

TIM BIM

SAMBUNGAN BAJA



TIM BIM

2021

SAMBUNGAN BAJA

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga telah terselesaikan Modul Sambungan Baja ini. Modul Sambungan Baja ini merupakan suatu produk nyata yang tim pembelajaran BIM kembangkan untuk mempermudah mahasiswa mempelajari materi sambungan baja. Modul ini membahas mengenai perhitungan struktur sambungan baja yang dilengkapi dengan kasus-kasus pembuka pembelajaran utama. Teori yang dikemukakan dalam modul ini mengacu pada metode dan peraturan struktur baja yang terbaru, yaitu SNI 1729:2020 yang diberlakukan di Indonesia.

Peraturan atau pedoman perencanaan struktur baja yang berlaku di Indonesia telah mengalami pembaharuan beberapa kali, mulai dari Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) 1983, Standar Nasional Indonesia (SNI) -03-1729:2002, SNI-03-1729:2015 hingga yang terakhir adalah SNI-03-1729:2020 tentang Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Peraturan-peraturan yang terdapat dalam SNI ini diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional Indonesia. Pembaharuan tersebut tentunya dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan dalam rangka mengimbangi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi global terutama yang berkaitan dengan material baja maupun konstruksi bangunan baja.

Tujuan penyusunan modul ini juga untuk menyebarluaskan informasi mengenai peraturan perencanaan struktur baja, terutama dalam sambungan baja terbaru yang berlaku di Indonesia. Pengaplikasian kasus dalam pembuka pembelajaran juga diharapkan dapat membuat pembelajaran lebih aktif, dinamis dan solutif.

Surakarta, November 2021

Penulis

Daftar Isi

SAMBUNGAN BAJA.....	i
KATA PENGANTAR	ii
Daftar Isi	iii
Daftar Gambar	v
Daftar Tabel	vii
BAB I.....	4
Pendahuluan.....	4
1.1. Fungsi sambungan baja.....	4
1.2. Tujuan Sambungan Baja	5
1.3. Syarat Penyambungan Baja	6
BAB II.....	10
Sambungan Paku Keling.....	10
2.1. Bagian Paku Keling	10
2.2. Jenis-Jenis Paku Keling Berdasarkan Bentuk	11
2.3. Cara Pemasangan Paku Keling	12
a. Pemasangan Keadaan Panas	12
b. Pemasangan Keadaan Dingin.....	13
BAB III	18
Sambungan Baut	18
3.1. Keuntungan Sambungan Baut.....	18
3.2. Kekurangan sambungan baut.....	19
3.3. Jenis Jenis Baut	19
3.3.1 Baut Hitam.....	19
3.3.2 Baut Pass.....	20
3.4. Persyaratan Pemasangan Baut	23
3.4.1. Spasi Minimum	23
3.4.2. Jarak Tepi Minimum.....	23
3.4.3. Spasi Maksimum Dan Jarak Tepi	25
3.5. Kekuatan Baut.....	25

3.5.1.	Kuat Geser	26
3.5.2.	Kuat tarik	30
3.5.3.	Kombinasi Geser Dan Tarik	34
3.5.4.	Kuat Tumpu	41
3.5.5.	Sambungan Dengan Gaya Geser Eksentris.....	46
a.	Analisis elastis (vektor).....	47
b.	Analisis plastis	50
BAB IV		58
Sambungan Las		58
4.1.	Keuntungan Dan Kerugian Sambungan Las (buku bu anis).....	58
4.2.	Kerugian Sambungan Las	59
4.3.	Metode-Metode Las	59
4.4.	Jenis Las.....	60
4.4.1.	Las Tumpul (Groove).....	60
a.	Batasan Las Tumpul	60
4.4.2.	Las Sudut (<i>Fillet</i>)	62
a.	Batasan Las Sudut.....	63
4.4.3.	Las Baji Dan Pasak (<i>Slot dan Plug</i>)	66
4.5.	Kekuatan Sambungan Las.....	66
4.5.1.	Kekuatan Desain Las	66
4.6.	Contoh Soal Kekuatan Sambungan Las	72
Daftar Pustaka.....		78

Daftar Gambar

Gambar 1.1 Berita Konstruksi Baja	1
Gambar 1.2 Konstruksi Portal Baja	4
Gambar 2.1 Sejarah Perkembangan Paku Keling	7
Gambar 2.2 Paku Keling dan Bagian Paku Keling	11
Gambar 2.3 Paku Keling Kepala Mengkulum/Utuh	11
Gambar 2.4 Paku Keling Kepala Setengah Terbenam	12
Gambar 2.5 Paku Keling Kepala Terbenam	12
Gambar 2.6 Cara Pemasangan Paku Keling Cara Dingin	13
Gambar 2.7 Pemasangan Paku Keling pada Jembatan	14
Gambar 3.1 Artikel Café	15
Gambar 3.2 Kerangka Bangunan Café	15
Gambar 3.3. Bagian-Bagian Baut Hitam	20
Gambar 3.4. Bagian-Bagian Baut Pass	23
Gambar 3.5. Notasi Jarak dan Spasi Baut	25
Gambar 3.6. Sambungan Geser pada Konstruksi Balok-Kolom	26
Gambar 3.7. Contoh Sambungan Baut pada Balok-Kolom	27
Gambar 3.8. Lokasi Sambungan Baut pada Balok-Kolom	29
Gambar 3.9. Contoh Sambungan Tarik pada Konstruksi Baja	31
Gambar 3.10. Lokasi Sambungan Tarik pada Konstruksi Baja	31
Gambar 3.11. Lokasi Sambungan Tarik pada Konstruksi Baja	33
Gambar 3.12. Contoh Sambungan Kombinasi Geser dan Tarik Konstruksi Baja	35
Gambar 3.13. Lokasi Sambungan Kombinasi Geser dan Tarik Konstruksi Baja	35
Gambar 3.14. Lokasi Sambungan Kombinasi Geser dan Tarik Konstruksi Baja	38
Gambar 3.15. Contoh Sambungan Tumpu	42

Gambar 3.16. Lokasi Sambungan Tumpu Konstruksi Baja.....	42
Gambar 3.17. Contoh Sambungan Geser Eksentris	45
Gambar 3.18 Kombinasi Momen dan Gaya Geser	45
Gambar 3.19. Sambungan Dengan Beban Momen.....	46
Gambar 3.20. sambungan yang Menahan Beban Momen dan Asumsi Gaya-Gaya yang Bekerja pada Sambungan	47
Gambar 3.21. Pusat Rotasi Sesaat.....	48
Gambar 3.22. Sambungan Tipe Eksentris.....	49
Gambar 4.1 Berita Jembatan Besi Tertua	52
Gambar 4.2 Las Groove/Las Tumpul.....	59
Gambar 4.3 Tebal Efektif Las Sudut Ukuran Kaki Sama.....	60
Gambar 4.4 Tebal Efektif Las Sudut Ukuran Kaki Berbeda	60
Gambar 4.5. Las Fillet/Las Sudut	62
Gambar 4.6 Tampak Atas dan Potongan dari Las Baji (kiri) dan Las Pasak (kanan)	63
Gambar 4.7 Penampang Las yang pada Perhitungan.....	69
Gambar 4.8 Penampang Las yang pada Perhitungan.....	71

Daftar Tabel

Tabel 3.1 Tabel Nilai Kekuatan Nominal Pengencang Baut	21
Tabel 3.2. Jarak Tepi Baut Dalam Inchi	23
Tabel 3.3 Jarak Tepi Minimum Baut dalam mm	24
Tabel 4.1 Tebal Efektif las Tumpul Penetrasi- <i>Joint</i> -Sebagian	57
Tabel 4.2 Tebal Efektif Minimum Las PJS.....	58
Tabel 4.3 Ukuran Minimum Las Sudut	61
Tabel 4.4 Kekuatan Tersedia Joint yang Dilas, Ksi (MPa).....	64

Bacalah Kasus Berikut Dengan Cermat :

https://industri.kontan.co.id/news/konstruksi-baja-di-proyek-infrastruktur-masih-minim-dibandingka

INSIGHT INVESTASI KEUANGAN INDUSTRI NASIONAL INTERNASIONAL PERSONAL FINANCE

INDUSTRI /

Konstruksi baja di proyek infrastruktur masih minim dibandingkan beton

Sabtu, 03 Maret 2018 / 12:30 WIB

f t w in r INDEKS BERITA



Sumber : <https://industri.kontan.co.id/> diakses pada 13 November 2021 pukul 18.06 WIB

Gambar 1.1 Berita Konstruksi Baja

Konstruksi Baja Di Proyek Infrastruktur Masih Minim Dibandingkan Beton

Jakarta, 3 Maret 2018. Selama kurun waktu 2017-2018 yang lalu, pemerintah Indonesia telah menerbitkan catatan mengenai kecelakaan konstruksi. Sudah terjadi 15 kasus kecelakaan konstruksi selama kurun waktu 2017-2018. Kecelakaan mayoritas terjadi pada pekerjaan infrastruktur nasional.

Kecelakaan yang terjadi didominasi oleh konstruksi proyek infrastruktur yang dibangun dengan konstruksi beton. Selain beton, kecelakaan konstruksi juga banyak yang terjadi pada pekerjaan konstruksi baja. Kecelakaan konstruksi baja terjadi pada proyek-proyek seperti jalan tol, dan juga rel kereta api. Mengutip pernyataan Sjafei Amri, Presiden Direktur PT Binanusa Pracetak & Rekayasa yang mengungkapkan bahwa, konstruksi yang menggunakan material beton maupun baja sama-sama memiliki kekuatan yang baik. Hanya saja, penggunaan baja lebih memiliki nilai tambah. "Kalau pakai baja, itu seluruh *engineer* dan pekerjanya pasti ahli di soal itu. Sedangkan kalau beton, bisa pakai pekerja kasar dari kampung," ujarnya kepada KONTAN, Jumat (2/3)..

Sementara Bapak Suwanto, Kepala Subdit Usaha Jasa Konstruksi, Direktorat Bina Kelembagaan dan Sumber Daya Jasa Konstruksi, Kementerian PU Pera mengatakan bahwa, pada proyek konstruksi di Indonesia penggunaan konstruksi baja cukup besar volumenya. Suwanto mencontohkan bahwa pada tahun 2017, penggunaan material baja di proyek konstruksi dan infrastruktur milik pemerintah mencapai 13,49 juta ton.

Sebagai seorang perencana konstruksi, perlu untuk bisa mengetahui bagaimana mengolah baja, terutama pada proses sambungan yang dilakukan. Hal ini dikarenakan kegagalan konstruksi baja sebagian besar terjadi pada sambungan baja. Maka dari itu, kita perlu mengetahui apa itu sambungan baja dan apa saja syarat dalam mengaplikasikan sambungan baja. Pada bab ini, kita akan belajar mengenai sambungan baja. Dari pembelajaran bab ini, kalian diharapkan mampu memahami pengetahuan tentang apa itu sambungan baja, fungsi, tujuan dan syarat sambungan baja.

Standar Kompetensi/CPMK : Mahasiswa melalui kerja sama kelompok mampu mendeskripsikan sambungan baja dan sambungan paku keling pada konstruksi sambungan baja sesuai dengan SNI 1729:2020 secara bertanggungjawab (kognitif level 2: memahami)

Kompetensi Dasar/Sub-CPMK/Kemampuan akhir tahap pembelajaran:

Mampu memahami pengetahuan tentang apa itu sambungan baja, fungsi, tujuan dan syarat sambungan baja.

Indikator

:

- Mengetahui apa itu sambungan baja
- Mengetahui fungsi sambungan baja
- Mengetahui tujuan penyambungan baja
- Mengetahui syarat penyambungan baja

BAB I

Pendahuluan

Pembangunan struktur baja, seperti jembatan dan struktur rangka portal, bangunan tersusun atas bagian-bagian batang baja yang kemudian perlu dirakit di lokasi pekerjaan. Untuk menjadikan bagian-bagian batang baja ini menjadi satu kesatuan, perlu adanya perakitan. Dalam merakit struktur baja tidak dapat dilakukan dengan sembarang cara. Perakitan sambungan perlu dilakukan dengan suatu sistem sambungan baja. Sistem sambungan baja umumnya digunakan 3 jenis sambungan; sambungan paku keling, sambungan baut dan sambungan las.



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 1.2 Konstruksi Portal Baja

1.1. Fungsi sambungan baja

Batang baja merupakan salah satu komponen utama yang digunakan dalam pembangunan konstruksi bangunan. Penyambungan batang baja memerlukan teknik tertentu untuk menggabungkan batang-batang baja menjadi satu kesatuan. Penggunaan alat sambung dan pemilihan cara menyambung baja adalah bagian penting dalam menyambung baja. Penggunaan sambungan baja memiliki fungsi antara lain :

- a. Menggabungkan profil-profil baja menjadi batang, kolom, balok, dan bagian konstruksi lainnya.

- b. Menggabungkan bagian-bagian konstruksi menjadi satu kesatuan bangunan.

Untuk merencanakan sambungan baja, terdapat tiga komponen utama penyusun sambungan, diantaranya :

- a. Batang yang disambung
- b. Alat sambung
- c. Lempeng penyambung

Tiga hal di atas memiliki peran penting dalam penyambungan baja. Hal ini berkaitan dengan penyaluran gaya yang akan terjadi. Perlunya kehati-hatian dalam menyambung bagian struktur baja ini bertujuan menghindari kegagalan sambungan. Apabila sambungan yang direncanakan gagal, akan berakibat buruk pada konstruksi keseluruhan.

1.2. Tujuan Sambungan Baja

Sambungan baja memiliki tujuan sebagai berikut :

- a. Menyatukan batang baja. Pada sambungan kolom dan sambungan sistem rangka, tujuan sambungan digunakan untuk menyatukan batang baja menjadi kesatuan konstruksi secara utuh.
- b. Mencukupi kebutuhan. Apabila terdapat batang baja yang tidak mencukupi kebutuhan, batang dapat disambung menggunakan sambungan baja. Dengan sambungan baja, akan didapatkan ukuran baja yang sesuai kebutuhan pembuatan konstruksi.
- c. Sebagai alat bantu penyetelan konstruksi baja pada saat di lokasi pemasangan.
- d. Memudahkan pergantian. Apabila terjadi kerusakan, sambungan baja digunakan untuk memudahkan pergantian.
- e. Sebagai tempat cadangan muai-susut. Pada celah kecil sambungan, dapat digunakan sebagai tempat cadangan muai-susut baja akibat perubahan suhu.

1.3. Syarat Penyambungan Baja

Dalam pelaksanaan penyambungan baja perlu untuk dilakukan dengan memenuhi syarat- syarat sebagai berikut:

- a. Ekonomis, kuat dan aman. Dalam struktur bangunan, bangunan dinyatakan aman adalah bangunan yang dapat berdiri stabil. Stabil disini adalah mampu menahan gaya yang datang, baik dari dalam struktur maupun dari luar struktur.
- b. Pembuatan sambungan dilakukan serapi mungkin agar terlihat estetik. Estetik yang dimaksud disini adalah nyaman ketika dipandang mata.
- c. Tidak menyulitkan pekerja dalam pembuatan maupun penyambungannya.
- d. Direncanakan dalam satu alat sambung dalam satu bagian sambungan. Hal ini bertujuan untuk membuat sambungan dengan kekakuan yang sama.

Teknologi Pertama Sambungan Baja



Sumber : <https://www.yukerivet.com/> diakses pada 13 November 2021 pukul 18.45 WIB

Gambar 2.1 Sejarah Perkembangan Paku Keling

Sebelum tahun 1850, perencanaan struktur umumnya merupakan seni yang tergantung pada intuisi dalam menentukan ukuran dan tata letak elemen-elemen struktur. Struktur yang dibuat manusia zaman dahulu hakekatnya selaras dengan yang dilihat dari alam sekitarnya. Perkembangan zaman yang terjadi, membuat manusia dapat memanfaatkan sumber daya yang sudah disediakan oleh alam, termasuk adanya logam lunak. Bahkan pada masa sebelum 1850 tersebut, manusia diperkirakan sudah bisa mengolah logam lunak untuk penggunaan konstruksi.

Penggunaan logam lunak sudah dikenal manusia sejak zaman perunggu. Pada zaman perunggu diketahui bahwa orang Mesir memasang enam badan kipas kayu di luar roda berlubang dengan paku keling dan orang Yunani berhasil melemparkan patung-patung besar dengan perunggu, dan kemudian menyatukan bagian-bagiannya. Pada tahun 1960 an teknologi paku keling sudah digunakan pada sebuah jembatan gantung di California, San Fransisco yang bernama “Golden Gate”. Jembatan Golden Gate sudah berdiri sejak 1937 masih kokoh hingga sekarang. Selain itu, ada jembatan Bantar yang berlokasi di Sungai Progo Daerah Istimewa Yogyakarta juga mengaplikasikan paku keling sebagai alat sambungannya.

