



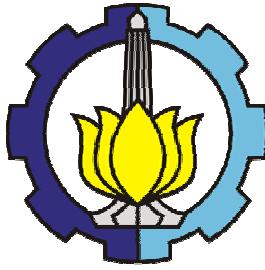
TESIS - RC142501

PERILAKU SAMBUNGAN GESER DENGAN LEM PADA ELEMEN TARIK BAJA RINGAN

SUMAI
NRP 3112 202 006

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. Priyo Suprobo, M.S., Ph.D
Endah Wahyuni ST., MSc., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



THESIS - RC142501

**BEHAVIOUR OF SHEAR CONNECTION USING
ADHESHIVE IN THE TENSION ELEMENT
OF COLD FORMED STEEL**

SUMAIDI
NRP 3112 202 006

ADVISOR
Prof. Ir. Priyo Suprobo, M.S., Ph.D
Endah Wahyuni ST., MSc., Ph.D

MASTER PROGRAM
STRUCTURE ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015


Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

SUMAIDI
NRP. 3112 202 006

Tanggal Ujian : 29 Desember 2014
Periode Wisuda : Maret 2015

Disetujui Oleh :


1. Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS., Ph.D
NIP. 19590911 198403 1 001

(Pembimbing)


2. Endah Wahyuni ST., MSc., Ph.D
NIP. 19700201 199512 2 001

(Pembimbing)


3. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP. 19500403 197603 1 003

(Penguji)


4. Ir. Faimun, MSc. Ph.D
NIP. 19630605 198903 1 004

(Penguji)


5. Budi Suswanto ST., MT., Ph.D
NIP. 19730128 199802 1 002

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto M.T.
NIP. 19640405 199002 1 001

PERILAKU SAMBUNGAN GESER DENGAN LEM PADA ELEMEN TARIK BAJA RINGAN

Nama mahasiswa : Sumaidi
NRP : 3112202006
Pembimbing : Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS, PhD
Co-Pembimbing : Endah Wahyuni, ST, MSc. PhD

ABSTRAK

Material kayu yang dulu sering dipakai untuk struktur rangka atap dan rangka plafon, sekarang sudah bergeser dengan pemakaian baja ringan. Selain biaya bahannya yang relatif lebih murah dibanding kayu juga waktu pelaksanaannya juga lebih singkat. Sehingga pada akhirnya akan berpengaruh pada lebih minimnya ongkos pelaksanaannya. Namun dalam kenyataannya, sering kita dengar banyak terjadi kegagalan pada konstruksi atap baja ringan. Berbagai media sering kali memberitakan ambruknya atap gedung sekolah dan lain-lain.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perilaku sambungan geser pada elemen tarik pada baja ringan dengan menggunakan sekrup (1 sekrup dan 2 sekrup) , *Self Drilling Screw (SDS)*, dibandingkan dengan lem dengan luasan lap yang sama. Potongan elemen profil C75 akan disambung dengan sekrup dan yang lainnya dengan lem, sikadur produksi SIKA, ditarik sampai putus. Hasil eksperimen akan divalidasi dengan hasil metode elemen hingga, dalam hal ini, menggunakan program bantu abaqus 6.7. 1

Dari hasil eksperimental, galvalum memiliki tegangan leleh dan putus lebih besar dari pada baja, pada galvalum tegangan leleh, $f_y = \pm 580$ mpa dan tegangan putus, $f_u = \pm 590$ mpa.

Membandingkan sifat sambungan geser dengan lem sikadur cf normal dengan sambungan 1 sekrup dengan luasan lap yang sama diperoleh hasil bahwa sambungan geser dengan lem sikadur lebih besar kapasitasnya (beban leleh dan putusnya) namun lebih getas. Perpindahan sambungan sekrup lebih besar dari sambungan lem sikadur cf normal (5 mm > 2 mm).

Sambungan dengan 2 sekrup menghasilkan tegangan yang hampir sama untuk kedua jenis sambungan (sekrup dan lem), yaitu 6 N/mm². Sambungan dengan 2 sekrup lebih kaku dari pada sambungan dengan 1 sekrup (1.5 mm < 5 mm).

Kata Kunci: sambungan lem, *Self Drilling Screw (SDS)*, *cold formed steel*, sambungan tipe geser,

BEHAVIOUR OF SHEAR CONNECTION USING ADHESHIVE IN THE TENSION ELEMENT OF COLD FORMED STEEL

Student's Name : Sumaidi
Registration Number : 3112202006
Supervisor : Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS, PhD
Co- Supervisor : Endah Wahyuni ST.,MSc.,Ph.D

ABSTRACT

Wood material used for roof truss and ceiling structures today its begin to change by using cold formed steel. Beside of the cheaper in material cost, it also shorter time of construction. caused the cheaper for totally cost of construction. but in fact, news frequently said of its failed, some medias said of the fail of shooll roofs atc.

This reseach's aim is to study the behaviour of connection of screws (1 and 2 screws) , *Self Drilling Screw (SDS)*, versus connection of adhesive of the tension element of cold formed steel in the same value of areas. A cut of galvalume C75 will connect with screws and other with adhesive, as a SIKA product, recieved a tension force until fail. Abaqus 6.7. 1 program gives the validation of the result of the experiment.

The experiment result that galvalume is a material with force yield and force ultimate higher than steel, it has force yield, $F_y = 580 \text{ Mpa}$ and force ultimate, $F_u = 590 \text{ Mpa}$.

Comparing the connection use 1 screw versus adhesive with the value of area, connection of sikadur cf normal adhesive has a bigger force capacity (F_y and F_u) but not ductile enough. Displacement of screw connection bigger than adhesive one ($5 \text{ mm} > 2 \text{ mm}$).

Connection of 2 screws has a force capacity rather the same value of the both type of connection (screw and adhesive), 6 N/mm . Connection of 2 screws has a bigger rigidity value than other with just 1 screw (the displacement is $1.5 \text{ mm} < 5 \text{ mm}$).

Keyword : *adhesive connection , Self Drilling Screw (SDS), cold formed steel, shear connection*

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, yang maha paring yang telah memberi kita banyak sekali nikmat terutama nikmat hidayah dan kesehatan. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul *“Perilaku Sambungan Geser dengan Lem pada Elemen Tarik Baja Ringan”*.

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik, Bidang Keahlian Teknik Struktur, Program Studi Pasca sarjana Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besaryakepada:

1. Bapak Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS., Ph.D., dan Ibu Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing yang dengan penuh kesabaran dan kesungguhan bersedia untuk meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan arahan dan petunjuk selama penyusunan tesis ini.
2. Bapak Ir. Faimun, M.Sc., Ph.D., Bapak Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka dan Bapak Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D. selaku dosen penguji atas masukan dan koreksinya untuk kesempurnaan Tesis ini.
3. Orang tuaku, Ibu Salekah dan Bpk Mochyi yang saya hormati dan sangat saya sayangi, terima kasih atas doanya, atas dukungannya, atas semangatnya, dan atas perjuangan ibu dan bpk mendukung saya sampai sejauh ini, ini semua saya persembahkan untuk bapak dan ibu tercinta.
4. Istriku tercinta Nur Sumiati dan anak-anakku, Alisha Hr Syakirin dan Safiana Ad Rahmani. Semoga Alloh menetapkan semua anggota keluarga dalam agama yang haq.
5. Adik – adiku Tutuk Indriati, Abdul Qodir Jaelani dan Muhammad safi’i. atas doanya dan kesabarannya berjuang bersama ibu dan bapak dalam mensupport saya menyelesaikan pendidikan S2 ini. Semoga Alloh paring hidayah dan menetapkannya pada kita semua

6. Teman-temanku seperjuangan, bu Rahma, Jaka, Niar, Abraham, Puput, Asdam, Upi, Daud, Bahrin, Gati, Ricki, Farid, Junedi, Dimas, Candra dan teman-teman lain pasca sarjana 2012, terima kasih atas bantuan dan semangatnya hingga terselesaikan tesis ini.

7. Seluruh dosen dan pengelola Program Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya, Laboran (bpk Ridwan, bpk Basar, Bpk Harjo, Bpk Ji dll) yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuan administrasi selama penyelesaian studi ini.

8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyusunan Tesis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tesis ini masih jauh dari sempurna, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan Tesi sini, akhirnya penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---------------------|-----|
| Kata Pengantar..... | iii |
| Abstrak..... | v |
| Daftar Isi..... | vii |
| Daftar Gambar..... | ix |
| Daftar Tabel..... | xi |
| Daftar Notasi..... | xii |

BAB I. PENDAHULUAN

| | |
|--------------------------------------------|---|
| 1.1. Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2. Perumusan dan Pembatasan masalah..... | 3 |
| 1.3. Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.4. Manfaat Penelitian..... | 4 |
| 1.5. Batasan dan Lingkup Penelitian..... | 4 |

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

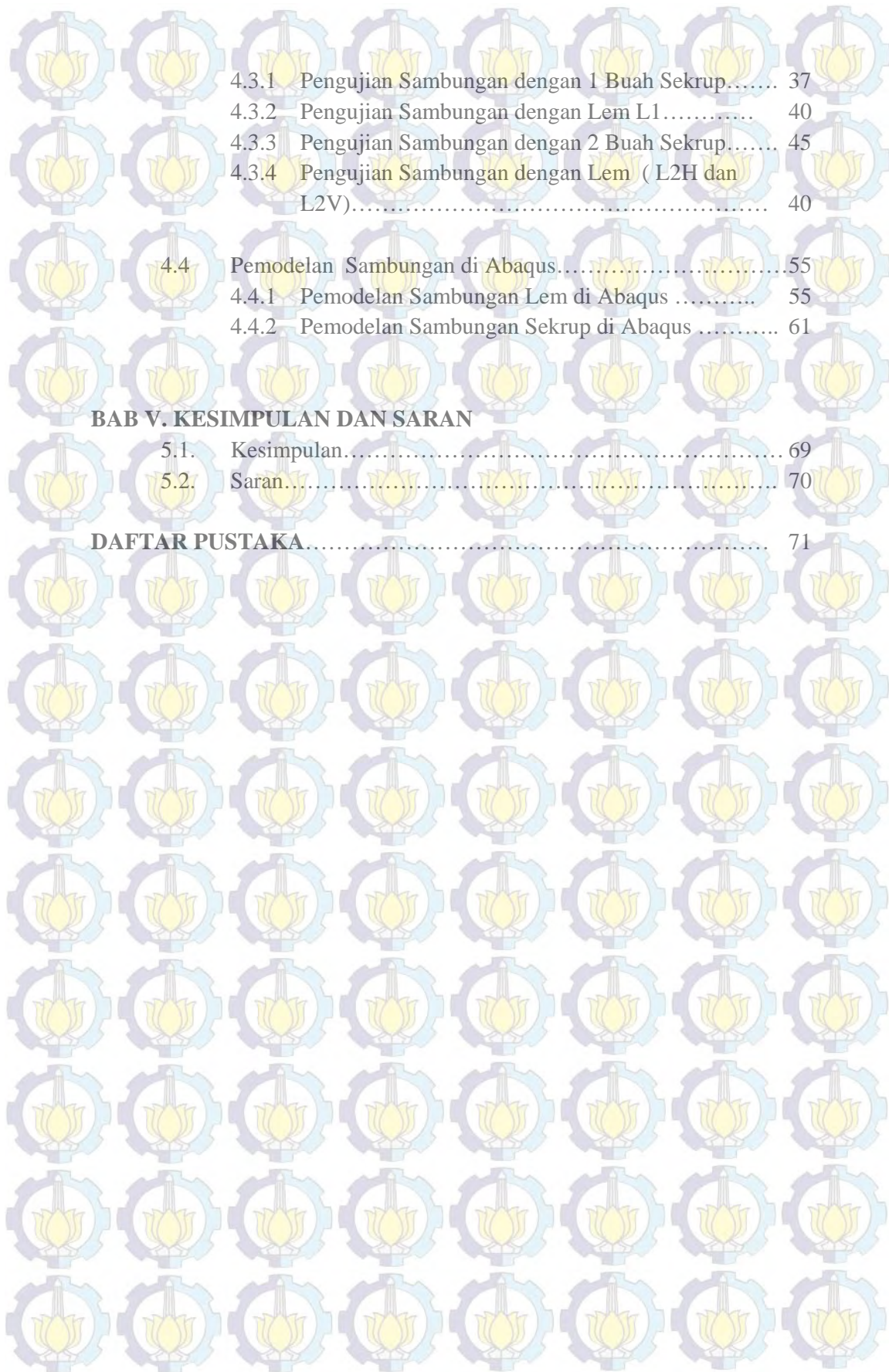
| | |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. Teori Penunjang..... | 7 |
| 2.1.1 Material Baja..... | 7 |
| 2.1.2 Baja Ringan, Galvanize dan Galvalum..... | 7 |
| 2.1.3 Pemodelan Kerusakan Lem..... | 12 |
| 2.2. Studi hasil penelitian sebelumnya..... | 13 |
| 2.2.1 Fenomena Curling Pelat Sambungan Dan Jumlah Baut Minimal..... | 13 |
| 2.2.2 Perilaku Sambungan Sekrup Pada Sambungan Momen Sebidang..... | 17 |
| 2.2.3 Pemodelan kerusakan (damage modeling)..... | 20 |

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

| | |
|-----------------------------------------------|----|
| 3.1. Pengujian spcimen..... | 23 |
| 3.2. Diagram Alir Penelitian..... | 24 |
| 3.3. Detail Specimen dan Alat Uji..... | 25 |
| 3.4. Analisa dengan Finite Elemen Method..... | 27 |
| 3.5. Keluaran yang Diharapkan..... | 27 |

BAB IV. HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

| | |
|----------------------------------|----|
| 4.1 Data Sambungan Geser..... | 29 |
| 4.2 Hasil Uji Eksperimental..... | 29 |
| 4.3 Pengujian Sambungan..... | 35 |



| | | |
|-------|----------------------------------------------------|----|
| 4.3.1 | Pengujian Sambungan dengan 1 Buah Sekrup..... | 37 |
| 4.3.2 | Pengujian Sambungan dengan Lem L1..... | 40 |
| 4.3.3 | Pengujian Sambungan dengan 2 Buah Sekrup..... | 45 |
| 4.3.4 | Pengujian Sambungan dengan Lem (L2H dan L2V)..... | 40 |

| | | |
|-------|--------------------------------------------|----|
| 4.4 | Pemodelan Sambungan di Abaqus..... | 55 |
| 4.4.1 | Pemodelan Sambungan Lem di Abaqus | 55 |
| 4.4.2 | Pemodelan Sambungan Sekrup di Abaqus | 61 |

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

| | | |
|------|-----------------|----|
| 5.1. | Kesimpulan..... | 69 |
| 5.2. | Saran..... | 70 |

DAFTAR PUSTAKA.....
















