PENGARUH DIAMETER LUAR *WASHER* TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN PADA SAMBUNGAN PELAT

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK KONSTRUKSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

ARDHI ERLANGGA
0001060115-62

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG

2007

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PENGARUH DIAMETER LUAR *WASHER* TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN PADA SAMBUNGAN PELAT

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Konstruksi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

ARDHI ERLANGGA
NIM. 0001060115 - 62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

DOSEN PEMBIMBING I	DOSEN PEMBIMBING II
Ir. Bardji Hadi Pranoto	**Ir. Ari Wahjudi, MT.**
NIP. 130 935 803	**NIP. 132 125 697**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PENGARUH DIAMETER LUAR *WASHER* TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN PADA SAMBUNGAN PELAT

Disusun oleh :

ARDHI ERLANGGA
NIM. 0001060115 - 62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 10 Agustus 2007

DOSEN PENGUJI

Skripsi 1	Skripsi 2
Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.	**Ir. Suharto, MT.**
NIP. 131 411 121	**NIP. 131 131 025**

Komprehensif

Ir. Pratikno, M.MT.
NIP. 130 928 864

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 132 159 708

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah saya ucapkan kehadirat Allah Subhaanahu Wata'ala atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul **"Pengaruh Diameter Luar *Washer* Terhadap Distribusi Tegangan Pada Sambungan Pelat"** dapat terselesaikan.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, terutama kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST, MT., selaku Ketua Jurusan Mesin.
2. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc,CSE., selaku Sekretaris Jurusan Mesin.
3. Bapak Dr. Ir. A. As'ad Sonief, MT., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konstruksi Jurusan Mesin.
4. Bapak Ir. Bardji Hadi Pranoto, selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan, dan saran dalam menyusun skripsi ini.
5. Bapak Ir. Ari Wahjudi, MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya untuk berdiskusi dalam penyusunan skripsi ini.
6. Kedua orangtua, Bapak H. Soeparto, BA. dan Ibu Hj. Hartatie, BA. tercinta yang telah memberikan segalanya yang terbaik untuk penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
7. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin serta Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Teman-teman mahasiswa Mesin angkatan 2000, serta semua pihak yang telah memberikan dorongan, semangat, dan do'a dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua terutama warga Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Malang, Agustus 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i
DAFTAR ISI ii
DAFTAR TABEL v
DAFTAR GAMBAR vi
RINGKASAN vii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan Penelitian 2
1.5 Sistematika Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 *Washer* 4
2.1.1 Pengertian Umum 4
2.1.2 Jenis-jenis *Washer* 4
2.1.3 Luas Penampang *Washer* 6
2.1.4 Gaya gesek antara *Washer* dengan Pelat 6
2.2 Pelat 7
2.2.1 Tinjauan Umum 7
2.2.2 Luas Penampang Melintang Pelat 8
2.3 Jenis Alat Penyambung 8
2.3.1 Paku Keling 8
2.3.2 Baut Hitam 8
2.3.3 Baut Sekrup (*Turned Bolt*) 8
2.3.4 Baut Bersirip (*Ribbed Bolt*) 9
2.3.5 Baut Kekuatan Tinggi 9
2.4 Teknik Pemasangan Baut 10
2.4.1 Mengencangkan Baut dengan Kunci Momen 11
2.4.2 Menentukan Gaya Pengencangan 11

2.4.3 Menghitung Luas Penampang Melintang Baut 12
2.4.4 Menghitung Luas Penampang Melintang Mur 13
2.4.5 Menghitung Luas Penampang Total 13
2.5 Konsep Tegangan dan Regangan 13
2.5.1 Konsentrasi Tegangan 15
2.6 *Strain-gage* dan *Wheatstone* 16
2.6.1 *Strain Gage* 16
2.6.2 Jembatan *Wheatstone* 17
2.6.3 Faktor Koreksi pada *Straingage* 19
2.6.4 Tegangan Utama 19
2.7 Hipotesis 20
BAB III METODE PENELITIAN 21
3.1 Metode Penelitian 21
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian 21
3.3 Variabel Penelitian 21
3.4 Urutan Proses Penelitian 21
3.4.1 Studi Literatur 22
3.4.2 Prosedur Penelitian 22
3.5 Metode Pengambilan Data 27
3.6 Proses Analisis 28
3.7 Diagram Alir Penelitian 29
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN 30
4.1 Data Penelitian 30
4.2 Analisis Statistik 31
4.2.1 Analisis Uji Keseragaman Data 31
4.3 Perhitungan Teoritis 34
4.3.1 Perhitungan Luas Penampang Melintang Pelat 34
4.3.2 Perhitungan Luas Penampang Melintang *Washer* 35
4.3.3 Perhitungan Luas Penampang Melintang Baut 36
4.3.4 Perhitungan Luas Penampang Melintang Mur 36
4.3.5 Perhitungan Luas Pemampang Melintang Total 37

4.3.6 Perhitungan Gaya Pengencang Baut 38
4.3.7 Perhitungan Gaya gesek antara *Washer* dengan Pelat . 38
4.4 Perhitungan Data Pengujian 39
4.4.1 Perhitungan Regangan Utama 39
4.4.2 Faktor Koreksi Terhadap Regangan Lateral 40
4.4.3 Perhitungan Tegangan 41
4.5 Analisis Tegangan Pelat Teoritis 41
4.6 Pembahasan 43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 46
5.1 Kesimpulan 46
5.2 Saran 46
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1.	Data Tegangan Listrik	31
Tabel 4.2.	Verifikasi Keseragaman Data	34
Tabel 4.3.	Luas Penampang Melintang *Washer*	35
Tabel 4.4.	Luas Penampang Melintang Total	38
Tabel 4.5.	Nilai Tegangan Rata-rata Pengujian	39
Tabel 4.6.	Hasil Perhitungan Regangan Spesimen Pengujian	40
Tabel 4.7.	Hasil Perhitungan Regangan Terkoreksi	40
Tabel 4.8.	Hasil Perhitungan Tegangan Berdasar Pengujian	41
Tabel 4.9.	Hasil Perhitungan Tegangan Rata-rata Teoritis	42

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Jenis-jenis *Washer*	5
Gambar 2.2.	Penampang Lintang Batang Tarik	7
Gambar 2.3.	Tipe Alat Penyambung	10
Gambar 2.4.	Kunci Mur Kontrol	11
Gambar 2.5.	Momen Pengencangan Pada Baut	12
Gambar 2.6.	Tegangan dan Regangan	14
Gambar 2.7.	Diagram Tegangan-Regangan	14
Gambar 2.8.	Perubahan Bentuk Dari Sebuah Batang Dalam Keadaan Tarik	15
Gambar 2.9.	Gambar Distribusi Tegangan	16
Gambar 2.10.	*Strain Gage*	16
Gambar 2.11.	Skema Rangkaian Jembatan *Wheatstone*	18
Gambar 3.1.	Spesimen (Pelat, Baut, Mur dan *Washer*)	22
Gambar 3.2.	Multimeter Digital	23
Gambar 3.3.	*Gotech Testing Machines*	24
Gambar 3.4.	Model Benda Kerja (Pelat Berlubang)	25
Gambar 3.5.	Model Benda Kerja (*Washer*)	25
Gambar 3.6.	Model Benda Kerja (Baut dan Mur)	26
Gambar 3.7.	Instalasi Penelitian	26
Gambar 4.1.	Grafik Keseragaman Data	33
Gambar 4.2.	Potongan Melintang Pelat	34
Gambar 4.3.	Potongan Melintang *Washer*	35
Gambar 4.4.	Potongan Melintang Baut	36
Gambar 4.5.	Potongan Melintang Mur	37
Gambar 4.6.	Luas Penampang Melintang Total	37
Gambar 4.7.	Grafik Hubungan Diameter Luar Washer dengan Tegangan	43
Gambar 4.8.	Grafik Hubungan Diameter Luar Washer dengan Tegangan Rata-rata	43

RINGKASAN

ARDHI ERLANGGA, 2007, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. *Pengaruh Diameter Luar Washer terhadap Distribusi Tegangan pada Sambungan Pelat*, **Dosen Pembimbing: Ir. Bardji Hadi Pranoto dan Ir. Ari Wahjudi, MT.** *Key word*: *Washer*, Diameter Luar, Distribusi Tegangan

Kegagalan pada sambungan pelat dengan menggunakan baut sering terjadi karena kelelahan akibat pembebanan yang berulang. Daerah sekitar lubang baut yang memiliki luasan penampang melintang terkecil menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan, dimana pada pemakaian jangka panjang dapat menyebabkan keretakan dan kegagalan. Pada tulisan ini, diteliti apakah diameter luar *washer* berpengaruh terhadap besarnya distribusi tegangan yang terjadi pada pelat di daerah sekitar lubang baut yang memiliki luas penampang terkecil. Hipotesis yang digunakan adalah dengan penambahan diameter luar *washer*, maka luasan penampang melintang pada daerah sekitar lubang menjadi lebih besar, sehingga gaya yang dibebankan terdistribusi pada luasan yang lebih besar, tegangan yang terjadi menjadi semakin kecil dan distribusi tegangan lebih merata.

Metode penelitian yang dipakai adalah eksperimen sejati dengan melakukan pengujian tarik pada pelat yang menggunakan baut dan memvariasikan diameter luar *washer* untuk mengetahui pengaruh diameter luar *washer* terhadap distribusi tegangan pada pelat.

Dari pengujian ini didapatkan hasil bahwa dengan semakin besar diameter luar *washer*, maka tegangan yang terjadi pada pelat di sekitar lubang baut menjadi lebih kecil sehingga distribusi tegangan semakin merata. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban tarik jauh di bawah titik yield dan lebih kecil daripada gaya gesek antara *washer* dengan pelat sehingga tidak terjadi pergeseran antara *washer* dengan pelat.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batang tarik sering dijumpai pada struktur baja sebagai batang struktural pada rangka jembatan dan atap, serta pada struktur rangka batang seperti pada menara transmisi dan sistem pengaku terhadap angin pada gedung bertingkat banyak. Batang tarik ini juga sering berupa batang sekunder seperti batang untuk memperkaku sistem lantai rangka batang atau untuk penumpu antara pada sistem dinding berusuk. Batang tarik dapat berbentuk profil tunggal atau dibuat dari sejumlah profil struktural.

Perencanaan batang tarik merupakan salah satu masalah teknik struktur yang sederhana dan bersifat langsung. Perencanaan batang tarik pada hakekatnya menentukan luas penampang lintang batang yang cukup untuk menahan beban yang diberikan dengan faktor keamanan yang memadahi terhadap keruntuhan karena stabilitas bukan merupakan hal utama.

Beberapa cara penyambungan batang tarik yang umum adalah menggunakan paku keling, baut, dan las. Bila batang tarik disambung dengan baut atau paku keling (*rivet*), lubang-lubang harus disediakan pada sambungan. Akibatnya, luas penampang lintang batang disambungan mengecil dan beban tarik yang diijinkan pada batang juga bisa berkurang sesuai dengan ukuran dan letak lubang. Bukan hanya itu, lubang pada batang menimbulkan konsentrasi tegangan (tegangan tidak merata), misalnya, lubang pada pelat akan menaikkan distribusi tegangan pada beban kerja. Apabila pembebanan dilakukan secara berulang-ulang, maka pelat akan mengalami kelelahan (*fatigue*) yang lama kelamaan akan timbul retakan.

Saat ini baut kekuatan tinggi dengan *washer* telah banyak menggantikan paku keling sebagai alat utama dalam sambungan struktural yang tidak dilas. Hal ini disebabkan pada sambungan yang menggunakan baut kekuatan tinggi dengan *washer* mempunyai ketahanan kelelahan yang lebih baik dari sambungan dengan menggunakan paku keling. Penggunaan baut kekuatan tinggi dan *washer* juga

dinilai lebih ekonomis. Sehubungan dengan hal itu, penelitian tentang pengaruh *washer* terhadap distribusi tegangan yang terjadi pada daerah sekitar lubang.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh variasi diameter luar *washer* terhadap distribusi tegangan pada sambungan pelat ketika mengalami beban tarik?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjawab rumusan masalah diatas maka pada penelitian ini diberikan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Pembebanan yang dilakukan adalah pembebanan tarik
2. Spesifikasi spesimen sebagai berikut:
   - Baut M8
   - Pelat Baja Konstruksi ST 37
3. Pembeban yang dilakukan konstan dan dibawah titik *yield* pelat
4. Spesimen dianggap homogen dan isotropis
5. Mesin yang digunakan dianggap dalam keadaan normal
6. Parameter lain yang tidak dibahas dianggap konstan

1.4 Tujuan Penelitian

- Tujuan dari penelitian ini:

  Untuk mengetahui pengaruh variasi diameter luar *washer* terhadap konsentrasi tegangan yang terjadi pada daerah sekitar lubang pada sambungan batang tarik yang menggunakan baut dengan *washer*.
- Manfaat dari penelitian:
  1. Sebagai tambahan referensi pada bidang Teknik Mesin khususnya pada konsentrasi konstruksi.
  2. Mengetahui pengaruh variasi diameter luar *washer* pada baut terhadap sambungan pelat yang mengalami pembebanan tarik.