Di masa sekarang, sayangnya penggunaan paku keling sudah tergeser dengan penggunaan baut serta las. Baut dan las dianggap lebih mudah dikerjakan dibanding paku keeling. Sebagai seorang perencana konstruksi, kita tetap perlu mengetahui

mengenai sambungan paku keling yang digunakan untuk pekerjaan konstruksi. Hal ini berguna untuk dapat memahami dan mampu menguraikan proses pemasangan sambungan menggunakan paku keling. Maka dari itu, kita perlu belajar mengenai sambungan paku keeling pada bab ini.

Standar Kompetensi/CPMK : Mahasiswa melalui kerja sama kelompok mampu mendeskripsikan sambungan baja dan sambungan paku keling pada konstruksi sambungan baja sesuai dengan SNI 1729:2020 secara bertanggungjawab (kognitif level 2: memahami)

Kompetensi Dasar/Sub-CPMK/Kemampuan akhir tahap pembelajaran:

Mampu memahami pengetahuan dan mampu menguraikan proses pemasangan sambungan menggunakan paku keling berdasarkan referensi sambungan paku keling sebagai salah satu jenis sambungan pada konstruksi baja (C2)

Indikator

:

- Mengetahui pengertian sambungan paku keling
- Menguraikan bagian-bagian paku keling
- Menguraikan jenis-jenis paku keling
- Menguraikan proses pemasangan paku keling

BAB II

Sambungan Paku Keling

Paku keling adalah sebuah alat sambung yang bahan baku pembuatannya adalah baja, brass, alumunium atau tembaga. Pengaplikasian paku keling adalah dengan dipanaskan hingga suhu tertentu yang kemudian dipukul hingga membentuk tonjolan di bagian bawah paku. Pada era 1960-an penggunaan paku keling (rivet) adalah sambungan yang sangat umum digunakan oleh seorang perancang konstruksi. Menurut Nuramsi, S.T dalam bukunya Modul Guru Pembelajar Paket Keahlian Konstruksi Baja (2015), alasan digunakannya paku keling atau rivet pada jaman tersebut sebagai alat sambung karena kekuatannya yang sangat baik. Contoh konkritnya adalah sebuah jembatan gantung di California, San Fransisco, “Golden Gate”, yang sudah berdiri sejak 1937 masih kokoh hingga sekarang. Selain itu, ada jembatan Bantar yang berlokasi di Sungai Progo Daerah Istimewa Yogyakarta juga mengaplikasikan paku keling sebagai alat sambungannya.

Alat sambung paku keling menjadi primadona sebelum teknologi banyak berkembang. Namun seiring berkembangnya jaman, bermunculan alat sambung lain seperti las dan baut kekuatan tinggi. Kemunculan teknologi pengganti sambungan paku keling ini didasari karena alasan ekonomis dan efisiensi sambungan. Sambungan paku keling dikatakan tidak ekonomis dan efisien dikarenakan pengaplikasian paku keling yang tidak mudah dan biaya yang mahal dibanding baut dan las.

2.1. Bagian Paku Keling

Paku keling memiliki bagian-bagian sebagai berikut :

- a. Kepala paku keling
- b. Badan paku keling
- c. Ekor paku keling
- d. Kepala lepas



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 2.2 Paku Keling dan Bagian Paku Keling

2.2. Jenis-Jenis Paku Keling Berdasarkan Bentuk

Jenis-jenis paku berdasar bentuknya terbagi atas berikut ini :

- a. Paku keling kepala mengkulum/ utuh adalah jenis paku keling yang memiliki kepala cembung di bagian atas dan rata di bagian pangkalnya.



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 2.3 Paku Keling Kepala Mengkulum/Utuh

- b. Paku keling kepala setengah terbenam adalah jenis paku keling yang memiliki kepala cembung bagian atasnya dan pangkal yang mengerucut terpancung di bagian bawahnya.



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 2.4 Paku Keling Kepala Setengah Terbenam

- c. Paku keling kepala terbenam adalah paku keling yang memiliki kepala berbentuk datar di atasnya dan membentuk kerucut terpancung di bagian bawahnya.



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 2.5 Paku Keling Kepala Terbenam

2.3. Cara Pemasangan Paku Keling

Ada dua cara pemasangan paku keling, diantaranya :

a. Pemasangan Keadaan Panas

Caranya adalah dengan :

- 1) Membuat lubang pada bagian yang akan disambung

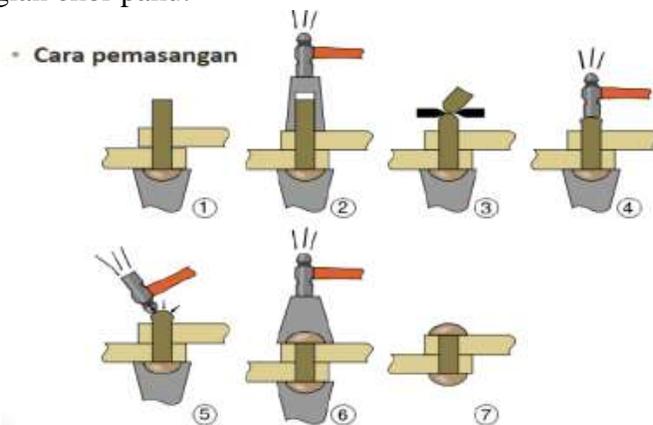
- 2) Memanaskan paku keling hingga mencapai titik 980 derajat celsius. Pada keadaan panas ini, paku keling akan terlihat berwarna merah atau orange.
- 3) Memasang paku keling pada lubang yang sudah dibuat.
- 4) Menekan kepala paku keling sambil mendesak ujung paku keling. Pada tahap ini, bagian paku yang terdesak akan mengisi celah lubang sambungan. Inilah alasan mengapa paku keling lebih kuat, karena gaya jepit yang diakibatkan tekanan yang kemudian mengisi celah sambungan.
- 5) Mendinginkan sambungan paku keling.

Pada pemasangan paku keling cara panas ini menghasilkan gaya jepit yang kuat sehingga sambungan tidak akan mengalami slip. Namun perlu diperhatikan, besarnya gaya jepit berbeda antara paku keling satu dan yang lain, dikarenakan tekanan yang mungkin berbeda. Hal ini menyebabkan paku keling tidak dapat diperhitungkan kekuatannya.

b. Pemasangan Keadaan Dingin.

Pemasangan paku keling dalam keadaan dingin adalah dengan cara berikut :

- 1) Membuat lubang pada bagian yang ingin disambung.
- 2) Memasukkan paku kedalam lubang
- 3) Menekan kepala paku dengan mesin press atau bisa dengan tang rivet.
- 4) Memotong bagian ekor paku.



Sumber : Nursamsi, 2016

Gambar 2.6 Cara Pemasangan Paku Keling Cara Dingin



Sumber : <https://i2.wp.com/teknikece.com/> diakses pada 20 November 2021 pukul 13.23

Gambar 2.7 Pemasangan Paku Keling pada Jembatan

Cafe Kekinian Hadirkan Gaya Industrial



Sumber : <https://www.trenasia.com/> diakses pada 16 November 2021 pukul 07.38 WIB.

Gambar 3.1 Artikel Café



Sumber : <https://i1.wp.com/dekoruma.blog/> diakses pada 16 November 2021 pukul 06.58 WIB

Gambar 3.2 Kerangka Bangunan Café

Desain interior berkonsep industrial tengah digandrungi pengusaha cafe. Hal ini dapat dilihat dari bermunculannya sejumlah cafe yang mengusung konsep industrialis. Gaya

arsitektur industrial awalnya merambah desain interior Eropa, sebab terdapat banyak bangunan bekas pabrik yang tidak lagi digunakan. Agar tidak terbengkalai, maka dilakukan penyesuaian dan renovasi sehingga gedung tersebut dapat digunakan kembali.

Penyesuaian yang dilakukan dalam merenovasi sengaja tidak menghilangkan karakter asli bangunan. Hal ini lah yang menginspirasi munculnya desain interior berkonsep industrial. Desain interior industrial memiliki ciri khas unik dengan memberikan kesan pada suatu ruangan yang unfinished, atau membiarkan segala sesuatunya hadir dan tampak belum selesai.

Gaya industrial biasanya menggunakan warna-warna monokromatik dan terkesan maskulin. Beberapa material yang digunakan cenderung kasar seperti logam dan baja yang sengaja dipamerkan untuk menunjukkan karakternya. Selain itu, elemen yang sering hadir dalam desain ini cenderung menggunakan bahan-bahan daur ulang seperti kaca, besi, dan alumunium. Bahan industri tersebut diolah sedemikian rupa sehingga bisa dijadikan elemen interior yang menarik.

Penggunaan konstruksi baja untuk pembangunan hunian maupun café ini membuat Pak Karsa ingin menjadikan konstruksi baja salah satu bidang usahanya. Usaha yang Pak Karsa rencanakan adalah jasa perencanaan konstruksi baja. Namun, Pak Karsa belum menemukan ahli struktur baja.

Sebagai seorang perencana konstruksi, kita perlu mempelajari mengenai konstruksi baja, terutama sambungan baja untuk dapat merencanakan konstruksi baja, sehingga mampu menjadi seorang perencana baja seperti yang Pak Karsa butuhkan. Untuk itu, pada bab ini kita akan mempelajari mengenai sambungan baut sebagai alat sambung konstruksi baja, agar dapat menghitung perencanaan konstruksi baja yang baik dan benar.

Standar Kompetensi/CPMK : Mahasiswa mampu merencanakan perhitungan sambungan baut pada konstruksi sambungan baja sesuai dengan **SNI** 1729:2020 secara bertanggungjawab (kognitif level 4: menganalisis)

Kompetensi Dasar/Sub-CPMK/Kemampuan akhir tahap pembelajaran:

Mampu menghitung kuat geser, kuat tarik, kuat tumpu, kombinasi geser dan tarik dan sambungan dengan gaya geser eksentris pada sambungan baut berdasarkan **SNI** 1729:2020

Indikator :

- Memahami keuntungan dan kerugian sambungan baut
- Menguraikan mutu baut
- Menghitung kuat geser baut
- Menghitung kuat tarik baut
- Menghitung kuat tumpu baut
- Menghitung kombinasi geser dan tarik
- Menghitung sambungan dengan gaya geser eksentris
- Mengetahui persyaratan pemasangan baut

BAB III

Sambungan Baut

Alat pengencang digunakan sebagai bagian dalam penyambung dari struktur baja. Alat pengencang yang umum digunakan dalam konstruksi sehari-hari adalah baut. Baut merupakan sebuah alat sambung yang memiliki bagian kepala, yang biasanya berpenampang segi enam, dan badan silinder berulir dimana ukuran badan ulir lebih kecil dari kepala. Baut yang umum digunakan pada konstruksi baja adalah tipe baut mutu tinggi. Penggunaan baut ini karena pemasangannya yang relatif mudah, sehingga dapat menggeser penggunaan paku keling sebagai alat pengencang.

Alat pengencang berupa baut memiliki beberapa tipe. Untuk tipe baut mutu tinggi terdapat baut dengan spesifikasi standar ASTM adalah tipe A325 dan A490. Baut ini memiliki keunggulan dengan bahannya yang masing-masing terbuat dari baja karbon untuk A325 dan baja alloy (A490). Selain itu juga terdapat baut mutu normal yaitu A307 yang terbuat dari baja dengan karbon yang lebih rendah.

3.1. Keuntungan Sambungan Baut

Penggunaan sambungan baut dalam penyambungan baja memiliki beberapa keuntungan, diantaranya sebagai berikut :

- a. Penggunaan baut dalam penyambungan konstruksi baja di lapangan relatif lebih mudah.
- b. Pemasangan baut lebih mudah untuk disetting ulang bila terjadi kesalahan. Hal ini disebabkan karena pemasangan baut yang menggunakan mur, sehingga pelepasan hanya perlu melonggarkan dan melepas mur tanpa merusak konstruksi keseluruhan.
- c. Pemasangan baut dapat direncanakan untuk penyambungan 4 kali lebih besar dari diameter baut. Jumlah ini lebih banyak daripada penggunaan paku keling yang hanya sebatas 4 diameternya saja untuk ketebalan maksimum pelat.
- d. Konstruksi seberat konstruksi jembatan dapat disambung menggunakan baut jenis pas. Baut pas sendiri adalah salah satu jenis baut mutu tinggi.

3.2. Kekurangan sambungan baut

Baut memiliki kelebihan yang dapat diunggulkan dari sambungan paku keling maupun las. Namun dibalik kelebihannya, baut memiliki kekurangan. Kekurangan baut dapat menjadi potensi resiko dari pemasangan baut dalam sambungan baja. Kekurangan baut dalam sambungan baja diantaranya :

- a. Ukuran lubang baut yang tidak presisi membuat baut tidak dapat membuat sambungan terpasang sempurna.
- b. Lubang yang ada pada baut membuat reduksi pada kekuatan batang baja.
- c. Adanya celah dan lubang baut membuat baut perlu dilakukan pengecekan berkala. Hal ini dikarenakan celah baut berpotensi longgar karena beban yang dinamis dari waktu ke waktu.
- d. Prosedur pemasangan dari satu buah baut yang tidak sempurna, mempengaruhi kekuatan baut keseluruhan.
- e. Dikarenakan dipasangnya baut dan mur pada batang baja, membuat bertambahnya beban konstruksi batang baja.

3.3. Jenis Jenis Baut

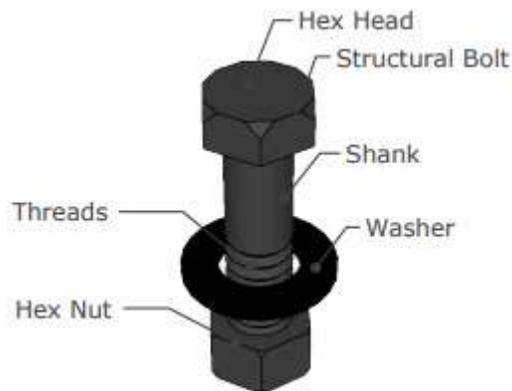
3.3.1 Baut Hitam

Baut hitam adalah tipe baut yang digunakan pada konstruksi ringan hingga sedang seperti konstruksi gedung. Baut ini terbuat dari bahan baja lunak (St-34) dengan ukuran kelonggaran 1 mm antara diameter lubang sambungan dan diameter batang baut. Baut ini tergolong baut mutu normal dimana berspesifikasi ASTM A307 dan terbuat dari baja karbon mutu rendah.

Baut hitam memiliki spesifikasi ASTM A307 yang membuat baut ini tergolong baut normal. Baut normal ini biasa digunakan pada konstruksi ringan dengan beban statis seperti kuda-kuda kayu, gording kayu, rangka batang dan rusuk dinding.

Pada baut hitam terdiri dari bagian-bagian baut sebagai berikut :

1. Kepala baut (*hex head*), bagian penampang atas baut yang umumnya berbentuk segi enam, segi empat maupun lingkaran yang terletak pada bagian atas sambungan baut
2. Badan/batang baut (*shank*), adalah bagian silinder utama baut yang tidak terdapat ulir.
3. Ulir (*threads*) adalah bagian badan baut yang memiliki alur spiral tempat dipasangnya mur.
4. Ring (*washer*) merupakan bagian pelengkap baut yang berupa pelat tipis berlubang yang fungsinya adalah untuk menyalurkan beban pengikat berulir seperti mur yang ada pada baut.
5. Mur (*hex nut*) adalah pengikat baut berbentuk penampang segi enam berlubang tengahnya dan memiliki ulir didalamnya.



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.3. Bagian-Bagian Baut Hitam

3.3.2 Baut Pass

Baut pass merupakan baut yang kegunaannya untuk penyambung konstruksi berat. Baja ini termasuk kedalam baut mutu tinggi dengan St lebih dari 420. Baut ini diambung dengan kelonggaran lubang pelat sambungan dan diameter baut yang kecil,

kurang dari 0,1 mm. baut ini biasa digunakan dalam penyambung konstruksi seperti jembatan yang juga berfungsi sebagai jalan raya.