71

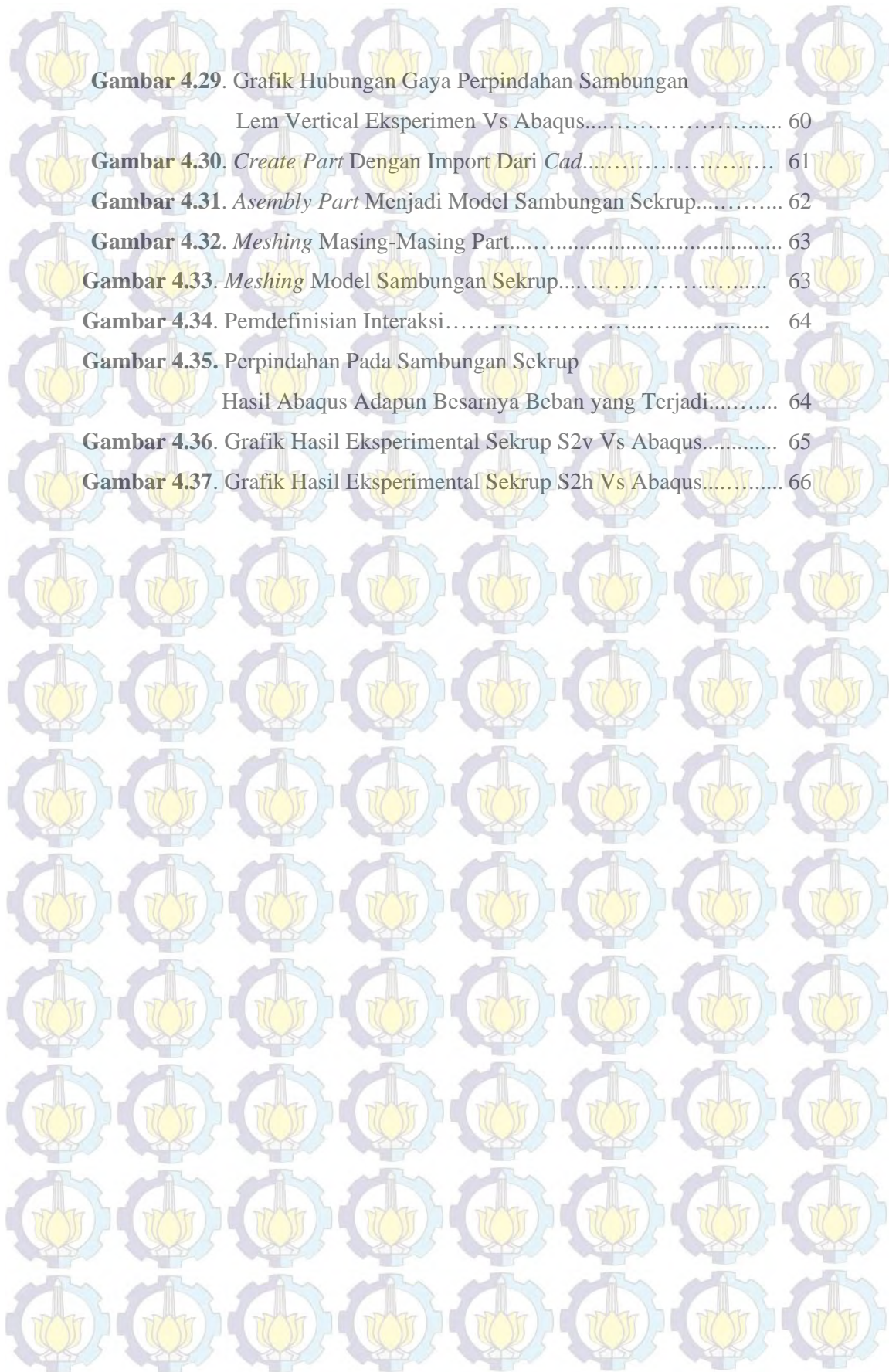
DAFTAR TABEL

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Perilaku mekanik baja berdasarkan standar AISI | 8 |
| Tabel 2.2 Titik Leleh dan Titik Ultimit. | 19 |
| Tabel 4.1. Sifat Mekanik Lem Sikadur CF Normal | 30 |
| Tabel 4.2. Karakteristik Pelat dan Sekrup (Brosur Galvalum dan Sekrup) .. | 31 |
| Tabel 4.3. Dimensi Benda Uji | 32 |
| Tabel 4.4. Beban Leleh dan Maksimal Benda Uji Tarik. | 33 |
| Tabel 4.5. Tegangan Leleh dan Tegangan Ultimate Galvalum..... | 34 |
| Tabel 4.6. Modulus Elastisitas Galvalum..... | 34 |
| Tabel 4.7. Perbandingan Nilai Beban (Leleh dan Putus) Rencana Dengan Hasil Eksperimen..... | 36 |
| Tabel 4.8. Kode Benda Uji..... | 36 |
| Tabel 4.9. Perbandingan Nilai Beban (Leleh dan Putus) Teoritis dengan Hasil Eksperimen..... | 44 |
| Tabel 4.10. Hasil Uji Sambungan 2 Sekrup Horizontal | 48 |
| Tabel 4.11. Hasil Uji Sambungan 2 Sekrup Vertikal..... | 49 |
| Tabel 4.12. Hasil Uji Sambungan Lem Horisontal..... | 52 |
| Tabel 4.13. Hasil Uji Sambungan Lem Vertical..... | 53 |
| Tabel 4.14. Hasil Abaqus Gaya Vs Displacemen Pada Lem | 59 |
| Tabel 4.15. Hasil Abaqus Gaya Vs Displacemen Pada Lem Vertikal..... | 60 |
| Tabel 4.16. Hasil Abaqus Gaya Vs Displacemen Pada Sekrup. | 65 |
| Tabel 4.17. Hasil Abaqus Gaya Vs Displacemen Pada Sekrup S2V..... | 66 |
| Tabel 4.18. Perbandingan Tegangan Pada Sambungan Lem dan Sekrup.... | 67 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1. Macam Bentuk Penampang Baja Ringan..... | 8 |
| Gambar 2.2 Respon stress-plastic displacement dari pemodelan kerusakan lem | 12 |
| Gambar 2.3 Deformasi Tegak Lurus Pelat (U3) Pada Kontrol Perpindahan yang Sama & Deformasi Pelat Tebal pada Berbagai Kontrol Perpindahan ($\Delta 1$) | 15 |
| Gambar 2.4. Konfigurasi Baut Majemuk pada Sambungan Lap..... | 16 |
| Gambar 2.5 Spesimen Uji (Rencana dan Actual) Sambungan Sekrup. ... | 17 |
| Gambar 2.6 Bentuk Kehancuran Spesimen Sambungan Sekrup..... | 18 |
| Gambar 2.7 Kurva P – Δ Hasil Eksperimental..... | 19 |
| Gambar 2.8 Mekanisme kegagalan material..... | 20 |
| Gambar 2.9 Parameter Cohesive Zone Model..... | 20 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian..... | 24 |
| Gambar 3.2 Benda Uji Tarik Material Galvalum..... | 20 |
| Gambar 3.3 Benda Uji Sambungan Geser 1 Sekrup dan Lem..... | 25 |
| Gambar 3.4 Benda Uji Sambungan Geser 2 Sekrup..... | 26 |
| Gambar 3.5 Benda Uji Sambungan Geser Lem | 26 |
| Gambar 3.6 Alat Uji <i>Universal Testing Machine</i> | 26 |
| Gambar 4.1. Benda Uji Tarik Galvalum (ASTM A 370 -03a) | 31 |
| Gambar 4.2. Benda Uji Tarik Galvalum Pengujian | 31 |
| Gambar 4.3. Pengecekan Pemasangan <i>Strain Gauge</i> ke <i>Data Logger</i> | 32 |
| Gambar 4.4. Hasil Uji Tarik Benda Uji Galvalum Gabungan..... | 33 |
| Gambar 4.5. Rencana Benda Uji Sambungan 1 Buah Sekrup..... | 33 |
| Gambar 4.6. hasil uji tarik benda uji sambungan sekrup GALV1..... | 39 |
| Gambar 4.7. hasil benda uji sambungan sekrup | 40 |
| Gambar 4.8. Rencana Benda Uji Sambungan 1 Buah Sekrup..... | 40 |
| Gambar 4.9. Hasil Uji Tarik Benda Uji Sambungan Sekrup GALV 3..... | 41 |
| Gambar 4.10. Rencana Benda Uji Sambungan Lem..... | 41 |

| | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|  | Gambar 4.11. Benda Uji Sambungan Lem | 42 |
|  | Gambar 4.12. Grafik Gaya – Perpindahan Sambungan Sekrup Dan Lem Sikadur CF Normal..... | 43 |
|  | Gambar 4.13. Sambungan Dengan Lem Sikadur CF Normal Setelah Diuji Geser. | 45 |
|  | Gambar 4.14. Sambungan 2 Buah Sekrup dengan Konfigurasi Horizontal (Hs) dan Konfigurasi Vertikal (Vs). | 46 |
|  | Gambar 4.15. Kegagalan yang Terjadi Karena <i>Pull Out</i> (Tercabut) | 47 |
|  | Gambar 4.16. Grafik Perbandingan Gaya Dan Perpindahan Sambungan 2 Sekrup Horizontal..... | 49 |
|  | Gambar 4.17. Grafik Perbandingan Gaya Dan Perpindahan Sambungan 2 Sekrup Vertikal..... | 50 |
|  | Gambar 4.18. Grafik Perbandingan Hasil Sambungan Sekrup Horizontal-Vertikal..... | 51 |
|  | Gambar 4.19. Sambungan Dengan Lem Konfigurasi Horizontal dan Vertikal..... | 52 |
|  | Gambar 4.20. Grafik Perbandingan Hasil Sambungan Sekrup Horizontal-Vertikal..... | 54 |
|  | Gambar 4.21. Grafik Perbandingan Hasil Sambungan Sekrup Horizontal-Vertikal..... | 54 |
|  | Gambar 4.22. Grafik Perbandingan Hasil Sambungan Sekrup Horizontal-Vertikal..... | 55 |
|  | Gambar 4.23. Grafik Perbandingan Hasil Sambungan Sekrup Horizontal-Vertikal..... | 55 |
|  | Gambar 4.24. Create Part Import File Cad.Sat..... | 56 |
|  | Gambar 4.25. Partisi Part Untuk Memberikan Material Yang Berbeda..... | 56 |
| | Gambar 4.26. Meshing Elemen Sambungan Lem..... | 57 |
| | Gambar 4.27. Displacement Pada Sambungan Lem..... | 58 |
| | Gambar 4.28. Grafik Perbandingan Hasil Uji Laboratorium dan Hasil Abaqus Sambungan Lem Horisontal..... | 59 |



| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.29. Grafik Hubungan Gaya Perpindahan Sambungan Lem Vertical Eksperimen Vs Abaqus..... | 60 |
| Gambar 4.30. <i>Create Part</i> Dengan Import Dari <i>Cad</i> | 61 |
| Gambar 4.31. <i>Assembly Part</i> Menjadi Model Sambungan Sekrup..... | 62 |
| Gambar 4.32. <i>Meshing</i> Masing-Masing Part..... | 63 |
| Gambar 4.33. <i>Meshing</i> Model Sambungan Sekrup..... | 63 |
| Gambar 4.34. Pemdefinisian Interaksi..... | 64 |
| Gambar 4.35. Perpindahan Pada Sambungan Sekrup Hasil Abaqus Adapun Besarnya Beban yang Terjadi..... | 64 |
| Gambar 4.36. Grafik Hasil Eksperimental Sekrup S2v Vs Abaqus..... | 65 |
| Gambar 4.37. Grafik Hasil Eksperimental Sekrup S2h Vs Abaqus..... | 66 |

DAFTAR NOTASI

| | |
|------------|------------------------------------------------------------------------|
| A | adalah luas penampang batang tarik, mm^2 |
| $Aadh$ | adalah luas bidang kontak lem, mm^2 |
| Ab | adalah luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir |
| Ae | adalah luas efektif penampang, mm^2 |
| Ag | adalah luas kotor penampang, mm^2 |
| d | adalah diameter baut/sekrup pada daerah yang tidak berulir |
| Fu | adalah tegangan ultimit aksial tarik, N/mm^2 |
| fub | adalah tegangan tarik putus baut / sekrup, N/mm^2 |
| Fy | adalah tegangan leleh aksial tarik, N/mm^2 |
| $L1$ | adalah benda uji sambungan lem 1 |
| $L2H$ | adalah benda uji sambungan lem horizontal 2 |
| $L2V$ | adalah benda uji sambungan lem horizontal 2 |
| P | adalah beban aksial tarik, N |
| Nn | adalah kapasitas tarik nominal, N |
| $S1$ | adalah benda uji sambungan 1 sekrup |
| $GALV$ | adalah benda uji tarik material galvalum |
| Rn | adalah Kapasitas nominal tumpu, N |
| $r1$ | adalah koefisien geser 0.5 untuk baut tanpa ulir pada bidang gesernya |
| $r1$ | adalah koefisien geser 0.4 untuk baut dengan ulir pada bidang gesernya |
| $S2H$ | adalah benda uji sambungan 2 sekrup horisontal |
| $S2V$ | adalah benda uji sambungan 2 sekrup horisontal |
| tp | adalah tebal plat minimal, mm^2 |
| σ_T | adalah tegangan leleh aksial tarik, N/mm^2 |



DAFTAR PUSTAKA

American Institute of Steel Construction. 1989. *Specification for Structural Steel Buildings—Allowable Stress Design and Plastic Design*, Chicago, IL.

