

# JURNAL TEKNIK SIPIL

Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil

## Pengaruh Pemakaian Baut Mutu Tinggi dan Baut Biasa terhadap Kinerja Sistem Sambungan dengan Ring-Khusus-Beralur

Wiryanto Dewobroto

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Pelita Harapan, UPH Tower, Lippo Karawaci, Tangerang 15811  
E-mail: wiryanto.dewobroto@uph.edu

Hendrik Wijaya

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Pelita Harapan, UPH Tower, Lippo Karawaci, Tangerang 15811  
E-mail: hendrik\_w86@yahoo.com

### Abstrak

*Penggantian ring dengan ring-khusus-beralur akan meningkatkan kinerja sambungan baut pada pelat baja tipis, ditinjau di sisi kekuatan, kekakuan, dan daktilitasnya (Dewobroto, 2009). Untuk pemasangan sistem tersebut diperlukan gaya tekan awal agar pada pelat baja tipis terbentuk alur yang berkesesuaian dengan ring-khusus-beralur. Bagian tersebut dianggap sebagai mekanisme kunci dari sistem. Dari bagian pelat yang rusak, yang dianggap menentukan kekuatan sistem, terjadi di bagian pelat yang beralur (Dewobroto, 2009), yang letaknya jauh dari lubang baut. Kondisi itu memberi kesan, bahwa baut mutu tinggi yang ada, tidak berperan. Keberadaannya hanya untuk membentuk dan mempertahankan alur bersama-sama dengan ring-khusus-beralur. Jika demikian, apakah baut mutu tinggi masih diperlukan. Jika dapat diganti baut biasa tentu sistem sambungan akan lebih ekonomis. Untuk menjawab, dibuatlah penelitian empiris pengaruh pemakaian jenis baut : (AISC, 2010) baut mutu tinggi berprategang, dan (Dewobroto, 2009) baut biasa, terhadap kinerja sistem sambungan. Penelitian menunjukkan bahwa pemberian prategang dengan pengencangan baut adalah sangat penting. Itu hanya efektif jika digunakan baut mutu tinggi.*

**Kata-kata Kunci:** Ring-khusus-beralur, pretensioning, baut mutu tinggi, baut biasa.

### Abstract

*The washer replacement with a specially-grooved-washer will increase performance of steel sheets bolted connection system, in terms of strength, stiffness, and ductility (Dewobroto, 2009). To install the connection system, it needs an initial pressure to create a groove on the steel sheet that match with the special-grooved-washer. The grooved is regarded as a key mechanism of the system. According to the experimental data, the failure location of steel sheet, that is considered determining the connection strength, occurs in the grooved region (Dewobroto, 2009), that is far from the hole of the bolt. Therefore, the bolt does not appear to contribute directly to the collapse of the system. It looks only to establish and maintain the groove in the steel sheet. Therefore, it raises the question, why the system should use high strength bolts. If it can be changed with the ordinary bolt, then the system will be more economical. To answer it, then made an experimental test to study the influence of : (AISC, 2010) pretension high strength bolt, and (Dewobroto, 2009) ordinary bolts, to the performance of the bolted connection system with a special-grooved-washer. The results show, a pretension is very important, and it can only be effective if used a high strength bolt.*

**Keywords:** Special-grooved-washer, pretension, high strength bolt, ordinary bolt.

## 1. Pendahuluan

Washer atau ring adalah kelengkapan dari alat sambung baut (**Gambar 1a**). Jika ring dibuat khusus, dilengkapi dengan alur yang saling berjodoh, selanjutnya disebut ring-khusus-beralur (**Gambar 1b**), jika diaplikasikan pada sistem sambungan baut mutu tinggi pada pelat baja tipis, terbukti akan meningkatkan kinerja dari segi kekuatan, kekakuan, dan daktilitasnya

(Dewobroto, 2009). Peningkatan terlihat jika dibandingkan dengan sistem yang sama tetapi memakai ring standar. Perilaku keruntuhannya juga unik, berbeda dari sistem standar, sehingga berpotensi menjadi sistem baru untuk alat sambung pelat baja tipis.

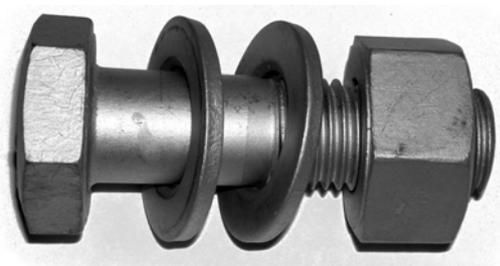
Ring-khusus-beralur akan berfungsi, yaitu untuk peningkatan kinerja, jika diaplikasikan pada sistem

sambungan pelat baja tipis. Batasan tipis atau tidaknya pelat baja sambungan, ditentukan dari dapat atau tidaknya terbentuk alur pada pelat sambungan (**Gambar 2a**), yang kemudian jika dipasangkan dengan ring-khusus-beralur, bersama-sama dengan baut mutu tinggi, akan dapat saling berkesesuaian (**Gambar 2b**).

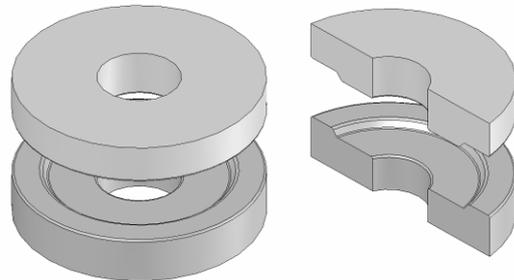
Ring-khusus-beralur akan berfungsi, yaitu untuk peningkatan kinerja, jika diaplikasikan pada sistem sambungan pelat baja tipis. Batasan tipis atau tidaknya pelat baja sambungan, ditentukan dari dapat atau tidaknya terbentuk alur pada pelat sambungan (lihat **Gambar 2a**), yang kemudian jika dipasangkan dengan ring-khusus-beralur, bersama-sama dengan baut mutu tinggi, akan dapat saling berkesesuaian (lihat **Gambar 2b**).