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk memperjelas dan mempermudah pembahasan dan pembacan isi tulisan ini, maka penulis memakai sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang masalah, rumusan dan batasan masalah, tujuan dan manfaat penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori-teori pendukung dalam mengerjakan penelitian dan hipotesis yang akan dibuktikan.

BAB III METODOLOGI

Berisi tentang metode dan tempat penelitian, pengambilan data, proses pelaksanaan dan metode penelitian yang digunakan.

BAB IV PEMBAHASAN

Berisi tentang data-data hasil pengujian dan proses pengolahan data serta pembahasan dari data-data yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dan saran.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Washer*

2.1.1 Pengertian Umum

Washer adalah sebuah pelat tipis (umumnya berbentuk lingkaran) dengan sebuah lubang (umumnya terletak di tengah) yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan yang terjadi pada baut pengencang. *Washer* umumnya terbuat dari bahan logam atau plastik.

Pada sambungan-sambungan yang menggunakan baut sebagai pengencang, diperlukan torsi awal yang berfungsi selain untuk merapatkan kedua bagian juga untuk mencegah terjadinya pergeseran bagian-bagian disambung. Namun dengan adanya torsi awal tersebut, dapat terjadi distribusi tegangan yang tidak merata pada bagian pelat yang berhadapan dengan kepala baut dan mur. *Washer* dipasang pada salah satu sisi pelat yang berhadapan dengan mur diperlukan untuk mencegah hilangnya beban torsi awal yang diberikan pada sambungan.

2.1.2 Jenis-jenis *washer*

Berikut adalah jenis-jenis *washer* yang sering digunakan, seperti yang tertera pada Gambar 2.1:

❖ *Flat Washer*

Dipasang di bawah kepala baut atau mur untuk mendistribusikan tegangan pada saat pengencangan awal.

❖ *Fender Washer*

Dipasang di bawah kepala baut atau mur untuk mendistribusikan tegangan pada saat pengencangan awal. *Washer* memiliki diameter luar yang lebih besar.

❖ *Lock Washer*

Washer jenis ini memberikan gaya tekan arah aksial pada mur setelah terjadi beban pengencangan awal untuk mencegah kendur.

❖ *Lock Washer External Tooth*

Washer jenis ini memiliki gigi-gigi di sisi luar yang berfungsi untuk sebagai pengunci.

❖ *Lock Washer Internal Tooth*

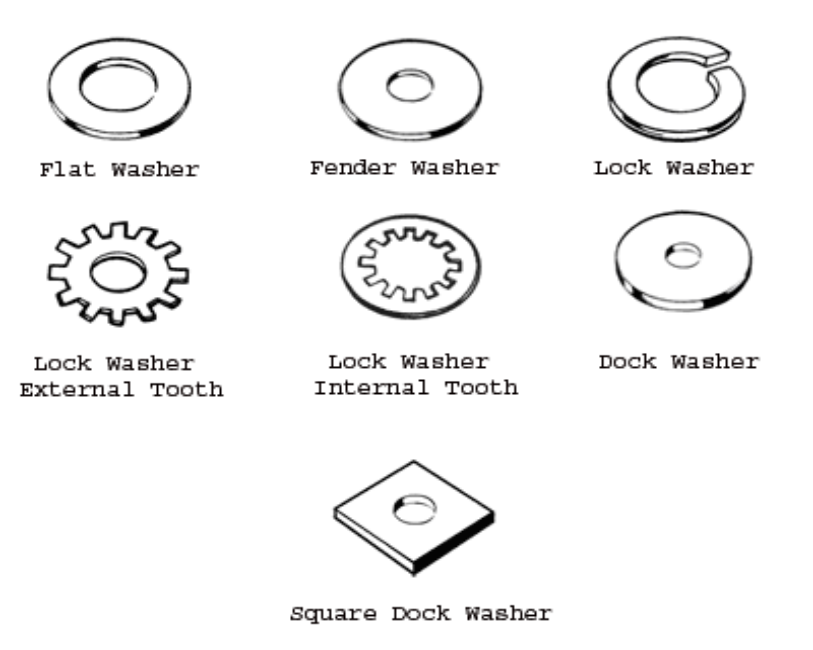
Washer jenis ini memiliki gigi-gigi di sisi dalam yang berfungsi untuk sebagai pengunci. *Washer* jenis ini memiliki daya kunci yang lebih lemah daripada jenis *Lock Washer External Tooth.*

❖ *Dock Washer*

Dipasang di bawah kepala baut atau mur untuk mendistribusikan tegangan pada saat pengencangan awal. *Washer* memiliki diameter luar dan ketebalan yang lebih besar.

❖ *Square Dock Washer*

Dipasang di bawah kepala baut atau mur untuk mendistribusikan tegangan pada saat pengencangan awal. *Washer* jenis ini berbentuk kotak dan lebih tebal daripada *washer* jenis Flat



Gambar 2.1. Jenis-jenis *washer*
Sumber: http://www.freepatentsonline.com/7066053.html

2.1.3. Luas penampang washer

Luas penampang *washer* yang dimaksud dalam penulisan ini adalah luas penampang *washer* pada tegak lurus arah pembebanan. Untuk menghitung luas penampang *washer*, digunakan rumus:

$$A_w = (d_{wl} \cdot t) - (d_{wd} \cdot t) \quad (2\text{-}1)$$

dengan:

A_w = luas penampang washer (mm^2)
d_{wl} = diameter luar *washer* (mm)
d_{wd} = diameter dalam *washer* (mm)
t = ketebalan washer (mm)

2.1.4. Gaya gesek antara *washer* dengan pelat

Gaya gesek merupakan gaya yang diperlukan untuk mencegah terjadinya selip antara bagian-bagian sambungan sehingga tidak terjadi pergeseran antara bagian-bagian sambungan tersebut selama dikenai pembebanan. Ketika terjadi keadaan tanpa selip, maka pada saat pelat dikenai pembebanan tarik, akan terjadi aliran gaya dari pelat ke *washer* sehingga sebagian gaya yang diterima pelat akan dibebankan pada *washer*. Keadaan tanpa selip ini terjadi bila nilai gaya gesek lebih besar daripada gaya tarik yang dibebankan.

Ketika baut dikencangkan dengan momen sebesar M_a, maka akan timbul gaya pengencangan F_a yang bekerja searah sumbu baut. Dengan koefisien gesek sebesar μ_s, maka perkalian antara gaya pengencangan dengan koefisien gesek akan menghasilkan gaya gesek F_s. Besarnya gaya gesek dirumuskan dengan:

$$F_s = F_a \cdot \mu_s \quad (2\text{-}2)$$

dengan:

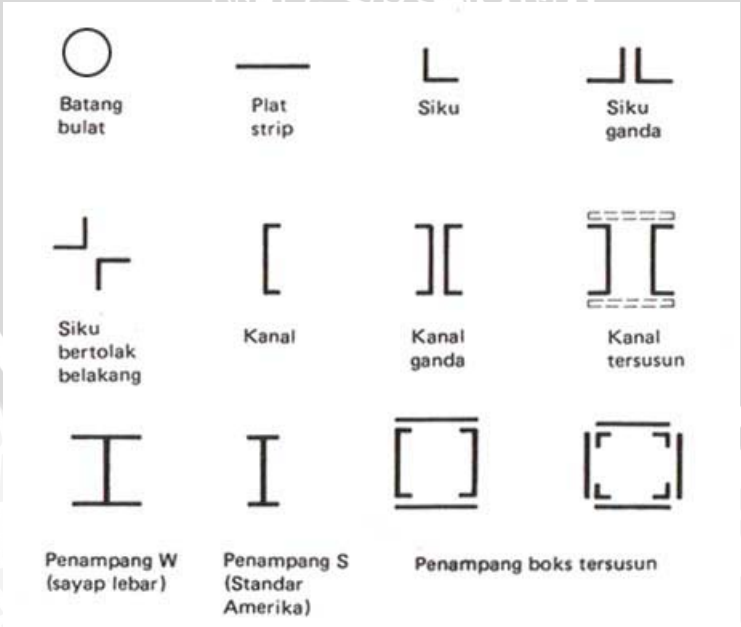
F_s = gaya gesek (N)
F_a = gaya pengencangan (N)
μ_s = koefisien gesek

2.2. Pelat

2.2.1. Tinjauan Umum

Pelat adalah struktur bidang yang mempunyai permukaan lurus, datar atau tidak melengkung yang tebalnya jauh lebih kecil daripada dimensi lainnya (Szilard, 1989). Dalam suatu rangkaian bangunan konstruksi akan dijumpai adanya susunan batang-batang yang terangkai sehingga terbentuk suatu bangunan utuh. Sebagian dari batang penyusun mengalami beban tarik, sebagian yang lain mengalami beban tekan. Batang yang mengalami beban tarik disebut dengan batang tarik. Batang tersebut mengalami beban tarik pada kedua ujungnya pada arah aksial.

Batang tarik sering dijumpai pada struktur baja sebagai batang struktural pada rangka jembatan dan atap, serta pada struktur rangka batang seperti pada menara transmisi dan sistem pengaku terhadap angin pada gedung bertingkat banyak. Batang tarik ini juga sering berupa batang sekunder seperti batang untuk memperkaku sistem lantai rangka batang atau untuk penumpu antara pada sistem dinding berusuk. Batang tarik dapat berbentuk profil tunggal atau dibuat dari sejumlah profil struktural. Beberapa penampang lintang batang tarik dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Penampang Lintang Batang Tarik
Sumber: Struktur Baja ; Charles G. Salomon ; 1991 ; 63

2.2.2. Luas penampang melintang pelat

Luas penampang melintang pelat yang dimaksud dalam penulisan ini adalah luas penampang pada arah tegak lurus pembebanan. Luas penampang melintang dihitung menggunakan rumus:

$$A_p = (b \,.\, c) - (d_g \,.\, c) \qquad (2\text{-}3)$$

dengan:

A_p = luas penampang melintang pelat (mm^2)
b = lebar pelat (mm)
c = tebal pelat (mm)
d_g = diamater lubang pelat (mm)

2.3. Jenis Alat Penyambung

2.3.1. Paku keling

Sudah sejak lama paku keling diterima sebagai alat penyambung batang, tetapi sekarang sudah jarang digunakan. Paku keling dibuat dari baja batangan dan memiliki bentuk silinder dengan kepala di salah satu ujungnya, seperti yang diperhatikan pada Gambar 2.3a. Pembuatan dan pemasangan paku keling menimbulkan perubahan sifat mekanis.

2.3.2. Baut Hitam

Baut ini dibuat dari baja karbon rendah yang diidentifikasi sebagai ASTM A307, dan merupakan jenis baut yang paling murah. Namun baut ini belum tentu menghasilkan sambungan yang paling murah karena banyaknya jumlah baut yang dibutuhklan pada suatu sambungan. Pemakaiannya terutama pada struktur yang ringan, batang sekunder atau pengaku, anjungan, rusuk dinding, rangka batang yang kecil dan lain-lain yang bebannya kecil dan bersifat statis. Baut ini juga dipakai sebagai alat penyambung sementara pada sambungan yang menggunakan baut kekuatan tinggi, paku keling, atau las.