American Institute of Steel Construction. 1993. *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings*, Chicago, IL.

ABAQUS/CAE Users Manual Version 6.5, 2004, HKS Inc., USA

Adams RD, 2000, *Adhesive Bonding Science Technology and Applications*, CRC Press, Woodhead Publishing Limited

Adam RD., Comyn J., Wiliam CW., 1997 *Structural Adhesive Joints in Engineering*, Saffron Walden ESS United

American Iron and Steel Institute. 1996. *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*, Washington, D.C.

Dewobroto, W & Besari, S ,2009, “Fenomena *Curling* Pelat Sambungan dan Jumlah Baut Minimum. Studi Kasus : Sambungan Pelat Tipe Geser (*Lap-Joint*) Dengan Baut Tunggal”. prosiding seminar Nasional: *Perkembangan Mutakhir Pemanfaatan Material Baja dalam Industri Konstruksi*, Universitas Katolik Parahyangan – Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Bandung.

Galambos., 1987, *Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures*, 4th edition, John Wiley & Sons



Lim JBP., Nethercot DA., 2011, *Stiffness Prediction for Bolted Moment Connections between Cold-Formed Steel Members*, Elsevier Journal of Constructional Steel Research, Vol. 60, p.85-107

Liljedahl CDM, Crocombe AD., Wahab MA., Ashcroft IA., 2006, “*Damage Modelling Of Adhesively Bonded Joints*”, International Journal of Fracture, Vol. 141, p. 141-161

Setiyarto, Y. Djoko ,(2012), “Perilaku Sambungan Sekrup (*Self Drilling Screw*) Pada Sambungan Momen Sebidang Untuk Struktur Baja Ringan” Majalah ilmiah Unikom, Vol. 10 no 1, hal 9-22

Setiawan, Agus, (2009), Perencanaan struktur baja dengan metode LRFD (sesuai SNI 03-1729-2002), Erlangga, Jakarta.

Von Karman, T., Sechler, E.E., and Donnell, L.H. 1932. The Strength of Thin Plates in Compression, *Trans. ASME*, Vol. 54.

Winter, G. 1947. Strength of Thin Steel Compression Flanges, *Trans. ASCE*, Vol. 112.

Yu, W.W. “Cold-Formed Steel Structures, *Structural Engineering*, CRC Press LLC, 1999

BIOGRAFI PENULIS



Sumaidi, lahir di Bangkalan pulau Madura, pada tanggal 7 september 1979, merupakan anak pertama dari empat bersaudara pasangan bpk. Mochyi dan ibu Suidah. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Arosbaya 3 (1986-1992), SLTPN 1 Arosbaya (1992-1995), SMAN 1 Bangkalan (1995-1998) dan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya (1998-2003). Penulis berprofesi sebagai dosen di Jurusan Teknik Sipil Universitas Pembangunan Nasional 'Veteran' Jawa

Timur (UPN 'Veteran' Jatim) Surabaya pada tahun 2007 sampai saat ini. Pada tahun 2012 penulis mendapatkan beasiswa studi S2 BPPS (Beasiswa Program Pasca Sarjana) untuk melanjutkan studi magister Teknik Sipil bidang Struktur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menempuh pendidikan S1 dan S2, penulis juga aktif dalam berbagai pengawasan dan perencanaan desain gedung untuk beberapa konsultan di Surabaya dan pelaksana pembangunan bangunan 1 dan 2 lantai untuk daerah jawa timur. Penulis dapat dihubungi berkenaan dengan tesis ini maupun kepentingan lain pada alamat email sumaidiwijaya@gmail.com.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi ilmu bahan bangunan bergerak dengan cepatnya. Pelaksana pembangunan selalu berinovasi memperoleh sistem pelaksanaan dengan semurah mungkin dan secepat mungkin. Material kayu yang dulunya sering dipakai untuk struktur kuda-kuda / rangka atap dan rangka plafon, sekarang sudah bergeser dengan pemakaian baja ringan. Selain biaya bahannya yang relatif lebih murah dibanding kayu juga waktu pelaksanaannya juga lebih singkat. Sehingga pada akhirnya akan berpengaruh pada lebih minimnya ongkos pelaksanaannya. Misalnya, untuk rangka atap kayu berbentuk pelana pada denah berukuran 4m x 8m, dibutuhkan 1 m³ kayu balok 8/12. Harga per meter kubiknya 3 juta, dibutuhkan kayu usuk 4/6 dan reng 3/4 yang total harganya sekitar 2 juta. Jadi untuk bahan saja, minimal membutuhkan 5 juta. Belum termasuk jasa tukang selama seminggu yang mungkin sekitar 1,5 juta. Dengan begitu, total biaya bisa mencapai sekitar 6,5 juta. Dengan baja ringan biaya per m² adalah Rp.130 ribu, jadi total material dan ongkos pasang adalah Rp. 4.2 Juta (130.000 x 4 x 8).

Namun dalam kenyataannya, sering kita dengar banyak terjadi kegagalan pada konstruksi atap baja ringan. Berbagai media sering kali memberitakan ambruknya atap gedung sekolah dan lain-lain. Berikut berita yang terjadi pada tahun 2012 dan 2013.

1. Bangunan Sekolah Dasar Negeri (SDN) 02 Pagi Cijantung, di Jalan Pertengahan, Gang Kramat, RT 3/RW 3, Kelurahan Cijantung, Kecamatan Pasarrebo, Jakarta Timur yang tengah dalam renovasi ambruk, Rabu (21/11/2012) sekira pukul 14.30. Sekitar 500 lebih genteng beton yang terpasang di atap bangunan dua lantai sepanjang sekitar 20 meter tiba-tiba

ambruk. Seorang pekerja Heri, mengalami luka-luka. Tangan kanan dan kedua kakinya memar. Begitu juga dengan punggungnya (wartakota.com, 22 November 2012)

2. Hujan deras disertai angin kencang yang mengguyur Jakarta sejak Selasa dini hari mengakibatkan atap gedung SMP Negeri 278 Jakarta yang berlokasi di Jalan Kamal Benda Raya No. 16, Kali de res, Jakarta Barat ambruk. Atap baja yang menopang genting di enam ruang ke las gedung berlantai tiga itu ambrol tersapu angin puting beliung, kemarin (15/1/2013). Akibatnya, bongkahan puing genting dan pondasi atap baja memenuhi ruang kelas (Indopos.com, 16 Januari 2013)

3. Empat atap Sekolah Dasar Negeri 01 Banar di Desa Harkat Jaya, Kecamatan Sukajaya, Kabupaten Bogor, Jawa Barat, ambruk, Selasa (8/1/2013) sekitar pukul 08.30 WIB. Buntutnya, puluhan murid terluka akibat tertimpa atap sekolah. Seluruh korban luka dilarikan ke Puskesmas Sukajaya. Kegiatan belajar langsung dihentikan. Seluruh murid dipulangkan lebih cepat. Polisi masih menyelidiki peristiwa ambruknya tiga ruang kelas dan satu ruangan guru tersebut. (wartakota.com, 9 Januari 2013)

Salah satu kelemahan konstruksi baja ringan adalah pada sambungan. Sambungan yang ada sekarang ini adalah sambungan sekrup, Self Drilling Screw (SDS) yang mana selain kapasitas yang kecil, elemen plat baja ringan ringan sendiri sangat tipis, sehingga mudah robek. Type sambungan sekrup yang memungkinkan adalah sambungan *simple connection*, dimana sambungan didesain tidak kaku dan tidak didesain menerima momen, sehingga sambungan ini tidak disarankan untuk struktur yang menerima gaya dinamik. Dikawatirkan sekrup semakin lama akan semakin longgar dan akhirnya lepas (Yu, 2009).

Beberapa penelitian yang ada saat ini banyak membahas sambungan baja ringan dengan sekrup (SDS) dan belum ada penelitian tentang sambungan

dengan lem, khususnya di Indonesia. Dewobroto & Besari 2009, meneliti tentang Fenomena *Curling* Pelat Sambungan dan Jumlah Baut Minimum, Studi Kasus : Sambungan Pelat Tipe Geser (*Lap-Joint*) Dengan Baut Tunggal. Sedangkan Wijaya dan Dewobroto 2008, tentang Penggunaan *Washer* Khusus (Besar) pada Sambungan Baja *Cold-Formed*. Setiyawan, Osman dkk 2012, meneliti tentang kekuatan dan kekakuan pada sambungan momen baja cold-formed yang diperkuat. Serta, Perilaku Sambungan Sekrup (*Self Drilling Screw*) Pada Sambungan Momen Sebidang Untuk Struktur Baja Ringan (Setiyarto, 2012)

Sambungan Lem dirasa cocok untuk struktur baja ringan ringan. Selain ketebalan plat yang tipis sangat sesuai bila disambungkan dengan perekat lem, penurunan kapasitas secara tiba-tiba, akibat lepasnya sekrup, tidak akan terjadi. Sambungan type ini belum pernah dicoba di Negara kita, Indonesia. Di luar negeri sudah diterapkan, misalnya sambungan plat badan pesawat dan lainnya. Misalnya lem 3M, Produksi Amerika Serikat, digunakan untuk sambungan structural pada aluminium dan baja.

1.1. PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang ingin dipecahkan dalam penelitian ini adalah :

- Permasalahan Utama:
Bagaimana perilaku sambungan geser dengan sekrup bila dibandingkan dengan lem Sikadur CF Normal?
- Detail Permasalahan
 - a. Bagaimana perilaku material galvalum terhadap gaya tarik (tegangan leleh dan ultimate galvalum) ?
 - b. Bagaimana perilaku kekuatan sambungan sambungan geser struktur baja ringan yang menggunakan Lem Sikadur CF Normal dibandingkan sambungan dengan sekrup?
 - c. Bagaimana perbandingan hasil eksperimental sambungan dengan sekrup dan lem dengan hasil analisa numerik dengan program abaqus?

1.2. TUJUAN PENELITIAN

Adapun penelitian ini tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengembangkan inovasi teknik penyambungan struktur baja ringan yang lebih aman dan meminimalkan kegagalan dini struktur akibat beban statis.

Dengan lebih mendetail, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

- Mempelajari perilaku material galvalum (kurva gaya – displacement) terhadap gaya aksial tarik.
- Mempelajari perilaku sambungan sekrup (1 dan 2 buah sekrup) dan lem pada struktur baja ringan dengan pembebanan statik.
- Mengetahui hasil analisa numerik (software berbasis elemen hingga) untuk sambungan sekrup dan lem.

1.3. MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini, secara umum, bermanfaat bagi masyarakat luas guna memperoleh desain sambungan yang lebih aman pada struktur baja ringan, dan akhirnya diperoleh desain yang relatif lebih murah. Upah konstruksi yang murah (karena lebih cepat), dibanding konstruksi kayu, membuat baja ringan menjadi alternatif yang baik dan digemari. Secara struktur, berat konstruksi yang lebih ringan dari kayu dan dak atap, lebih menguntungkan pada stabilitas struktur.