## 2. Mekanisme Kerja dan Permasalahannya

Baut mutu tinggi (setara ASTM A325) bila diaplikasikan pada sambungan baut tipe geser dapat menghasilkan mekanisme slip-kritis, khususnya bila diberikan gaya *pretensioning* yang cukup. Jika beban ditambahkan terus dan melebihi kapasitas slip-kritisnya, akan terjadi slip. Mekanisme peralihan gaya-gaya pada sambungan akan berubah dari friksi (antar permukaan pelat-pelat yang saling bertemu) menjadi pelat-baut-pelat, dimana baut akan berperan langsung mengalihkan gaya-gaya. Jika demikian, maka keruntuhan akan ditentukan oleh bagian terlemah, antara pelat atau baut. Mekanisme kerja yang terakhir ini disebut mekanisme tumpu. Jika digunakan baut biasa (ASTM A307 atau setara), ternyata *pretensioning* yang dihasilkannya tidak memadai untuk terjadinya



a. Baut, ring, (washer) dan mur tipe standar



b. Ring-khusus-beralur (utuh dan terpotong)

**Gambar 1. Bentuk-bentuk washer / ring (Dewobroto, 2009)**



a. Bentuk deformasi (alur) pada pelat baja tipis



b. Pelat sambungan terpasang

**Gambar 2. Sambungan baja pelat tipis dengan ring-khusus-beralur (Dewobroto, 2009)**

mekanika slip-kritis, jadi hanya mekanisme tumpu saja yang dapat diandalkan. Jadi perbedaan mendasar antara baut mutu tinggi dan baut biasa, adalah kemampuannya menghasilkan gaya *pretensioning*.

Berdasarkan pemeriksaan visual kondisi kerusakan sistem sambungan baru, yaitu sambungan baut mutu tinggi pada pelat baja tipis dengan ring-khusus-beralur, tidak dijumpai adanya kerusakan tumpu sebagaimana yang umum dijumpai pada sambungan baut. Kondisi baut dan pelat di sekitar pinggiran lubang baut (lihat **Gambar 3b**) pada bagian bawah terlihat masih utuh. Mekanisme yang terjadi tentunya bukan mekanisme tumpu konvensional sebagaimana terlihat pada **Gambar 3a**. Dari kurva beban lendutan (Dewobroto, 2009) juga tidak terlihat adanya slip, tetapi langsung kondisi maksimum (*ultimate*) dan runtuh, berupa sobek tarik (fraktur). Pemakaian baut mutu tinggi dengan cara *turn-of-nut*, tentunya akan menghasilkan *pretensioning* yang menyebabkan mekanisme slip-kritis. Dari pengamatan perilaku keruntuhan, mekanisme slip-kritis dianggap masih ada karena tidak terlihat adanya fenomena slip, sedangkan disisi lain telah terjadi kontak, yaitu dengan terbentuknya alur. Jadi ditengarai mekanisme slip dan tumpu bekerja bersama-sama pada daerah pelat yang beralur. Tetapi karena kondisi baut dan pelat di tepi lubang terlihat utuh, timbul kesan bahwa penggunaan baut mutu tinggi tidak signifikan berpengaruh. Sehingga ada dugaan baru, bahwa *pretensioning* hasil pengencangan dari baut biasa sudah mencukupi. Jadi jika baut mutu tinggi dapat diganti dengan baut biasa, maka tentunya sistem sambungan akan lebih ekonomis.

Untuk menanggapi dugaan di atas, dibuatlah penelitian eksperimen yang membandingkan dua sistem sambungan baut pelat tipis (*cold-rolled*) dengan ring-khusus-beralur, yang dimensinya sama, kecuali jenis baut, yaitu baut mutu tinggi dan baut biasa. Untuk menghasilkan gaya *pretensioning* dipilih pengencangan cara *turn-of-nut*, salah satu yang direkomendasikan AISC (2010), sedangkan untuk baut

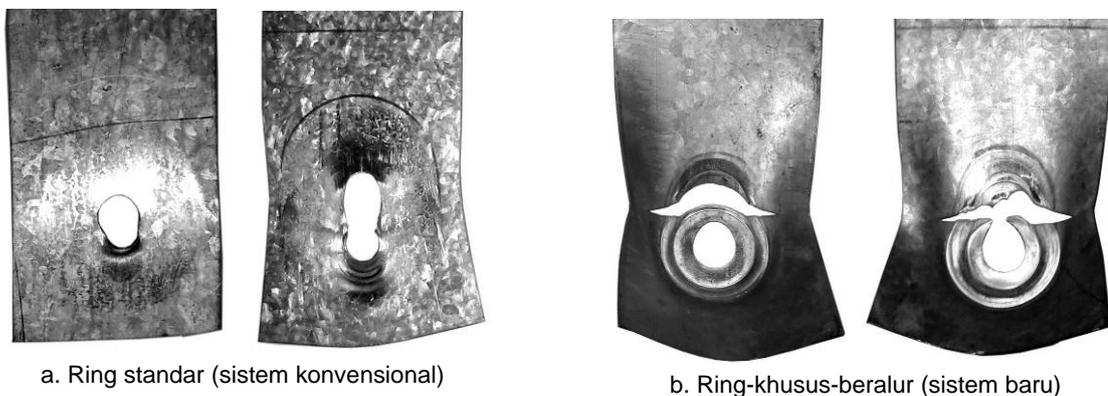
biasa cukup dikencangkan sampai kondisi *snug-tightened joint* (AISC, 2010).