2.3.3. Baut Sekrup (*Turned Bolt*)

Baut ini dibuat dengan mesin dari bahan berbentuk segi enam dengan toleransi yang lebih kecil (sekitar 0,5mm) bila dibandingkan baut hitam. Jenis

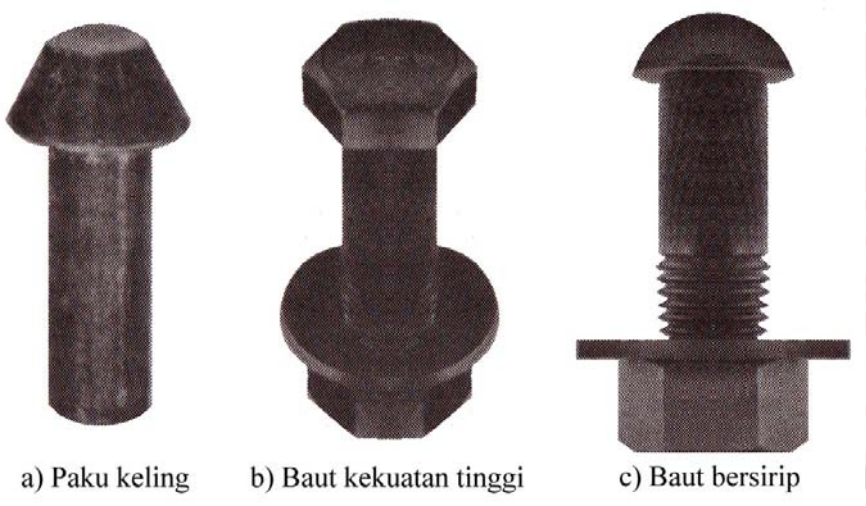
baut ini terutama digunakan bila sambungan memerlukan baut yang pas dengan lubang yang dibor, seperti pada bagian paku keling yang terletak sedemikian rupa hingga penembakan paku keling yang baik sulit dilakukan. Kadang-kadang baut ini bermanfaat dalam mensejajarkan peralatan mesin dan batang struktural yang posisinya harus akurat. Sekarang baut sekrup jarang pada sambungan struktural, karena baut kekuatan tinggi lebih baik dan lebih murah.

2.3.4. Baut Bersirip (*Ribbed Bolt*)

Baut ini terbuat dari baja paku keling biasa, dan berkepala bundar dengan tonjolan sirip-sirip yang sejajar tangkainya, seperti pada Gambar 2.3c. Baut bersirip telah lama dipakai sebagai alternatif dari paku keling. Diameter sesungguhnya pada baut bersirip dengan ukuran tertentu sedikit lebih besar dari lubang tempat baut tersebut. Dalam pemasangan baut bersirip, baut memotong keliling tepi lubang sehingga diperoleh cengkraman yang relatif erat. Jenis baut ini terutama bermanfaat pada sambungan tumpu (*bearing*) dan pada sambungan yang mngalami tegangan berganti (bolak-balik).

2.3.5. Baut Kekuatan Tinggi

Baut ini memiliki kepala segienam yang tebal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3b. Dua jenis baut kekuatan tinggi ditunjukan oleh ASTM sebagai A325 dan A490. Baut A325 terbuat dari baja karbon sedang yang diberi perlakuan panas dengan kekuatan leleh sekitar 558 sampai 634 MPa yang tergantung pada diameter. Baut A490 juga diberi perlakuan panas tetapi terbuat dari baja paduan (*alloy*) dengan kekuatan leleh sekitar 793 sampai 896 MPa yang tergantung pada diameter.



Gambar 2.3. Tipe alat penyambung
Sumber: Struktur Baja ; Charles G. Salomon ; 1991 : 91

2.4. Teknik Pemasangan Baut

Tiga teknik yang umum untuk memperoleh pratarik yang dibutuhkan adalah metode kunci yang dikalibrasi (*calibrated wrench*), metode putar mur (*turn-of the mut*), dan metode indikator tarikan langsung (*direct tension indicator*).

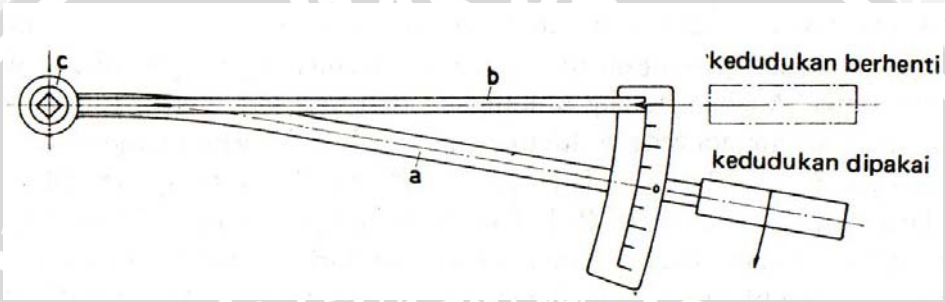
Metode kunci yang dikalibrasi/ kunci momen dapat dilakukan dengan kunci punter manual atau kunci otomatis yang diatur agar dapat berhenti pada harga puntir yang ditetapkan.

Metode putar mur telah dikembangkan sedemikian rupa hingga gaya pratarik pada baut diperoleh dengan menetapkan rotasi mur dari posisi dari titik erat yang menimbulkan besar regangan tertentu pada baut.

Metode indikator tarikan langsung. Alat yang dipakai adalah cincin pengencang dengan sejumlah tonjolan pada salah satu mukanya. Cincin dimasukkan di antara kepala baut dan bahan yang digenggam, dengan bagian tonjolan memumpu pada sisi bawah kepala baut sehingga terdapat selah akibat tonjolan tersebut. Pada saat baut dikencangkan, tonjolan-tonjolan tertekan dan memendek sehingga celahnya mengecil. Tarikan baut diukur dengan mengukur lebar celah yang ada.

2.4.1. Mengencangkan baut dengan kunci momen

Karena dikencangkan, maka dalam baut timbul suatu tegangan kencang. Hal ini terjadi apabila pada konstruksi hanya bekerja gaya-gaya yang tegak lurus sumbu baut. Pra-tegangan dalam baut hendaknya dibuat sedemikian besar sehingga karena gesekan antara bagian-bagian yang dijepit tidak akan terjadi gerak bagian yang satu relatif terhadap bagian yang lain. Dalam hal demikian umumnya digunakan baut dengan pra-tegangan, dan untuk memastikan bahwa gaya pengencang yang diperlukan itu benar-benar ada, maka digunakan kunci mur kontrol/ kunci momen yang ditunjukan pada gambar 2.4:

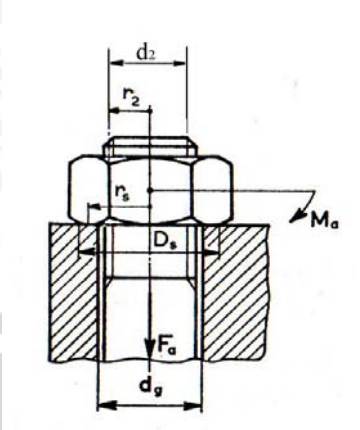


Gambar 2.4. Kunci mur kontrol
Sumber: Elemen Mesin ; ir. Jac Stolk, ir. C. Kros ; 1994 : 102

Kunci pada gambar di atas adalah suatu konstruksi sederhana. Kunci tersebut dilukis dalam keadaan dikencangkan. Tuas a karena pengaruh gaya, melengkung., penunjuk b tetap lurus karena tidak ada gaya yang bekerja padanya. Pada pelat penunjuk yang dipasang pada a dapat dibaca momen pengencang.

2.4.2. Menentukan gaya pengencangan

Pengikatan atau pengencangan sambungan baut akan menimbulkan suatu gaya pengencang F_a. Gaya pengencang F_a adalah gaya reaksi gaya yang menjepit bagian-bagian konstruksi satu sama lain antara kepala baut, *washer* dan mur. Besarnya gaya pengencangan F_a dapat dihitung berdasarkan nilai momen pengencangan M_a seperti pada gambar 2.5:



Gambar 2.5. Momen pengencangan pada baut

Sumber: Elemen Mesin ; ir. Jac Stolk, ir. C. Kros ; 1994 : 102

$$M_a = F_a \left\{ 0{,}16 \,.\, p + f \,(0{,}58 \,.\, d_2 + \frac{D_s + d_g}{4}) \right\}$$

(ir. Jac Stolk, ir. C. Kros; 1994; 77) (2-4)

$$F_a = \frac{M_a}{0{,}16 \,.\, p + f \,(0{,}58 \,.\, d_2 + \frac{D_s + d_g}{4})}$$

(ir. Jac Stolk, ir. C. Kros; 1994; 77) (2-5)

dengan:

M_a = momen pengencangan (Nm)

F_a = gaya pengencangan (N)

p = pitch ulir baut (mm)

f = koefisien gesek

d_2 = diameter efektif baut (mm)

D_s = diameter luar bidang tumpu baut (mm)

d_g = diameter lubang baut (mm)

2.4.3. Menghitung Luas Penampang Melintang Baut (A_b)

Luas penampang melintang baut dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$A_b = l_{kb} \,.\, t_{kb} + l_{bb} \,.\, t_{bb} \qquad (2\text{-}6)$$

dengan:

A_b = luas penampang melintang baut (mm^2)

l_{kb} = lebar kepala baut (mm^2)

t_{kb} = tinggi kepala baut (mm^2)

d_2 = diameter efektif baut (mm^2)

t_{bb} = tinggi badan baut (mm^2)

2.4.3. Menghitung Luas Penampang Melintang Mur (A_m)

Luas penampang melintang mur dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$A_m = d_{ml} \cdot t_m - d_{md} \cdot t_m \quad (2\text{-}7)$$

dengan:

A_m = luas penampang melintang mur (mm^2)

d_{ml} = diameter luar mur (mm)

d_{md} = diameter dalam mur (mm)

t_m = tinggi mur (mm)

2.4.4. Menghitung Luas Penampang Melintang Total (A)

Luas penampang melintang total dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$A = A_w + A_p + A_b + A_m \quad (2\text{-}8)$$

dengan:

A_w = luas penampang melintang *washer* (mm^2)

A_p = luas penampang melintang pelat (mm^2)

A_b = luas penampang melintang baut (mm^2)

A_m = luas penampang melintang mur (mm^2)

2.5. Konsep Tegangan dan Regangan

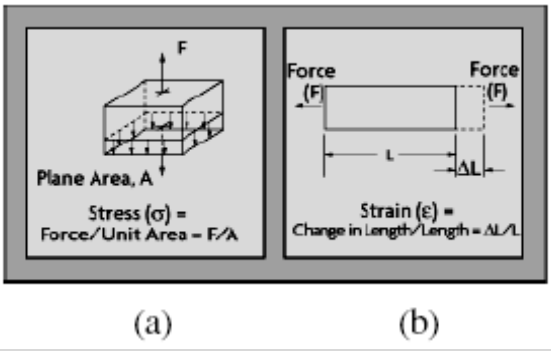
Ketika gaya aksial dikenakan pada suatu batang prismatik, maka akan menghasilkan tegangan dan regangan. Tegangan (σ) didefinisikan sebagai intensitas gaya, yaitu gaya (P) persatuan luas penampang melintang batang (A) yang tegak lurus arah gaya.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{(Gere et.al, 1996:3) (2-9)}$$

Hasil dari adanya tegangan adalah regangan (lihat gambar 2.6), yang didefinisikan sebagai jumlah deformasi yang terjadi per unit panjang dari benda

yang terkena pembesaran. Regangan (ε) dihitung dengan membagi total deformasi dari panjang awal (ΔL) dengan panjang awal (L):

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \qquad \text{(Gere et.al, 1996:5) (2-10)}$$

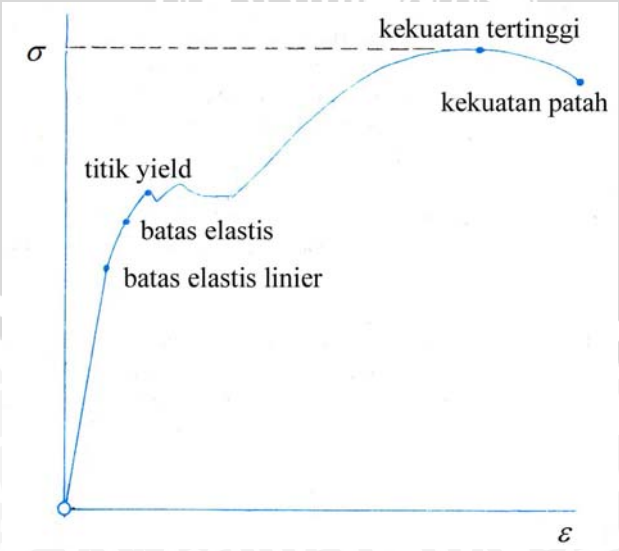


Gambar 2.6. Tegangan dan regangan
Sumber : *http://www.me.psu.edu/me82/Learning/Strain/strain.html*

Hubungan linier antara tegangan dan regangan untuk batang yang mengalami tekan atau tarik yang sederhana dinyatakan dengan hukum *Hooke*:

$$\sigma = E.\varepsilon \qquad \text{(Popov, 1993:40) (2-11)}$$

Dimana E adalah konstanta pembanding yang dikenal dengan modulus elastisitas. Modulus elastisitas adalah kemiringan dari diagram tegangan-regangan (lihat gambar 2.7) dalam daerah elastis linier, yang menyatakan kemampuan bahan untuk menahan perubahan bentuk.