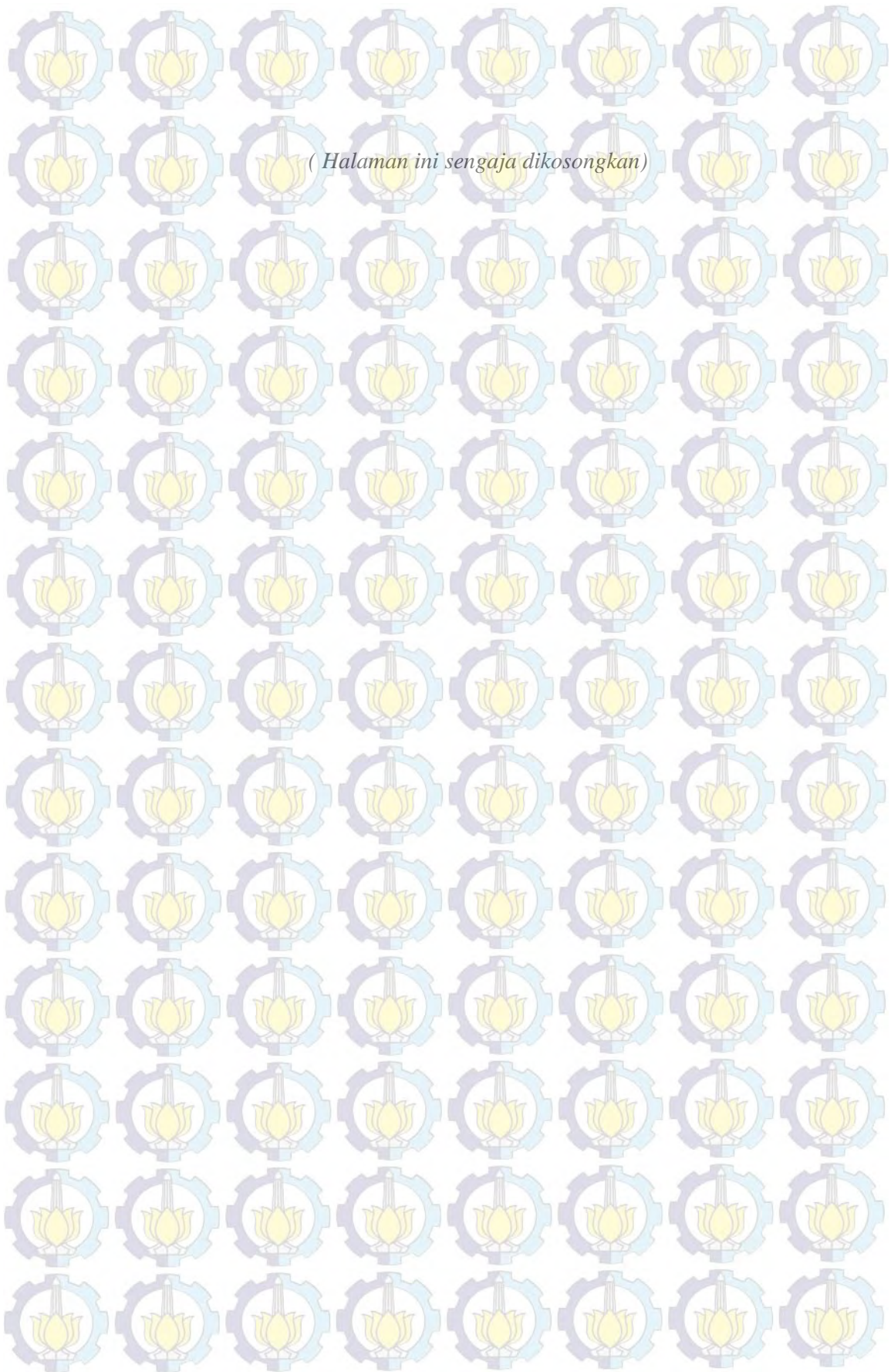
Bagi Produsen Baja ringan, hasil penelitian ini bermanfaat untuk meningkatkan kepercayaan masyarakat akan stabilitas baja ringan. Kegagalan struktur baja ringan yang sering diakibatkan kegagalan sambungan sekrup, bisa diantisipasi dengan menggunakan sambungan yang lebih baik, sehingga diharapkan kegagalan yang terjadi tidak pada daerah sambungan. Dengan meningkatnya kepercayaan masyarakat, pada akhirnya dapat meningkatkan pendapatan produsen baja ringan.



1.4. BATASAN LINGKUP PENELITIAN

Penelitian ini dibatasi lingkungannya sebagai berikut:

- menganalisa hanya elemen tarik pada struktur baja ringan (galvalum) yang disambung dengan alat penyambung dengan sekrup dan lem
- Tidak membahas pengaruh suhu pada sambungan
- Bahan uji adalah profil baja ringan C, dan lem Sikadur CF Normal, produksi SIKA.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Penunjang

2.1.1 Material Baja

Baja yang digunakan dalam struktur dapat diklasifikasikan menjadi baja karbon, baja paduan rendah mutu tinggi dan baja paduan. Sifat-sifat mekanik dari baja tersebut seperti tegangan leleh dan tegangan putusnya diatur dalam ATSM A6/A5M. (Setiawan, 2008)

a. Baja Karbon

Baja karbon dibagi tiga, menurut kadar karbonnya, yaitu baja karbon rendah ($C= 0.03$ s/d 0.35 %), baja karbon medium ($C=0.35$ s/d 0.50 %) dan baja karbon tinggi ($C= 0.55$ s/d $1,70$ %). Baja yang sering digunakan adalah baja karbon medium, misalnya BJ 37.

b. Baja Paduan rendah mutu tinggi

Yang termasuk dalam kategori baja paduan rendah mutu tinggi (high-strength low-alloy steel/HSLA) mempunyai tegangan leleh berkisar antara 290-550 MPa dengan tegangan putus (f_u) antara 415-700 MPa. Penambahan sedikit bahan-bahan paduan seperti chromium, columbium, mangan, molybden, nikel, fosfor, vanadium atau zirconium dapat memperbaiki sifat-sifat mekaniknya.

c. Baja paduan

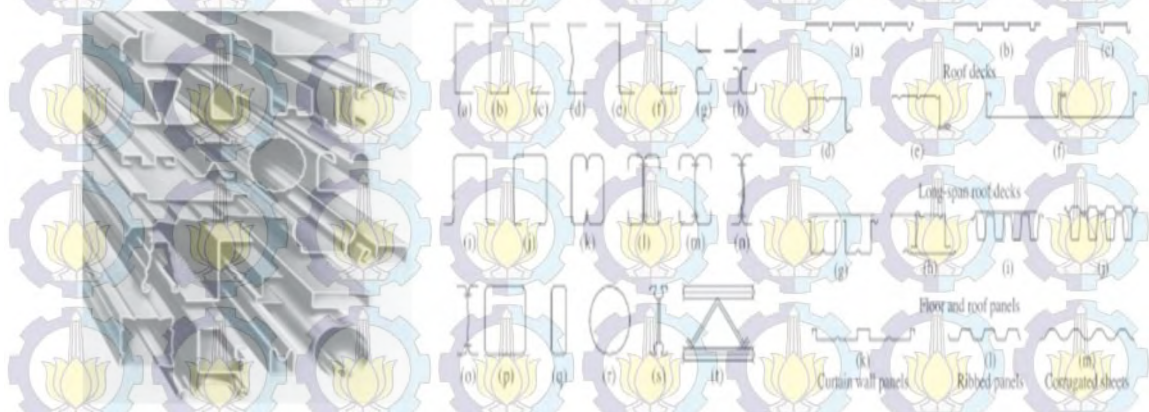
Baja paduan rendah (low alloy) yang ditempa dan dipanaskan untuk memperoleh tegangan leleh antara 550-760 MPa.

2.1.2 Baja ringan, Galvanize dan Galvalum

a. Baja Ringan

Baja sebagai salah satu dari material bangunan memiliki kelebihan dan kekurangan dibandingkan dengan material lain. Oleh karena itu, seringkali dalam penggunaannya, material baja digabungkan dengan material lain untuk menutup kelemahan masing-masing material. Melihat kekurangan dari ketiga material tersebut, untuk rangka atap akhir akhir ini digunakan struktur rangka atap baja ringan.

Baja ringan merupakan material yang dibentuk dalam kondisi dingin (cold-formed steel) dengan ketebalan berkisar antara 0,4 mm hingga 3,0 mm. Karena ketebalan yang tipis, maka baja ringan yang dipakai untuk keperluan struktural harus dibuat dari baja mutu tinggi, sehingga mempunyai ketahanan yang cukup untuk menerima beban struktur. Berbeda dengan baja konvensional, baja ringan merupakan baja mutu tinggi yang memiliki sifat ringan dan tipis, namun memiliki fungsi setara baja konvensional. Baja ringan ini termasuk jenis baja yang dibentuk setelah dingin (cold form steel). (Yu, W. W, 1999)



Gambar 2.1. Macam Bentuk Penampang Baja Ringan (Sumber, Yu, W.W, 1999)

Rangka Atap Baja ringan diciptakan untuk memudahkan perakitan dan konstruksi. Meskipun tipis, baja ringan memiliki derajat kekuatan tarik yang tinggi yaitu sekitar 550 MPa, sementara baja biasa sekitar 300 MPa. Kekuatan tarik dan tegangan ini untuk mengkompensasi bentuknya yang tipis. Ketebalan baja ringan yang beredar sekarang ini berkisar dari 0,4mm – 1mm. adapun perilaku mekanik baja ringan dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Perilaku mekanik baja berdasarkan standar AISI 1996

| Steel designation | ASTM designation | Yield Point, F_y (ksi) | Tensile Strength, F_u (ksi) | Elongation (%) | |
|-------------------|------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| | | | | In 2-in. gage length | In 8-in. gage length |
| Structural steel | A36 | 36 | 58-80 | 23 | - |

| | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------|----------|----------------|----------|
| High-strength low-alloy structural steel | A242 ($\leq 3/4$ in) to (1-1/2 in) | 50 46 | 70 67 | - 21 | 18 18 |
| Low & intermediate tensile strength carbon plates, shapes and bars | A283 Gr. A | 24 | 45-60 | 30 | 27 |
| | B | 27 | 50-65 | 28 | 25 |
| | C | 30 | 55-75 | 25 | 22 |
| | D | 33 | 60-80 | 23 | 20 |
| Cold-formed welded and seamless carbon steel structural tubing in rounds and shapes | A500 Round tubing | 33 | 45 | 25 | - |
| | A | 42 | 58 | 23 | - |
| | B | 46 | 62 | 21 | - |
| | C | 36 | 58 | 23 | - |
| | D | 39 | 45 | 25 | - |
| | Shaped tubing | 46 | 58 | 23 | - |
| | A | 50 | 62 | 21 | - |
| | B | 36 | 58 | 23 | - |
| | C | | | | |
| | D | | | | |
| Structural steel with 42 ksi minimum yield point | A529 Gr. 42 | 42 | 60-85 | - | 19 |
| | 50 | 50 | 70-100 | - | 18 |
| Hot-rolled carbon steel sheets and strips of structural quality | A570 Gr. 30 | 30 33 | 49 52 | 21-25 18-23 | - - |
| | 33 | 36 | 53 | 17-22 | - |
| | 36 | 40 | 55 | 15-21 | - |
| | 40 | 45 | 60 | 13-19 | - |
| | 45 | 50 | 65 | 11-17 | - |
| | 50 | | | | |
| High-strength low-alloy columbium-vanadium steels of structural quality | A572 Gr. 42 | 42 50 | 60 65 | 24 21 | 20 18 |
| | 50 | 60 | 75 | 18 | 16 |
| | 60 | 65 | 80 | 17 | 15 |
| | 65 | | | | |
| High-strength low-alloy structural steel with 50 ksi minimum yield point | A588 | 50 | 70 | 21 | 18 |

| | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| Hot-rolled and cold-rolled high strength low-alloy steel sheet and strip with improved corrosion resistance | A60 Hot-rolled as rolled coils; annealed, or normalized; and cold-rolled Hot-rolled as rolled cut lengths | 45 50 | 65 70 | 22 22 | - - |
| Steel designation | ASTM designation | Yield Point, F_y (ksi) | Tensile Strength, F_u (ksi) | Elongation (%) | |
| | | | | In 2-in. gage length | In 8-in. gage length |
| Hot-rolled and cold-rolled high strength low-alloy columbium and/or vanadium steel sheet and strip | A607 Gr. 45 | 45 50 55 | 60 (55) 65 (60) 70 (65) | Hot-rolled 23-25 | - - |
| | 50 | 60 65 | 75 (70) 80 (75) | Cold-rolled 22 | - - |
| | 55 | 65 70 | 80 (75) 85 (80) | Hot-rolled 20-22 | - - |
| | 60 | 70 | 85 (80) | Cold-rolled 20 | - - |
| | 65 | | | Hot-rolled 18-20 | - - |
| | 70 | | | Cold-rolled | - - |
| Cold-rolled carbon structural sheet | A611 Gr. A | 25 30 | 42 45 | 26 24 | - - |
| | B | 33 | 48 | 22 | - |
| | C | 40 | 52 | 20 | - |
| | D | 80 | 82 | - | - |
| | E | | | | |
| Zinc-coated steel sheets of structural quality | A653 SQ Gr. 33 | 33 37 | 45 52 | 20 18 | - - |
| | 37 | 40 50 | 55 65 | 16 12 | - - |
| | 40 | 50 | 70 | 12 | - |
| | 50 (class 1) | 80 50 | 82 60 | - 20 | - - |
| | 50 class | 60 | 70 | 16 | - |
| | (30 | 70 | 80 | 12 (14) | - |
| | 80 | 80 | 90 | 10 (12) | - |

| | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|----|----|-------|---|--|
| | HSLA | | | | | |
| | Gr. 50 | | | | | |
| | 60 | | | | | |
| | 70 | | | | | |
| | 80 | | | | | |
| Hot-rolled high-strength low-alloy steel sheets and strip with improved formability | A715 SQ | 50 | 60 | 22-24 | - | |
| | Gr. 50 | 60 | 70 | 20-22 | - | |
| | 70 | 80 | 18 | - | | |
| | 60 | 80 | 90 | 14 | - | |
| Aluminium-zinc alloy-coated by the hot-dip process general requirements | A792 SQ | 33 | 45 | 20 | - | |
| | Gr. 33 | 37 | 52 | 18 | - | |
| | 40 | 55 | 16 | - | | |
| | 37 | 50 | 65 | 12 | - | |
| | 40 | 80 | 82 | - | - | |
| | 50 | | | | | |
| | 80 | | | | | |

b. Galvanis

Galvanis adalah suatu proses pelapisan seng pada lembaran baja agar baja tidak mudah berkarat. Komposisi cairan Galvanis terdiri dari 97% Zinc/seng dan +/- 1% Alumunium sisanya bahan lain hingga 100%. peran Zinc sangat penting dalam melindungi lembaran baja dari polutan-polutan yang dapat menyebabkan karat pada lembaran baja tersebut. Proses pelapisan itu sendiri dapat dilakukan dengan banyak cara, antara lain dengan sistem penghantaran arus listrik yang dikenal dengan Elektro Galvanise, atau pencelupan biasa yang dikenal dengan Hot-dipped Galvanise. Proses pencelupan galvanis sendiri bisa terbagi 2 yaitu; 1. Proses pencelupan konvensional, yaitu baja (biasanya produk jadi) di celupkan ke dalam cairan timah. 2. Proses pencelupan continous hot-dipped galvanising yaitu Baja di celupkan ke dalam cairan timah yang berlangsung secara terus menerus tanpa terputus. Plat baja yang di celup adalah plat baja gulungan / coil sehingga pada ujung mesin celup galvanis ini terdapat alat yang dinamakan Incoiler dan Recoiler.