Menurut SNI 1729:2020, baut dalam standarnya dibagi menjadi 3 golongan, diantaranya :

- a. Golongan A yaitu meliputi ASTM F3125/ F3125M dengan grade A325, A325M, F1852 dan ASTM354 grade BC
- b. Golongan B yaitu meliputi ASTM F3125/ F3125M dengan grade A490, A490M, F2280 dan ASTM354 grade BD
- c. Golongan C yaitu meliputi ASTM F3043 dan F3111

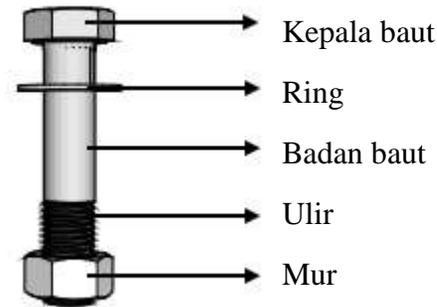
Dari ketiga golongan baut tersebut, masing-masing memiliki kekuatan nominal pengencang berbeda. Berikut nilai kekuatan nominal pengencang baut menurut SNI 1729-2020 dalam satuan MPa :

Tabel 3.1 Tabel Nilai Kekuatan Nominal Pengencang Baut

Doiskripsi Pengencang	Kekuatan Tarik Nominal F_{nt} , ksi (MPa) ^[a]	Kekuatan Geser Nominal pada Sambungan Tipe Tumpu F_{nv} , ksi (MPa) ^[b]
Baut A307	45 (310) ^[c]	27 (186) ^{[c][d]}
Baut kelompok A (misal, A325), apabila ulir ada di bidang geser	90 (620)	54 (372)
Baut kelompok A (misal, A325), apabila ulir ada di luar bidang geser	90 (620)	68 (469)
Baut kelompok B (misal, A490), apabila ulir ada di bidang geser	113 (780)	68 (469)
Baut kelompok B (misal, A490),	113 (780)	84 (579)

apabila ulir ada di luar bidang geser		
Rakitan baut kelompok C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi batang baut ada di bidang geser	150 (1040)	90 (620)
Rakitan baut kelompok C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi batang baut ada di luar bidang geser	150 (1040)	113 (779)
Bagian berulir yang memiliki prasyarat Pasal A3.4, apabila terdapat ulir di bidang geser	$0,75 F_u$	$0,450 F_u$
Bagian berulir yang memiliki prasyarat Pasal A3.4, apabila terdapat ulir di luar bidang geser	$0,75 F_u$	$0,563 F_u$
<p>[a] untuk baut kekuatan tinggi yang memikul beban fatik tarik, lihat Lampiran 3</p> <p>[b] untuk ujung sambungan yang dibebani dengan panjang pola pengencang lebih besar dari 38 in. (950 mm), F_{nv} harus direduksi sampai 83,3 % dari nilai pada tabel. Panjang pola pengencangan merupakan jarak maksimum sejajar dengan garis gaya antara sumbu baut yang menyambungkan dua bagian dengan satu permukaan <i>faying</i></p> <p>[c] untuk baut A307, nilai yang ditabulasikan harus direduksi sebesar 1% untuk setiap 1/16 in. (2 mm) diatas 5d dari panjang pada pegangan tersebut.</p> <p>[d] ulir diperbolehkan pada bidang geser</p>		

Sumber : SNI 1729:2020 (Tabel J3.2) Badan Standarisasi Nasional



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.4. Bagian-Bagian Baut Pass

3.4. Persyaratan Pemasangan Baut

3.4.1. Spasi Minimum

Spasi minimum adalah jarak antar as lubang baut. spasi minimum biasa dinotasikan dengan huruf s. spasi minimum baut ini bernilai $s \geq 2,67 d$. namun, direkomendasikan memakai nilai $s \approx 3d$. sedangkan jarak bersih antarbaut adalah $s \geq d$. dengan d adalah diameter baut.

3.4.2. Jarak Tepi Minimum

Pada SNI 1729:2020 mensyaratkan bahwa jarak tepi minimum baut tidak boleh kurang dari nilai ditabel berikut ini :

Tabel 3.2. Jarak Tepi Baut Dalam Inchi

Diameter Baut	Jarak Tepi Minimum
1/2	3/4
5/8	7/8
3/4	1
7/8	1 1/8
1	1 1/4
1 1/8	1 1/2
1 1/4	1 5/8
Diatas 1 1/4	1 1/4 d

[a] jika diperlukan, jarak tepi terkecil diperbolehkan asalkan ketentuan yang sesuai dari Pasal J3.10 dan J4 dipenuhi. Tetapi jarak tepi yang kurang dari satu diameter baut tidak diperbolehkan tanpa persetujuan dari penanggungjawab perancangan.

[b] untuk lubang ukuran berlebih atau lubang slot, lihat tabel J3.5

Sumber : SNI 1729:2020 (Tabel J3.4), Badan Standarisasi Nasional

Tabel 3.3 Jarak Tepi Minimum Baut dalam mm

Diameter Baut	Jarak Tepi Minimum
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	46
Di atas 36	1,25d

[a] jika diperlukan, jarak tepi terkecil diperbolehkan asalkan ketentuan yang sesuai dari Pasal J3.10 dan J4 dipenuhi. Tetapi jarak tepi yang kurang dari satu diameter baut tidak diperbolehkan tanpa persetujuan dari penanggungjawab perancangan.

[b] untuk lubang ukuran berlebih atau lubang slot, lihat tabel J3.5

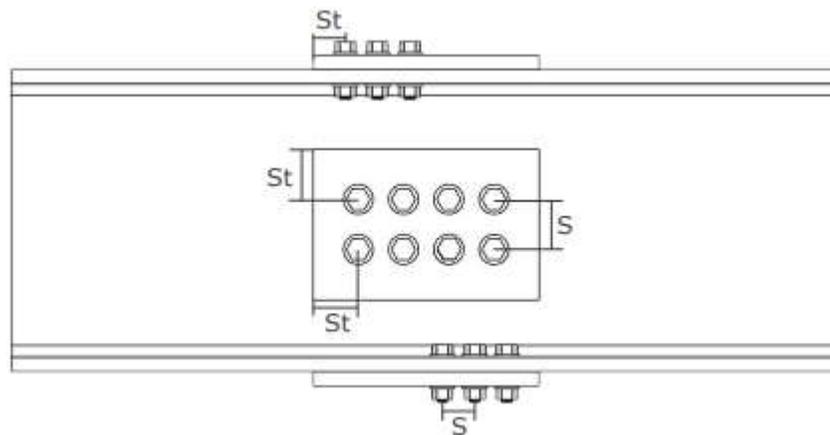
Sumber : SNI 1729:2020 (Tabel J3.5), Badan Standarisasi Nasional

3.4.3. Spasi Maksimum Dan Jarak Tepi

Nilai dari jarak maksimum dari as baut ke tepi sambungan $s = 12$ tebal pelat yang disambung (t). Untuk batas dari nilai jarak maksimum as baut ke tepi harus senilai ≤ 150 mm (6 inchi).

Pada kondisi yang berhubungan dengan korosi, digunakan ketentuan :

- pada komponen struktur yang dicat maupun tidak dilakukan pengecatan yang tidak mengalami korosi, $s \leq 24$ tebal pelat tertipis atau 300 mm (12 inchi)
- pada komponen struktur yang tidak dilakukan pengecatan, berhubungan dengan cuaca dan mengalami korosi, $s \leq 14$ tebal pelat tertipis atau 180 mm (7 inchi)



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.5. Notasi Jarak dan Spasi Baut

3.5. Kekuatan Baut

Ketentuan suatu baut dapat memikul gaya terfaktor berdasar SNI 1729:2020 adalah sebagai berikut :

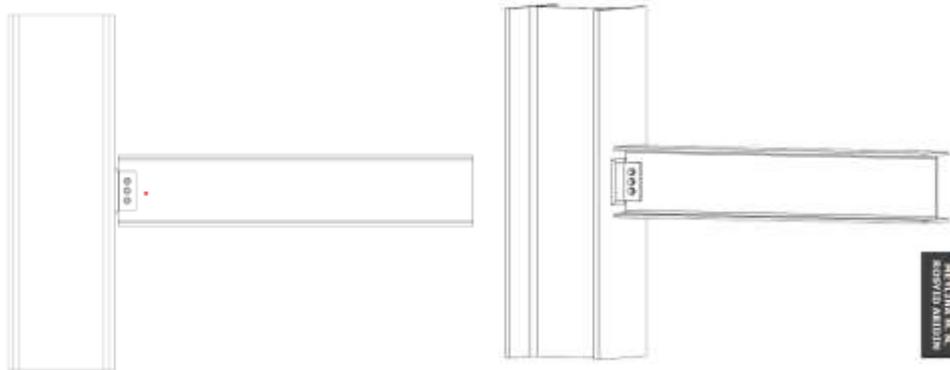
$$R_u \leq \phi R_n \quad (3.1)$$

Dengan : R_u : gaya terfaktor yang terjadi pada baut (N)

ϕ : faktor ketahanan baut, berbeda di setiap kasus

R_n : kekuatan nominal baut (N)

Ada beberapa jenis kekuatan baut yang digolongkan menurut SNI 1729:2020. Berikut beberapa kekuatan baut menurut SNI 1729:2020:



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.6. Sambungan Geser pada Konstruksi Balok-Kolom

3.5.1. Kuat Geser

Berikut perhitungan gaya geser yang dipikul oleh satu buah baut :

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b$$

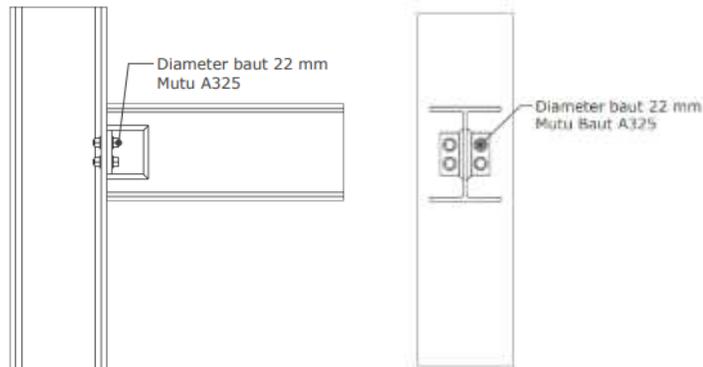
Dengan : R_n = kekuatan nominal baut (N)

F_{nv} = tegangan geser nominal baut (MPa)

A_b = luas bruto penampang baut (mm^2)

ϕ = faktor ketahanan baut, besarnya 0,75

CONTOH 3.1



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.7. Contoh Sambungan Baut pada Balok-Kolom

Pak Eko, selaku pengembang gedung kuliah salah satu universitas swasta di Serang, membutuhkan penambahan sarana berupa gedung workshop. Gedung workshop rencananya dibangun menggunakan struktur baja. Perencana mengajukan rencana sambungan baut berjumlah 4 baut dengan mutu sebagai berikut :

- a. A325 tanpa ulir di bidang geser
- b. Mutu baut A325
- c. Tanpa ulir di bidang geser
- d. Diameter baut 22 mm
- e. Beban mati 30 kN
- f. Beban hidup 220 kN
- g. Baut tersebut memiliki diameter 22 mm.

Untuk memeriksa kekuatan, Pak Eko meminta perencana menganalisis kekuatan dari baut. Bantulah perencana tersebut menganalisis keamanan kekuatan geser dari satu buah baut bila diketahui nilai beban mati 30 kN dan beban hidup 220 kN.

Jawab :

Diketahui :

A325 tanpa ulir di bidang geser

Mutu baut A325

Tanpa ulir di bidang geser

Diameter baut 22 mm

Beban mati 30 kN

Beban hidup 220 kN

Ditanya : keamanan kuat geser

1. Hitung beban ultimit sambungan total

$$\begin{aligned} R_u &= (1,2 \cdot 30) + (1,6 \cdot 220) \\ &= 36 + 352 = 388 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Hitung beban ultimit sambungan per baut

$$R_u/n = 388/4 = 97 \text{ kN}$$

3. Hitung kekuatan geser per baut

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (22^2) \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 484 = 380,2857 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

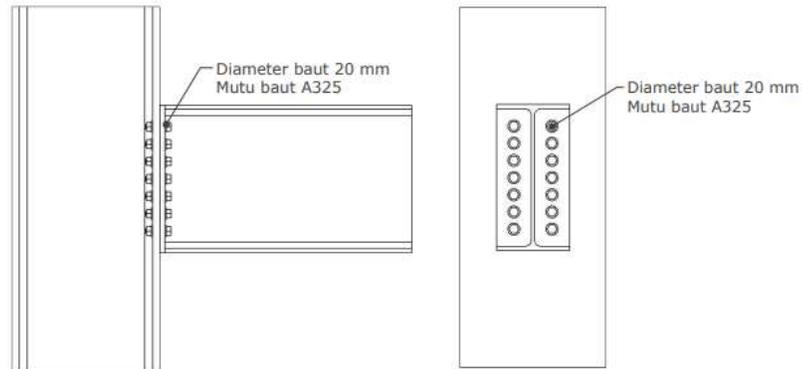
Periksa nilai F_{nv} baut di tabel kuat nominal pengencang baut. Didapat nilai 469 MPa, maka didapat nilai ϕR_n :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 469 \cdot 380,2857 \\ &= 133765,5 \text{ N} = 133,7655 \text{ kN} \end{aligned}$$

4. Kesimpulan

$$\phi R_n (133,7655 \text{ kN}) > R_u (97 \text{ kN}) \quad \rightarrow \quad \text{aman}$$

CONTOH 3.2



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.8. Lokasi Sambungan Baut pada Balok-Kolom

Rumah Sakit Daerah Surakarta berencana membangun satu buah gudang peralatan di kompleks lingkungan rumah sakit. Gudang direncanakan menggunakan konstruksi baja dengan alat sambung baut. Baut yang digunakan adalah baut A325 dengan ulir di bidang geser. Baut menggunakan ukuran diameter 20 mm. Pada sambungan salah satu kolom dan balok bekerja beban sejumlah 73 ton dengan pembagian 20% beban mati dan 80% beban hidup. Jika anda diminta merencanakan kebutuhan baut, berapa jumlah baut yang diperlukan dalam konstruksi sambungan baja tipe geser tersebut.

Jawab :

Diketahui : mutu baut A325
 Dengan ulir di bidang geser
 Diameter baut 20 mm
 Beban mati 20%
 Beban hidup 80%
 Beban yang bekerja 73 ton = 730 kN

Ditanya : keamanan kuat geser

1. Hitung beban ultimit sambungan total

$$\begin{aligned} R_u &= 1,2 \cdot (20\%) \cdot (730) + 1,6 \cdot (80\%) \cdot (730) \\ &= 1,2 \cdot 146 + 1,6 \cdot 584 = 1109,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Hitung kekuatan geser per baut

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (20^2) \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 400 = 314,2857143 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Periksa nilai F_{nv} baut di tabel kuat nominal pengencang baut. Didapat nilai 372 MPa, maka didapat nilai ϕR_n :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 372 \cdot 314,2857143 \\ &= 87685,71429 \text{ N} = 87,68571429 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Hitung jumlah baut yang digunakan

$$\begin{aligned} R_u / \phi R_n &= 1109,6 / 87,68571429 \\ &= 12,6593781 \text{ baut} \gg 14 \text{ baut (karena dijadikan 2 baris)} \end{aligned}$$

4. Kesimpulan

Jadi, untuk menahan beban pada sambungan disamping, diperlukan jumlah baut 14 dengan spesifikasi seperti yang sudah disebutkan diatas.

3.5.2. Kuat tarik

Berikut perhitungan gaya geser yang dipikul oleh satu buah baut sesuai dengan SNI 1729:2020 :

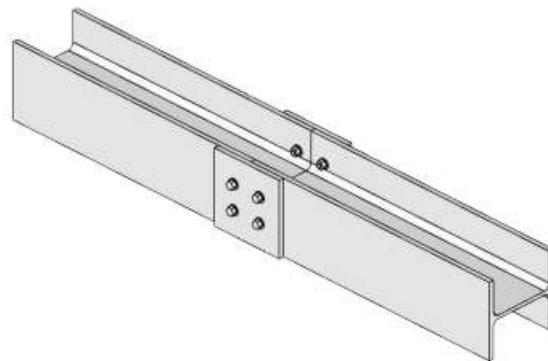
$$R_n = F_{nt} \cdot A_b$$

Dengan : R_n = kekuatan nominal baut (N)

F_{nt} = tegangan tarik nominal baut (MPa)

A_b = luas bruto penampang baut (mm^2)

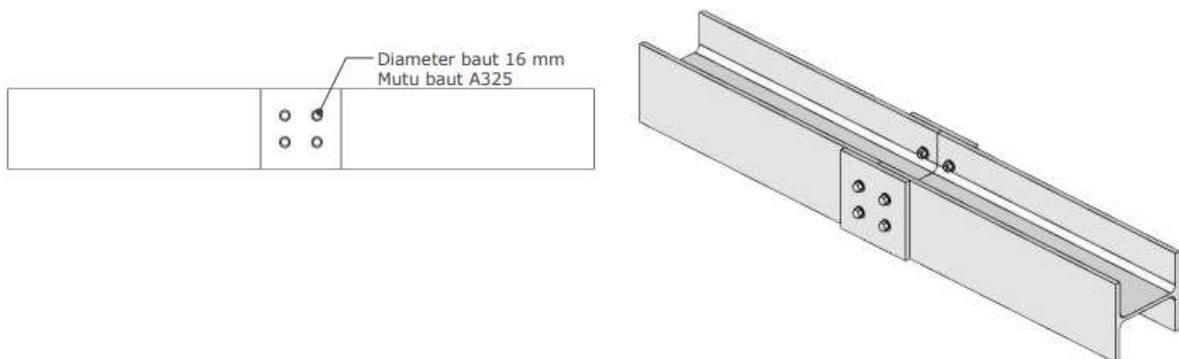
ϕ = faktor ketahanan baut, besarnya 0,75



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.9. Contoh Sambungan Tarik pada Konstruksi Baja

CONTOH 3.3



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.10. Lokasi Sambungan Tarik pada Konstruksi Baja

Sebuah perpustakaan kota membangun tempat parkir baru untuk menampung kendaraan pengunjung. Perpustakaan akan dibangun menggunakan konstruksi baja. Baja yang digunakan menggunakan sambungan baut. Bentang yang direncanakan adalah 10 meter, sedangkan bahan hanya mencukupi sepanjang 6 meter sehingga perlu disambung. Sambungan direncanakan diketahui menggunakan baut mutu A325 ulir di bidang geser yang berjumlah 8 buah. Diameter baut direncanakan berukuran 16 mm.