Gambar 2.7. Diagram tegangan-regangan
Sumber : ir. Jac Stolk, ir. C. Kros ; 1994 ; 13

Suatu bahan yang diberi beban tarik selain akan terjadi perpanjangan arah aksial juga diikuti dengan kontraksi lateral (tegak lurus sumbu) seperti pada gambar 2.8. Perbandingan antara regangan arah lateral dengan arah sumbu ini disebut *poission's ratio* (v). Regangan lateral sebanding regangan aksial dalam batas elastis linier, jika bahannya homogen isotropik. Homogen berarti memiliki komposisi yang sama diseluruh bahan dan isotropik berarti memiliki sifat-sifat elastis yang sama dalam semua arah. *Poission's ratio* dapat dituliskan:

$$v = \left| \frac{regangan\ lateral}{regangan\ aksial} \right| = - \frac{regangan\ lateral}{regangan\ aksial} \qquad \text{(Popov, 1993:48) (2-12)}$$

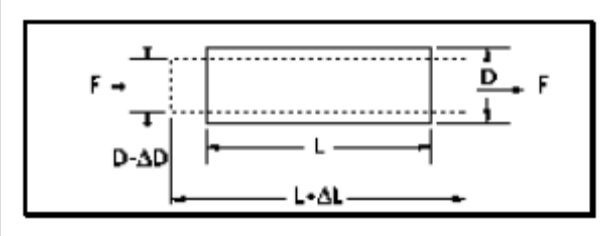
$$v = \left[(\Delta D / D) / (\Delta L / L) \right]$$

dengan: ΔD = pertambahan panjang arah lateral (mm)

D = panjang semula arah lateral (mm)

ΔL = pertambahan panjang arah aksial (mm)

L = panjang semula arah aksial (mm)

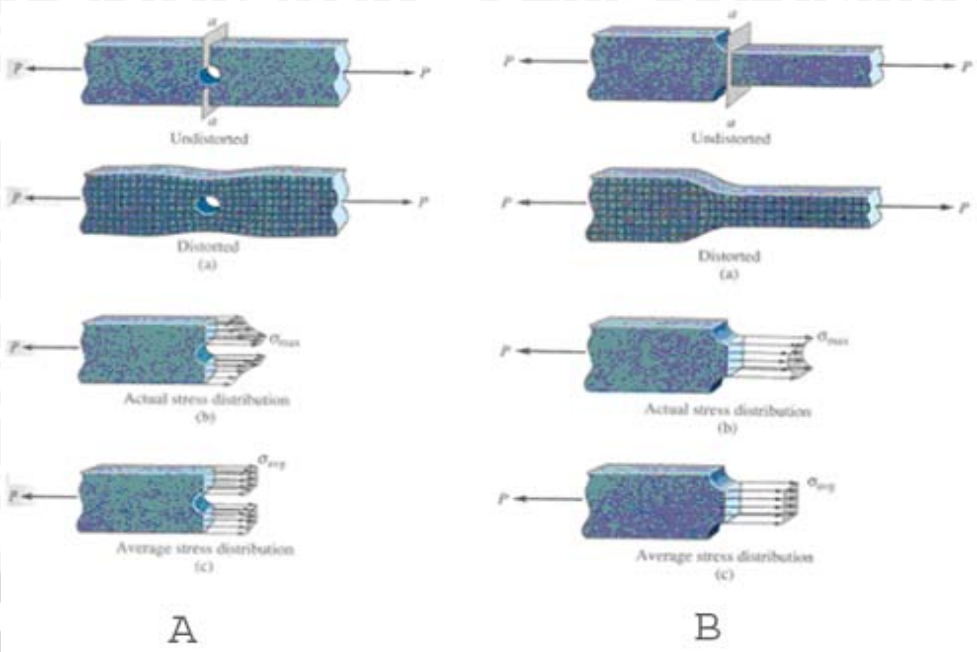


Gambar 2.8. Perubahan bentuk dari sebuah batang dalam keadaan tarik
Sumber : *http://www.me.psu.edu/me82/Learning/Strain/strain.html*

2.5.1. Konsentrasi Tegangan

Ketika suatu pembebanan aksial diperlakukan pada suatu benda, maka akan mengakibatkan terjadinya suatu distribusi tegangan kompleks pada bagian bidang dimana pembebanan dilakukan.

Distirbusi tegangan kompleks tidak hanya timbul pada bagian dimana beban diberikan tapi juga terjadi pada bagian dimana terdapat perubahan penampang melintang pada benda.



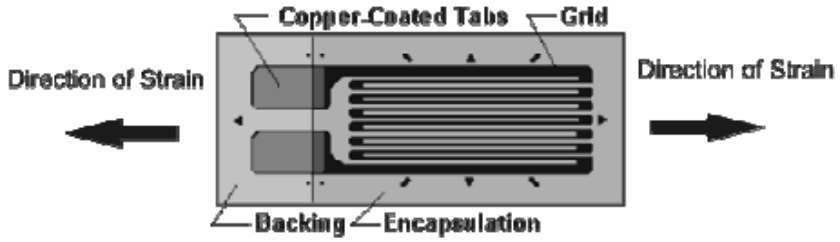
Gambar 2.9. Gambar distribusi tegangan
Sumber : *http://www.me.psu.edu*

Pada gambar 2.9 A, garis-garis grid horizontal dan vertikal terjadi pembelokan pola pada daerah sekitar lubang. Tegangan normal maksimal timbul pada bagian a-a, dimana penampang melintang pada bagian tersebut paling kecil. Begitu pula pada gambar 2.9 B.

2.6 *Strain-gage* dan *Wheatstone*

2.6.1 *Strain Gage*

Untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi pada permukaan pelat yang dibebani diperlukan sensor regangan (*strain gage*). *Strain gage* berbentuk kawat dengan diameter sangat kecil yang tersusun membentuk loop (lihat gambar 2.10)



Gambar 2.10. *Strain Gage*
Sumber : *www.vishay.com*

Strain gage digunakan dengan menempelkan secara langsung pada permukaan benda yang meregang, sehinggga regangan pada benda akan menyebabkan pula perubahan panjang dan perubahan luas penampang kawat *strain gage*. Perubahan kawat sebanding dengan perubahan besarnya tahanan listrik, sebaliknya perubahan kawat penampang berbanding terbalik, sesuai hukum *kirchoff* :

$$R = \frac{\rho . l}{A}$$ (www.me.psu.edu.html) (2-13)

dengan : R = tahanan listrik yang dihasilkan suatu kawat (ohm)

ρ = resistivitas dari material kawat (ohm m)

l = panjang kawat (m)

A = luasan penampang kawat (m^2)

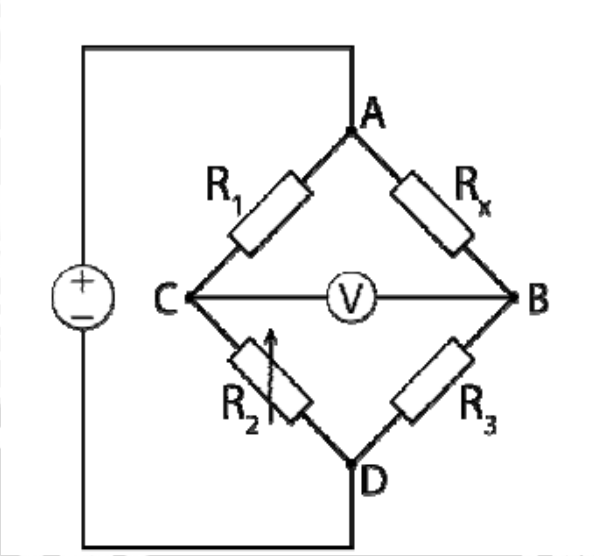
Dari tahanan listrik inilah sinyal elektronik akan ditangkap dan digunakan untuk mengukur besarnya regangan. Secara matematis dapat ditulis :

$$dR/R = S.\varepsilon$$ (www.me.psu.edu.html) (2-14)

dimana dR ialah perubahan pada tahanan listrik, dan S variabel yang menyatakan faktor dari *strain gage* (*gage factor*) pada temperatur ruang.

2.6.2 Jembatan *Wheatstone*

Perubahan tahanan listrik yang dihasilkan *strain gage* memiliki nilai yang amat kecil, yaitu pada kisaran 2.10^{-6} - 2.10^{-3} ohm (www.me.psu.edu.html), sebab nilai tersebut tergantung pada besarnya nilai regangan. Hal ini menyebabkan tahanan listrik yang dihasilkan tidak dapat terbaca langsung pada alat ukur seperti ohm meter. Untuk itu diperlukan rangkaian jembatan *wheatstone* (lihat pada gambar 2.11) untuk dapat mengukurnya.



Gambar 2.11. Skema rangkaian jembatan *wheatstone*
Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Wheatstone_Bridge.svg

Rangkaian ini menggunakan hukum ohm untuk perhitungannya, yaitu :

$$V_o = V_s \frac{R_3R_1 - R_4R_2}{(R_2 + R_3)(R_1 + R_4)}$$ (www.me.psu.edu.html) (2-15)

dengan : V_o : tegangan listrik DC output (milivolt)
V_s : tegangan listrik DC input (milivolt)
R_1,R_2,R_4 : resistor (ohm)

Pada rangkaian, besarnya nilai resistor akan sama dengan nilai tahanan dari *strain gage*. Sehingga pada kondisi sebelum adanya pembebanan akan terjadi keseimbangan rangkaian, yang menghasilkan nilai nol pada tegangan *output*.
Pada saat terjadi regangan, *strain gage* akan ikut meregang dan terjadi perubahan tahanan listrik yang menyebabkan rangkaian tidak seimbang, sehingga persamaan (2-15) menjadi :

$$V_o = V_s \frac{(R_{3i} + dR_3)R_1 - R_4R_2}{(R_2 + R_{3i} + dR_3)(R_1 + R_4)} \approx \frac{dR_3R_1}{(R_2 + R_{3i})(R_1 + R_4)} V_s$$

(www.me.psu.edu.html) (2-16)

Dengan asumsi R_{3i} sebagai tahanan awal *strain gage*, dan $R_{3i}R_1 - R_4R_2 = 0$. Dengan mensubtitusikan persamaan $dR_3 = S.\varepsilon.R_{3i}$ maka didapatkan persamaan :

$$\varepsilon = 4 \frac{V_o}{V_s} \frac{1}{S}$$ (www.me.psu.edu.html) (2-17)

dengan : V_o : tegangan listrik DC output (milivolt)

V_s : tegangan listrik DC input (milivolt)

S : *gage factor*

ε : regangan

2.6.3. Faktor Koreksi pada *Straingage*

Hasil pengukuran regangan yang dilakukan dengan *strain gage* masih memerlukan adanya beberapa koreksi terhadap nilai yang terbaca pada alat ukur. Faktor tersebut ialah :

- Faktor koreksi terhadap regangan tranversal

Sensitivitas pengukuran dari *strain gage* yang terbesar ialah pada arah aksialnya. Namun sensitivitas untuk regangan arah transversal juga terjadi, dan dapat mempengaruhi nilai pengukuran yang dituju. Hal ini akan menimbulkan kasalahan pembacaan yang cukup besar. Untuk itu perlu dilakukan koreksi data dengan mengeliminasir efek tersebut. Persamaan yang digunakan ialah :

$$\varepsilon' = \varepsilon . \frac{1 - vK_t}{1 + K_t}$$ (Dally ; 1987 : 172)(2-18)

dengan:

ε’ : regangan aksial terkoreksi

ε : regangan aksial

K_t : faktor sensitivitas transversal

v : *poisson’s ratio*

2.6.4. Tegangan Utama

Dengan diketahuinya regangan utama dari hasil pengukuran dengan *straingage,* yaitu pada arah aksial, maka bisa didapatkan tegangan utama dengan menggunakan persamaan:

$$\sigma = E . \varepsilon$$ (Popov, 1993:40) (2.19)

dengan:

σ : tegangan (N/mm^2)

E : modulus elastisitas (N/mm^2)

ε’ : regangan aksial terkoreksi

2.7. Hipotesis

Semakin besar diameter luar *washer* yang digunakan maka tegangan pelat pada daerah sekitar lubang baut akan semakin kecil dan distribusi tegangan yang terjadi pada daerah tersebut juga semakin merata (H_1).

BAB III
METODOLOGI

3.1. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam menyelesaikan masalah ini adalah metode penelitian eksperimen sejati, melakukan analisis data secara teoritis dengan referensi jurnal dan buku terkait.