c. Galvalume

Sedangkan untuk proses pelapisan Galvalume hanya di lakukan dengan continous hot dipped atau saat ini sudah ada yang dikenal pula dengan NOF (Non Oxides Furnace)

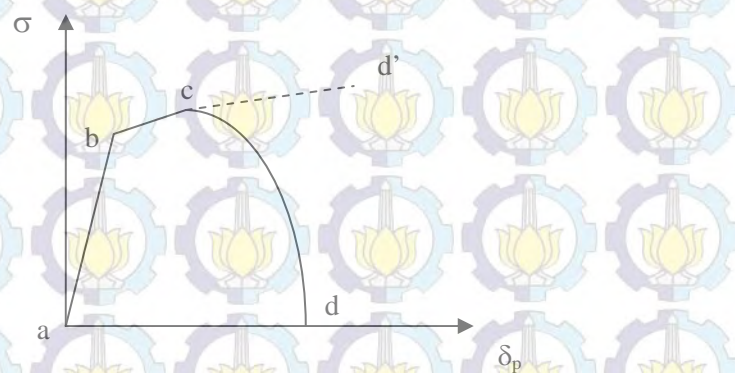
proses. Secara umum proses ini sama seperti Continuous hot-dipped, kecuali bak/kolam tempat penampungan cairan lapisan dan proses pemanasannya saja. Komposisi cairan pelapis untuk Galvalume terdiri dari Aluminium 55% dan Zinc/seng 45%, sisanya bahan-bahan lain hingga 100%. Karena kandungan aluminium yang tinggi pada Galvalume membuat Galvalume lebih baik untuk daya tahan karat dibandingkan dengan Galvanis. Namun Aluminium sangat rentan/tidak tahan terhadap semen dibandingkan dengan Zinc / seng. Jadi Baja Lembaran yang dilapisi aluminium akan sangat tahan terhadap karat tetapi tidak tahan terhadap keropos dibandingkan dengan baja lembaran yang dilapisi oleh seng.

Jadi singkatnya, Galvanis berbeda dengan Galvalume karena sbb:

1. Proses pelapisannya
2. Komposisi Cairan lapisan
3. Daya proteksi lapisan terhadap baja lembaran.
4. Galvalume tidak bertahan baik dengan semen, galvanis sangat baik.

2.1.3 Pemodelan kerusakan lem

Perlambatan retak setelah kerusakan awal (damage initiation) lebih dianggap sebagai respon *stress-displacement*, daripada respon *stress-strain*. Kerusakan pada suatu elemen ditandai oleh perpindahan plastis yang melebihi nilai kritisnya (titik c) seperti gambar berikut :



Gambar 2.2 Respon stress-plastic displacement dari pemodelan kerusakan lem (Hua et.al, 2006)

Respon lambat (c,d) diatur oleh hukum evolusi kerusakan tertentu seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (1) sampai elemen gagal (titik d), ketika perpindahan plastis mencapai nilai kritis lain, yaitu ketika parameter kerusakan mencapai nilai maksimum sebesar 1. Kemudian, elemen-elemen yang mengalami kerusakan membentuk jalur yang sepenuhnya rusak pada model. Penerapan model ini ke dalam analisis elemen hingga memerlukan definisi dari panjang karakteristik, yang dihitung dari ukuran elemen. Dengan demikian unsur-unsur yang memiliki aspek rasio mendekati satu yang disarankan sesuai dengan definisi kode dalam ABAQUS

$$\sigma_d = (1-D) \sigma, \quad D = D(\delta_p), \quad 0 \leq D \leq 1 \quad \dots\dots(1)$$

Dalam persamaan ini σ_d dan σ adalah *damage stresses* dan *undamaged stresses*, dan δ_p adalah perpindahan plastis diperoleh sebagai produk dari regangan plastis ekivalen dan panjang karakteristik dari elemen hingga yang relevan.

2.2 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya

2.2.1 Fenomena *Curling* Pelat Sambungan dan Jumlah Baut Minimum. Studi

Kasus : Sambungan Pelat Tipe Geser (*Lap-Joint*) Dengan Baut Tunggal

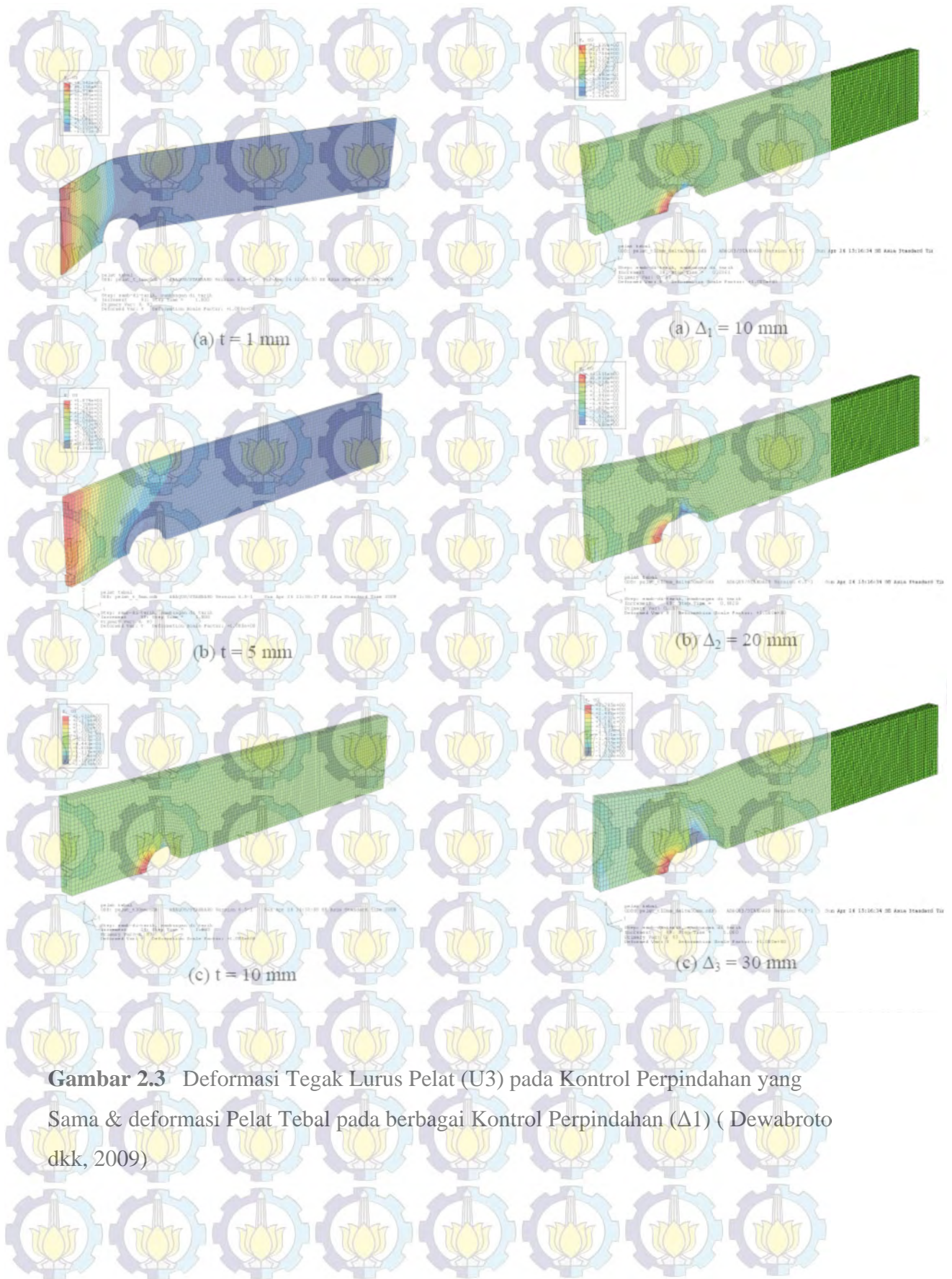
(Dewobroto dkk, 2009),

Latar belakang dari penelitian ini adalah, bahwa sambungan struktur baja tipe geser (*lap joint*) dengan baut mutu tinggi dipilih karena kemudahan. Ketentuan jumlah minimal baut tidak secara tegas dinyatakan, bahkan tersirat satu bautpun dapat dipakai (Vinnakota, 2006).

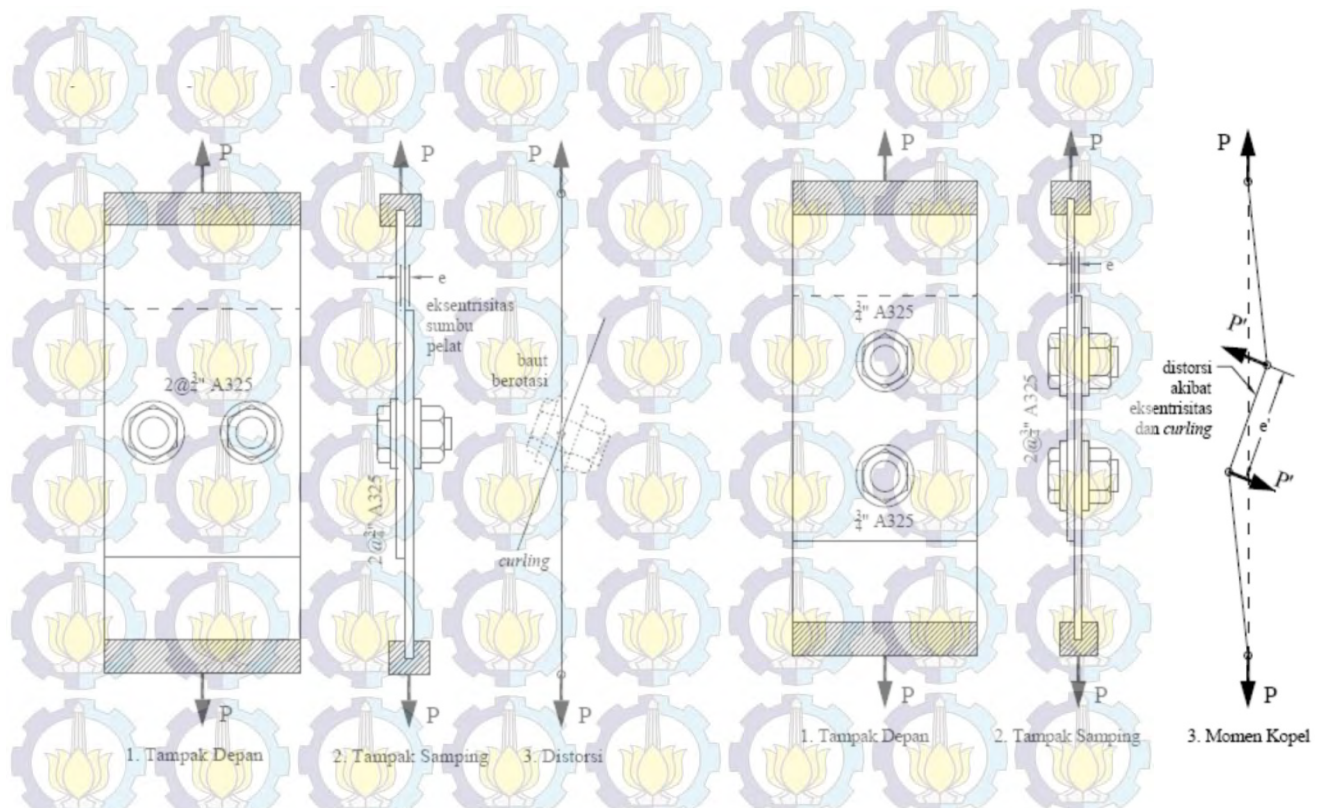
Tetapi petunjuk praktis yang ada mengarahkan bahwa sambungan *lap-joint* **minimal dua baut**, yaitu untukantisipasi [a] eksentritas; [b] mencegah baut lepas karena baut tunggal cenderung untuk berotasi. Uji tarik eksperimental sambungan *lap* dengan baut tunggal menunjukkan bahwa perilaku keruntuhannya khas, ada perilaku tertentu, yaitu *curling*, yang menyebabkan perilaku tumpu tidak dapat bekerja maksimal. Dalam Makalah ini mengungkap bagaimana mekanisme tersebut dapat terjadi. Dari Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa mekanisme keruntuhan *lap-joint* baut tunggal pada **pelat relatif tipis** menghasilkan perilaku yang menyebabkan

metode yang digunakan pada perencanaan, yaitu mekanisme tumpu tidak bekerja sempurna. Hal itu dapat dihindari jika dipakai jumlah baut majemuk (minimal dua baut) dengan konfigurasi tertentu. Jadi petunjuk praktis yang ada sudah baik, hanya saja konfigurasi pemasangannya perlu mendapatkan perhatian juga.

Deformasi tegak lurus pada pelat itulah yang menimbulkan fenomena *curling*. Pelat 1 mm (tipis) menunjukkan *curling* terbesar, pelat 5 mm (sedang) juga menunjukkan *curling* meskipun relatif kecil. Adapun pelat 10 mm (tebal), sama sekali tidak memperlihatkan fenomena *curling*.



