BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sambungan Baut Struktur Baja

Sambungan merupakan titik temu dari beberapa komponen batang dengan menggunakan suatu cara tertentu. Salah satu sistem sambungan disamping las yang cukup populer adalah sambungan baut.

Baut adalah alat sambung dengan batang bulat dan berulir, salah satu ujungnya dibentuk kepala baut (umumnya bentuk kepala segi enam) dan ujung lainnya dipasang mur/pengunci. Dalam pemakaian dilapangan, baut dapat digunakan untuk membuat konstruksi sambungan tetap, sambungan bergerak, maupun sambungan sementara yang dapat dibongkar atau dilepas kembali.

Salah satu penyebab tidak efisiennya perencanaan struktur baja adalah jauhnya nilai-nilai masing-masing model keruntuhannya karena salah satu faktor yang berpengaruh adalah jarak antar baut dan jarak tepi baut. Menurut Segui (2012), kegagalan sambungan sederhana antar elemen baja dalam bangunan struktur baja terjadi di elemen batang tarik, elemen pelat buhul, maupun elemen baut pada sistem sambungan sederhana.

Keuntungan sambungan baut antara lain :

1. Pemasangan atau penyetelan konstruksi dilapangan jauh lebih mudah.
2. Konstruksi sambungan dapat dibongkar pasang.
3. Dapat dipakai untuk menyambung dengan jumlah tebal baja > 4d (tidak seperti paku keling yang dibatasi maksimum 4d).
4. Dengan menggunakan jenis baut mutu tinggi maka dapat digunakan untuk konstruksi berat atau jembatan

Itenas library

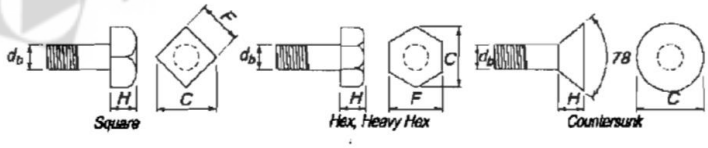
2.1.1 Dimensi Baut

Menurut AISC bentuk dari kepala baut mutu tidak tinggi dibedakan menjadi 3 yaitu bentuk *square*, *Hex*, *Heavy Hex* dan *Countersunk* yang dapat dilihat pada gambar 2.1 dan ukuran pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi Baut

Diameter baut (in)	**Spesifikasi baut mutu tidak tinggi**												
	***Square* (in)**			***Hex* (in)**			***Heavy Hex* (in)**			***Countersunk* (in)**		**Panjang efektif ulir minimum (in)**	
	F	**C**	**H**	**F**	**C**	**H**	**F**	**C**	**H**	**C**	**H**	**L ≤ 6 in**	**L > 6 in**
$^1/_4$	$^3/_8$	$^1/_2$	$^3/_{16}$	$^7/_{16}$	$^1/_2$	$^3/_{16}$	-	-	-	$^1/_2$	$^1/_8$	$^3/_4$	1
$^3/_8$	$^9/_{16}$	$^{13}/_{16}$	$^1/_4$	$^9/_{16}$	$^5/_8$	$^1/_4$	-	-	-	$^{11}/_{16}$	$^3/_{16}$	1	$1\,^1/_4$
$^1/_2$	$^3/_4$	$1\,^1/_{16}$	$^5/_{16}$	$^3/_4$	$^7/_8$	$^3/_8$	$^7/_8$	1	$^3/_8$	$^7/_8$	$^1/_4$	$1\,^1/_4$	$1\,^1/_2$
$^5/_8$	$^{15}/_{16}$	$1\,^5/_{16}$	$^7/_{16}$	$^{15}/_{16}$	$1\,^1/_{16}$	$^7/_{16}$	$1\,^1/_{16}$	$1\,^1/_4$	$1\,^1/_8$	$1\,^1/_8$	$^5/_{16}$	$1\,^1/_2$	$1\,^3/_4$
$^3/_4$	$1\,^1/_8$	$1\,^9/_{16}$	$^1/_2$	$1\,^1/_8$	$1\,^5/_{16}$	$^1/_2$	$1\,^1/_4$	$1\,^7/_{16}$	$^1/_2$	$1\,^3/_8$	$^3/_8$	$1\,^3/_4$	2
$^7/_8$	$1\,^5/_{16}$	$1\,^7/_8$	$^5/_8$	$1\,^5/_{16}$	$1\,^1/_2$	$^9/_{16}$	$1\,^7/_{16}$	$1\,^{11}/_{16}$	$^9/_{16}$	$1\,^9/_{16}$	$^7/_{16}$	2	$2\,^1/_4$
1	$1\,^1/_2$	$2\,^1/_8$	$^{11}/_{16}$	$1\,^1/_2$	$1\,^3/_4$	$1\,^1/_{16}$	$1\,^5/_8$	$1\,^7/_8$	$^{11}/_{16}$	$1\,^{13}/_{16}$	$^1/_2$	$2\,^1/_4$	$2\,^1/_2$