3.2. Tempat dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Departemen Multi Skill Service VEDC Malang. Adapun waktu pengambilan data dimulai pada bulan Mei 2007 s/d selesai.

3.3. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas (*independent variable*)

   Variabel bebas adalah variabel yang nilainya telah ditentukan sebelum penelitian dilakukan. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian adalah :

   - Diameter *washer* (20 mm, 22 mm, 24 mm, 26 mm, 28 mm, 30 mm)

2. Variabel Terikat (*dependent variable*)

   Variabel terikat adalah variabel yang nilainya bergantung pada variabel bebas. Variabe terikat yang digunakan dalam penelitian adalah :

   - Regangan (ε)
   - Tegangan

3. Variabel Konstan/Terkontrol

   Variabel konstan adalah variabel yang nilainya konstan pada saat penelitian dilakukan. Variabe konstan yang digunakan dalam penelitian adalah :

   - Dimensi pelat (p = 350 mm, l = 50 mm, t = 3 mm)
   - Beban (1000N)

Sifat fisik pelat baja ST-37 yang digunakan untuk memodelkan benda kerja adalah

- Modulus Elastisitas bahan (E) = 2319,867 kgf/mm^2
- Tegangan *Yield* (σ_y) = 28,157 kgf/mm^2
- Tegangan *Ultimate* (σ_u) = 34,250 kgf/mm^2

3.4. Urutan proses penelitian

Dalam proses penelitian ini, dilakukan beberapa proses sebagai berikut :

3.4.1 Studi Literatur

Untuk mendukung analisa dilakukan studi literatur baik itu di internet, perpustakaan jurusan Mesin maupun perpustakaan pusat Universitas Brawijaya, antara lain:

1. Statika Struktur
2. Statistik Teknik

3.4.2 Prosedur Penelitian

1. Persiapan perangkat instrumentasi :

a. Material :

· Pelat berlubang

· Baut dan mur

· *Washer* (diameter luar 20, 22, 24, 26, 28, dan 30 mm)

Gambar 3.1. Spesimen (Pelat, Baut, Mur, dan *Washer*)

b. Perangkat sensor :

· Sensor regangan (s*train gage*)

· Rangkaian jembatan *Wheatstone*

· Multimeter

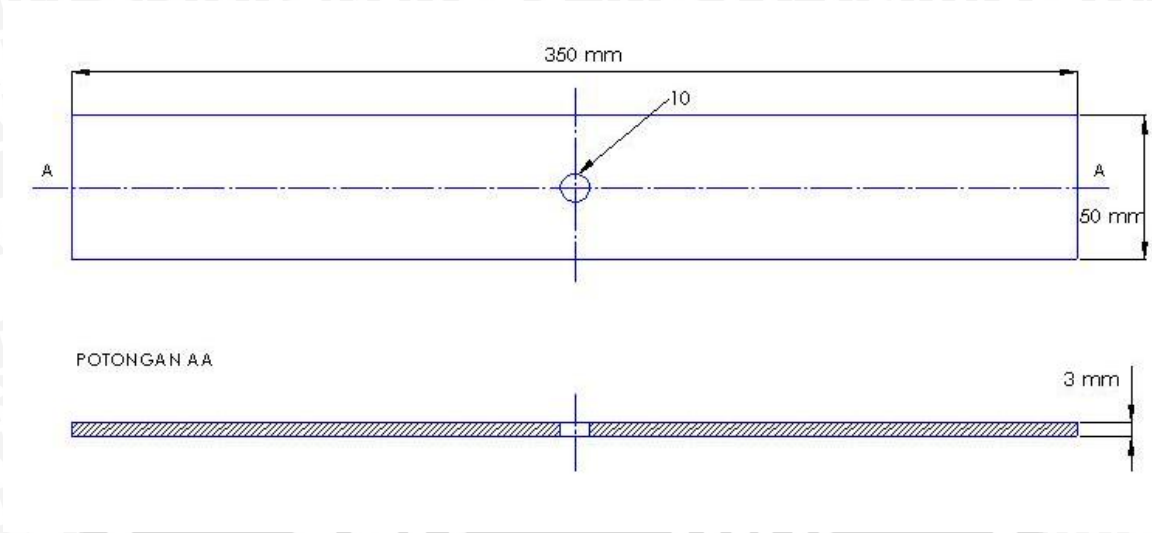
Gambar 3.2. Multimeter Digital

2. Alat Uji Tarik

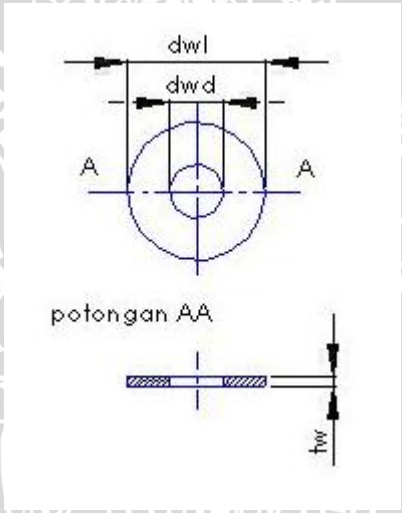
Merk	: *GOTECH TESTING MACHINES*
Sensor	: *Load cell*
Display	: U60 *Computer system*
Capacity	: 5000kg or 10000 kg (*option*)
Unit	: Kg, LB, N, KN, PSI, KPA,
Load accuracy	: ± 0.5%
Test speed	: 0.001-200(500) mm/min
Speed accuracy	: ± 0.5%
Stroke resolution	: 0.001 mm
Sampling rate	: 10000 HZ
Sofware	: U60-*Chinese version, English version*
Motor	: AC servo motor or DC motor

Dimension : $105 \times 61 \times 220$ cm (*main unit*)
$113 \times 69 \times 143$ cm (*computer/cabinet*)
Weight : 640 kg (*main unit excluding grips*)
133 kg (*computer/cabinet*)
Power : AC 1ϕ 220 V 20 A

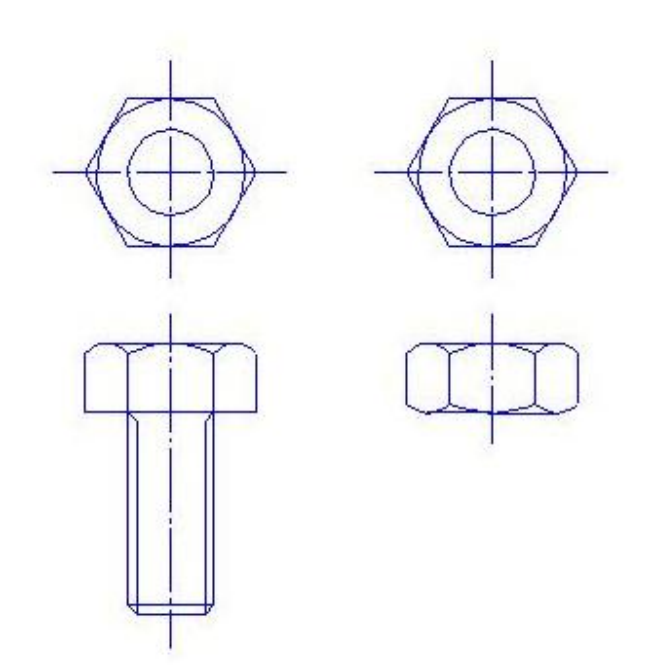
Gambar 3.3. *Gotech Testing Machines*
Sumber : Laboratorium Departemen Multi Skill Service VEDC Malang.



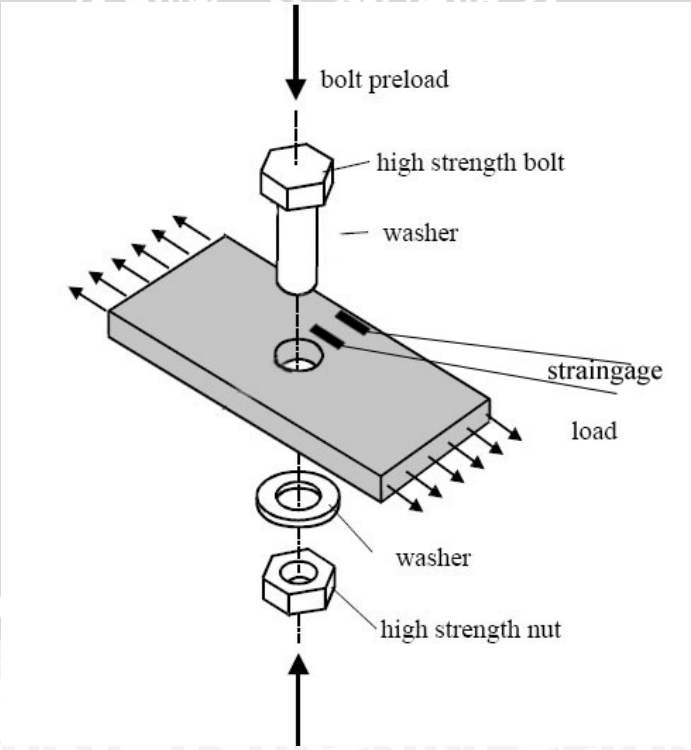
Gambar 3.4. Model benda kerja (pelat berlubang)



Gambar 3.5. Model benda kerja (*washer*)



Gambar 3.6. Model benda kerja (baut dan mur)



Gambar 3.7. Instalasi Penelitian

3. Pengambilan data :

Data diambil dari angka-angka yang ditunjukkan oleh perangkat sensor.

Pasang pelat spesimen pada mesin tarik. Tentukan beban tarik maksimal pada mesin yang akan dikenakan pada pelat. Setelah itu jalankan mesin tarik, tunggu hingga mesin berhenti ketika beban tarik telah mencapai angka yang ditentukan. Setelah didapatkan kondisi yang stabil, maka pengambilan data dapat dilakukan.

Pengambilan data dilakukan dalam sebuah proses yaitu :

- Menggunakan sensor regangan (s*train gage*) yang telah dipasang terlebih dahulu pada permukaan pelat pada titik tertentu, untuk mendapatkan nilai tegangan listrik yang ditampilkan pada multimeter pada saat pelat dibebani. Pengambilan data dilakukan dengan pengulangan sebanyak tiga kali agar lebih akurat.

3.5. Metode Pengambilan Data

Pada dasarnya untuk mengukur tegangan di sekitar lubang pada spesimen percobaan adalah dengan mengkonversikan regangan yang terjadi akibat beban tarik menjadi tegangan yang dihasilkan oleh perangkat sensor. Dari pembebanan yang telah diberikan, maka akan dapat diketahui berapa besarnya regangan dan tegangan pada titik di daerah sekitar lubang pada spesimen.

A. Sebelum penelitian

1. Menyiapkan spesimen sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan dengan melakukan proses pemotongan.
2. Melakukan pembentukan spesimen sesuai dengan bentuk yang telah ditentukan.
3. Melakukan proses *assembly* spesimen dengan pemasangan *straingage*, baut, mur dan *washer*.
4. Menyiapkan alat pencekam / alat pemegang spesimen.
5. Mempersiapkan mesin uji tarik.