Gambar 2.3 Deformasi Tegak Lurus Pelat (U3) pada Kontrol Perpindahan yang Sama & deformasi Pelat Tebal pada berbagai Kontrol Perpindahan (Δ_1) (Dewabrotodkk, 2009)



Gambar 2.4. Konfigurasi Baut Majemuk pada Sambungan Lap
(Dewabroto dkk, 2009)

Curling terjadi sebagai akibat mekanisme gaya-gaya tekan internal pelat, yang tidak lain adalah *buckling* (tekuk), dan hanya terjadi pada pelat yang relative tipis (lansing). Adanya *curling* pada sambungan lap yang secara natural mempunyai eksentrisitas (Gambar 2.2 a), ditambah slip, menyebabkan sambungan lap dengan baut tunggal beresiko mengalami distorsi (Gambar 2.2 b) dan kinerjanya menjadi tidak optimum. Untuk menghindarinya, perlu digunakan baut majemuk (minimal dua) dengan konfigurasi sejajar arah gaya (Gambar 2.3 b). Jadi pertimbangan praktis memakai dua baut sudah benar, tetapi perlu dilihat juga konfigurasi terhadap arah gaya yang ada.

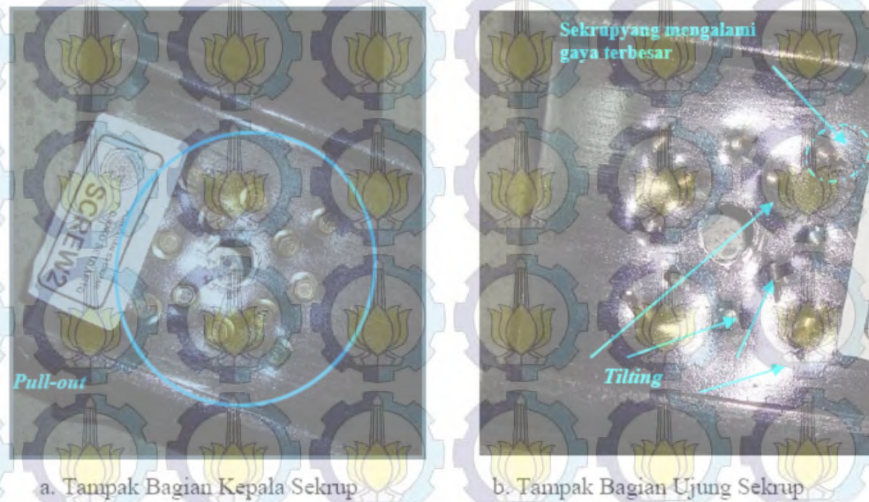
2.2.2 Perilaku Sambungan Sekrup (*Self Drilling Screw*) Pada Sambungan Momen Sebidang Untuk Struktur Baja Ringan (Setiyarto, 2012)

Penggunaan sekrup sebagai pengencang sambungan momen pada struktur baja ringan umum dilakukan terutama untuk konstruksi atap. Berbeda dengan baut, mekanisme tumpu pada sekrup dapat disertai pula dengan mekanisme tarik yang menyebabkan sekrup tertarik keluar (*pull-out*) dari bidang sambungan, mengingat sekrup tidak menggunakan mur. Analisis desain yang disertai dengan kegiatan eksperimental berikut akan memaparkan tentang perilaku dan bentuk kehancuran (*failure mode*) pada sambungan momen struktur baja ringan yang menggunakan sekrup. Hasil eksperimental menunjukkan bahwa sebagian besar sekrup mengalami rotasi dan tertarik keluar bidang sambungan (*pull-out*) sehingga dapat menurunkan kekuatan sambungan. Diketahui pula bahwa sekrup yang memiliki eksentrisitas besar terhadap pusat sambungan dan berlokasi dekat dengan beban, akan berpotensi putus akibat besarnya gaya geser yang diterima.



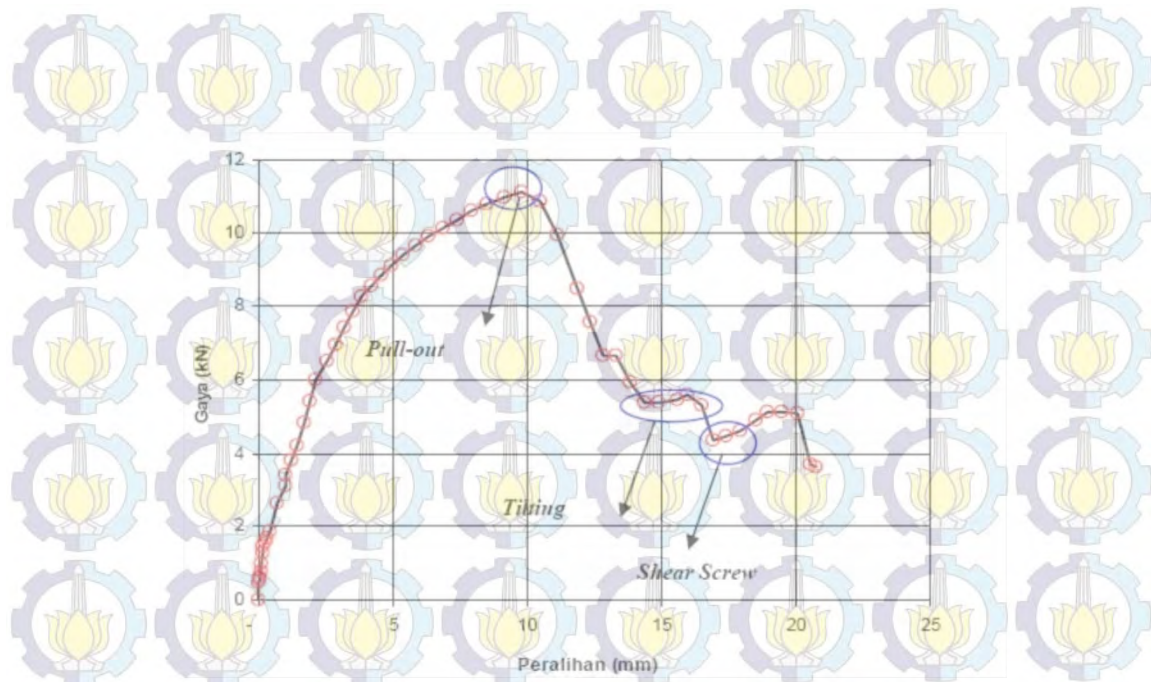
Gambar 2.5 Spesimen Uji (rencana dan actual) Sambungan Sekrup. (setiyarto, 2012)

Saat mencapai beban ultimit, deformasi di permukaan bidang sambungan baja ringan atau di sekitar sekrup sudah mulai terlihat. Akibat adanya mekanisme tumpu pada batang sekrup, maka sekrup cenderung berotasi dalam arah tegak lurus bidang sambungan (*tilting*). Rotasi sekrup tersebut juga menyebabkan kepala sekrup membentur permukaan bidang sambungan, sehingga menyebabkan permukaan baja ringan sobek. Beberapa sekrup juga mengalami kegagalan tumpu akibat tidak dapat menahan gaya geser yang terjadi dalam mekanisme tumpu pada penampang pelat



Gambar 2.6 Bentuk Kehancuran Spesimen Sambungan Sekrup (Setiyarto, 2012).

Hubungan gaya-peralihan hasil pengujian sambungan momen terlihat pada Gambar 2.5. Untuk memperoleh titik ultimit (P_u) dan titik leleh (P_y) digunakan metode *offset* [ASTM, 2003] yang hasilnya seperti pada Tabel 2. Besarnya momen ultimit yang diperoleh adalah $M_u = 1.65 \text{ kN.m}$. Nilai ini masih lebih rendah daripada kapasitas penampang profil pada Tabel 1 (selisih 80%).



Gambar 2.7 Kurva P – Δ Hasil Eksperimental (Setiyarto, 2011).

Tabel 2.2 Titik Leleh dan Titik Ultimit.

| Δ_y mm | P_y kN | Δ_u mm | P_u kN |
|------------------|-------------|------------------|-------------|
| 2.888 | 7.857 | 9.772 | 11.129 |

Beberapa kesimpulan yang diperoleh dari hasil eksperimental dan teoritis tentang perilaku sambungan sekrup pada baja ringan bahwa pada sambungan momen, sekrup akan berotasi mengikuti arah putaran momen, sehingga perilaku *tilting* dan *pull-out* akan lebih dominan.

Sekrup yang memiliki eksentrisitas besar terhadap pusat sambungan akan cenderung menerima gaya geser yang besar, terutama sekrup yang berdekatan dengan lokasi beban, dan

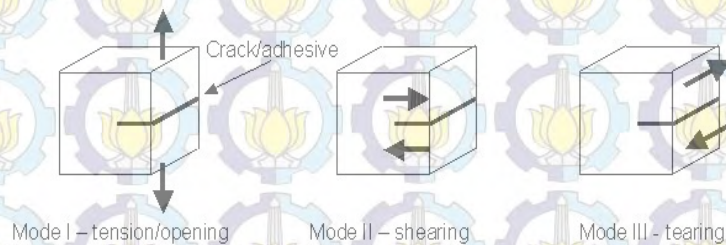
Perilaku *pull-out* dan *tilting* pada sambungan sekrup dapat menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan, sehingga penggunaan sekrup akan menghasilkan kekuatan ultimit yang jauh lebih rendah daripada kapasitas penampang profil.

2.2.3 Pemodelan Kerusakan (damage modelling)

Menurunnya kekuatan struktur bisa diakibatkan oleh efek gabungan dari kekuatan sambungan dan degradasi mekanis. Efek ini bisa lebih parah lagi oleh fluktuasi beban lingkungan (environment) diantaranya siklus basah, kering dan sebagainya. Ada banyak metode pendekatan yang bisa digunakan untuk menghitung kekuatan dari sambungan lem, diantaranya menggunakan metode elemen hingga.

Cohesive Zone Model (CZM) adalah suatu metode analisa kegagalan sambungan (interface) terjadi di daerah kohesif yang berada sepanjang daerah lekatan antara lem dan substrate. Pertimbangan adanya zona kohesif ini akan memperpanjang analisa elemen hingga konvensional, sehingga diperlukan spesifikasi independen sambungan dan perilaku material lem. Elemen kohesif menggambarkan deformasi dan kegagalan ikatan antara dua elemen hingga dengan mendefinisikan traksi (traction) sebagai penahan gerakan relatif.

Respon kegagalan sambungan lem disimulasikan menggunakan metode cohesive zone model. Dua model kegagalan yang mungkin terjadi pada sambungan lem adalah model I (tarik) dan model II (geser).

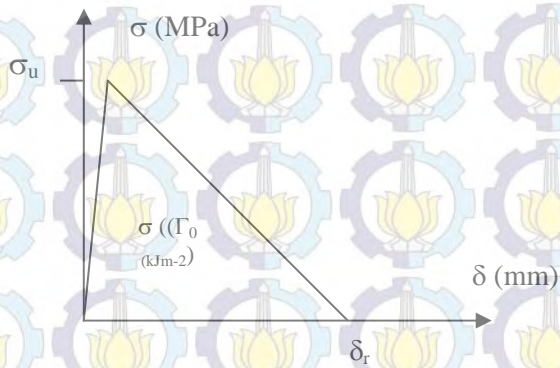


Gambar 2.8 Mekanisme kegagalan material

(www.lemstoolkit.com)

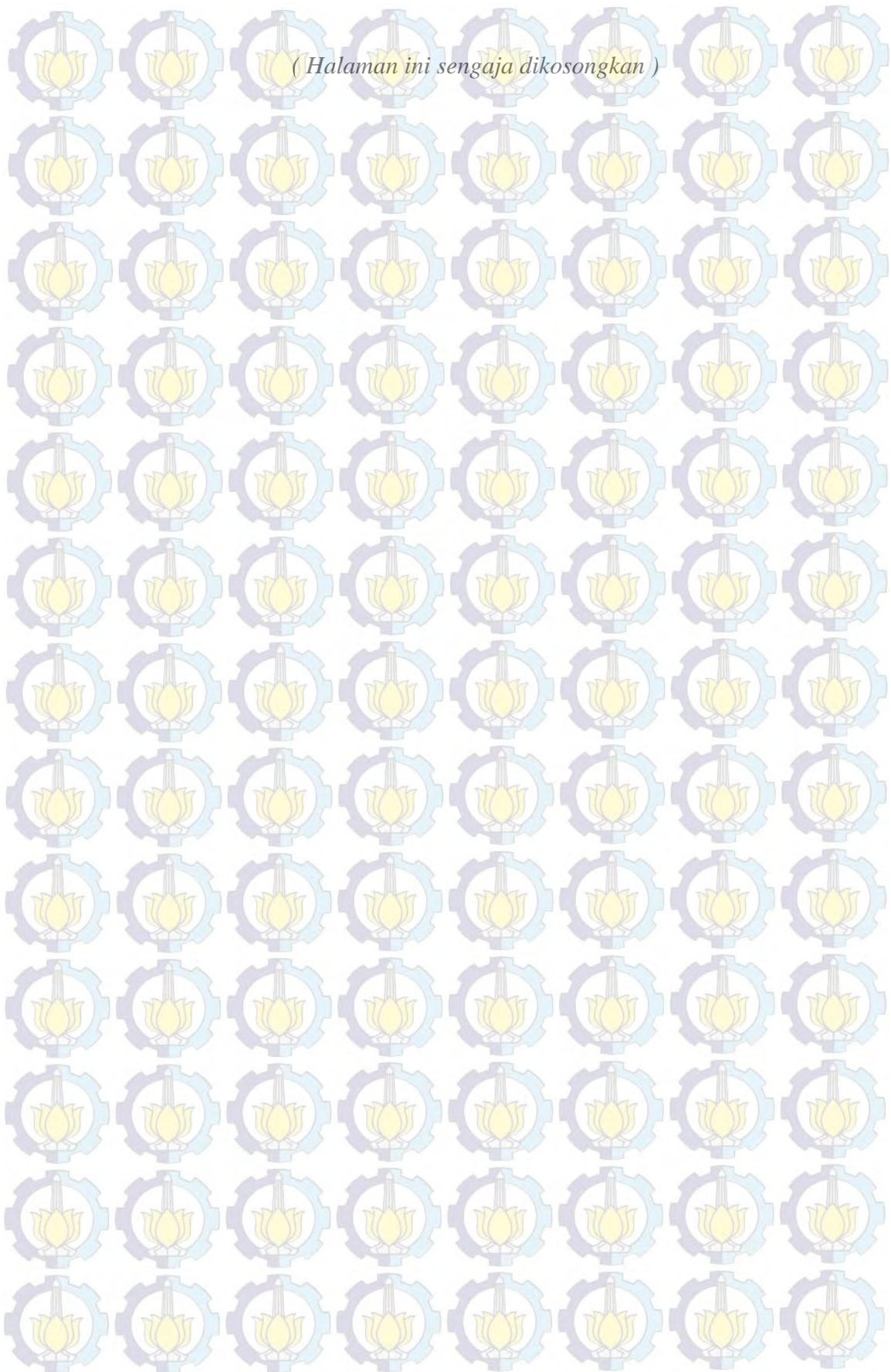
Parameter CZM yang diperlukan dalam proses komputasi adalah energi (Γ_0) dan beban ultimit (tripping traction, σ_u). ABAQUS akan menggunakan pendekatan

ini untuk semua model numerik untuk menentukan hukum traksi-kegagalan dalam pemodelan tersebut.