Sumber : *Table 7-20 Dimensions of Non-High-Strength Bolts*



Gambar 2.1 Dimensi baut

Sumber : *Table 7-20 Dimensions of Non-High-Strength Bolts*

2.1.2 Nilai ketahanan terfaktor

Nilai ketahanan terfaktor yang ditetapkan oleh SNI 03-1729-2015, Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural umtuk perancangan sambungan baut adalah sebagai berikut :

1. Kekuatan leleh tarik Øt = 0,90

2. Runtuh tarik Øt = 0,75
3. Geser blok Øt = 0,75
4. Kekuatan pada lubang-lubang baut Øt = 0,75
5. Kekuatan geser baut Øt = 0,75
6. Kekuatan sambungan kritis-slip Øt = 1,00

2.1.3 Jarak Maksimum Antar Baut dan Jarak Tepi Maksimum

Jarak maksimum dari pusat setiap baut ke tepi terdekat dari bagian-bagian dalam kontak harus 12 kali ketebalan dari bagian yang disambung akibat perhitungan, tetapi tidak boleh melebihi 150 mm.

2.1.4 Jarak Minimum Antar Baut

Jarak antar pusat-pusat standar, ukuran-berlebih, atau lubang-lubang slot tidak boleh kurang dari 2 2/3 kali diameter nominal, *d*, dari pengencang suatu jarak 3*d* yang lebih disukai.

itenas library

2.2 Runtuh Tarik Sambungan Baut Struktur Baja

Kegagalan sistem sambungan sederhana menurut Segui (2012) terjadi pada leleh tarik, runtuh tarik, *block shear Tension Member*, *Block Shear Gusset Plate*, *Shear On Fasteners*, *Bearing Tension Member*, *Bearing Gusset Plate* dan *Slip Critical*.

2.2.1 Leleh Tarik dan Runtuh Tarik

Leleh tarik dan Runtuh tarik mengacu pada SNI 03-1729-2015 pasal J4.1 dengan kekuatan desain (ØRn) dan kekuatan yang diizinkan dari elemen yang dipengaruhi dan elemen yang disambung yang dibebani gaya tarik harus nilai yang terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari pelelehan tarik dan keruntuhan tarik.

Untuk leleh tarik dari elemen yang disambung

$R_n = Ø\, F_y\, A_g$ .....(2.1)

Untuk runtuh tarik dari elemen yang disambung

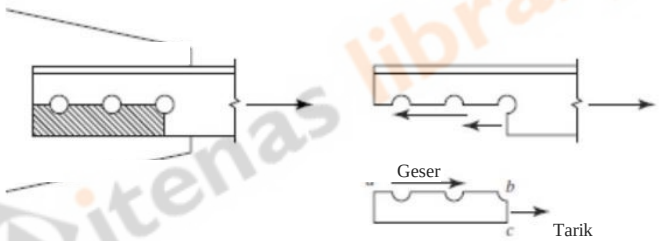
$R_n = Ø\, F_u\, A_e$ .....(2.2)

Dimana Ae adalah luas bersih efektif, yang mungkin sama dengan luas bersih, atau pada beberapa kasus, luasan yang lebih kecil.

Kekuatan desain diambil dari nilai terkecil pada dua batasan tersebut.

2.2.2 Geser Blok

Geser blok adalah kondisi dimana dalam beberapa konfigurasi sambungan, sebuah segmen atau blok di ujung pada material terlepas. Contohnya, sambungan tarik sudut tunggal seperti pada gambar 2.2 disebut geser blok.

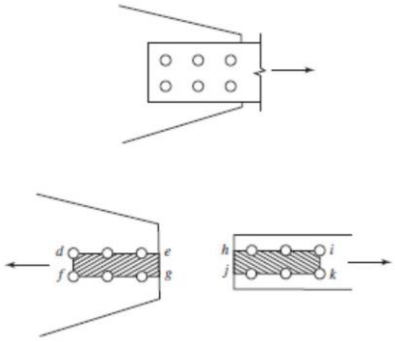


Gambar 2.2 Pola Kerusakan Blok Bidang Geser

Sumber: SEGUI (2013)

Pada ilustrasi tersebut, blok yang diarsir akan runtuh oleh gaya geser sepanjang longitudinal ab dan oleh gaya tarik sepanjang transversal bc.