### 3. Metodologi Penelitian

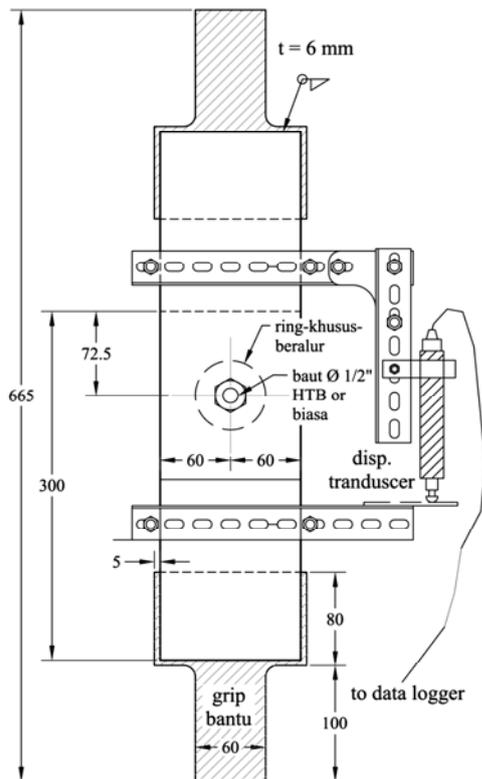
Strategi penelitian yang digunakan adalah uji parametrik, yaitu membandingkan sampel-sampel uji eksperimen yang berbeda pada parameter yang ditinjau. Hasilnya lalu dievaluasi satu dengan lainnya. Jadi kalau dianggap ada perbedaan, maka itu disebabkan oleh parameter tersebut. Selanjutnya dapat ditarik suatu kesimpulan tentang seberapa besar pengaruh parameter yang dievaluasi dan hasil pengujiannya. Untuk menghindari perbedaan yang tidak penting, digunakan parameter benda uji yang mirip dengan penelitian sebelumnya (Dewobroto, 2009). Material pelat baja tipis sama, yaitu tebal 1.5 mm, adapun tegangan leleh ( $F_y$ ) sekitar 220 ~ 250 MPa, tegangan ultimate ( $F_u$ ) sekitar 271 ~ 374 MPa. Konfigurasi benda uji secara umum dapat dilihat pada **Gambar 4a**.

Perbedaan dari sampel uji lama (Dewobroto, 2009), ada pada diameter baut yang digunakan. Sampel uji lama memakai baut mutu tinggi  $\phi \frac{3}{4}$  in sedangkan sampel baru memakai baut  $\phi \frac{1}{2}$  in (baut mutu tinggi dan baut biasa). Hal ini berdampak pada diameter lubang baut pada ring-beralur-khusus yang digunakan, sehingga perlu dibuat ring yang baru. Adapun konfigurasi alur masih tetap sama (Dewobroto, 2009 dan Dewobroto, et.al., 2009).

Masing-masing sistem sambungan dibuat rangkap tiga (3). Satu sistem terdiri dari pelat baja tipis dengan ring-khusus-beralur memakai baut mutu tinggi  $\phi \frac{1}{2}$  in (A325); dan satu sistem lagi dengan konfigurasi sama tetapi memakai baut biasa  $\phi \frac{1}{2}$  in (A 307). Jadi total ada 6 (enam) sampel uji dari dua sistem tersebut. Hal khusus dari penyiapan sampel uji adalah pengencangan baut mutu tinggi, yaitu untuk menjamin dihasilkannya *pretensioning* yang standar (AISC, 2005). Prosesnya akan diulas secara khusus pada bab berikutnya.



**Gambar 3. Bentuk kerusakan akibat uji tarik sambungan (Dewobroto et. al., 2009)**



a. Sampel uji sambungan rencana



b. Konfigurasi uji terpasang

**Gambar 4. Sampel uji sambungan baut (HTB atau biasa) dengan ring-khusus-beralur**

Untuk keperluan pemasangan sampel uji ke mesin UTM, maka perlu dibuat pelat baja tambahan yang lebih tebal (6 mm) dibanding pelat baja tipis yang disambung (1.5 mm). Hubungan keduanya dilakukan dengan sistem pengelasan, ini penting untuk mencegah terjadi slip. Konfigurasi sampel uji rencana dan realisasi sesaat sebelum pengujian sampai runtuh dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Proses pengujian tarik sampai runtuh, dilaksanakan di laboratorium Balai Bahan Bangunan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum, Cileunyi, Bandung. Pada pengujian tersebut dapat dihasilkan kurva beban-deformasi pada tiap-tiap tahapan beban yang selanjutnya dievaluasi untuk melihat pengaruh jenis alat sambung terhadap kinerja sistem sambungan dengan ring-khusus beralur.

#### 4. Pengencangan Baut

Tinjauan penggunaan baut mutu tinggi dan baut biasa pada sistem sambungan baut dengan ring-khusus-beralur tentu berfokus pada pengaruh *pretensioning* yang ditimbulkan pada sistem. Oleh sebab itu strategi pengencangan baut yang dilaksanakan pada penelitian ini menjadi sesuatu yang penting dan perlu diungkapkan.

Menurut AISC (2010), pemasangan baut mutu tinggi dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu pengencangan baut (AISC, 2010) metode *turn-of-nut*; atau (Dewobroto, 2009) memakai *wrench* terkalibrasi; melengkapinya dengan (Dewobroto, et.al., 2009) *direct-tension-indicator* (ASTM F959); atau (Dewobroto dan Besari, 2009) kontrol tarik baut tipe *twist-off* (ASTM F1852); terakhir (Wijaya dan Dewobroto, 2008) baut rencana alternatif. Dari kesemuanya tersebut, dipilih cara pengencangan baut dengan metode *turn-of-nut*, yang dianggap paling mudah dan tidak memerlukan alat ukur khusus (murah).

Pada pemasangan sambungan baut (baik itu berupa baut mutu tinggi atau baut biasa) ada suatu kondisi yang disebut *Snug-Tightened Joint*. Kondisi tersebut dapat tercapai, jika dapat dipastikan pelat-pelat sambungan dapat mencapai kondisi rapat (pelat-pelat saling bertemu dengan baik), kemudian mur (nut) dikencangkan dengan kunci-pas (*wrench*) standar sekuat tenaga pekerja normal. Ini merupakan tahap final untuk pemasangan baut biasa, sedangkan untuk baut mutu tinggi akan dilanjutkan pada tahap berikutnya, yaitu cara *turn-of-nut*.

Agar dihasilkan *pretensioning* baut menurut cara *turn-of-nut*, maka setelah kondisi *snug-tightened joint* tercapai, untuk baut dengan panjang kurang dari  $4 \times \text{diameter}$  maka nut / mur perlu dikencangkan lagi

sedemikian sehingga nut / mur berputar sampai mencapai 1/3 putaran (RCSC, 2004) atau membentuk sudut 120° (lihat **Gambar 5a**).

Secara teoritis cara *turn-of-nut* mudah dilakukan, dalam praktek karena sambungan berupa sampel yang relatif kecil dan terpisah, maka diperlukan suatu “platform khusus” yang berfungsi memegang kepala baut mutu tinggi agar tidak ikut berputar ketika mur / nut-nya dilakukan pengencangan ulang. Juga diperlukan lengan bantu pada kunci pas agar dapat dengan mudah dilakukan pengencangan ulang. Proses pengencangan baut pada sampel uji sambungan dengan cara *turn-of-nut* pada penelitian ini diperlihatkan pada **Gambar 5b**.