Besar beban yang dipikul adalah 96 kN dengan 10% adalah beban mati dan 90% adalah beban hidup. Apabila anda adalah seorang perencana yang menangani proyek tersebut, analisislah kekuatan tarik baut serta cek keamanan baut tersebut pada kuat tariknya.

Jawab :

Diketahui : mutu baut A325

Dengan ulir di bidang geser maka $F_{nt} = 620$

Diameter baut 16 mm

Beban mati 10%

Beban hidup 90%

Beban yang bekerja 96 kN

Ditanya : keamanan kuat tarik

1. Hitung beban ultimit sambungan total

$$\begin{aligned} R_u &= 1,2 \cdot (10\%) \cdot (96) + 1,6 \cdot (90\%) \cdot (96) \\ &= 1,2 \cdot 9,6 + 1,6 \cdot 86,4 = 149,760 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Hitung beban ultimit sambungan per baut

$$R_u/n = 149,760/8 = 18,72 \text{ kN/ baut}$$

3. Hitung kekuatan tarik per baut

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16^2) \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 256 = 201,1429 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

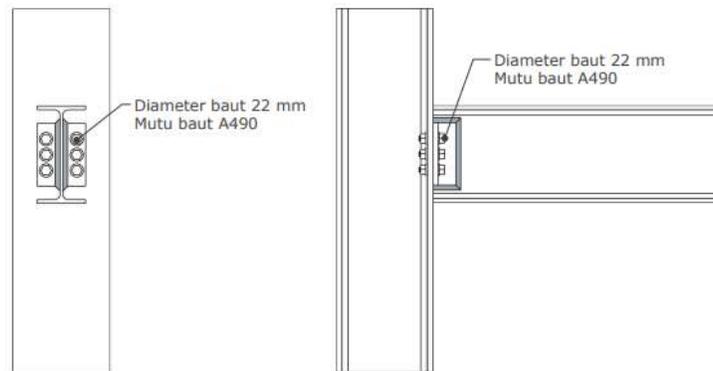
Periksa nilai F_{nt} baut di tabel kuat nominal pengencang baut. Didapat nilai 620 MPa, maka didapat nilai ϕR_n :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 620 \cdot 201,1429 \\ &= 93531,43 \text{ N} = 93,53143 \text{ kN} \end{aligned}$$

4. Kesimpulan

$$\phi R_n (93,53143 \text{ kN}) > R_u (18,720 \text{ kN}) \quad \rightarrow \quad \text{aman}$$

CONTOH 3.4



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.11. Lokasi Sambungan Tarik pada Konstruksi Baja

Bapak Rendi pemilik peternakan sapi sedang membuat kandang sapi untuk sapi barunya. Kandang tersebut direncanakan dibangun menggunakan konstruksi baja. Pada bagian sambungan kolom-balok bagian buhulnya direncanakan menggunakan sambungan baut dimana mutu baut diketahui A490 dengan diameter 22 mm ulir diluar bidang geser. Terdapat kendala saat perencanaan kandang tersebut dilalukan, perencana bangunan yang menangani proyek tersebut baru saja resign. Bantu pak Randi untuk menghitung jumlah kebutuhan baut pada sambungan yang ditinjau dari kuat tarik baut, bila diketahui beban yang bekerja adalah 60 ton terbagi atas 20% beban mati dan 80% beban hidup.

Jawab :

Diketahui : baut A490 tanpa ulir di bidang geser ($F_{nt} = 780$)

Diameter baut 22 mm

Beban yang dipikul keseluruhan sambungan 60 ton = 600 kN

20% beban adalah beban mati

80% beban adalah beban hidup

Ditanya : jumlah baut bila ditinjau dari kuat tariknya

1. Hitung beban ultimit sambungan total

$$\begin{aligned} R_u &= 1,2.(20\%).(600)+1,6.(80\%).(600) \\ &= 1,2.120+480= 912 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Hitung kekuatan tarik pada satu buah baut

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (22^2) \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 484 = 380,2857143 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Periksa nilai F_{nv} baut di tabel kuat nominal pengencang baut. Didapat nilai 372

MPa, maka didapat nilai ϕR_n :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 780 \cdot 380,2857143 \\ &= 222467,1429 \text{ N} = 222,4671429 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Hitung jumlah baut yang digunakan

$$\begin{aligned} R_u / \phi R_n &= 912 / 222,4671429 \\ &= 4,10113182 \text{ baut} \gg 6 \text{ baut (karena dijadikan 2 baris)} \end{aligned}$$

4. Kesimpulan

Jadi untuk menahan beban sambungan tersebut, diperlukan jumlah baut sebanyak 6 baut dengan spesifikasi yang sudah disebutkan di atas.

3.5.3. Kombinasi Geser Dan Tarik

Kombinasi gaya ini merupakan perhitungan terhadap pelat penyambung yang memikul gaya geser karena adanya gaya P vertikal dan memikul gaya tarik atau cabut. Kombinasi geser dan tarik pada SNI 1729:2020 merupakan perhitungan gaya tarik pada baut yang pada saat bersamaan dipengaruhi oleh gaya geser baut. Gaya tarik (T_u) bekerja pada arah horizontal atau sumbu x dan gaya geser (V_u) bekerja pada arah vertikal atau sumbu y. Berikut perhitungan gaya geser yang dipikul oleh satu buah baut mengacu pada SNI 1729:2020 :

$$R_n = F_{nt} \cdot A_b$$

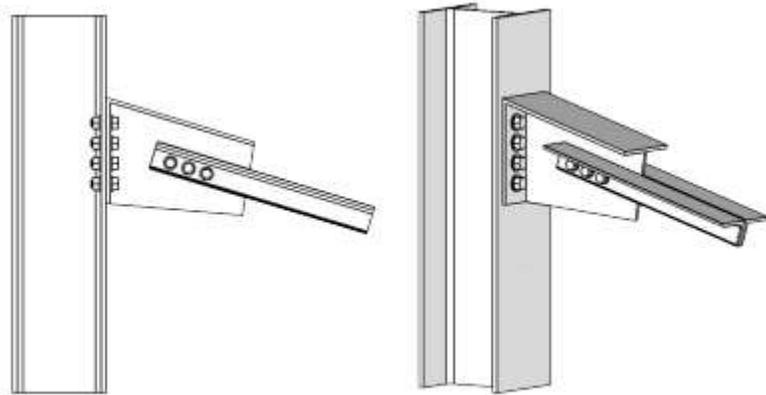
Dengan : R_n = kekuatan nominal baut (N)

F'_{nt} = tegangan tarik nominal baut yang dimodifikasi (MPa)

$$F'_{nt} = 1,3 F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_{rv} \leq F_{nt}$$

A_b = luas bruto penampang baut (mm^2)

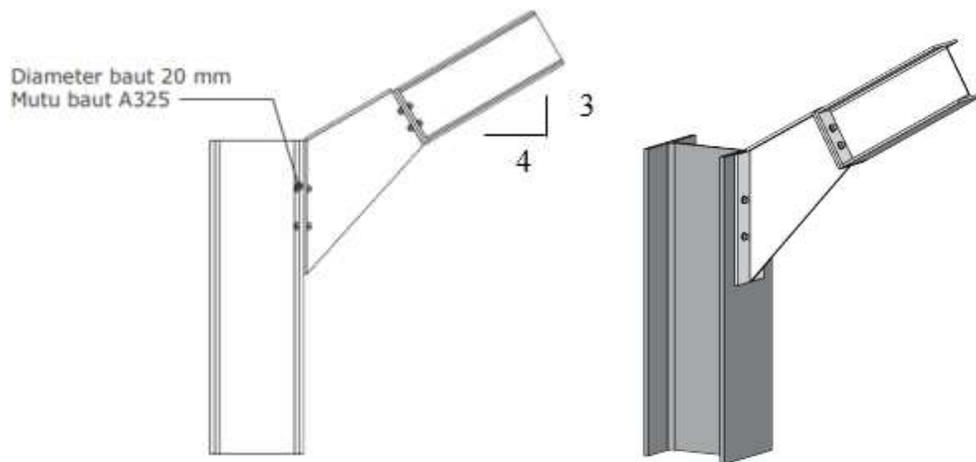
ϕ = faktor ketahanan baut, besarnya 0,75



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.12. Contoh Sambungan Kombinasi Geser dan Tarik Konstruksi Baja

CONTOH 3.5



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.13. Lokasi Sambungan Kombinasi Geser dan Tarik Konstruksi Baja

Di Masjid Mendungan sedang dilakukan pembangunan tempat parkir baru. Pada bagian sambungan kolom-rafter diketahui terdapat sambungan yang menggunakan baut. Spesifikasi baut diketahui merupakan baut A325 dengan diameter 20 mm tanpa ulir di bidang geser. Beban yang harus dipikul pada sambungan tersebut adalah 36 ton. Pengurus masjid meminta perencana untuk merinci kekuatan satu buah baut yang digunakan untuk melihat kemananannya, padahal diketahui baut sudah terpasang sejumlah 4 buah di sambungan tersebut. Bantu perencana untuk menganalisis berapa jumlah kekuatan per baut pada sambungan tersebut pada kombinasi geser dan tariknya.

Jawab :

Diketahui :

A325 tanpa ulir di bidang geser

Diameter 20 mm

F_{nv} 469

F_{nt} 620

Diameter baut 20 mm

Beban 36 ton = 360 kN

Ditanya : keamanan kombinasi kuat geser dan tarik

1. Hitung beban ultimit sambungan total

$$T_u = 4/5 \cdot 360 = 288 \text{ kN}$$

$$V_u = 3/5 \cdot 360 = 216 \text{ kN}$$

2. Menghitung beban ultimit sambungan per baut

Dari T_u dan V_u ambil nilai terkecil, karena nilai terkecil menandakan kuat sambungan tersebut mengalami kerusakan pertama kali. Digunakan nilai $V_u < T_u$.

$$T_u/n = 288/4 = 72 \text{ kN/baut}$$

$$V_u/n = 216/4 = 54 \text{ kN/baut}$$

3. Mencari nilai F'_{nt}

$$\begin{aligned}
 A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (20^2) \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 400 = 314,2857143 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$F'_{nt} = 1,3 \cdot 620 - \frac{620}{0,75 \cdot 469} \cdot \frac{54 \cdot 1000}{314,2857143} \leq 620$$

$$F'_{nt} = 806 - \frac{620}{351,75} \cdot \frac{54000}{314,2857143} \leq 620$$

$$F'_{nt} = 503,1506106 \leq 620$$

4. Hitung kekuatan kombinasi tarik dan geser per baut

$$\begin{aligned}
 A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (20^2) \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 400 = 314,2857143 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Periksa nilai F_{nv} baut di tabel kuat nominal pengencang baut. Didapat nilai 469 MPa, maka didapat nilai ϕR_n :

$$\phi R_n = 0,75 \cdot F'_{nt} \cdot A_b$$

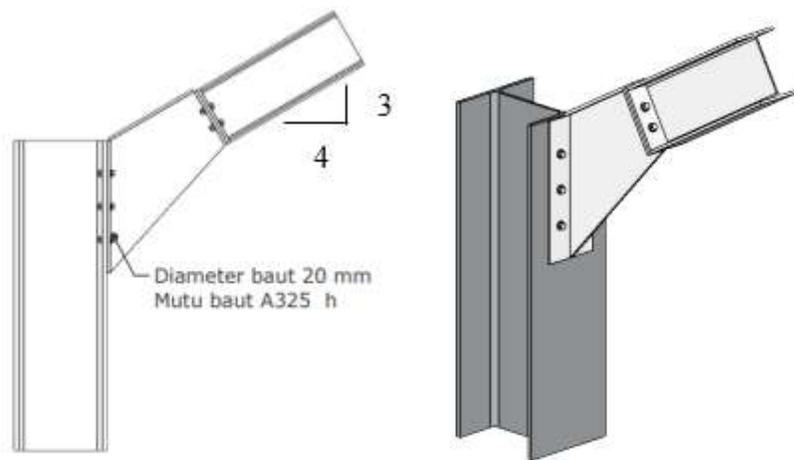
$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \cdot 503,1506106 \cdot 314,2857143 \\
 &= 118599,7868 \text{ N} = 118,599 \text{ kN per baut}
 \end{aligned}$$

5. Kesimpulan

$$\phi R_n (118,599 \text{ kN}) > R_u (T_u = 72 \text{ kN}) \quad \rightarrow \quad \text{aman}$$

Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa kekuatan rencana lebih besar dari kekuatan ultimit sambungan baut. Dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan baut sejumlah 4 buah aman untuk memikul kombinasi gaya geser dan tarik.

CONTOH 3.6



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.14. Lokasi Sambungan Kombinasi Geser dan Tarik Konstruksi Baja

Di daerah Mojosoongo Boyolali akan dibangun sebuah pasar rakyat. Pasar tersebut akan dibangun dengan konstruksi baja. Pada konstruksi sambungan kolom-rafternya digunakan baut sebagai alat penyambung. Dari pemerintah kabupaten sudah menunjuk satu tim kontraktor untuk mengeksekusi pembangunan. Namun pada prosesnya, perencanaan jumlah baut yang dimiliki perencana hilang. Pada perencanaan tersebut digunakan baut mutu A325 dengan diameter 20 mm yang menahan beban 32 ton. Bantulah kontraktor tersebut menghitung jumlah baut berdasar kuat kombinasi sambungan geser dan tarik.

Jawab :

Diketahui :

A325 tanpa ulir di bidang geser

Diameter 20 mm

F_{nv} 469

F_{nt} 620

Diameter baut 20 mm

Beban 32 ton = 320 kN

Ditanya : jumlah baut pada sambungan kombinasi kuat geser dan tarik

1. Hitung beban ultimit sambungan total

$$T_u = 4/5 \cdot 320 = 256 \text{ kN}$$

$$V_u = 3/5 \cdot 320 = 192 \text{ kN}$$

2. Memisalkan jumlah baut

Karena belum diketahui jumlah baut, jumlah baut dapat dimisalkan sejumlah 2 baut kemudian jumlah baut tersebut dihitung untuk mengecek keamanan baut.

3. Menghitung beban ultimit sambungan per baut

Dari T_u dan V_u ambil nilai terkecil, karena nilai terkecil menandakan kuat sambungan tersebut mengalami kerusakan pertama kali. Digunakan nilai $V_u < T_u$.

$$T_u/n = 256/2 = 128 \text{ kN/baut}$$

$$V_u/n = 192/2 = 96 \text{ kN/baut}$$

4. Mencari nilai F'_{nt}

$$A_b = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (20^2) \\ = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 400 = 314,2857143 \text{ mm}^2$$

$$F'_{nt} = 1,3 \cdot 620 - \frac{620}{0,75 \cdot 469} \cdot \frac{96 \cdot 1000}{314,2857143} \leq 620$$

$$F'_{nt} = 806 - \frac{620}{351,75} \cdot \frac{96000}{314,2857143} \leq 620$$

$$F'_{nt} = 267,6010855 \leq 620$$

5. Hitung kekuatan kombinasi tarik dan geser per baut

$$A_b = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (20^2) \\ = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 400 = 314,2857143 \text{ mm}^2$$

Periksa nilai F_{nv} baut di tabel kuat nominal pengencang baut. Didapat nilai 469 MPa, maka didapat nilai ϕR_n :

$$\phi R_n = 0,75 \cdot F'_{nt} \cdot A_b$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 267,6010855 \cdot 314,2857143$$

$$= 63077,39872 \text{ N} = 63,077 \text{ kN per baut}$$

6. Kesimpulan

$$\phi R_n (63,077 \text{ kN}) < R_u (T_u = 128 \text{ kN}) \quad -> \quad \text{tidak aman}$$

Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa kekuatan rencana lebih kecil dari kekuatan ultimit sambungan baut. Hal ini menyebabkan sambungan tidak aman. Karena tidak aman, perhitungan diulangi dari langkah 2 dengan menambah asumsi jumlah baut. Perhitungan diuraikan sebagai berikut:

2. Memisalkan jumlah baut

Karena belum diketahui jumlah baut, jumlah baut dapat dimisalkan sejumlah 4 baut kemudian jumlah baut tersebut dihitung untuk mengecek keamanan baut.