B. Penelitian

1. Memasang perangkat sensor (*straingage*, *wheatstone*, multimeter, adaptor) pada spesimen.

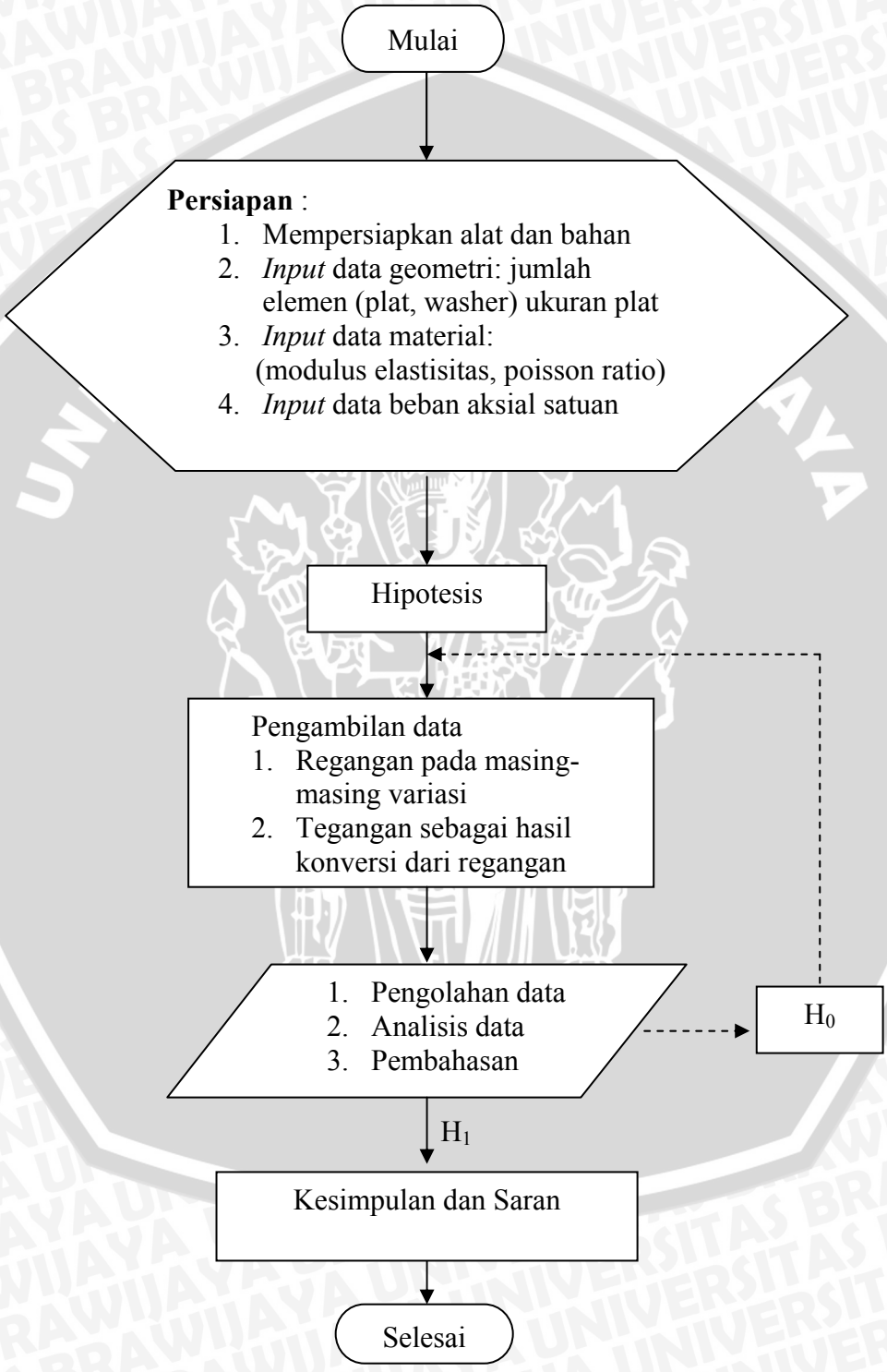
2. Memasang alat pencekam / pemegang.
3. Memasang spesimen percobaan.
4. Menyalakan mesin uji tarik dengan beban tarik yang telah ditentukan.
5. Mencatat data berupa tegangan yang dihasilkan dari konversi regangan yang dihasilkan oleh *straingage*.
6. Penghitungan dan pengolahan data hasil pengujian dengan metode statistik.
7. Pengambilan kesimpulan dan pemberian saran.

3.6. Proses Analisis

Dengan data-data yang telah diperoleh dilakukan perhitungan terhadap tegangan yang bekerja pada pelat. Data-data tersebut kemudian diuji dengan pengujian keseragaman data untuk mengetahui layak tidaknya data-data tersebut untuk digunakan sebagai dasar perhitungan. Dari data tersebut dilakukan perhitungan tegangan utama dan membandingkan dengan perhitungan tegangan rata-rata secara teoritis.

3.7. Diagram Alir Penelitian

DIAGRAM ALIR PENELITIAN



BAB IV
PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Penelitian

Data-data yang berkaitan dengan penelitian ini adalah:

1. Spesifikasi dari rancangan alat penelitian adalah sebagai berikut:

- Pelat Baja ST 37

  Dengan dimensi:

  Panjang (a) : 350 mm

  Lebar (b) : 50 mm

  Tebal (c) : 3 mm

  Diameter lubang baut (d_g) : 10 mm

  Modulus Elastisitas bahan, (E) : 2319,867 kgf/mm^2

  : 2,3199 x 10^4 N/mm^2

  Tegangan *Yield*, (σ_y) : 28,157 kgf/mm^2

  : 2,8157 x 10^7 N/mm^2

  Tegangan *Ultimate*, (σ_u) : 34,250 kgf/mm^2

  : 3,425 x 10^7 N/mm^2

  Poisson Ratio, (v) : 0,27

- *Washer*

  Diameter luar (d_{wl}) : 20, 22, 24, 26, 28, dan 30 (mm)

  Diameter dalam (d_{wd}) : 10 mm

  Ketebalan (t_w) : 2 mm

- Baut M8

  Diameter dalam (d_{bd}) : 6,446 mm

  Diameter luar (d_{bl}) : 8 mm

  Diameter efektif (d_2) : 7,188 mm

  Pitch (p) : 1,25 mm

  Lebar kepala baut (l_{kb}) : 14 mm

  Tinggi badan baut (t_{bb}) : 25 mm

  Tinggi kepala baut (t_{kb}) : 6 mm

- Mur
  - Garis tengah bidang tumpu mur (D_s) : 12 mm
  - Diameter luar mur (d_{ml}) : 15 mm
  - Diameter dalam mur (d_{md}) : 7,5 mm

- Pembebanan yang dilakukan (P) : 100 kgf
  : 1000 N

- Data Sensor
  - *Strain gage* tipe EA-06-250BG-120
  - Panjang *gage* = 5 mm
  - *Foil Material = Copper Nickel Alloy (A Alloy)*
  - *Base material = polymide*
  - Jangkauan temperatur kerja = -30° C - 180° C
  - Tahanan listrik *straingage* = 120 (Ω) ± 0-5 %
  - *Gage factor,* S (24° C) = 2,11
  - Tegangan listrik *input,* Vs = 4,5 Volt
  - Faktor Sensitivitas Lateral, K_t = 0,4 %

Data yang didapatkan dari pengujian ini adalah data tegangan listrik yang terbaca pada multimeter:

Tabel 4.1. Data tegangan listrik

Diameter Luar (mm)	**Tegangan (mV)**			**Rata-rata (mV)**
	1	**2**	**3**	
0	377	379	395	383.667
20	376	381	379	378.667
22	374	371	372	372.333
24	367	370	365	367.333
26	358	365	370	364.333
28	357	359	362	359.333
30	356	359	358	357.667

4.2. Analisis Statistik

4.2.1. Analisis uji keseragaman data

Uji keseragaman data perlu kita lakukan terlebih dahulu sebelum menggunakan data yang diperoleh guna menetapkan waktu baku. Uji keseragaman data ini dilakukan secara sederhana, yaitu dengan melihat apakah

data yang didapat masih berada pada batas kontrol atau tidak. Kita perlu mengidentifikasikan data yang terlalu ekstrim. Langkah-langkah uji keseragaman data untuk mengidentifikasikan data adalah sebagai berikut (Iftikar, Sutalaksana, 1979:133):

1. Mencatat data tegangan listrik yang diperoleh dari hasil pengujian tarik (satuan mV). Data tegangan listrik pelat dengan *washer* diameter luar 26 mm:

358 mV	365mV	370 mV

2. Menghitung harga rata-rata

$$\overline{X} = \frac{\Sigma X_i}{n}$$

$$\overline{X} = \frac{358 + 365 + 370}{3}$$

$$\overline{X} = \frac{1093}{3}$$

$$\overline{X} = 364{,}333\,mV$$

3. Mencari standar deviasi dari populasi

$$SD = \sqrt{\frac{(X_1 - \overline{X})^2 + (X_2 - \overline{X})^2 + ... + (X_n - \overline{X})^2}{N - 1}}$$

$$SD = \sqrt{\frac{(358 - 364{,}333)^2 + (365 - 364{,}333)^2 + (370 - 364{,}333)^2}{3 - 1}}$$

$$SD = \sqrt{\frac{72{,}667}{2}}$$

$$SD = 6{,}027$$

4. Menentukan batas kontrol atas dan batas kontrol bawah

   Asumsi tingkat kepercayaan adalah sebesar 95% (k=2), sehingga persamaannya adalah sebagai berikut:

$$BKA = \overline{X} + 2.SD$$

$$BKA = 364{,}333 + 2(6{,}027)$$

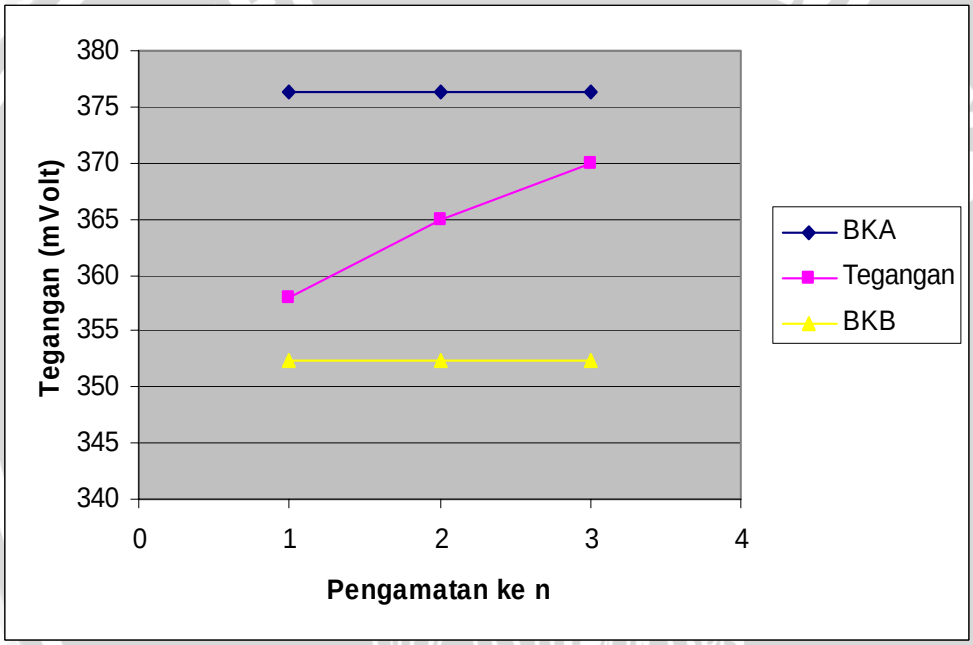
$$BKA = 376{,}387$$

$$BKB = \overline{X} - 2.SD$$

$$BKB = 364{,}333 - 2(6{,}027)$$

$$BKB = 352{,}279$$

5. Untuk mengetahui apakah data tegangan pada pelat dengan *washer* diameter luar 26 mm masih dalam batas kontrol atau tidak, dapat dilihat grafik pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik keseragaman data

Grafik pada gambar 4.1. menunjukkan bahwa data hasil pengujian tarik pelat dengan *washer* berdiameter luar 26 mm berada pada batas kontrol, yang berarti data pengujian adalah seragam. Hasil perhitungan uji keseragaman data pengujian tarik pada semua variasi diameter luar *washer* dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.2. Verifikasi keseragaman data

No.	Kode	BKA	BKB	Hasil
1	Pelat tanpa *washer*	403.398	363.935	Seragam
2	Pelat dengan *washer* diameter luar 20 mm	383.699	373.633	Seragam
3	Pelat dengan *washer* diameter luar 22 mm	375.388	369.278	Seragam
4	Pelat dengan *washer* diameter luar 24 mm	372.366	362.300	Seragam
5	Pelat dengan *washer* diameter luar 26 mm	376.387	352.279	Seragam
6	Pelat dengan *washer* diameter luar 28 mm	364.366	354.300	Seragam
7	Pelat dengan *washer* diameter luar 30 mm	360.721 72	354.611	Seragam

4.3. Perhitungan Teoritis

4.3.1. Perhitungan Luas Penampang Melintang Pelat (A_p)

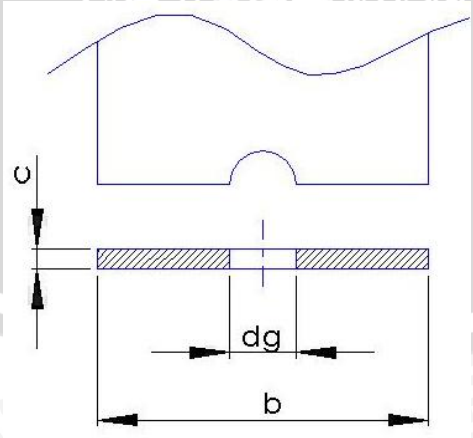
Luas penampang melintang pelat adalah luas penampang yang tegak lurus dengan arah gaya/pembebanan yang bekerja pada pelat, seperti daerah arsiran yang di tunjukkan pada gambar 4.2. Dihitung menggunakan persamaan (2-3):