Dengan strategi pengencangan baut yang sistematis sesuai *code* (AISC, 2010; RCSC, 2004), diharapkan tidak terdapat banyak perbedaan kondisi *pretensioning* pada baut yang akan diuji. *Pretensioning* pada baut biasa relatif kecil, karena hanya mengandalkan kondisi *snug-tighted*, sedangkan pada baut mutu tinggi (HTB) dipastikan ada tambahan lagi akibat pengencangan tahap ke-2. Pada kondisi tersebut maka dapat diperkirakan berdasarkan *code* (AISC, 2010) bahwa baut mutu tinggi akan terdapat *pretensioning* minimum 70% dari kuat tarik minimum baut. Untuk baut diameter 1/2” ASTM A325 dimana kuat tarik minimum adalah 620 MPa (AISC, 2010), maka akan terdapat gaya *pretensioning* minimum sebesar  $620 * 127 * 0.7 / 1000 = 55.1$  kN atau 5.51 ton. Pada penelitian sebelumnya (Dewobroto, 2009) dipakai

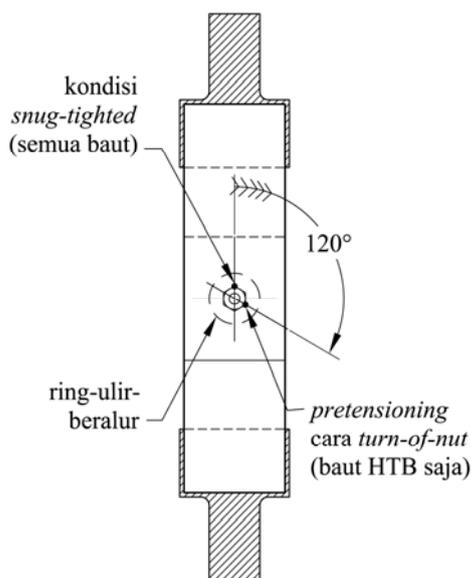
baut 3/4” untuk dimensi alur-khusus beralur yang sama, berarti gaya *pretensioning* yang terjadi adalah  $620 * 285 * 0.7 / 1000 = 123.7$  kN atau 12.37 ton (lebih dua kali lipatnya).

## 5. Uji Tarik Eksperimental Sampai Runtuh

Sampel uji sistem sambungan dengan baut biasa dan baut mutu tinggi, semuanya ada 2@3=6 (enam). Uji tarik sampai runtuh dilakukan dengan mesin UTM milik Laboratorium Balai Bahan Bangunan, Puskim, Bandung. Suasana pengujian tarik dan kondisi keruntuhan akhir diperlihatkan pada **Gambar 6**.

Perilaku mekanik sistem sambungan terhadap pembebanan diperlihatkan sebagai kurva P-δ (beban-deformasi), yang di-pindai dari hasil *plotter* mesin UTM. Untuk mengukur kinerja sistem, kurva disederhanakan untuk membedakan daerah linier dan non-linier-nya. Penyederhanaannya sebagai kurva bi-linier, dengan AutoCAD sehingga dapat diketahui nilainya dengan cara membuat skala gambar mengacu catatan beban maksimumnya. Dalam pelaksanaannya diperlukan *engineering-judgement* sebagaimana yang terlihat pada **Gambar 7** (baut mutu tinggi) dan **Gambar 8** (baut biasa)..

Berdasarkan skala kurva bilinier dari **Gambar 7** dan **8**, dapat diketahui beban linear maksimum,  $P_y$ , dan beban batas maksimum (*ultimate*),  $P_u$ . Semuanya itu dapat dirangkumkan pada **Tabel 1**.



a..Spesifikasi pengencangan baut



b. Pemasangan baut di laboratorium bahan di UPH

**Gambar 5. Strategi pengencangan baut biasa dan baut mutu tinggi (cara *turn-of-nut*)**

Tabel 1. Kinerja sambungan baut  $\phi \frac{1}{2}$ " dengan ring-khusus-beralur

No	Jenis baut	Notasi	$P_y$ (kg)	Mean	$P_u$ (kg)	Mean	Catatan
1	HTB	UPH-W100A	2891		3977		
2	HTB	UPH-W100B	3486	3256 (147%)	4820	4365 (141%)	
3	HTB	UPH-W100C	3391		4297		
4	Biasa	UPH-W100A'	2238		3121		
5	Biasa	UPH-W100B'	2020	2220 (100%)	3094	3092 (100%)	drop /slip
6	Biasa	UPH-W100C'	2402		3060		