Untuk beberapa konfigurasi baut, block shear dapat terjadi di pelat buhul. Gambar 2.3 menunjukkan sebuah pelat tarik yang tersambung ke sebuah pelat buhul. Dalam sambungan ini, *block shear* terjadi pada pelat buhul maupun pelat tarik. Pada pelat buhul, kegagalan tarik terjadi sepanjang bagian transversal df dan kegagalan geser terjadi pada dua bagian longitudinal yaitu de dan fg. Pada pelat tarik, kegagalan tarik terjadi pada bagian ik dan kegagalan geser terjadi pada bagian hi dan jk, yang dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pola Kerusakan Blok Pelat Buhul dan Pelat Tarik

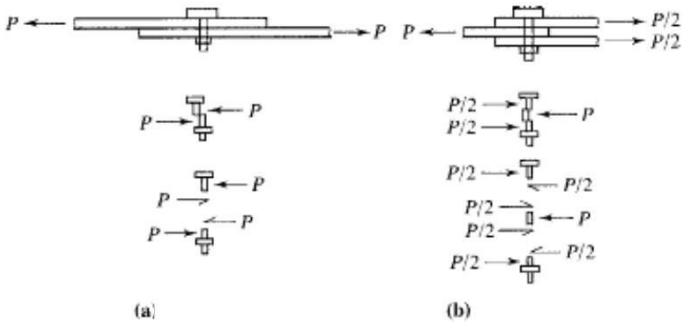
Sumber: SEGUI (2013)

Menurut spesifikasi SNI dengan faktor ketahanan sebesar 0.75, kekuatan yang tersedia untuk keadaan batas keruntuhan blok geser sepanjang alur kegagalan geser atau alur-alur dan alur kegagalan tarik tegak lurus harus diambil sebesar:

$$Ø\ R_n = 0.6\ F_u\ A_{nv} + U_{bs}\ F_u\ A_{nt} \leq 0.6\ F_y\ A_{gv} + U_{bs}\ F_u\ A_{nt} \quad \text{.....(2.3)}$$

2.2.3 Shear On Fasteners

Sebelum mempertimbangkan kekuatan dari sambungan baut, kita perlu memeriksa berbagai kegagalan yang terjadi sehubungan dengan baut yang menerima gaya geser. Kegagalan pada sambungan baut yang menerima gaya geser menurut Segui yang berjudul "*LRFD Steel Design*" dibagi menjadi 2 kategori kegagalan yaitu kegagalan pada pasangan baut dan kegagalan dari elemen – elemen penghubung. Pengaruh gaya geser terhadap sambungan baut yang ditunjukan dalam Gambar 2.4. Kegagalan baut dapat diasumsikan terjadi seperti yang ditunjukan.



Geser Tunggal Geser Ganda

Gambar 2.4 Sambungan Geser

Sumber: SEGUI (2013)

Kegagalan sambungan pada elemen penghubung diilustrasikan pada Gambar 2.5. Penambahan ketebalan baja untuk sambungan akan meningkatkan jumlah bidang geser dan mengurangi beban pada bidang masing – masing. Namun, dapat meningkatkan panjang baut sehingga lemah terhadap lentur. Tipe lain kegagalan pada sambungan geser melibatkan kegagalan bagian yang terhubung dan dikelompokan ke dalam dua kategori umum.

1. Kegagalan yang diselediki dari tarik yang berlebih, geser, atau tekukan dibagian yang terhubung. Jika salah satu elemen sedang tersambung, tegangan kotor di kedua daerah dan area bersif efektif harus diselidiki.
2. Kegagalan elemen sambungan karena tumpu yang diterma oleh baut. Jika lubang sedikit lebih besar daripada baut dan baut yang diasumsikan untuk ditempatkan longgar.

