baja.
2. Pada penelitian berikutnya diharapkan dapat menggunakan alat dengan ketelitian yang lebih tinggi untuk menghindari kesalahan pada pembacaan data. Oleh karena itu peralatan yang lengkap dan memadai sangat dibutuhkan dalam melakukan penelitian agar didapatkan hasil yang lebih baik.
3. Penelitian ini masih perlu dilanjuti dengan penelitian-penelitian lainnya berupa:
 - Pengujian terhadap kuat geser pada sambungan antara beton dengan baja
 - Pengujian terhadap tegangan regangan yang terjadi pada tulangan maupun sambungan baja
 - Pengujian-pengujian lain yang berhubungan dengan daya tahan bidang kontak beton baja profil sebagai media penyambung.

DAFTAR PUSTAKA

1. Nevile, Brook, J.J., Concrete Technology. Logman Scientific & Technical, 1987.
2. Gosh, S.N., Mineral Admixtures in Cement and Concrete, Akademia Books International, 1995.
3. Park, R., Paulay, T., Reinforced Concrete Structures. John Willey & Sons, 1976.
4. Waddel, J.J., Concrete Construction Handbook. McGraw-Hill Book Company, 1974.
5. Fintel, Mark, Handbook of Concrete Engineering. Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1985.
6. AISC, Manual of Steel Construction Eighth Edition. AISC Inc., 1980.
7. Kong F.K., Evans, R.H., Cohen, E., Roll F., Handbook of Structural Concrete.
8. Merrit, Frederick S., Standard Handbook for Civil Engineers Third Edition.
9. Merrit, Frederick S., Structural Steel Designers Handbook.
10. Gaylord, Gaylord, Structural Engineering Handbook Second Edition.
11. Dipohusodo, Istimawan, Struktur Beton Bertulang. PT. Gramedia Pustaka Utama, 1999.
12. Murdock, L.J., Brook, K.M., Stephanus, Hendarko, Bahan dan Praktek Beton. Erlangga, 1981.
13. Mosley, W.H., Bungey, J.H., Madyayanti, Elly, Perencanaan Beton Bertulang. Erlangga, 1984.
14. Strulys, H.J., Van Der Veen, K.H.C.W., Soemargono, Jembatan. P.T. Pradnya Paramita, 1984.
15. Darmawan, Loa Wikarya, Konstruksi Baja 1. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, 1978.