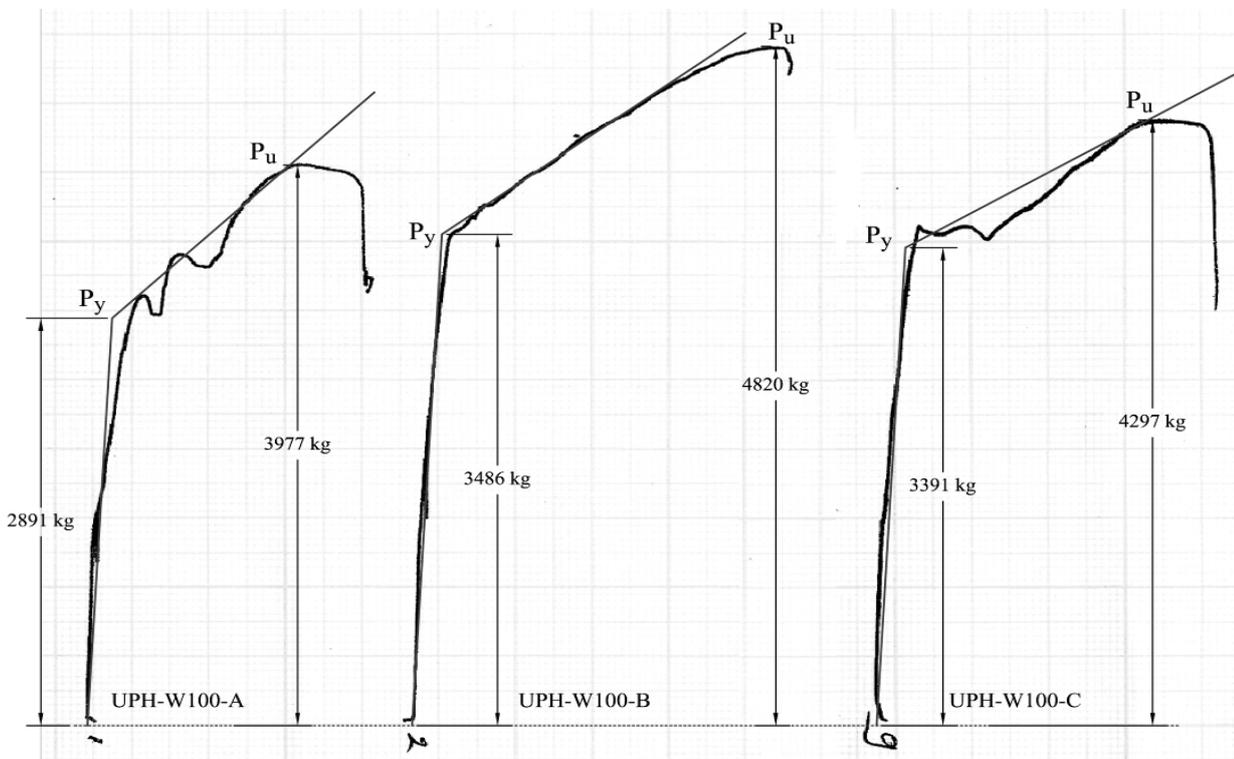


a. Mesin UTM Laboratorium Balai Bahan Bangunan, PUSKIM

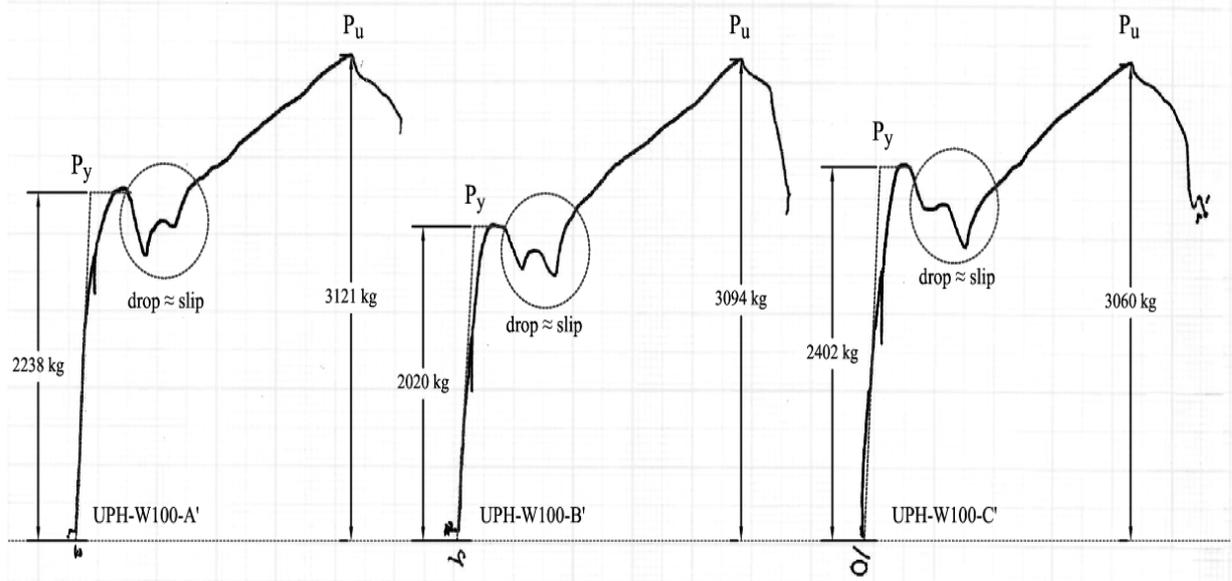


b. Keruntuhan akhir sampel uji

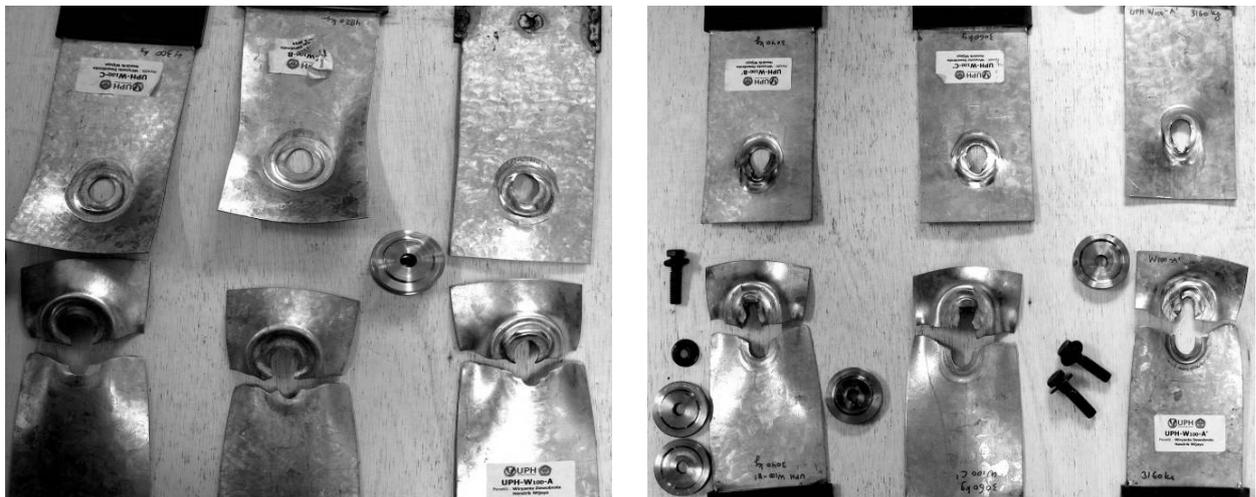
Gambar 6. Uji tarik sistem sambungan ring-khusus-beralur sampai runtuh



Gambar 7. Perilaku mekanik ( $P-\delta$ ) sambungan baut  $\phi \frac{1}{2}$ " (HTB) dengan ring-khusus-beralur



Gambar 8. Perilaku mekanik (P- $\delta$ ) sambungan baut  $\phi$  1/2" (biasa) dengan ring-khusus-beralur



a. dengan baut mutu tinggi (*pretensioning*)

b. dengan baut biasa (*non-pretensioning*)

Gambar 9. Bentuk kerusakan komponen sambungan setelah pengujian sampai runtuh

Untuk mempelajari perilaku keruntuhan yang terjadi, sistem sambungan setelah pengujian beban, diurai untuk memperlihatkan bagian-bagian yang mengalami kerusakan, sebagaimana terlihat pada Gambar 9.