Perencanaan kuat geser baut adalah $ØR_n$, dimana faktor ketahanan $Ø$ adalah 0,75 maka kuat geser nominal adalah :

$$ØR_n = ØF_{nv} A_b N_s \quad (2.4)$$

Dengan :

F_{nv} = Tegangan geser nominal

A_b = Luas baut nominal

N_s = Jumlah bidang geser

Nilai F_{nv} dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Kuat Geser Nominal dalam Sambungan

Baut	**Kekuatan Tarik Nominal, F_{nts} (MPa)**	**Kekuatan Geser Nominal, F_{nv} (MPa)**
Baut A307	310	188
Baut group A (misal, A325), bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	620	372
Baut A409 atau A490M, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	780	457

Sumber : SNI 1729-2015 Tabel J3.2 – Kekuatan Nominal Pengencang dan Bagian yang Berulir, (MPa)

itenas library

2.2.4 Kuat Tumpu

Kuat tumpu suatu sambungan merupakan kekuatan dari masing – masing jenis pengikut karena kekuatan yang dipertimbangkan adalah pada bagian yang sedang tersambung bukan pada bagian pengikat. Untuk itu, persyaratan jarak antar baut dan persyaratan jarak tepi akan dipertimbangkan sebelum gaya geser dan gaya tarik diberikan.

Spesifikasi AISC menggunakan *konstanta* C dengan nilai 2,4. Nilai ini berkaitan dengan penambahan lubang baut sekitar 6 *mm* (RSCS, 2000). Dalam SNI 03-1729-2015, Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, deformasi menjadi pertimbangan desain. Kuat geser dari satu baut dapat dinyatakan sebagai ØRn, dimana Ø = 0,75.

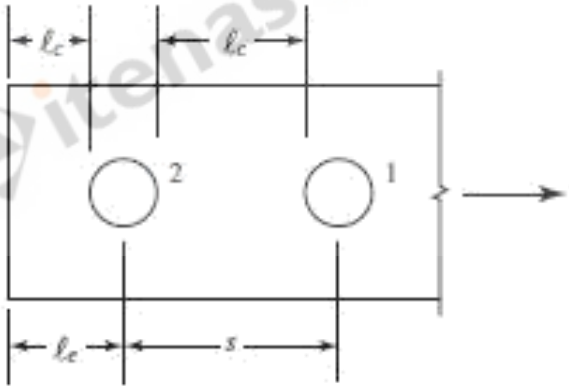
$$R_n = 1{,}2 * l_c * \mathrm{t} * F_u \leq 2{,}4 * d_b * \mathrm{t} * F_u \quad (2.11)$$

Dengan :

Lc : Jarak tepi lubang baut ke tepi lubang berdekatan atau ke tepi materi

t : Ketebalan bagian yang tersambung

Fu : Tegangan tarik utama bagian tersambung (bukan baut)



Gambar 2.5 Jarak-jarak antar sambungan baut

Sumber: SEGUI (2012)

Gambar 2.5 menunjukan jarak tepi ke pusat lubang (L_e), jarak tepi lubang ke tepi bagian terhubung (L_c), dan jarak antar pusat sumbu lubang baut (s).

–

Jadi kekuatan untuk baut 1 dihitung dengan L_c diukur ke tepi baut 2, dan kekuatan untuk baut 2 dihitung dengan $L_c = L_e - \frac{d}{2}$, untuk baut lain, gunakan $L_c = s - d$, dengan d adalah diameter lubang.

2.2.5 Mutu Baja

Menurut SNI 1729-2002 ada beberapa mutu baja yang diproduksi di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Nilai Kuat Tarik Minimum dan Kuat Leleh Minimum pada Baja

Jenis Baja	Kuat tarik Minimum, *fu* (MPa)	Kuat leleh Minimum, *fy* (MPa)
34	340	210
37	370	240
41	410	250
50	500	290
55	550	410

Sumber : SNI 1729-2002 Tabel 5.3 – Sifat Mekanis Baja Struktural, (MPa)

itenas library

2.3 Penelitian Terkait yang Pernah Dilakukan

Dibutuhkannya Penelitian-penelitian terkait untuk menjadi referensi dan tolak ukur dalam penelitian ini. Penelitian-penelitian terkait yang pernah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Desi Hardianti, 2018 .

Penelitian yang dilakukan Desi Hardianti (2018) tentang “studi eksperimental kapasitas sambungan baja batang tarik sambungan baut” Penelitian ini mempunyai tujuan Memperoleh hubungan antara konfigurasi sambungan yang digunakan pada sambungan pelat baja dengan kekuatan maksimum yang dapat ditahan oleh sambungan tersebut

Pengujian batang tarik baja dilakukan dari profil siku sama kaki mutu Fu : 302,678 MPa dan Fy : 209,679 MPa ukuran 70 mm x 300 mm x 3 mm disambung dengan pelat yang sama menggunakan baut mutu A449 diameter 8mm. yang memiliki konfigurasi sambungan seperti gambar 2.6.