$A_p = (b \cdot c) - (d_g \cdot c)$

$= (50 \cdot 3)\ mm^2 - (10 \cdot 3)\ mm^2$

$= 150\ mm^2 - 30\ mm^2$

$= 120\ mm^2$



Gambar 4.2. Potongan melintang pelat

4.3.2. Perhitungan Luas Penampang Melintang *Washer* (A_w)

Luas penampang melintang *washer* adalah luas penampang pada potongan A-A (gambar 4.3.). Dihitung menggunakan persamaan (2-1):

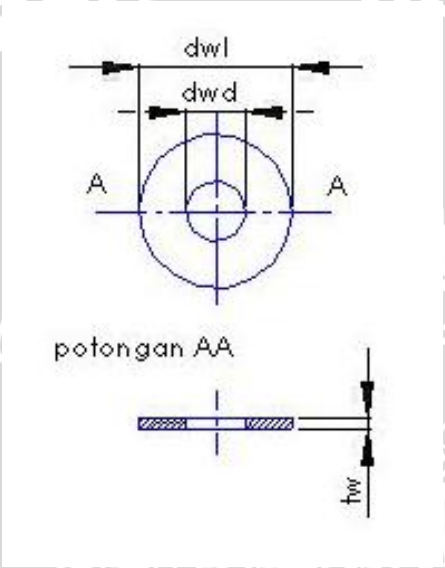
$A_w = (d_{wl} \cdot t) - (d_{wd} \cdot t)$

Luas penampang *washer* dengan diameter luar 26 mm:

$A_w = (26 \cdot 2)$ mm $- (10 \cdot 2)$ mm

$= 52$ mm$^2 - 20$ mm^2

$= 32$ mm^2



Gambar 4.3. Potongan melintang *washer*

Dengan cara yang sama seperti cara di atas, didapatkan luas penampang *washer* untuk semua variasi seperti yang tertera pada tabel berikut:

Tabel 4.3. Luas penampang melintang *washer*

Diameter Luar *washer* (mm)	**Luas penampang melintang (mm^2)**
20	20
22	24
24	28
26	32
28	36
30	40

4.3.3. Perhitungan Luas Penampang Melintang Baut (A_b)

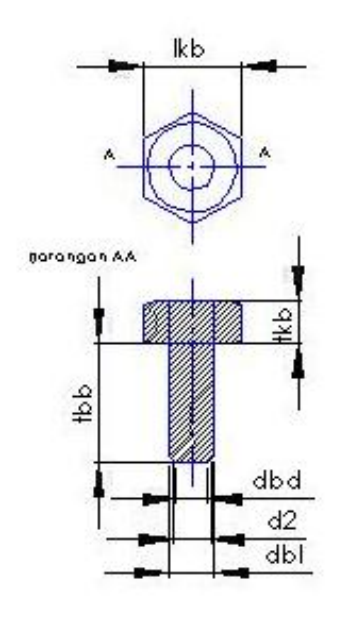
Luas penampang melintang baut adalah luas penampang pada potongan A-A (gambar 4.4.). Dihitung menggunakan persamaan (2-6):

$A_b = l_{kb} \cdot t_{kb} + d_2 \cdot t_{bb}$

$= 14 \cdot 6 + 7{,}188 \cdot 25$

$= 84\ mm^2 + 179{,}7\ mm^2$

$= 263{,}7\ mm^2$



Gambar 4.4. Potongan melintang baut

4.3.4. Perhitungan Luas Penampang Melintang Mur (A_m)

Luas penampang melintang mur adalah luas penampang pada potongan A-A (gambar 4.5.). Dihitung menggunakan persamaan (2-7):

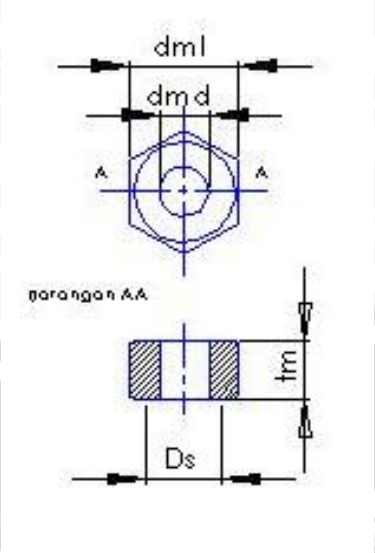
$A_w = (d_{ml} \cdot t_m) - (d_{md} \cdot t_m)$

Luas penampang melintang mur:

$A_w = (15 \cdot 6{,}5)\ mm - (7{,}5 \cdot 6{,}5)\ mm$

$= 97{,}5\ mm^2 - 48{,}75\ mm^2$

$= 48{,}75\ mm^2$

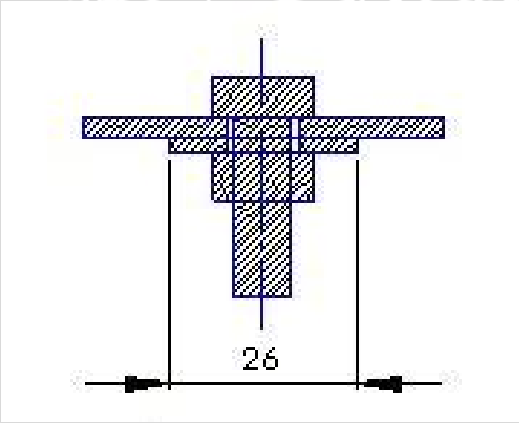


Gambar 4.5. Potongan melintang mur

4.3.5. Perhitungan Luas Penampang Melintang Total (A)

Luas penampang melintang total adalah luas penampang keseluruhan di daerah sekitar lubang baut seperti pada gambar 4.6. Dihitung menggunakan persamaan (2-8):

$A = A_w + A_p + A_b + A_m$



Gambar 4.6. Luas penampang melintang total

Luas penampang melintang total dengan menggunakan *washer* berdiameter luar 26 mm:

$A_w = 32\ mm^2 + 120\ mm^2 + 263{,}7\ mm^2 + 48{,}75\ mm^2$

$= 464{,}45\ mm^2$

Dengan cara yang sama seperti cara di atas, didapatkan luas penampang melintang total untuk semua variasi seperti yang tertera pada tabel berikut:

Tabel 4.4. Luas penampang melintang total

Diameter Luar *washer* (mm)	**Luas penampang melintang total (mm^2)**
20	432.45
22	452.45
24	456.45
26	460.45
28	464.45
30	468.45

4.3.6. Perhitungan gaya pengencangan baut (F_a)

Gaya pengencangan baut dihitung dengan persamaan (2-5):

$$F_a = \frac{M_a}{0{,}16.p + f(0{,}58.d_2 + \frac{D_s + d_g}{4})}$$

$$F_a = \frac{35000}{0{,}16.1{,}5 + 0{,}15(0{,}58.7{,}188 + \frac{12+10}{4})}$$

$$F_a = 20705{,}6975\text{N}$$

4.3.7. Perhitungan gaya gesek antara *washer* dengan pelat (F_s)

Gaya gesek *washer* dengan pelat dihitung dengan persamaan (2-2):

$$F_s = F_a.\mu_s$$

$$F_s = 20705{,}6975.0{,}15$$

$$F_s = 3105{,}854625\,\text{N}$$

4.4. Perhitungan Data Pengujian

4.4.1. Perhitungan Regangan Utama (ε)

Data hasil pengujian yang terukur adalah berupa tegangan listrik DC dengan satuan milivolt (mV) dan disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.5. Nilai tegangan rata-rata pengujian

No.	Pengujian	Tegangan Rata-rata (mV)
1.	Pelat tanpa *washer*	383.667
2.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 20 mm	378.667
3.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 22 mm	372.333
4.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 24 mm	367.333
5.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 26 mm	364.333
6.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 28 mm	359.333
7.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 30 mm	357.667

Pelat dengan *washer* berdiameter luar 26 mm

Besarnya regangan yang terjadi dapat dihitung menggunakan persamaan (2-17). Untuk *washer* berdiameter luar 26 mm:

$$\varepsilon = 4\frac{V_0}{V_s}\frac{1}{S}$$

$$\varepsilon = 4\frac{364{,}333}{4500}.\frac{1}{2{,}11}$$

$$\varepsilon = 0{,}153484(mstrain)$$

$$\varepsilon = 153{,}484(\mu strain)$$

Dengan cara yang sama, didapatkan hasil regangan (ε) untuk seluruh pengujian yang ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 4.6. Hasil perhitungan regangan spesimen pengujian

No.	Pengujian	Regangan, ε (μstrain)
1.	Pelat tanpa *washer*	161.629
2.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 20 mm	159.522
3.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 22 mm	156.854
4.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 24 mm	154.748
5.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 26 mm	153.484
6.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 28 mm	151.378
7.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 30 mm	150.678

4.4.2. Faktor Koreksi terhadap Regangan Lateral (ε')

Nilai koreksi untuk menghilangkan pengaruh sensitivitas straingage arah transversal adalah dengan menggunakan persamaan (2-18):

$$\varepsilon' = \varepsilon . \frac{1 - vK_t}{1 + K_t}$$

$$\varepsilon' = 153{,}484 \frac{1 - 0{,}27.0{,}4}{1 + 0{,}4}$$

$$\varepsilon' = 97.791\ (\mu strain)$$

Dengan cara yang sama, didapatkan hasil regangan terkoreksi (ε') untuk seluruh pengujian yang ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 4.7. Hasil perhitungan regangan terkoreksi

No.	Pengujian	Regangan, ε' (μstrain)
1.	Pelat tanpa *washer*	102.981
2.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 20 mm	101.638
3.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 22 mm	99.939
4.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 24 mm	98.596

5.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 26 mm	97.791
6.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 28 mm	96.449
7.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 30 mm	96.002

4.4.3. Perhitungan Tegangan (σ)

Perhitungan Tegangan dengan *washer* berdiameter luar 26 mm

Nilai tegangan utama didapatkan dengan mengunakan persamaan (2-19). Untuk pelat dengan *washer* berdiameter luar 26 mm:

$$\sigma = E \,.\, \varepsilon'$$

$$\sigma = \left(2{,}3199 \,.\, 10^{4} \;.\; 97{,}791\right) . 10^{-6}$$

$$\sigma = 2{,}269 \; N / mm^2$$

Dengan cara yang sama, didapatkan hasil perhitungan tegangan untuk semua pengujian yang ditampilkan pada tabel dibawah:

Tabel 4.8. Hasil perhitungan tegangan berdasar pengujian

No.	Pengujian	Tegangan, σ (N/mm^2)
1.	Pelat tanpa *washer*	2.389
2.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 20 mm	2.358
3.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 22 mm	2.318
4.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 24 mm	2.287
5.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 26 mm	2.269
6.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 28 mm	2.237
7.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 30 mm	2.227

4.5. Analisis Tegangan Pelat Teoritis

Analisis Tegangan *washer* berdiameter luar 26 mm

Dari perhitungan momen pengencangan baut (M_a) sebesar 35 N.m, didapatkan gaya tekan baut (F_a) searah sumbu baut sebesar 20705,6975 N. Dengan koefisien gesek (μ_s) sebesar 0,15, gaya tekan tersebut menyebabkan adanya gaya gesek (F_s) antara *washer* dengan pelat sebesar 3105,8546 N. Gaya

gesek tersebut lebih besar daripada beban tarik (P) yang dikenakan pada pelat yaitu sebesar 1000 N, maka persamaan (2-9) digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan rata-rata teoritis (σ_{avg}).