## 6. Pembahasan

Ke-enam sampel uji sambungan baut pelat baja tipis yang memakai ring-khusus beralur, mempunyai parameter ukuran sama ( $\phi$  1/2"), kecuali jenis baut yang digunakan, yaitu baut mutu tinggi (HTB) dengan *pretensioning* dan baut biasa. Berdasarkan kurva P- $\delta$  (Gambar 7 dan 8) diketahui bahwa penggunaan ring-khusus-beralur dapat menghasilkan sistem sambungan yang kaku, karena tidak terjadi slip. Sedangkan sambungan baut mutu tinggi dengan ring konvensional yang bekerja dengan mekanisme tumpu menghasilkan

slip (Dewobroto, 2009). Kondisi ini tentu tidak mengherankan karena dimensi ring-khusus-beralur sendiri relatif lebih besar dan lebih tebal dari ring standar. Penelitian empiris Wijaya dan Dewobroto (2008) membuktikan bahwa ring besar dan tebal dapat bekerja lebih baik dalam menyalurkan gaya *pretensioning* dari baut mutu tinggi sehingga menimbulkan friksi yang mencukupi untuk menghasilkan mekanisme slip-kritis pada sistem sambungan pelat baja tipis (*cold-rolled*). Oleh karena itu, adanya ring yang lebih besar dari ring standar, dan bahkan dapat diberikan alur khusus, maka tentunya akan meningkatkan perilaku semacam friksi tersebut.

Seperti umumnya sistem sambungan baut berdasarkan mekanisme slip-kritis, kinerja sebelum slip ditentukan oleh besarnya gaya *pretensioning* yang dihasilkan

baut. Jadi penggunaan baut mutu tinggi dengan *pretensioning* sesuai code (pengencangan cara *turn-of-nut*) memberikan kinerja  $\pm 140\%$  lebih besar dari ring-khusus-beralur dengan baut biasa. Meskipun demikian sambungan pelat tipis memakai baut-biasa yang digabung dengan ring-khusus-beralur masih lebih baik dibanding sambungan pelat tipis memakai baut-mutu-tinggi dengan ring biasa. Seperti diketahui bahwa sambungan pelat tipis dengan baut-mutu-tinggi tidak dapat mengandalkan mekanisme slip-kritis, hanya mekanisme tumpu yang didahului dengan terjadinya slip.

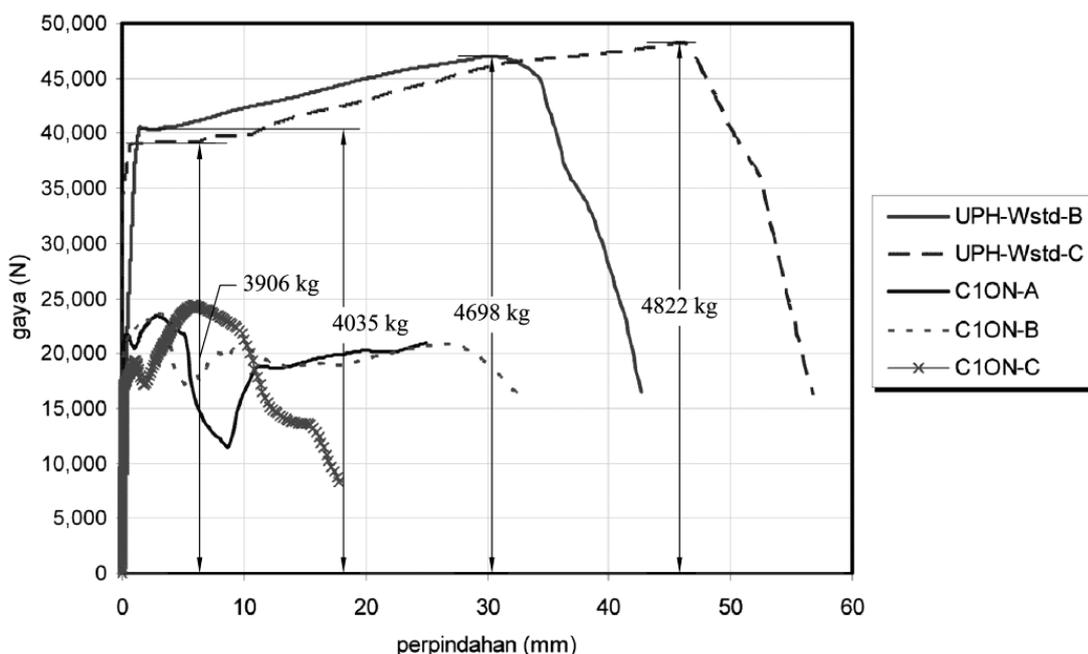
Untuk menghitung besarnya kapasitas tumpu baut, karena tidak ada benda uji eksperimen, akan dievaluasi secara numerik. Karena ukuran, tebal dan mutu pelat yang dipakai sama dengan penelitian terdahulu (Dewobroto, 2009) dan hanya berbeda dalam hal diameter baut yang digunakan, maka berdasarkan rumus tumpu baut (AISC, 2010) diperoleh:  $R_n = 3.0 \cdot d \cdot t \cdot F_u = 3.0 \cdot 13 \cdot 1.5 \cdot 271 = 15854N \approx 1585kg$ , atau  $\pm 70\%$  masih lebih kecil dibanding hasil uji sistem baru dengan baut biasa, yaitu 2220 kg. Itu menunjukkan bahwa sistem baru (ring-khusus-beralur) masih tetap lebih unggul, baik dari segi kapasitas dukung, maupun kekakuannya (tidak terjadi slip). Bahkan jika sistem baru tersebut menggunakan baut mutu tinggi dengan *pretensioning* yang baik, maka kapasitasnya meningkat  $\pm 200\%$  dibanding sistem sambungan baut mutu tinggi konvensional (ring biasa).