3. Menghitung beban ultimit sambungan per baut

Dari T_u dan V_u ambil nilai terkecil, karena nilai terkecil menandakan kuat sambungan tersebut mengalami kerusakan pertama kali. Digunakan nilai $V_u < T_u$.

$$T_u/n = 256/4 = 64 \text{ kN/baut}$$

$$V_u/n = 192/4 = 48 \text{ kN/baut}$$

4. Mencari nilai F'_{nt}

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (20^2) \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 400 = 314,2857143 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$F'_{nt} = 1,3 \cdot 620 - \frac{620}{0,75 \cdot 469} \cdot \frac{48 \cdot 1000}{314,2857143} \leq 620$$

$$F'_{nt} = 806 - \frac{620}{351,75} \cdot \frac{48000}{314,2857143} \leq 620$$

$$F'_{nt} = 536,8005427 \leq 620$$

5. Hitung kekuatan kombinasi tarik dan geser per baut

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (20^2) \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 400 = 314,2857143 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Periksa nilai F_{nv} baut di tabel kuat nominal pengencang baut. Didapat nilai 469 MPa, maka didapat nilai ϕR_n :

$$\phi R_n = 0,75 \cdot F'_{nt} \cdot A_b$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 536,8005427 \cdot 314,2857143$$

$$= 126531,5565 \text{ N} = 126,532 \text{ kN per baut}$$

6. Kesimpulan

$$\emptyset R_n (126,532 \text{ kN}) > R_u (T_u = 64 \text{ kN}) \quad \rightarrow \quad \text{aman}$$

Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa kekuatan rencana lebih besar dari kekuatan ultimit sambungan baut. Dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan baut sejumlah 4 buah aman untuk memikul kombinasi gaya geser dan tarik.

3.5.4. Kuat Tumpu

Pada perhitungan tahanan tumpu, diambil nilai kekuatan terlemah dari baut dan kekuatan terlemah pelat penyambung. Pada perhitungan kekuatan tumpu, harus ditentukan terhadap kekuatan batas tumpu dan sobek pada kondisi baut tertentu. Kondisi-kondisi baut tersebut diantaranya :

- a. Pada sambungan baut lubang standar, ukuran berlebih dan slot pendek, mengesampingkan arah beban atau lubang slot panjang dengan slot paralel terhadap arah gaya tumpu berlaku rumus :
 - 1) Tumpu :
 - a) Jika yang menjadi tinjauan desain merupakan deformasi di lubang baut pada beban layan, maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$R_n = 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u$$

Dengan : R_n = kekuatan nominal baut (N)

d_b = diameter baut (mm)

t_p = tebal pelat penyambung (mm)

F_u = tegangan ultimit pelat (MPa)

\emptyset = faktor ketahanan baut, besarnya 0,75

- b) Jika deformasi di lubang baut pada beban layan bukan merupakan tinjauan, maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$R_n = 3,0 \cdot d_t \cdot t_p \cdot F_u$$

Dengan : R_n = kekuatan nominal baut (N)

d_t = diameter baut (mm)

- t_p = tebal pelat penyambung (mm)
- F_u = tegangan ultimit pelat (MPa)
- ϕ = faktor ketahanan baut, besarnya 0,75

2) Sobek

- a) Jika deformasi pada lubang baut, beban layan menjadi tinjauan desain berlaku rumus :

$$R_n = 1,2 l_c \cdot t_p \cdot F_u$$

Dengan :

- l_c = jarak bersih antar baut atau tepi sambungan, dalam arah gaya (mm)
- t_p = tebal pelat penyambung (mm)
- F_u = kekuatan tarik minimum material yang disambung (MPa)

- b) Jika deformasi pada lubang baut, beban layan bukan menjadi tinjauan desain berlaku rumus :

$$R_n = 1,5 l_c \cdot t_p \cdot F_u$$

Dengan :

- l_c = jarak bersih antar baut atau tepi sambungan, dalam arah gaya (mm)
- t_p = tebal pelat penyambung (mm)
- F_u = kekuatan tarik minimum material yang disambung (MPa)

- b. Pada sambungan baut yang memiliki lubang slot panjang dan tegak lurus arah gaya :

- 1) Tumpu, berlaku rumus :

$$R_n = 2,0 \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u$$

Dengan :

db = diameter baut (mm)

tp = tebal pelat penyambung (mm)

F_u = kekuatan tarik minimum material yang disambung (MPa)

2) Sobek, dihitung menggunakan rumus :

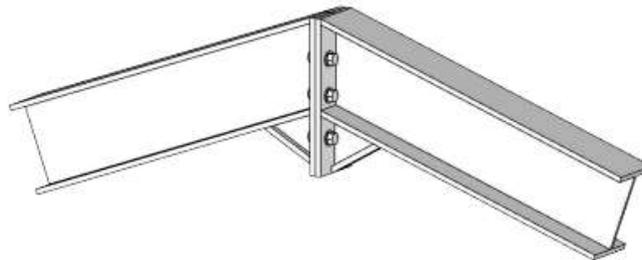
$$R_n = 1,0 \cdot l_c \cdot t_p \cdot F_u$$

Dengan :

l_c = jarak bersih antar baut atau tepi sambungan, dalam arah gaya (mm)

tp = tebal pelat penyambung (mm)

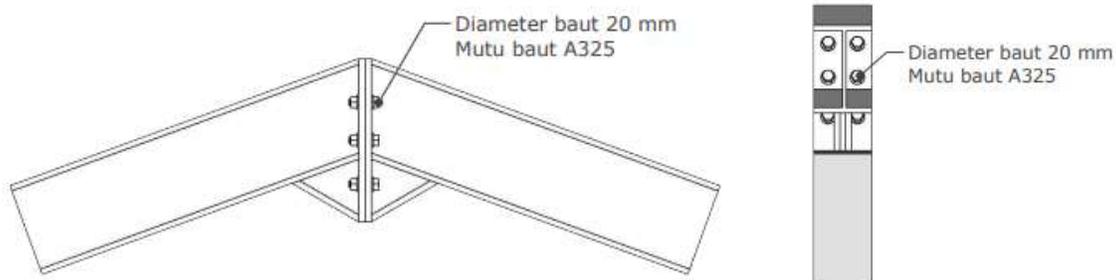
F_u = kekuatan tarik minimum material yang disambung (MPa)



Sumber : dokumen pribadi

Gambar 3.15. Contoh Sambungan Tumpu

CONTOH 3.7



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.16. Lokasi Sambungan Tumpu Konstruksi Baja

Pak Dami yang berprofesi sebagai konsultan perencana sedang menangani proyek pembuatan kantor sebuah perusahaan garmen. Beliau bertanggung jawab atas pekerjaan perencanaan gedung dengan konstruksi baja. Gedung tersebut direncanakan menggunakan baut untuk alat sambung pada sambungan rafter-rafter. Diketahui spesifikasi baut adalah baut A325 diameter 20 mm tanpa ulir di bidang geser. Mutu pelat penyambung dan baja yang disambung adalah BJ370 dengan ketebalan pelat penyambung dan baja yang disambung adalah 10 mm. Sambungan baut tersebut direncanakan berjumlah 6 buah dan akan menahan beban sebesar 16 ton. Beban yang bekerja adalah 10% pada beban mati dan 90% beban hidup. Perencanaannya dilakukan pada kuat tumpu dengan deformasi di lubang baut dan beban layan adalah tinjauan desain. Namun, terdapat suatu kendala. Pak Dami belum mahir melakukan perhitungan baik analisis maupun perencanaan sambungan baja. Bantu Pak Dami menganalisis kekuatan tumpu sambungan baja tersebut.

Jawab :

Diketahui :

Mutu baut A325

Diameter 20 mm

Mutu pelat BJ370

Tebal pelat 10 mm

Beban 16 ton = 160 kN (10% mati dan 90% hidup)

Deformasi deformasi di lubang baut dan beban layan

Ditanya : analisis keamanan pada kuat tumpu

1. Hitung beban ultimit sambungan total

$$R_u = 1,2 \cdot (10\%) \cdot (160) + 1,6 \cdot (90\%) \cdot (160) = 246,6 \text{ kN}$$

2. Menghitung beban ultimit sambungan per baut

$$R_u/n = 246,6/6 = 41,6 \text{ kN per baut}$$

3. Hitung kekuatan tumpu per baut

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 2,4 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 370$$

$$= 133200 \text{ N} = 133,200 \text{ kN per baut}$$

4. Kesimpulan

$$\phi R_n (133,200 \text{ kN}) < R_u (41,6 \text{ kN}) \rightarrow \text{aman}$$

CONTOH 3.8

Bapak Sardi, pemilik gudang kayu, sedang membuat gudang untuk pengeringan kayu. Gudang pengeringan direncanakan dibangun menggunakan konstruksi baja. Pada bagian sambungan rafter-rafter bagian buhulnya direncanakan menggunakan sambungan baut dimana mutu baut diketahui memiliki mutu A490 dengan diameter 22 mm. Pada pelat penyambung direncanakan mempunyai tebal 12 mm dan mutu BJ370. Terdapat kendala saat perencanaan kandang tersebut dilakukan, perencana bangunan yang menangani proyek tersebut baru saja resign. Bantu Pak Sardi untuk menghitung jumlah kebutuhan baut pada sambungan yang ditinjau dari kuat tumpu dengan deformasi di lubang baut dan beban layan, bila diketahui beban yang bekerja adalah 60 ton.

Jawab :

Diketahui :

Mutu baut A490

Diameter 22 mm

Mutu pelat BJ370

Tebal pelat 12 mm

Beban 60 ton = 600 kN

Deformasi deformasi di lubang baut dan beban layan

Ditanya : analisis keamanan pada kuat tumpu

1. Hitung beban ultimit sambungan total

$$R_u = 1,2 \cdot (160) + 1,6 \cdot (160) = 936 \text{ kN}$$

2. Hitung kekuatan tumpu per baut

$$\phi R_n = 0,75 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 22 \cdot 12 \cdot 370$$

$$= 73260 \text{ N} = 73,26 \text{ kN per baut}$$

3. Hitung jumlah baut yang digunakan

$$R_u / \phi R_n = 936 / 73,26 = 12,77641 \gg 13 \text{ baut (dipakai 14 baut)}$$

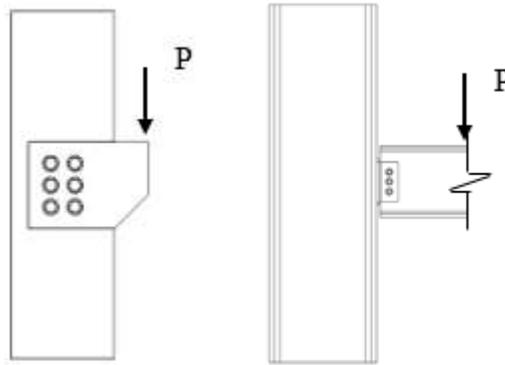
4. Kesimpulan

Jadi, untuk bisa menahan beban sambungan tersebut, diperlukan jumlah baut sebanyak 14 baut dengan spesifikasi yang sudah disebutkan di atas.

3.5.5. Sambungan Dengan Gaya Geser Eksentris

Gaya geser eksentris adalah gaya yang terjadi akibat kelompok baut tidak dilewati titik berat dari gaya P. Letak gaya P memiliki jarak sepanjang e dari titik berat

kelompok baut. Pada gaya geser eksentris analisis yang terjadi adalah gaya konsentris P yang kemudian dijumlahkan dengan momen yang terjadi akibat gaya P.



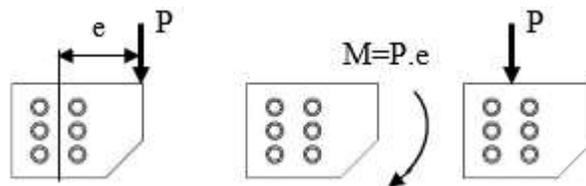
Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.17. Contoh Sambungan Geser Eksentris

Untuk melakukan perhitungan besar gaya geser eksentris, terdapat dua metode, yaitu :

a. Analisis elastis (vektor)

Metode analisis elastis ini adalah pendekatan yang menganggap diantara pelat yang kaku dan alat pengencang, yang bersifat elastik, tidak terjadi gesekan. Pada metode ini gaya geser dan torsi dianggap terjadi pada potongan melintang penampang kelompok baut. Potongan melintang kelompok baut terjadinya gaya ini sendiri merupakan kumpulan dari baut/kelompok baut. Contoh pembebanan dari analisis elastis gaya eksentris sambungan baut sebagai berikut berikutberikut :

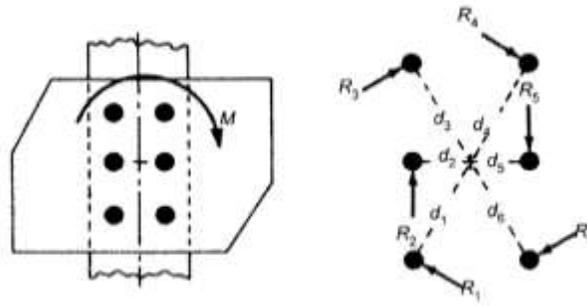


Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.18. Kombinasi Momen dan Gaya Geser

Dari gambar diatas, terdapat 6 buah baut yang masing-masing memikul momen yang bekerja pada titik berat sambungan. apabila mengabaikan gaya friksi pada pelat, setiap baut akan menyumbang gaya sebesar R_n yang bekerja tegak lurus terhadap titik berat kelompok baut dan berjarak d_n dari momen yang bekerja. Dapat dituliskan bahwa momen yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$M = R_1d_1 + R_2d_2 + \dots + R_6d_6 = \Sigma R_d$$



Sumber : Eva Arifi, 2020

Gambar 3.19. Sambungan Dengan Beban Momen

Bila diasumsikan deformasi proporsional terhadap jarak ke titik berat kelompok baut, dimana kelompok baut diasumsikan sebagai pusat perputaran momen, maka :

$$\frac{R_1}{d_1} = \frac{R_2}{d_2} = \dots = \frac{R_6}{d_6} \quad (a)$$

Dengan menulis ulang dalam R_1/d_1 , maka :

$$R_1 = \frac{R_1.d_1}{d_1}; R_2 = \frac{R_1.d_2}{d_1}; \dots; R_6 = \frac{R_1.d_6}{d_1} \quad (b)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (a) ke dalam persamaan (b), maka diperoleh :

$$\begin{aligned} M &= \frac{R_1.d_1^2}{d_1} + \frac{R_1.d_2^2}{d_1} + \dots + \frac{R_1.d_6^2}{d_1} \\ &= \frac{R_1}{d_1} (d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_6^2) \\ &= \frac{R_1}{d_1} \Sigma d^2 \end{aligned} \quad (c)$$

Sehingga untuk masing-masing baut dapat ditulis :

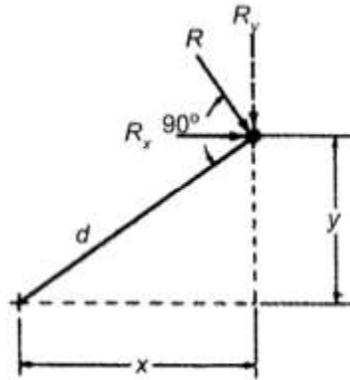
$$R_1 = \frac{Md_1}{\Sigma d^2}; R_2 = \frac{Md_2}{\Sigma d^2}; \dots; R_6 = \frac{Md_6}{\Sigma d^2} \quad (d)$$

Atau secara umum dapat ditulis :

$$R = \frac{Md}{\Sigma d^2} \quad (e)$$

Untuk mempermudah analisis, maka dilakukan penguraian terhadap arah gaya x dan gaya y, menjadi gaya R_x dan R_y sehingga :

$$R_x = \frac{y}{d}R \text{ dan } R_y = \frac{x}{d}R \quad (f)$$



Sumber : Eva Arifi, 2020

Gambar 3.20. sambungan yang Menahan Beban Momen dan Asumsi Gaya-Gaya yang Bekerja pada Sambungan