Gambar 2.6 Spesimen Material Pelat Baja
(Desi Hardianti ; 2018)

Pada studi eksperimental pengujian sambungan batang tarik baja disiapkan 3 benda uji sesuai dengan konfigurasi Gambar 2.6. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM).

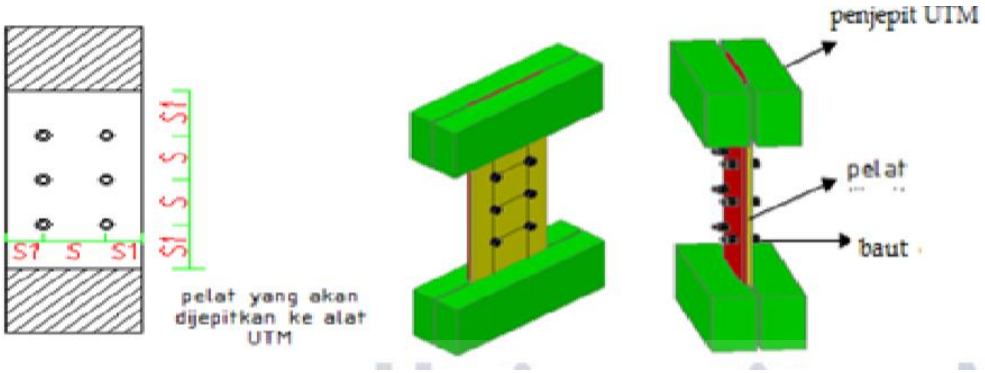
Studi analitis dan studi eksperimental sambungan batang tarik baja dengan konfigurasi sambungan seperti pada gambar 2.6 menghasilkan kesimpulan yang berbeda untuk kondisi batas sambungan batang tarik yaitu pada studi analitis terjadi kegagalan runtuh tarik pada pelat baja sedangkan pada saat eksperimental terjadi kegagalan tumpu pada lubang baut. Benda uji di desain berdasarkan analitis untuk mengalami kegagalan runtuh pada pelat baja.

2. Hendry Yudha Pranata, 2017.

Penelitian yang dilakukan Hendry Yudha Pranata (2017) tentang “pengoptimalan pemasangan jarak antar baut terhadap terjadinya curling pada sambungan pelat.” Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui perilaku sambungan pelat dengan mengoptimalisasi jarak pemasangan posisi antar baut terhadap terjadinya curling dan mengetahui kerusakan apa yang akan terjadi.

Adapun langkah dan spesifikasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Menggunakan pelat baja 5 mm, dan baut diameter 16 mm. Dengan mutu titik leleh (fy) material pelat baja pada tegangan 317.78 N/mm², regangan 0,02 % dan titik putus (fu) pada tegangan 443.33 N/mm dengan konfigurasi yang dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Konfigurasi Sambungan pada Benda Uji

2. Menentukan Jarak Baut dan Jarak Tepi baut. Yang meliputi jarak antar baut dan jarak baut dengan tepi pada sambungan pelat baja, agar sesuai dengan persyaratan desain benda uji yang direncanakan.
3. Pembuatan Benda Uji Pada tahap ini adalah proses pembuatan sambungan sesuai desain rencana sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan.

Tabel 2.4 Uji Tarik Sambungan

No.	Tipe Sambungan	Jarak Antar Baut (mm)	P Maks (KN)
1	A0	50	225
2	A1	65	258
3	A2	60	225
4	A3	45	213
5	A4	35	205

Sumber :Hendry Yudha Pranata (2017)

4. Pengujian dapat dimulai pengujian-pengujian benda uji sambungan pelat baja, yang bertujuan untuk mengetahui kuat tarik setiap sambungan

Simpulan dari penelitian ini adalah :

1. Nilai tegangan yang dihasilkan jarak antar baut lebih besar dari tegangan jarak baut dengan tepi, maka semakin besar jarak antar baut tegangan yang dihasilkan semakin besar tetapi semakin kecil tegangan yang dihasilkan dari jarak baut dengan tepi begitupun sebaliknya.
2. Kekuatan ultimit pada setiap tipe sambungan dengan variasi jarak antar baut semakin kecil pada wilayah tarik, maka kekuatan ultimit (P Maks) yang dihasilkan semakin kecil.

itenas library