Pemasangan ring-beralur-khusus pada sistem sambungan baja pelat tipis *cold-rolled* yang benar

adalah jika telah dapat dihasilkan alur pada pelat sambungan (**Gambar 2a**). Kondisi tersebut merupakan kunci utama sistem sambungan tersebut. Jika kemudian digabung dengan adanya efek pengencangan baut-biasa, yaitu *snug-tighted-joint*, ternyata sudah bisa menghasilkan efek-pengunci yang bekerjanya seperti friksi pada sambungan dengan mekanisme slip-kritis. Lihat **Gambar 8**, dimana perilaku sambungan dengan ring-khusus-beralur memakai baut biasa, yang tidak memperlihatkan perilaku slip sampai suatu gaya sebesar  $P_y$ . Jika beban ditingkatkan, kurva  $P-\delta$  mengalami drop yang diperkirakan adalah slip, yang menunjukkan bahwa kapasitas slip kritis terlampaui. Jika beban tetap dilanjutkan, kurva  $P-\delta$  terlihat meningkat, akhirnya mencapai ultimate sebesar  $P_u$ .

Jadi pemakaian baut-biasa pada ring-khusus-beralur dapat menghasilkan perilaku sambungan slip-kritis dan tumpu sekaligus sebagaimana perilaku sambungan baut mutu tinggi konvensional pada umumnya. Bentuk keruntuhan tumpu dapat dilihat jelas pada **Gambar 9b**. Jika bautnya diganti dengan baut-mutu-tinggi dan diberi *pretensioning*, maka perilaku mekanik sambungan yang ditunjukkan sebagai kurva  $P-\delta$  akan terlihat relatif lebih baik (mulus), lihat **Gambar 7**.

Pada penelitian sebelumnya (Dewobroto, 2009) dihasilkan perilaku sistem sambungan pelat baja tipis dengan ring-khusus-beralur (sistem sambungan baru) yang mempunyai parameter ring yang sama, kecuali diameter baut yang digunakan, saat itu  $\phi \frac{3}{4}$ " (Dewobroto, 2009), adapun yang diteliti memakai  $\phi \frac{1}{2}$ ". Dengan demikian jika dibandingkan dapat dipakai



Gambar 10. Kurva  $P-\delta$  sambungan sistem baru dan lama dengan baut HTB  $\phi \frac{3}{4}$ " (Dewobroto, 2009)

untuk meneliti pengaruh *pretensioning* yang berbeda (lebih besar) terhadap kinerja sistem sambungan tersebut.

Hasil penelitian Dewobroto (2009) dengan baut  $\phi \frac{3}{4}$ " disajikan dalam bentuk kurva P- $\delta$  (**Gambar 10**), sekaligus terdapat pula perilaku kinerja sambungan yang sama kecuali hanya memakai ring-standar (cara konvensional). Perbandingan kinerja sistem dengan diameter baut dan ring yang berbeda dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Penggunaan diameter baut yang berbeda mempengaruhi besarnya *pretensioning*, karena cara pencancangannya sama, yaitu *turn-of-nut*, maka dianggap gaya *pretensioning* juga proporsional dengan luas penampang baut. Jika *pretensioning* baut  $\phi \frac{1}{2}$ " dianggap 100% maka untuk baut  $\phi \frac{3}{4}$ " dapat dihasilkan *pretensioning* sebesar 225%, sesuai perbandingan luas penampangnya. Jadi sampel pada penelitian Dewobroto (2009) dianggap mempunyai sistem dengan *pretensioning* sebesar 225%. Adapun kuat ultimate yang dihasilkan adalah 4760 kg atau sekitar 109% dari sistem dengan *pretensioning* 100%. Adapun kinerja sambungan sebelum slip meningkat dari 3256 kg menjadi 3971 kg atau sebesar 122%. Jadi *pretensioning* hanya efektif meningkatkan kekakuan

sistem sedangkan kuat maksimum pada suatu kondisi tertentu (perlu *pretensioning* minimum) tidak banyak berubah.

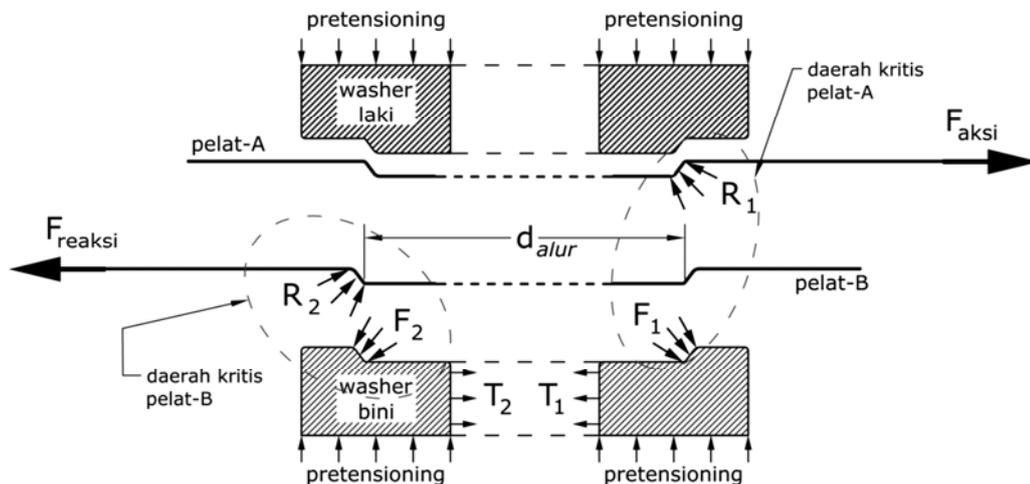
Berdasarkan bentuk kerusakan pelat sambungan (**Gambar 3** dan **9**) diketahui bahwa besarnya *pretensioning* mempengaruhi bagian pelat yang kritis. Semakin besar *pretensioning* maka daerah terkekang pelat, yaitu di dalam alur bagian tengah akan aman, daerah kritis terjadi di luar alur. Dalam hal ini baut sama sekali tidak berperan menyumbang kekuatan sistem sambungan kecuali sekedar memberikan *pretensioning*. Tetapi ketika terjadi slip, peran *pretensioning* menjadi hilang, digantikan oleh mekanisme tumpu, yang kerusakannya terlihat jelas pada **Gambar 9b**. Perhatikan baut yang terlihat melengkung karena bekerja menahan gaya pelat.