Dengan melakukan substitusi R pada persamaan (b) ke dalam persamaan (c) maka diperoleh :

$$R_x = \frac{My}{\Sigma d^2} \text{ dan } R_y = \frac{Mx}{\Sigma d^2} \quad (g)$$

Dengan menggunakan prinsip pythagoras dimana $d^2 = x^2 + y^2$, maka persamaan (d) dapat ditulis menjadi :

$$R_x = \frac{My}{\Sigma x^2 + \Sigma y^2} \text{ dan } R_y = \frac{Mx}{\Sigma x^2 + \Sigma y^2} \quad (h)$$

Mengacu pada gambar 3.nnn yang menggambarkan bahwa sambungan memikul sekaligus momen dan gaya vertikal, maka R_v (gaya vertikal yang ditahan masing-masing baut) adalah :

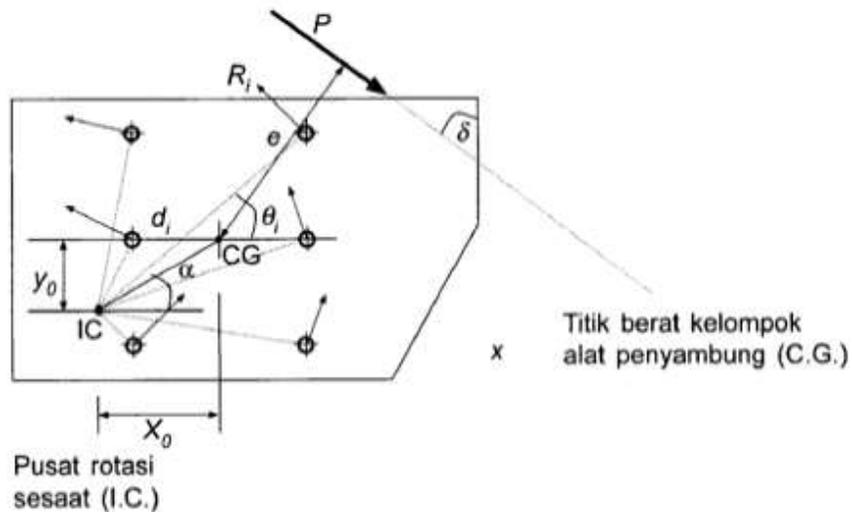
$$R_v = \frac{P}{n}$$

Dengan n = jumlah baut. sehingga total nilai resultan gaya yang diterima masing-masing baut adalah :

$$R = \sqrt{Rx^2 + (Ry + Rv)^2}$$

b. Analisis plastis

Analisis elastis merupakan analisis yang diperhitungkan lebih masuk akal. Hal ini dikarenakan pada perhitungan ini diperhitungkan pula translasi dan rotasi yang terjadi akibat beban P yang diterima kelompok baut. dengan memperhatikan gambar 3.20, translasi dan rotasi dapat disederhanakan menjadi rotasi murni terhadap pusat rotasi sesaat (*IC/instantaneous center of rotation*)



Sumber : Eva Arifi, 2020

Gambar 3.21. Pusat Rotasi Sesaat

Apabila dikaitkan dengan persamaan kesetimbangan, hubungan yang terjadi pada gambar diatas adalah :

$$\Sigma F_H = 0; \Sigma_{i=1}^n R_i \sin \theta_i - P \sin \delta = 0$$

$$\Sigma F_v = 0; \Sigma_{i=1}^n R_i \cos \theta_i - P \cos \delta = 0$$

$$\Sigma M = 0; \Sigma_{i=1}^n R_i d_i - P(e + x_0 \cos \delta + y_0 \sin \delta)$$

Dengan mensubstitusi : $r_0 = x_0 \cos \delta + y_0 \sin \delta$, didapat persamaan :

$$\Sigma M = 0; \Sigma_{i=1}^n R_i d_i - P(e + r_0)$$

Dimana r_0 adalah jarak terdekat antara pusat rotasi sesaat (IC) dengan titik berat sambungan baut (CG).

Pada perhitungan kuat sambungan plastis tipe tumpu apabila slip diabaikan, maka didapatkan hubungan deformasi masing-masing baut dengan jaraknya dari IC. Kuat setiap baut berhubungan dengan deformasi berdasarkan hubungan beban-deformasinya. Persamaan untuk beban R terhadap deformasi Δ adalah :

$$R_i = R_{ult}(1 - e^{-10\Delta})^{0,55}$$

Dengan :

R_i = kekuatan tiap baut

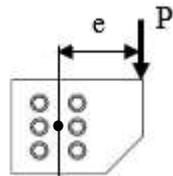
R_{ult} = $\tau_u A_b$

τ_u = kekuatan geser ultimit

τ_u = 0,7.kekuatan tarik (120 ksi minimum) Untuk baut A325

Koefisien 10 dan 0,55 diperoleh melalui penelitian dan Δ_{maks} saat runtuh adalah 0,34 in.

CONTOH KASUS 3.9



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.22. Sambungan Tipe Eksentris

Pak Manto yang berprofesi sebagai seniman akan membuat gedung yang rencananya digunakan untuk sanggar seni. Sanggar seni direncanakan dibangun menggunakan konstruksi baja. Pak Manto merencanakan untuk memasang plakat nama sanggar. Untuk memasang plakat, perlu dipasang pelat konsol pada kolom baja. Sambungan antara pelat konsol dan kolom direncanakan menggunakan sambungan baut. Rencananya akan digunakan baut bermutu A325 dengan ulir di bidang geser, berdiameter 16 mm dengan jumlah baut 6 buah. Beban eksentris yang bekerja pada ujung pelat penyambung adalah 100 kN. Keterangan jarak baut tertera pada gambar di

atas. Untuk keperluan pelaporan kekuatan struktur bangunan kepada yayasan sanggar seni, Pak Manto perlu melaporkan analisis keamanan baut yang digunakan. Namun, karena keterbatasan ilmu pengetahuan Pak Manto, beliau tidak dapat menganalisis kekuatan baut ini sendiri. Bantulah Pak Manto menganalisis keamanan sambungan baut apabila ditinjau dari gaya geser eksentris pada kondisi elastik.

Jawab :

Diketahui :

Mutu baut A325

Terdapat ulir pada bidang geser

Diameter 16 mm

Beban eksentris (P) 100 kN

Jumlah baut = 6 buah

Ditinjau dari geser eksentris kondisi elastik

Ditanya : analisis keamanan ditinjau dari gaya eksentris kondisi elastik

1. Hitung momen eksentrisitas

$$M = P \cdot e$$

$$\begin{aligned} \text{Dengan } e &= (\frac{1}{2} \cdot 100) + 75 \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= 100 \cdot 125 \\ &= 12500 \text{ kNmm} \end{aligned}$$

2. Investigasi baut terjauh (dalam mm) dari titik berat (e)

Baut	x (mm)	y (mm)	x ² (mm)	y ² (mm)
1	50	75	2500	5625
2	50	75	2500	5625
3	50	0	2500	0
4	50	0	2500	0

5	50	75	2500	5625
6	50	75	2500	5625
Jumlah (Σ)			15000	22500

Dari investigasi ditemukan bahwa baut terjauh dari titik berat adalah baut 1, 2, 5, 6. Gunakan salah satu baut untuk menghitung nilai R_y dan R_x . pada perhitungan kali ini, digunakan baut 1 sebagai acuan mencari nilai R_y dan R_x .

$$\begin{aligned}
 R_y &= \frac{M.x}{\Sigma x^2 + \Sigma y^2} \\
 &= \frac{12500.50}{15000+22500} \\
 &= \frac{625000}{37500} = 16,6667 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{M.y}{\Sigma x^2 + \Sigma y^2} \\
 &= \frac{12500.75}{15000+22500} \\
 &= \frac{937500}{37500} = 25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3. Mencari R_v (gaya vertikal yang ditahan masing-masing baut)

$$\begin{aligned}
 R_v &= \frac{P}{n} = \frac{100 \text{ kN}}{6} \\
 &= 16,6667 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4. Resultan gaya yang bekerja pada baut 1

$$\begin{aligned}
 R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_v)^2} \\
 &= \sqrt{25^2 + (16,6667 + 16,6667)^2} \\
 &= \sqrt{625 + 1111,11556} = 41,6547 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5. Kuat geser eksentris rencana baut

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b \\
 &= 0,75 \cdot 372 \cdot (\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2) \\
 &= 0,75 \cdot 372 \cdot 201,01693 \\
 &= 56096,2785 \text{ N} = 56,0962785 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6. Kesimpulan

Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapat nilai gaya geser rencana lebih besar dari resultan gaya yang bekerja pada baut 1, maka sambungan aman.

$$\emptyset R_n (56,0962785 \text{ kN}) > R (41,6547 \text{ kN}) \quad \rightarrow \quad \text{aman}$$

Bacalah teks dibawah ini dengan cermat.



Sumber : <https://infopublik.id/> diakses pada 24 November 2021 pukul 06.13 WIB

Gambar 4.1 Berita Jembatan Besi Tertua

Melihat Sejarah Jembatan Besi Tertua di Kecamatan Lampihong Balangan

Paringin, InfoPublik - Kecamatan Lampihong, Kabupaten Balangan, Kalimantan Selatan ternyata memiliki sebuah jembatan bersejarah peninggalan zaman Belanda.

Jembatan besi tersebut juga diklaim merupakan jembatan tertua di Kabupaten Balangan. Diketahui lokasi jembatan ini berada di Desa Hilir Pasar, Kecamatan Lampihong.

Saksi sejarah Amrullah, Selasa (15/1/2019) menuturkan, bahwa jembatan besi tersebut tak hanya sekedar jembatan, tetapi merupakan salah satu cagar budaya penting bagi Kabupaten Balangan, terutama bagi Kecamatan Lampihong, jembatan itu adalah sebuah mercu tanda.

"Jembatan penghubung Desa Hilir Pasar dan Desa Simpang Tiga ini dulu dibuat sekitar tahun 1932-1933, dengan konstruksi jembatan menggunakan teknologi beton dan baja, serta kayu ulin," ujarnya.

Lebih lanjut diungkapkannya, bahwa pembuatan jembatan ini menggunakan sistem borong atau dikerjakan dengan sistem upah, bukan kerja paksa.

"Sedangkan bahan pembangunan konstruksi jembatan konon didatangkan langsung langsung dari negara Eropa," katanya.

Adapun konstruksi jembatan merupakan teknik gabungan antara beton dengan konstruksi baja, bahan bangunan selain didominasi baja dan beton juga ada kayu ulin.

"Memandang jembatan tersebut dengan konstruksi baja yang melengkung se olah membawa kembali ke masa lampau, jembatan ini menjadi saksi bisu lintasan sejarah di Kecamatan Lampihong," jelasnya.(MC Balangan/elhami/eyv)

Dari pemaparan berita diatas, dapat disimpulkan bahwa konstruksi besi maupun baja memiliki umur guna yang relatif panjang. Umur guna yang panjang ini tidak lepas dari peran sambungan baja yang digunakan. Semakin baik perencanaan sambungan yang digunakan, semakin kuat konstruksi tersebut dibangun. Semakin kuatnya konstruksi, dapat membuat umur konstruksi semakin panjang. Nah, pada bab ini, kita akan mempelajari sambungan las yang menjadi salah satu perencanaan dalam pembangunan konstruksi baja. Dengan mempelajari bab ini, diharapkan kalian mampu merencanakan sambungan las yang aman digunakan dalam pembangunan konstruksi baja.

Standar Kompetensi/CPMK : Mahasiswa secara individu mampu memahami dan merencanakan sambungan las pada konstruksi baja sesuai dengan **SNI** 1729:2020 secara bertanggungjawab (kognitif level 4: menganalisis)

Kompetensi Dasar/Sub-CPMK/Kemampuan akhir tahap pembelajaran:

Mampu mengetahui proses pengelasan dan menghitung kekuatan sambungan las pada suatu bangunan berdasarkan referensi sambungan las sebagai salah satu jenis sambungan pada konstruksi baja (C2)

Indikator : - Mengetahui keuntungan dan kerugian sambungan las

- Mengetahui metode-metode pengelasan
- Menyebutkan jenis-jenis sambungan las
- Mengetahui proses pengelasan
- Menghitung kekuatan sambungan las
- Mengetahui sambungan baja terkini

BAB IV

Sambungan Las

Sambungan las adalah salah satu cara penyambungan baja dengan cara pemanasan bahan baja hingga mencapai suhu leleh yang menyebabkan bahan plastis hingga cair, dengan maupun tanpa penambahan pengisi. Pemanasan baja ini kemudian didiamkan hingga dingin. Proses pendinginan yang terjadi akan membuat bahan baja yang leleh mengeras kembali. Pengerasan inilah yang nantinya menjadi kekuatan bagi sambungan las.

4.1. Keuntungan dan Kerugian Sambungan Las

Dibandingkan menggunakan paku keling maupun baut, las memiliki kelebihan sebagai berikut :

- a. Lebih kokoh. Hal ini dikarenakan pada sambungan las, pertemuan sambungan mengalami peleburan bersama dengan elektroda las. Peleburan yang terjadi inilah yang membuat sambungan las dapat lebih kokoh dari sambungan yang lain.
- b. Bentuk sambungan las relatif lebih rapi. Hal ini dikarenakan antara sambungan dan elektroda melebur sempurna dan membuat permukaan las berbentuk rata. Dibanding baut dan paku keling yang memiliki permukaan menonjol.
- c. Berat sambungan las yang ringan. Berat dari sambungan las adalah 1%-1,5% dari berat total konstruksi. Berat ini jauh lebih ringan dari pada paku keling dan baut yang berkisar 2,5%-4% berat total konstruksi.
- d. Waktu pengerjaan yang lebih cepat. Hal ini dikarenakan sambungan las hanya perlu menggunakan alat las dan elektroda las, tanpa melakukan pembuatan lubang.
- e. Kekuatan konstruksi yang disambung tidak berkurang. Hal ini dikarenakan tidak dilakukan pelubangan dari konstruksi tersebut.

4.2. Kerugian Sambungan Las

Penggunaan las memang memiliki kelebihan dibanding penggunaan sambungan baut atau paku keling. Namun, las juga memiliki kekurangan, diantaranya :

- a. Kualitas kekuatan las tergantung pada kualitas pengelasan yang dilakukan. Apabila pengelasan yang dilakukan baik, kekuatan sambungan juga akan memiliki kualitas baik. Namun apabila terdapat kesalahan, akan berakibat buruk hingga akan merusak sambungan lain dan terjadinya keruntuhan konstruksi.
- b. Konstruksi las tidak dapat dibongkar pasang. Hal ini dikarenakan sambungan las terjadi karena lelehan pada sambungan dan elektroda las. Apabila ingin membongkar sambungan, harus memotong bagian sambungan tersebut.

4.3. Metode-Metode Las

Terdapat dua metode yang dikenal dalam menyambung baja. Metode-metode tersebut adalah :

a. Las Karbid (Las Otogen)

Las karbid adalah metode las yang menggunakan bahan gas tertentu sebagai bahan bakarnya. Gas yang digunakan dalam metode ini adalah gas oksigen (zat asam) dan gas acetylene (gas karbid). Tidak semua konstruksi dapat dikerjakan menggunakan metode las karbid. Penggunaan metode las karbid hanya untuk pengelasan konstruksi bsekunder yang tergolong ringan. Konstruksi yang dapat disambung dengan las ini diantaranya ; pagar besi, teralis rumah dan sebagainya.

b. Las Listrik (Las Lumer)

Las listrik adalah metode pengelasan yang dilakukan menggunakan bahan energi listrik. Pengelasan bahan listrik perlu menggunakan seperangkat pesawat las. Seperangkat pesawat las tersebut terdiri atas dua buah kabel, kabel pertama terhubung dengan benda kerja dan kabel yang lain terhubung ke elektroda las. Cara kerjanya

adalah dengan menempelkan elektroda las ke benda kerja. Interaksi yang terjadi antara elektroda dan benda kerja menimbulkan panas yang dapat melelehkan baja.

4.4. Jenis Las

4.4.1. Las Tumpul (Groove)

Las tumpul atau groove adalah jenis las yang berguna untuk menyatukan bagian batang struktural yang bertemu dalam satu bidang. Las tumpul menjadi pilihan utama bagi penyambungan batang struktural dikarenakan dapat menyalurkan semua beban batang yang disambungnya.

a. Batasan Las Tumpul

Untuk dapat menyalurkan beban batang yang disambungnya, perlu adanya perhitungan perencanaan kekuatan las. Perhitungan perencanaan dari las tumpul harus memperhatikan nilai luas efektifnya. Luas efektif las tumpul diperhitungkan sebagai panjang las dikalikan tenggorokan. Tenggorokan menurut SNI 1729:2020 disini diartikan sebagai tebal efektif. Tebal efektif las tumpul penetrasi-*joint*-sebagian (PJS) dapat dilihat pada tabel 4.1 ini.