Gambar 2.9 Parameter Cohesive Zone Model (Loh et al, 2002)

Loh et al (2002) meneliti energi patah (fracture energy) sambungan epoxy-baja yang telah menerima beban lingkungan berupa variasi kelembaban . Konfigurasi uji yang digunakan untuk studi ini adalah *mix mode flexure* (MMF). Spesimen MMF dibebani tiga titik lentur yang memungkinkan terjadinya kegagalan pada lokasi sambungan. Beban ultimit dikendalikan oleh energi patah sampai ke tingkat tertentu yaitu tegangan tarik (tripping traction), lihat Gambar 2.19. *Process zone length* menurun dengan meningkatnya tegangan tarik. Ang lebih kecil memungkinkan rentang yang lebih besar bagi tegangan tarik untuk tetap dalam wilayah energi yang dikendalikan. Beban ultimit yang diperoleh dari kedua ukuran elemen (besar dan kecil) adalah sama. Kalibrasi tegangan tarik diperoleh dari pengujian laboratorium terhadap spesimen yang menerima beban lingkungan berupa kelembaban sambungan.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Pengujian Specimen

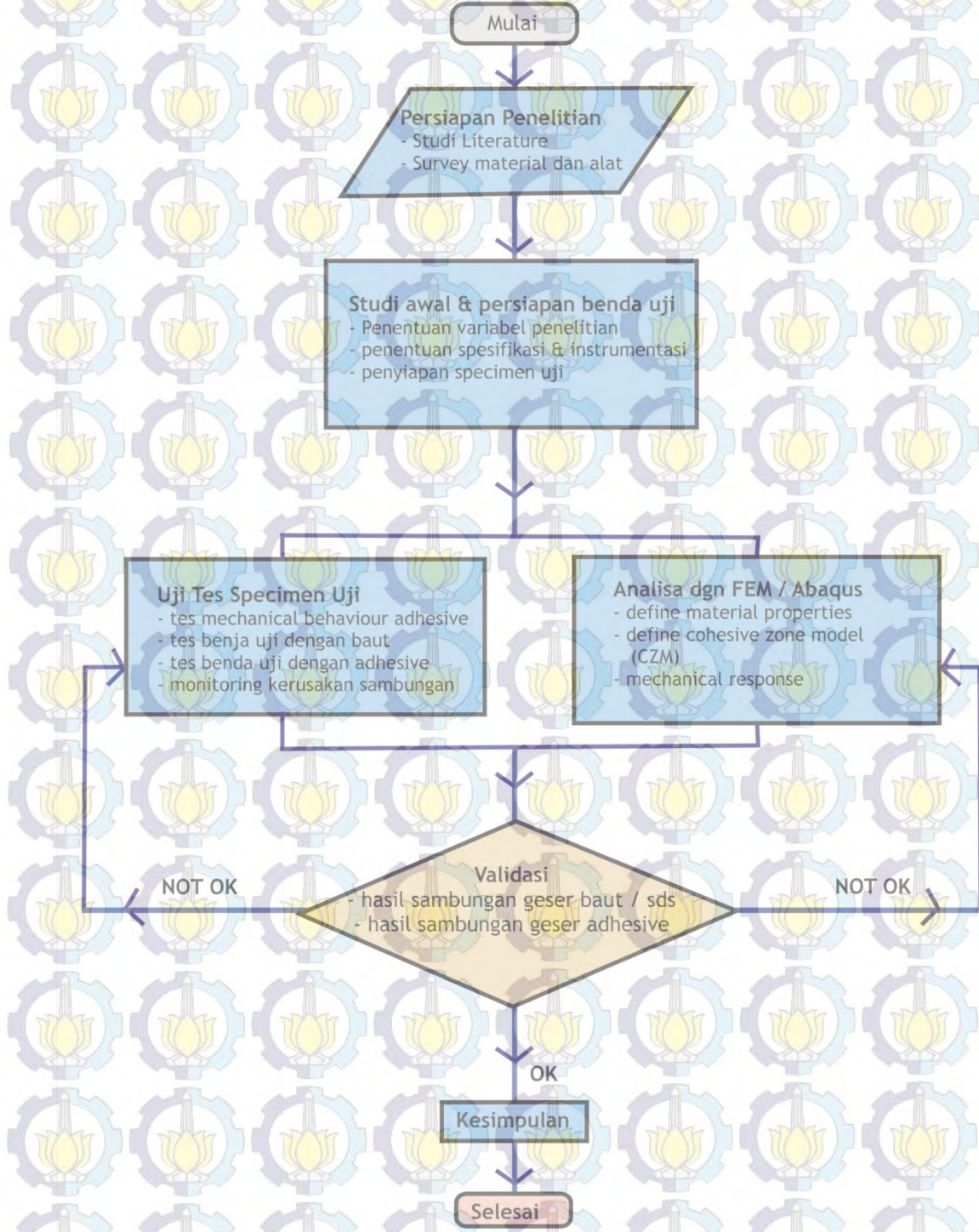
Keuntungan dan manfaat yang akan diperoleh dari keberhasilan riset ini adalah memberikan informasi dan membantu industri penyedia struktur baja ringan dalam mendapatkan rekomendasi sambungan yang lebih aman dan mudah. Kekuatan sambungan baja ringan yang lebih kokoh akan memperbesar tingkat kepercayaan masyarakat pengguna terhadap durabilitasnya. Hal ini secara tidak langsung akan mendorong minat masyarakat untuk menggunakannya, dan tentu saja meningkatkan omset industri penyedia dan perakit struktur yang menggunakan bahan baja ringan. Disamping itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teknologi sambungan baja ringan dan bahan masukan pembuatan peraturan konstruksi baja ringan dan software khusus baja ringan di Indonesia

Metode penelitian yang akan digunakan adalah riset laboratorium dan pemodelan elemen hingga (*finite element modelling*). Hasil penelitian labotatorium akan digunakan untuk mem-validasi hasil pemodelan numerik. Berdasarkan hal ini, kita dapat memprediksi kekuatan dan degradasi sambungan baja ringan akibat pembebanan statis.

Detail Benda uji Penelitian

- Specimen : Sambungan Lem Sikadur CF Normal, sambungan geser dengan Sekrup.
- alat bantu utama (self design) : satu set jig dan perlengkapannya
- peralatan pengujian : pelat besi, *mechanical testing machine*
: *mechanical behaviour, static rupture*
- output data : modulus elastisitas (E), tegangan ultimit ,
tegangan leleh

3.2 Diagram Alir Penelitian



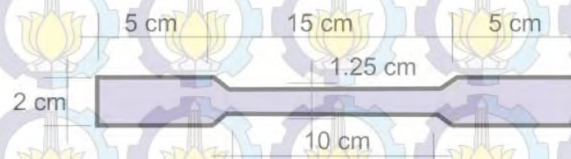
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3 Detail Specimen dan Alat Uji

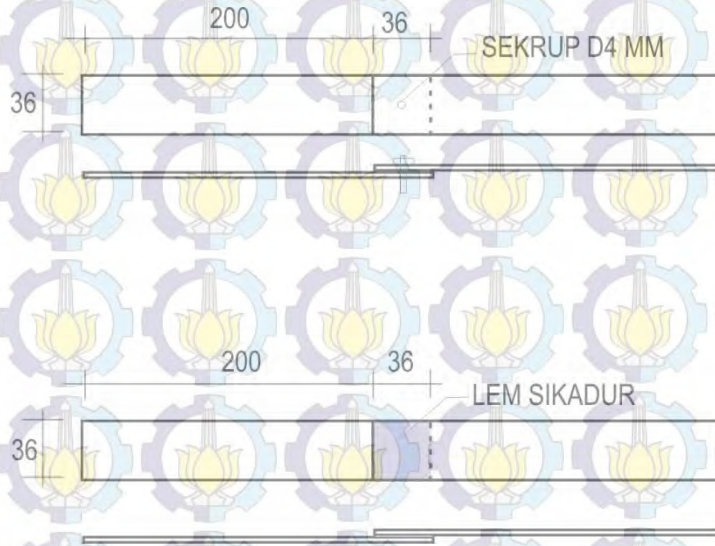
Penelitian laboratorium akan dilakukan pada sambungan baja ringan (sekrup dan lem) pada elemen tarik baja ringan, potongan profil C75 galvalum, yang akan ditarik dengan alat uji UTM sampai batas putus (inelastic). Berikutnya, hasil eksperimen dikontrol dengan hasil metode elemen hingga, program bantu Abaqus 6.7, yang dianalisa sampai keadaan inelastiknya.

a. Benda uji material galvalum dan sambungan

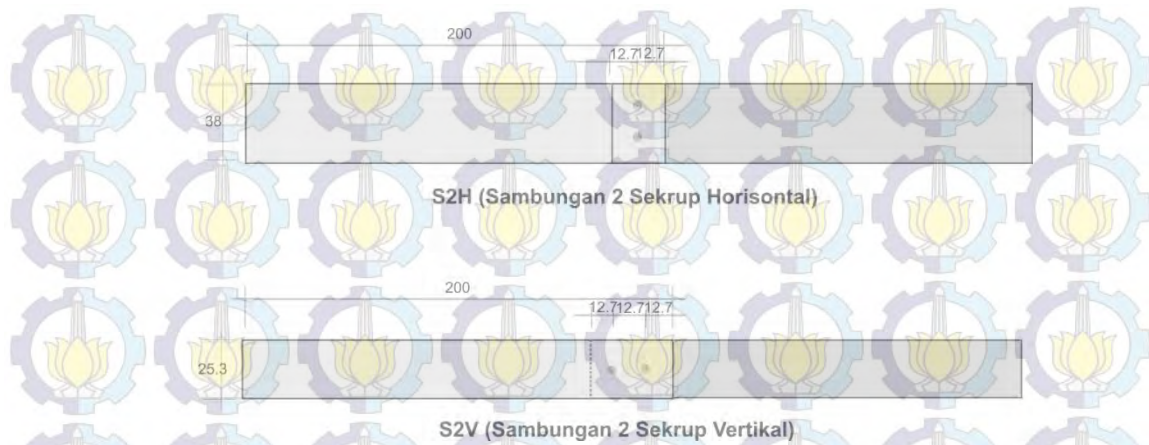
Benda uji meliputi benda uji tarik material galvalum dan benda uji sambungan geser. Benda uji tarik material sebanyak 3 buah sedangkan benda uji sambungan geser sekrup 3 buah dan sambungan lem lem 3 buah. Profil yang digunakan adalah galvalum C75, yang dipotong menjadi 6 x 20 cm (ketebalan .75 mm). Adapun detail dimensi benda uji adalah sebagai berikut:



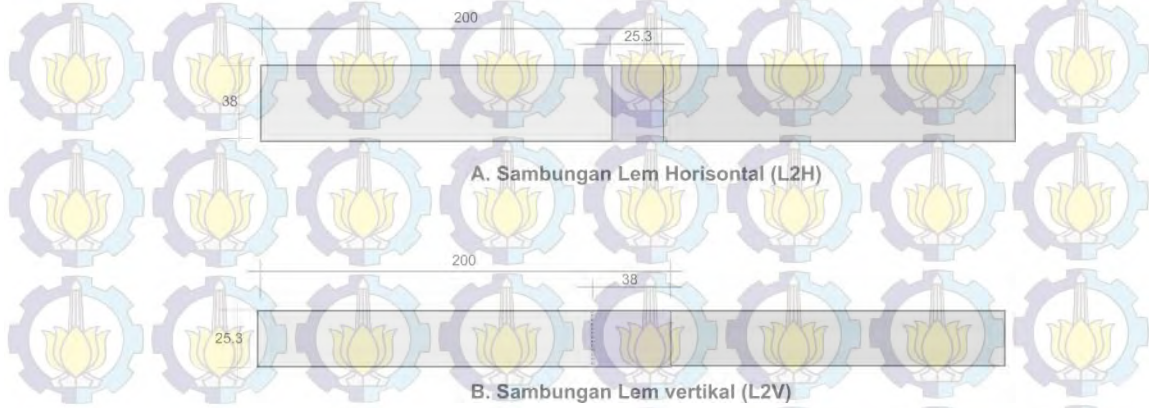
Gambar 3.2 Benda uji tarik material galvalum