Nilai tegangan rata-rata untuk pelat yang menggunakan *washer* berdiameter luar 26 mm:

$$\sigma_{avg} = \frac{P}{A}\,(N/mm^2)$$

$$\sigma_{avg} = \frac{1000}{460{,}45}$$

$$\sigma_{avg} = 2{,}171788\ N/mm^2$$

Dengan cara yang sama, didapatkan nilai tegangan rata-rata teoritis untuk semua variasi diameter luar *washer* yang ditampilkan pada tabel berikut:

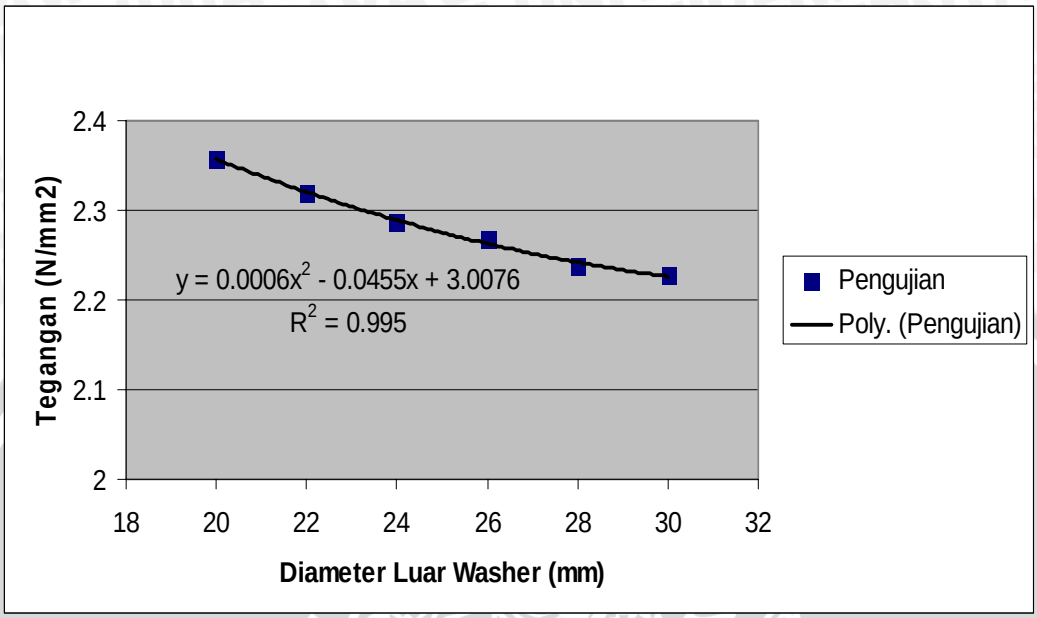
Tabel 4.9. Hasil perhitungan tegangan rata-rata teoritis

No.	Spesimen	Tegangan Rata-rata, σ_{avg} (N/mm^2)
1.	Pelat tanpa *washer*	2.312
2.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 20 mm	2.210
3.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 22 mm	2.191
4.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 24 mm	2.172
5.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 26 mm	2.153
6.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 28 mm	2.135
7.	Pelat dengan *washer* berdiameter luar 30 mm	2.117

4.6. Pembahasan

Grafik Hubungan Diameter Luar *Washer* dengan Tegangan Berdasarkan Pengujian

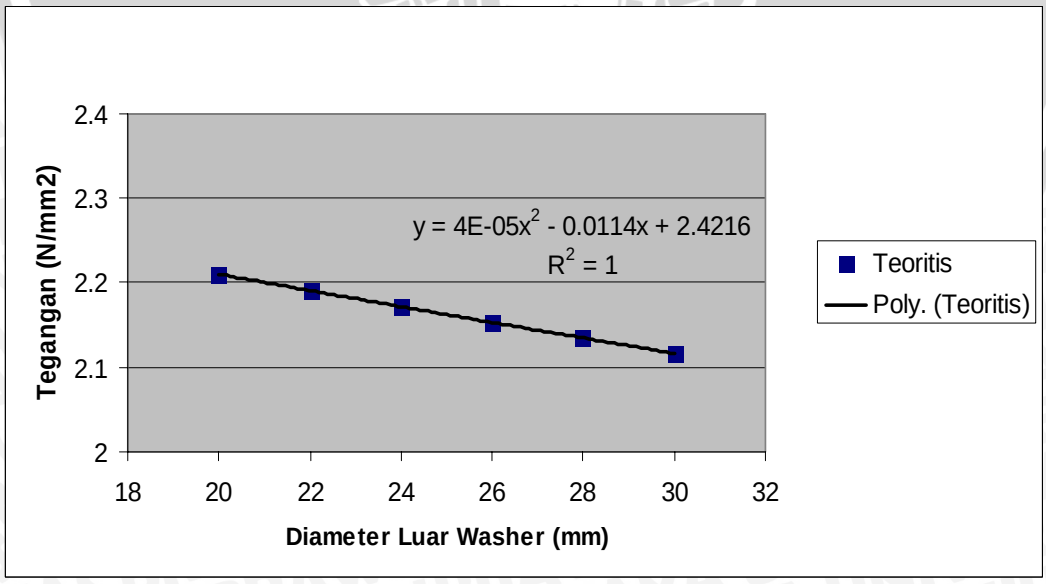
Dari tabel 4.8. didapatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 4.7. Grafik Hubungan Diameter Luar *Washer* dengan Tegangan

Grafik Hubungan Diameter Luar *Washer* dengan Tegangan Rata-rata Secara Teoritis

Dari tabel 4.9. didapatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 4.8. Grafik Hubungan Diameter Luar *Washer* dengan Tegangan Rata-rata

Pemakaian baut pada sambungan pelat menyebabkan terjadinya pengurangan dimensi pelat dimana pelat mengalami diskontinuitas bentuk geometri. Hal ini menyebabkan distribusi tegangan tidak merata dan terjadi konsentrasi tegangan di daerah yang memiliki luas penampang terkecil pada arah tegak lurus pembebanan karena luas penampang pada daerah tersebut adalah yang terkecil, sehingga gaya yang diterima hanya diterima oleh luasan yang kecil yang mengakibatkan tegangan yang terjadi di daerah tersebut menjadi paling besar, terutama pada daerah sekitar lubang. Terjadinya tegangan maksimal di daerah tersebut dapat dikurangi dengan menambahkan *washer* pada konstruksi sambungan tersebut. Dengan ditembahkan *washer* pada konstruksi sambungan, maka luasan penampang melintang di daerah yang mengalami konsentrasi tegangan akan semakin besar, sehingga gaya yang dibebankan pada pelat akan diterima oleh luasan yang lebih besar, sehingga tegangan yang terjadi semakin kecil dan distribusi tegangan pada pelat lebih merata.

Pada prosedur pengencangan baut, telah ditentukan momen pengencangan baut ($M_{a)}$ yang sesuai yaitu sebesar 35 Nm, sehingga didapatkan gaya pengencangan (F_a) sebesar 20705,6975 N. Dengan mengasumsikan gaya tekan yang diberikan baut pada *washer* dan pelat merata, maka didapatkan gaya gesek antara *washer* dan pelat (F_s) sebesar 3105,854625 N.

Dalam pengujian ini, pembebanan yang dilakukan adalah pembebanan tarik (P) sebesar 1000 N, dimana besarnya pembebanan yang dilakukan jauh di bawah titik *yield* pelat dan lebih kecil dibandingkan gaya gesek antara *washer* dan pelat. Kerena besarnya gaya pembebanan yang lebih kecil daripada gaya gesek *washer*, maka *washer* dapat mendistribusikan tegangan secara merata.

Pada gambar 4.7, yaitu grafik hubungan diameter luar *washer* dengan tegangan berdasarkan pengujian, didapatkan hubungan dengan persamaan $y = 0{,}0006\,x^2 - 0{,}0455x + 3{,}0076$ antara bertambahnya diameter luar *washer* dengan menurunnya besar tegangan di daerah sekitar lubang baut, dengan y menyatakan besarnya tegangan, dan x menyatakan besarnya diameter luar *washer*. Pada tabel 4.8. Hasil perhitungan tegangan berdasar pengujian, dapat dilihat terjadi penurunan tegangan antara pelat tanpa menggunakan *washer* dengan pelat yang menggunakan *washer*. Berdasarkan grafik pada gambar 4.7 dan tabel 4.8

dapat dilihat bahwa *washer* dengan diameter luar 20 mm sampai dengan 30 mm, maka semakin besar diameter luar *washer* yang digunakan, luasan penampang melintang keseluruhan di daerah sekitar lubang baut menjadi semakin besar, sehingga tegangan yang terjadi menjadi semakin kecil dan distribusi tegangan lebih merata.

Menurunnya besar tegangan yang terjadi di daerah sekitar lubang baut tersebut juga dapat dilihat pada gambar 4.8, yaitu grafik yang menggambarkan hubungan antara diameter luar *washer* dengan tegangan rata-rata secara teoritis. Tegangan rata-rata adalah nilai tengah dari tegangan yang terjadi di sekitar lubang baut seperti dapat dilihat pada gambar 2.9. Tegangan rata-rata dihitung dengan membagi beban yang terjadi dengan luasan penampang melintang konstruksi sambungan. Dari grafik pada gambar 4.8 dapat dilihat bahwa terdapat hubungan yang dinyatakan dengan persamaan $y = 0{,}00004\,x^2 - 0{,}0114x + 2{,}4216$, dengan y menyatakan besarnya nilai tegangan rata-rata, dan x menyatakan besarnya diameter luar *washer,* yang berarti bahwa sampai dengan diameter luar *washer* sebesar 30 mm, semakin besar diameter luar *washer*, maka tegangan yang terjadi semakin kecil dan distribusi tegangan lebih merata.

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan menunjukan bahwa hipotesis (H_1) diterima atau mendukung perhitungan yang dilakukan secara teoritis.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Bersadarkan hasil pengujian didapatkan kesimpulan bahwa perubahan diameter luar *washer* berpengaruh terhadap distribusi tegangan dan besarnya nilai tegangan yang terjadi di daerah sekitar lubang baut yang merupakan daerah yang memiliki luasan penampang melintang yang terkecil karena diskontinuitas bentuk geometri terjadi di daerah tersebut. Penurunan nilai tegangan yang terjadi di daerah tersebut dikarenakan dengan bertambahnya diameter luar *washer*, maka luas penampang melintang di daerah tersebut menjadi lebih besar sehingga gaya yang dibebankan diterima oleh luasan yang lebih besar yang menyebabkan tegangan yang terjadi menjadi lebih kecil dan distribusi tegangan pada daerah sekitar lubang lebih merata.

5.2. Saran

Pengujian yang telah dilakukan tentu memiliki banyak kekurangan, sehingga banyak hal yang perlu diperbaiki sehubungan dengan pelaksanaan pengujian tersebut. Berikut adalah saran-saran yang bisa dilakukan untuk mendapatkan hasil pengujian yang lebih baik:

1. Untuk merekatkan *straingage* dengan pelat/logam induk, sebaiknya digunakan lem perekat khusus yang diperuntukkan dalam pemasangan *straingage* sesuai jenis *straingage* dan kondisi pengujian.
2. Untuk mendapatkan data yang sesuai dengan keadaan di lapangan, dalam pengujian tersebut sebaiknya digunakan bahan-bahan dengan spesifikasi dan pembebanan yang sesuai dengan keadaan sesungguhnya di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Dally, James W. & Riley, William F; 1991; ***Experimental Stress Analysis***; McGraw-Hill International Edition, Singapore.

Gere, James M. dan Timoshenko, S.P; 1996; ***Mekanika Bahan***; Jilid I cetakan IV, terjemahan Ir. Bambang Suryoatmono, MSc. PhD; Jakarta:Erlangga.

Khurmi, R.S & Gupta, J.K; 1979; ***A Tex Book Of Machine Design***; Rana Nagar, India.

Popov, E.P; 1989; ***Mekanika Teknik***; Edisi Kedua, tejemahan Zainul Astamar Tanisan M.Sc; Jakarta:Erlangga.

Salomon, Charles G dan Johnson, John E; 1991; ***Struktur Baja***; Jilid I, Edisi kedua, terjemahan Ir. Wira M.S.C.E; Jakarta:Erlangga.

Stolk, Jac dan Kros, C; 1994; ***Elemen Mesin***; Edisi ke-21, terjemahan Hendarsin, H. dan Abdul Rachman A; Jakarta:Erlangga.

_____ , http:// www.vishay.com

_____ , http://www.freepatentsonline.com/7066053.html

_____ , http://www.me.psu.edu/me82/Learning/Strain/strain.html

_____ , http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Wheatstone_Bridge.svg

repository.ub.ac.id

PPPGT VEDC MALANG
Jl. Teluk Mandar, Arjosari, Tromol Pos 5 Malang
Telp. (0341) 491239 – 495849, Fax (0341) 491342
e-mail: vedcmalang@vedcmlg.or.id

SURAT KETERANGAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Drs. Sukaini
NIP : 131 413 439
Jabatan : Wakil Kepala Departemen Multi Skill Services (MSS)
PPPGT / VEDC Malang

menerangkan bahwa ,

Nama : Ardhi Erlangga
NRP : 0001060115-62
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas Teknik Unibraw

Mahasiswa tersebut diatas telah melaksanakan pengujian tarik pada Departemen Multi Skill Services PPPGT/VEDC Malang, berkaitan dengan penyelesaian Skripsi.

Demikian surat keterangan ini diberikan untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 18 Juli 2007
Wakil Kepala Departemen MSS

DEPARTEMEN TEKNOLOGI PENGERJAAN LOGAM

Drs. Sukaini
NIP. 131 413 439

UNIVERSITAS BRAWIJAYA