Melihat begitu berperannya *pretensioning* dari baut mutu tinggi pada kinerja sistem sambungan dengan ring-khusus beralur (washer laki-bini) terbukti bahwa mekanisme pengalihan gaya-gaya pada pelat (lihat **Gambar 11**) yang diajukan Dewobroto et. al. (2009) masih terbukti baik. Mekanisme tersebut masih relevan untuk digunakan sebagai dasar pengembangan lebih lanjut sistem di kemudian hari.

**Tabel 2. Kinerja sambungan dengan baut HTB  $\phi \frac{3}{4}$ " atau  $\phi \frac{1}{2}$ "**

No	f HTB	Notasi	$P_v$ (kg)	Mean	$P_u$ (kg)	Mean	Catatan
1	f $\frac{3}{4}$ "	UPH-C10N-A	-		2343	2380	Ring-biasa
2	f $\frac{3}{4}$ "	UPH-C10N-B	-	**	2359	(55%)	(Dewobroto 2009)
3	f $\frac{3}{4}$ "	UPH-C10N-C	-		2437		
4	f $\frac{3}{4}$ "	UPH-Wstd-B	4035	3971	4698	4760	Ring-khusus-beralur
5	f $\frac{3}{4}$ "	UPH-Wstd-C	3906	(122%)	4822	(109%)	(Dewobroto 2009)
6	f $\frac{1}{2}$ "	UPH-W100A	2891		3977	4365	
7	f $\frac{1}{2}$ "	UPH-W100B	3486	(100%)	4820	(100%)	Ring-khusus-beralur
8	f $\frac{1}{2}$ "	UPH-W100C	3391		4297		

Note : \*\* mekanisme slip-kritis diabaikan pada sambungan baut pelat baja tipis.



**Gambar 11. Mekanisme pengalihan gaya-gaya pada pelat-tampak potongan (Dewobroto, 2009)**

## 7. Kesimpulan

1. Berkaitan dengan penelitian ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :
2. Penggunaan baut pada sistem sambungan dengan ring-khusus-beralur adalah memberikan pretensioning dengan arah tegak lurus pelat sambungan (**Gambar 11**). Pretensioning tersebut merupakan komponen kunci terjadinya mekanisme kerja pada sistem sambungan baru tersebut. Semakin besar gaya pretensioning yang dapat diberikan, akan meningkatkan kekuatan sebelum terjadinya slip, meskipun kuat ultimate pada suatu kondisi pretensioning tertentu, tidak memberikan peningkatan yang signifikan.
3. Berkaitan dengan pengaruh pemakaian baut mutu tinggi (HTB) dan baut biasa terhadap kinerja sambungan dengan ring-khusus-beralur maka secara tegas dapat dinyatakan bahwa HTB diperlukan karena mampu menghasilkan pretensioning yang lebih besar dibanding baut biasa. Meskipun demikian, gaya pretensioning hasil pengencangan baut-biasa (kondisi snug-tighted-joint) ternyata dapat menghasilkan mekanisme slip-kritis pada sambungan baja pelat tipis (Gambar 8). Padahal jika di pakai ring standar, mekanisme slip-kritis tidak dapat diandalkan, sehingga diabaikan dalam perencanaan (Dewobroto, 2009).
4. Perilaku sambungan dengan ring-khusus-beralur relatif kaku (tidak terjadi slip) sehingga cukup baik digunakan pada struktur dengan pembebanan dinamis, seperti halnya gempa. Jadi sistem cocok dipakai untuk pembuatan struktur tahan gempa. Meskipun demikian, berdasarkan komponen biaya penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa material untuk pengadaan ring-khusus-beralur masih sangat mahal, apabila dibandingkan dengan alat sambung yang sekarang umum dipakai untuk baja pelat tipis. Untuk itu perlu penelitian lebih lanjut agar biaya dapat dikurangi sedemikian sehingga aplikasinya di lapangan menjadi memungkinkan, tidak sekedar memenuhi persyaratan kekuatan dan kekakuannya saja.

## 8. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat berlangsung karena mendapat dukungan dana dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional, sesuai Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian Hibah Bersaing Nomor: 086/SP2H/PL/Dit.Litabmas/IV/2011, tertanggal 14 April 2011. Juga mendapat dukungan administrasi dari Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, UPH. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada kedua institusi yang membantu tersebut.

## Daftar Pustaka

- AISC, 2005, ANSI/AISC 360-05: An American National Standard – Specification for Structural Steel Building, American Institute of Steel Construction, One East Wacker Drive, Suite 700, Chicago, Illinois
- AISC, 2010, ANSI/AISC 360-10: An American National Standard – Specification for Structural Steel Building, Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction, One East Wacker Drive, Suite 700.
- Dewobroto, W., 2009, *Pengaruh Bentuk dan Ukuran Washer (Ring) pada Perilaku Sambungan Baut Mutu Tinggi dengan Pretensioning di Baja Cold-Rolled*, Bandung (*unpublished*): Disertasi pada Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.
- Dewobroto, W., Kartawijaya, P., and Besari, S., 2009, Effect of Geometry Washer to The Behavior of Sheet Steel Connection with Pre-Tensioned Bolts, Malaysia: *7th Asia Pasific Structural Engineering and Construction Conference 2009 (APSEC 2009) and 2nd European Asian Civil Engineering Forum 2009 (EACEF 2009)*, Awana Porto Malai Langkawi, 4-6 August.
- Dewobroto, W., dan Besari, S., 2009, Distorsi Sambungan Baut akibat *Curling* dan Pencegahannya – Studi Kasus Sambungan Pelat Tipe Geser (lap-joint) dengan Baut Tunggal, *Jurnal Teknik Sipil ITB*, Edisi Vol. 16 No. 2, Agustus, Institut Teknologi Bandung
- Wijaya, H., dan Dewobroto, W., 2008, *Penggunaan Washer Khusus (Besar) pada Sambungan Baja Cold-formed*, Bandung: *Jurnal Teknik Sipil-ITB*, Edisi Vol. 15/3, Desember, Institut Teknologi Bandung.
- RCSC, 2004. *Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts*, Chicago, Illinois: Research Council on Structural Connections, One East Wacker Drive, Suite 3100.