Tabel 4.1 Tebal Efektif las Tumpul Penetrasi-*Joint*-Sebagian

Proses Pengelasan	Posisi Pengelasan F (datar), H (horizontal), V (vertikal), OH (<i>overhead</i>)	Tipe Las Tumpul (AWS D1.1/D1.1M, Gambar 3.3)	Tebal Efektif
Pengelasan Busur Metal Terselubung (LBMS)	Semua	Las tumpul J atau U V 60 ⁰	Tinggi las tumpul
Pengelasan Busur Metal Gas (LBMG)			

Pengelasan Busur Berinti Fluks (LBIF)			
Pengelasan Busur Terendam (LBR)	F	Las tumpul J atau U Miring 60° atau V	
Pengelasan Busur Metal Gas (LBMG) Pengelasan Busur Berinti Fluks (LBIF)	F, H	Miring 45°	Tinggi las tumpul
Pengelasan Busur Metal Terselubung (LBMS)	Semua	Miring 45°	Tinggi las tumpul dikurangi 1/8 in (3 mm)
Pengelasan Busur Metal Gas (LBMG) Pengelasan Busur Berinti Fluks (LBIF)	V, OH		

Sumber : SNI 1729:2020 (Tabel J2.1), Badan Standarisasi Nasional

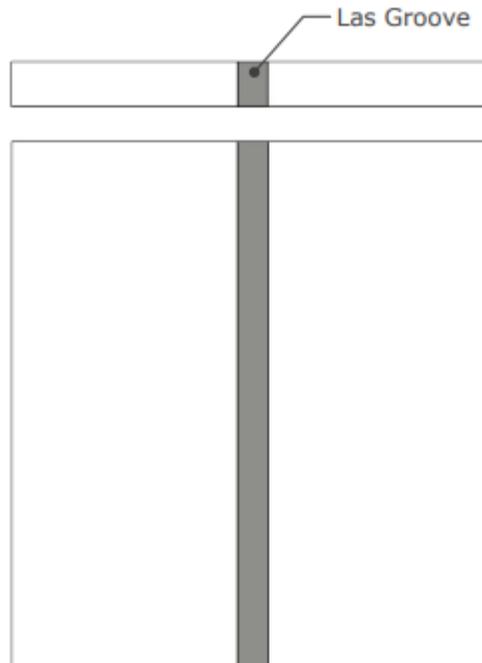
Terdapat nilai tebal efektif minimum yang harus terpenuhi. Ketebalan ukuran las minimum ditentukan oleh ketebalan tertipis dari dua bagian yang tersambung. Ukuran tebal las tumpu PJS tidak boleh kurang dari nilai pada tabel berikut :

Tabel 4.2 Tebal Efektif Minimum Las PJS

Ketebalan Material dari Bagian yang lebih Tipis Disambungkan, in (mm)	Throat Efektif Minimum, ^[a] in (mm)
Sampai dengan ¼ (6)	1/8 (3)
Besar dari ¼ (6) sampai ½ (13)	3/16 (5)
Besar dari ½ (13) sampai ¾ (19)	¼ (6)
Besar dari ¾ (19) sampai 1 ½ (38)	5/16 (8)
Besar dari 1 ½ (38) sampai 2 ¼ (57)	3/8 (10)

Besar dari 2¼ (57) sampai 6 (150)	½ (13)
Besar dari 6 (150)	5/8 (16)
[a]Lihat dalam Tabel 6.1 (Tabel J2.1 SNI 1729:2020)	

Sumber : SNI 1729:2020 (Tabel J2.3), Badan Standarisasi Nasional



Sumber : Dokumen Penulis

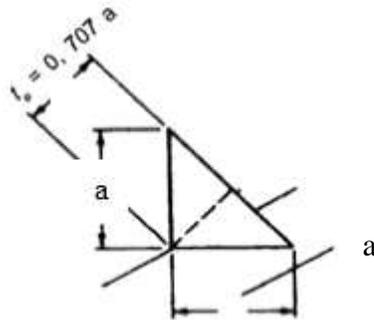
Gambar 4.2 Las Groove/Las Tumpul

4.4.2. Las Sudut (*Fillet*)

Las sudut merupakan las yang paling umum digunakan. Las sudut sendiri adalah las yang digunakan dalam pengelasan bagian sudut pada potongan saling bertumpang tindih (*overlap*) di konstruksi baja. Penggunaan las sudut merupakan penggunaan yang paling umum pada sambungan konstruksi baja.

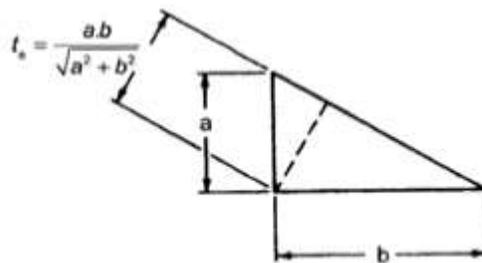
Penggunaan las sudut pada konstruksi baja perlu dilakukan dengan memperhatikan luas efektif las. Luas efektif las sudut adalah nilai tenggorokan efektif dikalikan dengan tebal efektif las sudut. Tenggorokan efektif pada SNI 1729:2020 sendiri diartikan sebagai tebal efektif dari las tersebut. Tebal efektif las adalah nilai dari jarak nominal paling kecil dari bagian miring las juga titik sudut di depannya.

- a. Bila ukuran kaki las sudut memiliki nilai a , maka nilai tebal efektif las sudut adalah $0,707a$
- b. Bila ukuran kaki las sudut memiliki nilai berbeda, maka tebal efektif las sudut dihitung berdasarkan hukum trigonometri.



Sumber : Eva Arifi, 2020

Gambar 4.3 Tebal Efektif Las Sudut Ukuran Kaki Sama



Sumber : Eva Arifi, 2020

Gambar 4.4 Tebal Efektif Las Sudut Ukuran Kaki Berbeda

a. Batasan Las Sudut

Pada las sudut, terdapat batasan mengenai ukuran dari las sudut, batasan tersebut diantaranya :

1. Ukuran minimum las sudut sesuai dengan SNI 1729:2020, nilai ukuran minimum las sudut dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini :

Tabel 4.3 Ukuran Minimum Las Sudut

Tebal Material Bagian yang Lebih Tipis yang Disambung, in (mm)	Ukuran Minimum Las Sudut, [a] in
Sampai dengan ¼ (6)	1/8 (3)
Lebih besar dari ¼ (6) sampai dengan ½ (13)	3/16 (5)
Lebih besar dari ½ (13) sampai dengan ¾ (19)	¼ (6)
Lebih besar dari ¾ (19)	5/16 (8)
[a] Dimensi kaki las sudut. Lapisan tunggal harus digunakan. Catatan : Lihat Pasal J2.2b untuk ukuran maksimum las sudut	

Sumber : SNI 1729:2020 (Tabel J2.4), Badan Standarisasi Nasional

2. Ukuran maksimum las sudut, untuk perhitungan kekuatan, perlu memperhatikan ukuran maksimum dari pengelasan sudut ini. Berikut batasan nilai maksimum las sudut :
 - a. Pada ketebalan tepi material yang bernilai kurang dari 6 mm (1/4 in); nilainya tidak melebihi tebal material tersebut.
 - b. Pada ketebalan tepi material yang bernilai 6 mm (1/4 in) atau lebih; ukuran maksimum las sudut tidak lebih besar dari tebal material dikurangi 2mm (1/6 in). batasan tersebut dikecualikan pada las yang khusus diperlihatkan pada gambar kerja untuk diperoleh tebal tenggorokan penuh. Pada kondisi las yang sudah jadi, jarak antara tepi dan ujung kaki las boleh kurang dari 2 mm (1/6 in), apabila ukuran las jelas diverifikasi.
3. Panjang las sudut memiliki nilai minimal tidak boleh kurang dari 4 kali ukuran las nominal

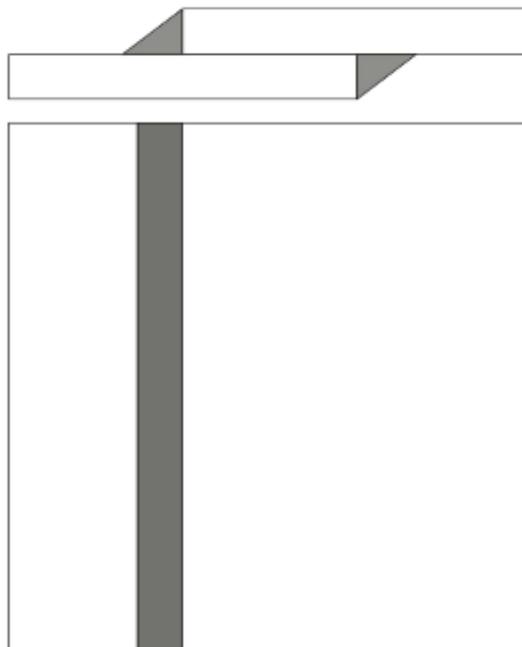
4. Pada panjang efektif las sudut, ditentukan nilainya dengan batasan seperti dibawah ini :
- Diperbolehkan apabila las sudut yang terbebani di bagian ujung dengan panjang 100 kali ukuran las untuk menggunakan panjang efektif sama nilainya dengan panjang aktual.
 - Apabila panjang las sudut memiliki beban hingga 100 kali ukuran las di ujungnya, maka panjang efektif perlu diperhitungkan dengan pengalihan panjang aktual dengan faktor reduksi β .

$$\beta = 1,2 - 0,002 (l/w) \leq 1,0$$

Dengan l = panjang aktual las yang dibebani di ujung (mm)

w = ukuran kaki las (mm)

- Jika panjang dari las lebih besar 300 kali lipat panjang kaki (w), nilai panjang efektif perlu diambil senilai $180w$.

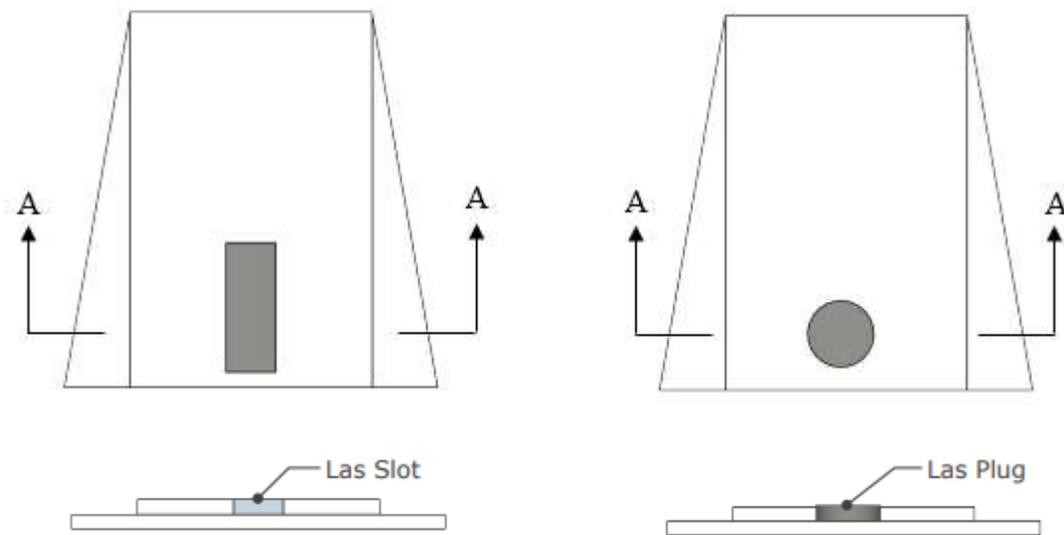


Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 4.5. Las Fillet/Las Sudut

4.4.3. Las Baji Dan Pasak (*Slot dan Plug*)

Las baji dan pasak adalah jenis sambungan las yang fungsinya untuk menyalurkan gaya berupa gaya geser pada sambungan baja. Las baji dan pasak ini sama-sama digunakan untuk menyambung baja yang saling tumpang tindih. Cara kerja las baji dan pasak ini sama-sama mengisi bagian lubang/bidang konstruksi baja.



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 4.6 Tampak Atas dan Potongan dari Las Baji (kiri) dan Las Pasak (kanan)

4.5. Kekuatan Sambungan Las

4.5.1. Kekuatan Desain Las

Kekuatan desain las dapat diartikan dengan nilai terendah dari kuat dasar material yang dihitung berdasarkan keadaan batas keruntuhan, baik keruntuhan tarik maupun geser serta kuat logam las. Kekuatan desain las disimbolkan dengan ϕR_n . Keadaan batas kekuatan las ditentukan dari keruntuhan berikut ini :

Untuk logam dasar :

$$R_n = F_{nBM} \cdot A_{BM}$$

Untuk logam las

$$R_n = F_{nw} \cdot A_{we}$$

Dengan :

F_{nBM} = tegangan nominal dari logam dasar (MPa)

F_{nw} = tegangan nominal dari logam las (MPa)

A_{BM} = luas penampang logam dasar (mm²)

A_{we} = luas efektif las (mm²)

Kekuatan rencana las kemudian dihitung menggunakan rumus :

$$R_u \leq \phi R_n$$

Dengan nilai nilai ϕ , F_{nBM} , F_{nw} , serta batasan-batasan diatas diberikan pada Tabel 4.4 berikut ini :

Tabel 4.4 Kekuatan Tersedia Joint yang Dilas, Ksi (MPa)

Tipe bahan dan arah relatif terhadap sumbu las	Logam yang bersangkutan	ϕ dan Ω	Tegangan nominal (F_{nBM} atau F_{nw}) ksi (MPa)	Luas efektif (A_{BM} atau A_{we}) in ² (mm ²)	Tingkat kekuatan logam pengisi perlu [a][b]
LAS GRUV PENETRASI JOINT KOMPLET					

Tipe bahan dan arah relatif terhadap sumbu las	Logam yang bersangkutan	ϕ dan Ω	Tegangan nominal (F_{nBM} atau F_{nw}) ksi (MPa)	Luas efektif (A_{BM} atau A_{we}) in ² (mm ²)	Tingkat kekuatan logam pengisi perlu _{[a][b]}
Tarik-Tegak lurus sumbu las	Kekuatan joint ditentukan oleh logam dasar			Logam pengisi yang sesuai harus digunakan. Untuk joint T dan joint sudut dengan pendukung yang ditinggalkan, diperlukan logam pengisi takik keras. Lihat Pasal J2.6	
Tekan-Tegak lurus sumbu las	Kekuatan joint ditentukan oleh logam dasar			Logam pengisi dengan tingkat kekuatan sama dengan atau satu tingkat kekuatan kurang dari logam pengisi yang sesuai diperbolehkan	
Tarik atau tekan-Sejajar sumbu las	Tarik atau tekan pada bagian yang tersambung sejajar las tidak perlu diperhitungkan dalam desain las yang menghubungkan bagian-bagian tersebut			Logam pengisi dengan tingkat kekuatan yang sama atau kurang dari kekuatan logam pengisi yang	

					sesuai diperbolehkan
Tipe bahan dan arah relatif terhadap sumbu las	Logam yang bersangkutan	ϕ dan Ω	Tegangan nominal (F_{nBM} atau F_{nw}) ksi (MPa)	Luas efektif (A_{BM} atau A_{we}) in ² (mm ²)	Tingkat kekuatan logam pengisi perlu _{[a][b]}
Geser	Kekuatan joint ditentukan oleh logam dasar				Logam pengisi yang sesuai harus digunakan ^[c]
LAS GRUV PENETRASI JOINT PARSIAL TERMASUK LAS GRUV V FLARE DAN LAS GRUV BEVEL FLARE					
Tarik-Tegak lurus sumbu las	Dasar	$\phi = 0,75$ $\Omega = 2,00$	F_u	Lihat J4	Logam pengisi dengan tingkat kekuatan yang sama atau kurang dari kekuatan logam pengisi yang sesuai
	Las	$\phi = 0,80$ $\Omega = 1,88$	$0,60F_{EXX}$		
Tekan-Kolom pada pelat dasar dan splais kolom yang didesain menurut Pasal J1.4(a)	Tegangan tekan tidak perlu diperhitungkan dalam desain las yang menghubungkan bagian-bagian tersebut				
Tekan-Sambungan komponen struktur yang	Dasar	$\phi = 0,90$ $\Omega = 1,67$	F_y	Lihat J4	

didesain untuk memikul selain kolom seperti yang dijelaskan dalam Pasal J1.4(b)	Las	$\phi = 0,80$ $\Omega = 1,88$	$0,60F_{EXX}$	Lihat J2.1a	
Tekan-Sambungan tidak menumpu penuh	Dasar	$\phi = 0,90$ $\Omega = 1,67$	F_y	Lihat J4	
	Las	$\phi = 0,80$ $\Omega = 1,88$	$0,60F_{EXX}$	Lihat J2.1a	
Tarik atau tekan Sejajar sumbu las	Tarik atau tekan pada bagian-bagian yang dihubungkan sejajar las tidak perlu diperhitungkan dalam desain las yang menghubungkan bagian-bagian tersebut				
Geser	Dasar	Diatur dalam J4			
	Las	$\phi = 0,75$ $\Omega = 2,00$	$0,60F_{EXX}$	Lihat J2.1a	
Tipe bahan dan arah relatif terhadap sumbu las	Logam yang bersangkutan	ϕ dan Ω	Tegangan nominal (F_{nBM} atau F_{nw}) ksi (MPa)	Luas efektif (A_{BM} atau A_{we}) in ² (mm ²)	Tingkat kekuatan logam pengisi perlu _{[a][b]}
LAS FILET TERMASUK FILET PADA LUBANG DAN SLOT SERTA JOINT-T TIDAK SIMETRIS					
Geser	Dasar	Diatur dalam J4			
	Las	$\phi = 0,75$ $\Omega = 2,00$	$0,60F_{EXX}$	Lihat J2.2a	
Tarik atau tekan Sejajar sumbu las	Tarik atau tekan pada bagian-bagian yang dihubungkan sejajar las tidak perlu diperhitungkan dalam desain las yang menghubungkan bagian-bagian tersebut				Logam pengisi dengan tingkat kekuatan yang sama atau kurang dari kekuatan logam pengisi yang sesuai diperbolehkan
LAS SUMBAT DAN LAS SLOT					

Tipe bahan dan arah relatif terhadap sumbu las	Logam yang bersangkutan	ϕ dan Ω	Tegangan nominal (F_{nBM} atau F_{nw}) ksi (MPa)	Luas efektif (A_{BM} atau A_{we}) in ² (mm ²)	Tingkat kekuatan logam pengisi perlu ^{[a][b]}
Geser Sejajar permukaan <i>faying</i> pada daerah efektif	Dasar	Diatur dalam J4			Logam pengisi dengan tingkat kekuatan yang sama atau kurang dari kekuatan logam pengisi yang sesuai diperbolehkan
	Las	$\phi = 0,75$ $\Omega = 2,00$	$0,60F_{EXX}$	Lihat J2.3a	
<p>^[a] untuk logam las yang sesuai, lihat Pasal 3.3 AWS D1.1/D1.1M.</p> <p>^[b] Logam pengisi dengan tingkat kekuatan yang lebih besar dari yang sesuai adalah diperbolehkan</p> <p>^[c] Logam pengisi dengan tingkat kekuatan kurang dari yang sesuai diperbolehkan untuk digunakan las gruv antara badan dan sayap profil tersusun yang menyalurkan beban geser, atau pada aplikasi dengan pengekangan besar. Pada aplikasi ini, joint las harus didetail dan tersebut harus didesain dengan menggunakan tebal material sebagai tenggorok efektif, dengan $\phi = 0,80$, $\Omega = 1,88$ dan $0,60 F_{EXX}$ sebagai kekuatan nominal.</p> <p>^[d] Kekuatan pada Pasal J2.4(b) juga berlaku.</p>					

Sumber : SNI 1729:2020 (Tabel J2.5) Badan Standarisasi Nasional

Khusus pada perhitungan las sudut, kekuatan yang diizinkan untuk las linear dengan suatu ukuran kaki seragam dihitung dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\phi = 0,75$$

$$R_n = F_{nw} \cdot A_{we}$$

Dengan :

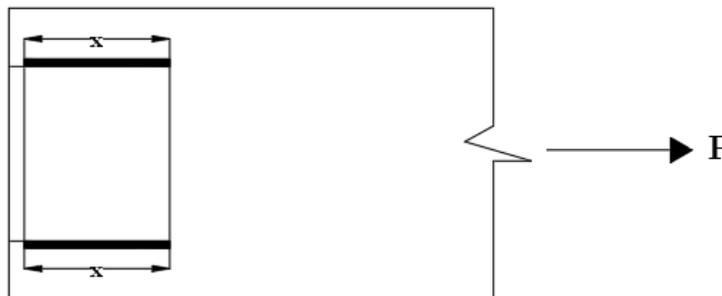
$$F_{nw} = 0,6 \cdot F_{EXX} \cdot (1,0 + 0,5 \cdot \sin^{1,5} \theta)$$

F_{EXX} = kekuatan klasifikasi logam pengisi, ksi (Mpa)

θ = sudut pembebanan yang diukur dari sumbu longitudinal las ($^{\circ}$)

4.6. Contoh Soal Kekuatan Sambungan Las

4.7. CONTOH KASUS 4.1



Sumber : Dokumen pribadi

Gambar 4.7 Penampang Las yang pada Perhitungan

Di rumah sakit umum daerah (RSUD) Surakarta terdapat lonjakan pasien dikarenakan adanya pandemi *Covid-19* yang menyebabkan membludaknya kendaraan pasien. Lonjakan tersebut mengharuskan pihak rumah sakit menambah tempat parkir RSUD. Tempat parkir direncanakan dibangun dengan konstruksi baja. Pada bagian sambungan balok-kolom, perlu dilakukan pemasangan pelat penyambung yang rencananya akan dipasang menggunakan las. Sambungan akan menahan beban mati sebesar 20 kN dan

beban hidup 60 kN. Diketahui nilai kuat tarik minimum logam dasar (F_u) adalah 400 Mpa, mutu elektroda (F_{EXX}) = 490 Mpa, tebal pelat dan profil sama-sama 16 mm dan lebar pelat 180 mm. Untuk pengelasan menggunakan jasa Las Pak Rudi. Pak Rudi biasa melakukan pengelasan dengan cara las sudut posisi kaki sama. Walaupun sudah berpengalaman, namun pihak rumah sakit tetap meminta data perencanaan kekuatan las pada Pak Rudi. Bantu Pak Rudi merencanakan panjang dan tebal las yang akan digunakan.

Jawab :

Diketahui :

$$D = 20 \text{ kN}$$

$$L = 60 \text{ kN}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$F_{EXX} = 490 \text{ MPa}$$

Tebal pelat (A_{BM}) 16 mm

Las sudut dengan kaki sama

Ditanya : Perencanaan panjang dan tebal las yang akan digunakan.

1. Menentukan tebal las dari tabel 4.3

$$w_{\text{min}} = 6 \text{ mm}$$

$$w_{\text{maks}} : 16\text{mm} - 2 \text{ mm} = 14 \text{ mm}$$

Maka digunakan tebal las 10 mm, karena nilai 10 mm terletak diantara nilai 6 mm dan 14 mm.

2. Menentukan tebal efektif

Dikarenakan kaki yang sama, maka tebal efektif las adalah = 0,707

3. Mencari kekuatan nominal logam las dan logam dasar per satu mm

Logam dasar :

$$\begin{aligned} R_n &= F_{nBM} \cdot A_{BM} \\ &= (0,6 \cdot F_u) \cdot (\text{tebal pelat} \cdot 1) \end{aligned}$$

$$= (0,6.400).(10.1)$$

$$= 2400 \text{ N}$$

Pada las sudut, untuk logam las diperhitungkan kekuatan tersedia yang diizinkan las linear kaki seragam:

$$\theta = 0^0$$

$$R_n = F_{nw} \cdot A_{we}$$

$$= (0,6 \cdot F_{EXX} \cdot (1,0 + 0,5 \cdot \sin^{1,5} \theta)). (\text{tebal las} \cdot 1)$$

$$= 0,6.490.(1,0 + 0,5 \cdot \sin^{1,5} 0). (0,707 \cdot 1)$$

$$= 207,858 \text{ N}$$

Dari kedua nilai diatas, dipilih nilai terkecil. Didapat nilai 207,858 N.

4. Beban tarik terfaktor

$$P_u = 1,2D + 1,6L$$

$$= 1,2.20 + 1,6.60$$

$$= 24 + 96 = 120 \text{ kN}$$

5. Panjang las yang dibutuhkan

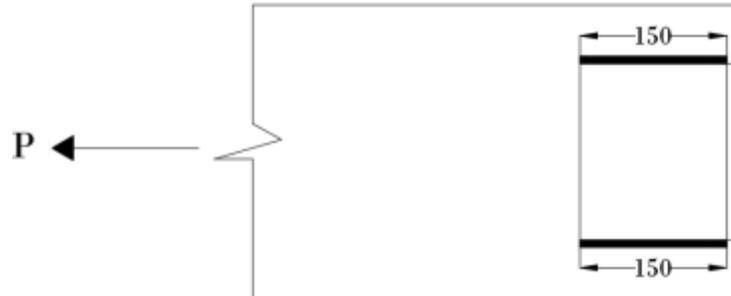
$$L_w = \frac{P_u}{\phi R_n}$$

$$= \frac{120.10^3}{0,75 \cdot 207,858} = 770 \text{ mm}$$

6. Kesimpulan

Jadi, panjang total las yang digunakan untuk menyambung baja tersebut adalah 770 mm dengan tebal 10 mm. Dikarenakan lokasi pengelasan terdapat di dua sisi, jadi panjang las per sisi adalah 385 mm.

CONTOH KASUS 4.2



Sumber : dokumen pribadi

Gambar 4.8 Penampang Las Perhitungan

Pak Indra pernah ditunjuk untuk membangun garasi mobil rumah dinas Walikota Surakarta. Garasi mobil tersebut sudah dibangun menggunakan konstruksi baja. Pada bagian sambungan balok-kolom, dipasang menggunakan sambungan las sepanjang 300 mm untuk dua sisi pelat sambungan. Sambungan menahan beban mati sebesar 9 kN dan beban hidup 20 kN. Diketahui nilai kuat tarik minimum logam dasar (F_u) adalah 400 Mpa, mutu elektroda (F_{EXX}) = 415 Mpa. Digunakan tebal pelat dan tebal profil 10 mm dan lebar pelat 180 mm. Pak Indra melakukan pengelasan dengan cara las sudut posisi kaki sama. Untuk data administrasi, Pak Indra diminta untuk menganalisis kekuatan dari sambungan las yang telah dipasang. Namun, data perencanaan yang dimiliki Pak Indra hilang. Bantu Pak Indra menganalisis panjang dan tebal las yang digunakan.

Jawab :

Diketahui :

$$D = 9 \text{ kN}$$

$$L = 20 \text{ kN}$$

$$F_u = 400 \text{ Mpa}$$

$$F_{EXX} = 415 \text{ Mpa}$$

Tebal pelat 10 mm

Las sudut dengan kaki sama

Total panjang las yang digunakan = 300 mm

Ditanya : analisis panjang dan tebal las yang digunakan.

1. Menentukan tebal las dari tabel 4.3

$$w_{\min} = 5 \text{ mm}$$

$$w_{\max} : 10 \text{ mm} - 2 \text{ mm} = 8 \text{ mm}$$

Maka digunakan tebal las 6 mm, karena nilai 6 mm terletak diantara nilai 5 mm dan 8 mm.

2. Menentukan tebal efektif

Dikarenakan kaki yang sama, maka tebal efektif las adalah = 0,707

3. Mencari kekuatan nominal logam las dan logam dasar per satu mm

Logam dasar :

$$\begin{aligned} R_n &= F_{nBM} \cdot A_{BM} \\ &= (0,6 \cdot F_u) \cdot (\text{tebal pelat} \cdot 1) \\ &= (0,6 \cdot 400) \cdot (6 \cdot 1) \\ &= 1440 \text{ N} \end{aligned}$$

Pada las sudut, untuk logam las diperhitungkan kekuatan tersedia yang diizinkan las linear kaki seragam:

$$\theta = 0^\circ$$

$$\begin{aligned} R_n &= F_{nw} \cdot A_{we} \\ &= (0,6 \cdot F_{EXX} \cdot (1,0 + 0,5 \cdot \sin^{1,5} \theta)) \cdot (\text{tebal las} \cdot 1) \\ &= 0,6 \cdot 415 \cdot (1,0 + 0,5 \cdot \sin^{1,5} 0) \cdot (0,707 \cdot 1) \\ &= 176,043 \text{ N} \end{aligned}$$

Dari kedua nilai diatas, dipilih nilai terkecil. Didapat nilai 176,043 N.

4. Beban tarik terfaktor

$$P_u = 1,2D + 1,6L$$

$$\begin{aligned} &= 1,2.9 + 1,6.20 \\ &= 10,8 + 32 = 42,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

5. Panjang las yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} L_w &= \frac{Pu}{\phi R_n} \\ &= \frac{42,8.10^3}{0,75 \cdot 176,043} = 324,16 \text{ mm} = 325 \text{ mm} \end{aligned}$$

6. Kesimpulan

Karena nilai L_w dibutuhkan $>$ L_w terpasang ($325 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$), maka sambungan las yang terpasang dinyatakan tidak aman. Solusi yang dapat dilakukan apabila ingin membuat sambungan aman adalah dengan menaikkan mutu las yang digunakan.

Daftar Pustaka

- Anonim. (2020). *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729:2020)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Arafuru. (2021). Keuntungan dan Kerugian Sambungan Mur Baut yang Belum Anda Ketahui. Diperoleh pada 10 Oktober 2021, dari <https://arafuru.com/m/material/keuntungan-dan-kerugian-sambungan-mur-baut.html>
- Arifi, Eva & Setyowulan, Desy. (2020). *Perencanaan Struktur Baja (Berdasarkan SNI 1729:2020)*. Malang:UB Press.
- Balangan, M.C. Kab. (2019, 19 Januari). Melihat Sejarah Jembatan Besi Tertua di Kecamatan Lampihong Balangan. *Info Publik*. Diperoleh pada 16 November 2021, dari <https://infopublik.id/kategori/nusantara/322158/melihat-sejarah-jembatan-besi-tertua-di-kecamatan-lampihong-balangan?show#>
- Belajar Struktur di UBL. (2020, 19 April). Contoh Soal Sambungan Memikul Gaya Eksentris | Baut Mengalami Gaya Geser Vertikal | Struktur Baja (video). Diperoleh pada 21 Oktober 2021, dari <https://www.youtube.com/watch?v=YM9fQICCKaY&list=LL&index=6&t=687s>
- Belajar Struktur di UBL. (2021, 10 Januari). Kuat Geser Baut Menurut SNI 1729-2015 | Sambungan Baut Struktur Baja | Lightboard (video). Diperoleh pada 22 Oktober 2021, dari https://www.youtube.com/watch?v=9_F9-hb5nP0&list=LL&index=9&t=183s
- Belajar Struktur di UBL. (2021, 17 Januari). Kuat Tumpu Pelat pada Sambungan Baut | SNI 1729-2015 Struktur Baja | Lightboard (video). Diperoleh pada 21 Oktober 2021, dari <https://www.youtube.com/watch?v=JkBqH9JmKX8&list=LL&index=8&t=389s>
- Dwijayanto, Andi. (2018, 3 Maret). Konstruksi Baja di Proyek Insfrastruktur Masih Minim dibandingkan Beton. *Industri Kontan*. Diperoleh pada 13 November 2021, dari <https://industri.kontan.co.id/news/konstruksi-baja-di-proyek-infrastruktur-masih-minim-dibandingkan-beton>

- Klik Mikro*. (2019, 1 Oktober). Mengenal Paku Keling / Paku Rivet Beserta Cara Pasangnya. Diperoleh pada 8 November 2021, dari <http://blog.klikmro.com/mengenal-paku-keling-paku-rivet-serta-cara-pasang/>
- Nisa, Wahyudatun*. (2020, 8 Maret). Cafe Kekinian Hadirkan Gaya Industrial. *Tren Asia*. Diperoleh pada 16 November 2021, dari <https://www.trenasia.com/cafe-kekinian-hadirkan-gaya-industrial>
- Nursamsi*. (2016). *Modul Guru Pembelajar: Paket Keahlian Teknik Konstruksi Baja*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Rahmawati, Anis*. (2010). *Struktur Baja Berdasarkan SK SNI 03-1729-2002*. Surakarta: UNS Press
- Salmon, C.G. & Johnson, J.E.* (1992). *Struktur Baja, Desain dan Perilaku Jilid 1*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama
- Setiawan, Agus*. (2005). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)*. Jakarta: Erlangga
- Yuke Rivet*. (2020, 26 November). Sejarah Perkembangan Dan Penggunaan Paku Keling. Diperoleh pada 13 November 2021, dari <https://www.yukerivet.com/id/news/development-history-and-use-of-rivets/>