Gambar 3.3 Benda uji sambungan geser 1 sekrup dan Lem



Gambar 3.4 Benda uji sambungan geser 2 Sekrup



Gambar 3.5 Benda uji sambungan geser Lem

b. Alat Uji



Gambar 3.6 Alat Uji *Universal Testing Machine*

3.4 Analisa dengan Finite Elemen Method

a. Memodelkan Benda uji

Langkah awal dalam analisa benda uji dengan software berbasis elemen hingga ini (Abaqus 6.7) adalah memodelkan. Benda uji dimodelkan sebagai model 3 dimensi sesuai dengan rencana model benda uji di atas. Pemodelan dilakukan di Graphical User Interface Abaqus 6.7, sehingga lebih memudahkan pengguna.

b. Mendefinisikan material property

Material model berupa baja dikenalkan ke Abaqus 6.7 dengan menginputkan semua material properti sesuai rencana.

c. Meshing model

Salah satu tahapan yang harus dilalui dengan metoda finite elemen adalah meshing. Struktur dibagi-bagi menjadi elemen-elemen rectangular dan memungkinkan triangle elemen pada daerah lubang baut.

d. Mendefinisikan cohesive zone model

Tahapan ini adalah tahapan yang relative langka dilakukan, terutama dalam analisa struktur bangunan sipil. Melalui tahapan ini, akan dikenalkan pada Abaqus 6.7 bahwa bidang kontak pada sambungan lap memiliki properti cohesive / kelekatan tertentu sesuai dengan yang telah diuji sebelumnya, pada saat tes bahan lem.

e. Memberikan beban luar

Agar struktur dapat diamati perilakunya mekaniknya, langkah selanjutnya adalah pemberian beban luar. Beban ini diberikan sentris pada struktur, namun sebenarnya ada eksentrisitas yang sangat kecil (tebal benda uji tipis) mengingat sambungan yang uji adalah sambungan geser dengan satu bidang geser (tampang 1).

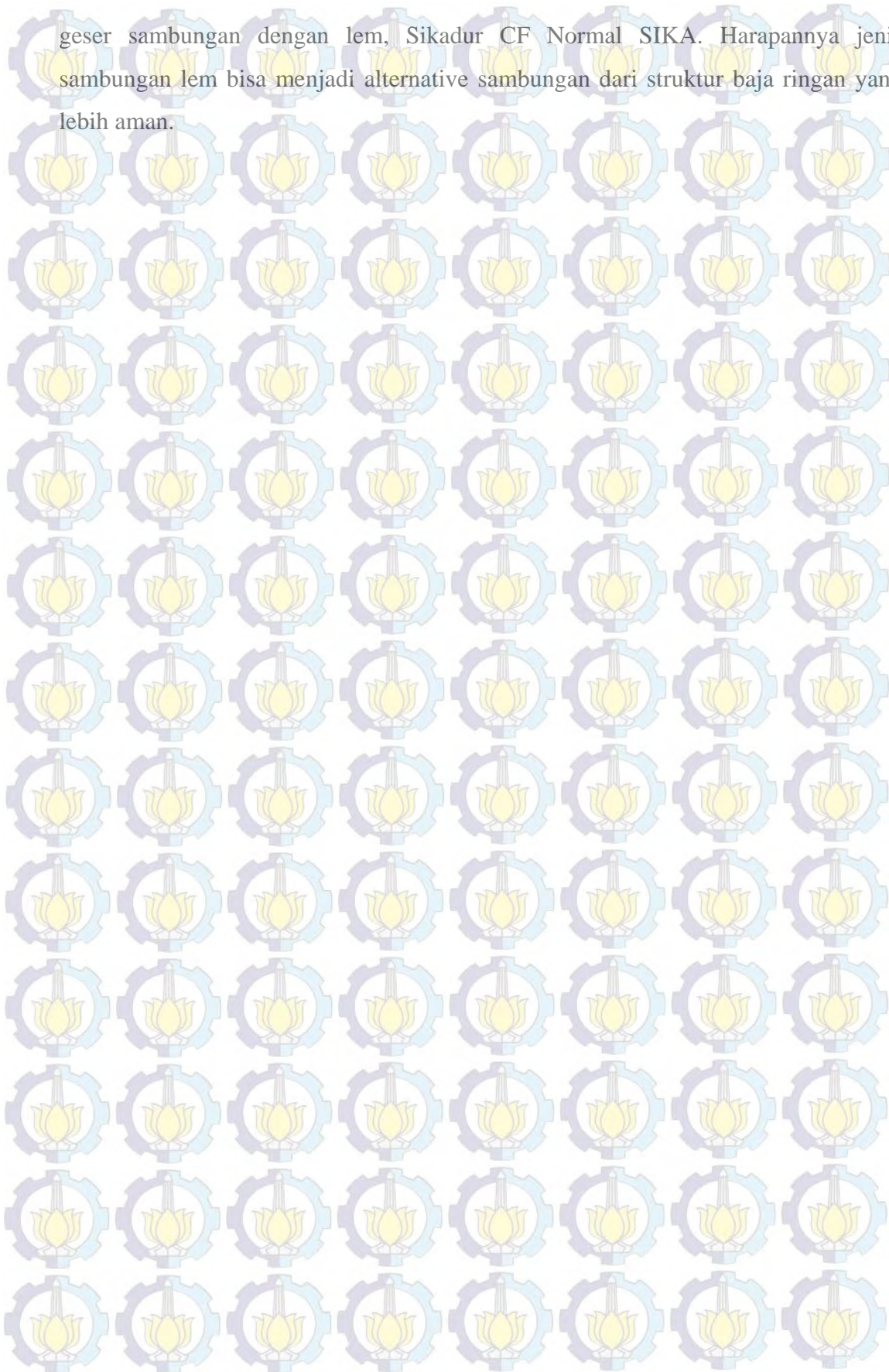
f. Mendapatkan perilaku mekanis

Setelah semua langkah diatas dilaksanakan, berikut model dirun / dijalankan. Langkah ini berguna untuk mengetahui perilaku mekanis dari model, meliputi gaya dalam yang terjadi, tegangan dan regangan serta perpindahan yang terjadi.

3.5 Keluaran yang Diharapkan

Keluaran yang akan dihasilkan dari kegiatan riset ini adalah berupa tegangan ijin dan ultimate material galvalum, kapasitas geser sambungan dengan sekrup dan kapasitas

geser sambungan dengan lem, Sikadur CF Normal SIKA. Harapannya jenis sambungan lem bisa menjadi alternative sambungan dari struktur baja ringan yang lebih aman.



BAB IV HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Sambungan Geser

Pemodelan sambungan sekrup dan baut pada baja ringan telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Dewobroto dan Besari 2009 telah melakukan uji laboratorium dan memodelkan dengan Program bantu komputer. Fenomena curling pelat sambungan dan jumlah baut minimum. Dari Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa mekanisme keruntuhan *lap-joint* baut tunggal pada pelat relatif tipis menghasilkan perilaku yang menyebabkan metode yang digunakan pada perencanaan, yaitu mekanisme tumpu tidak bekerja sempurna. Hal itu dapat dihindari jika dipakai jumlah baut majemuk (minimal dua baut) dengan konfigurasi tertentu.

Pada penelitian ini dipelajari bagaimana perilaku sambungan tarik pada baja ringan, galvalum, baik dengan menggunakan sambungan sekrup maupun dengan lem Sikadur CF Normal. Adapun data material yang akan dites dapat dilihat pada Tabel 4.1 yaitu mengenai sifat mekanik lem Sikadur CF Normal dan tabel 4.2 mengenai Karakteristik Pelat dan sekrup.

4.2 Hasil Uji Eksperimental

Pengujian di laboratorium dilakukan untuk mengetahui hasil perilaku sambungan (baik dengan sekrup maupun dengan lem sikadur). Hasil pengujian laboratorium akan dibandingkan dengan hasil analisa numerik dengan bantuan program bantu Abaqus.

Sebelum uji eksperimental, benda uji disiapkan terlebih dahulu benda uji tarik galvalum, benda uji sambungan geser dengan sekrup dan benda uji sambungan geser dengan lem sikadur. Untuk benda uji tarik galvalum mengikuti ketentuan benda uji dari ASTM. Untuk benda uji sambungan geser dengan sekrup digunakan sekrup diameter 4 mm, syarat ke tepi adalah 1.5 Diameter, terpasang 17.5 mm (syarat $> 1.5 D = 6 \text{ mm}$).

benda uji tarik dengan satu buah sekrup dengan lem sikadur diberikan seluas overlap sambungan sekrup (35 x 35 mm).

Tabel 4.1. Sifat Mekanik Lem Sikadur CF Normal
(brosur Sikadur CF Normal)

Kuat Tekan

| waktu diamkan | suhu saat diamkan | | |
|---------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | +10 Celcius | +23 Celcius | +30 Celcius |
| 1 hari | 25 – 35 N/mm ² | 45 – 55 N/mm ² | 50 – 60 N/mm ² |
| 3 hari | 40 -50 N/mm ² | 55 – 65 N/mm ² | 60 – 70 N/mm ² |
| 7 hari | 50-60 N/mm ² | 60 – 70 N/mm ² | 60 – 70 N/mm ² |

Kuat Lentur

| waktu diamkan | suhu saat diamkan | | |
|---------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | +10 Celcius | +23 Celcius | +30 Celcius |
| 1 hari | 11-17 N/mm ² | 20-30 N/mm ² | 20-30 N/mm ² |
| 3 hari | 20-30 N/mm ² | 25-35 N/mm ² | 25-35 N/mm ² |
| 7 hari | 25-35 N/mm ² | 30-40 N/mm ² | 30-40 N/mm ² |

Kuat Tarik

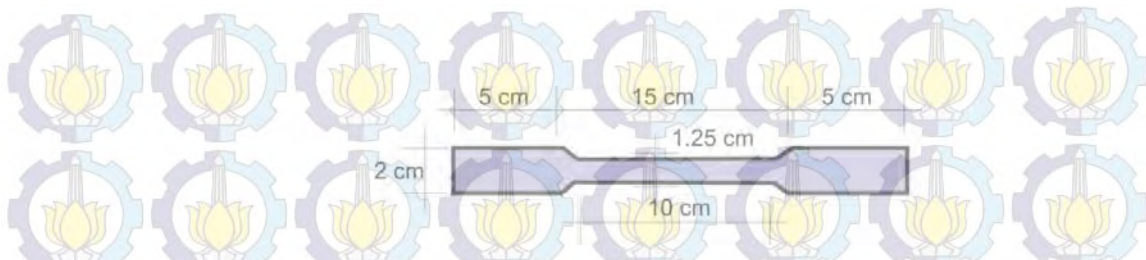
| waktu diamkan | suhu saat diamkan | | |
|---------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | +10 Celcius | +23 Celcius | +30 Celcius |
| 1 hari | 2-6 N/mm ² | 6-10 N/mm ² | 9-15 N/mm ² |
| 3 hari | 9-15 N/mm ² | 17-23 N/mm ² | 17-23 N/mm ² |
| 7 hari | 14-20 N/mm ² | 18-24 N/mm ² | 19-25 N/mm ² |

Kuat Lekatan Lem

| waktu diamkan | suhu | bahan | kuat lekat |
|---------------|-------------|--------------|-------------------------|
| 1 hari | +10 Celcius | beton kering | > 4 N/mm ² |
| 1 hari | +10 Celcius | beton lembab | > 4 N/mm ² |
| 1 hari | +10 Celcius | baja | 6-10 N/mm ² |
| 3 hari | +10 Celcius | baja | 10-14 N/mm ² |
| 3 hari | +23 Celcius | baja | 11-15 N/mm ² |
| 3 hari | +30 Celcius | baja | 13-14 N/mm ² |

4.2.1 Pengujian Tarik Material

Pengujian bertujuan mengetahui sifat mekanik dari material galvalum. Profil galvalum C75 dipotong sesuai ketentuan ASTM A 370-03a seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Benda Uji Tarik Galvalum (ASTM A 370 -03a)

Tabel 4.2. Karakteristik Pelat dan sekrup (brosur galvalum dan sekrup)

| Parameter | Item | satuan |
|-------------------------|---------------------------|--------|
| Pelat galvalum | | |
| - Profil Galvalum | C75 | |
| - Tebal | 0.75 | Mm |
| - Tegangan leleh, Fy | 500 | Mpa |
| - Tegangan ultimate, Fu | 550 | Mpa |
| sekrup | | |
| - Diameter | 4.22 | mm |
| - Tegangan leleh, Fy | 500 | Mpa |
| - Type | SDS (Self Drilling Screw) | |
| - Tegangan ultimate, Fu | 550 | Mpa |



Gambar 4.2. Benda Uji Tarik Galvalum Pengujian

Regangan dari benda uji tarik direkam oleh *UTM* dan dikorelasi dengan data logger. Benda uji yang sudah dibentuk sesuai ketentuan ASTM dipasang *strain gauge* untuk mengetahui regangan yang terjadi. sebelum dilakukan pengujian tarik, benda uji yang sudah dipasang *strain gauge*, dicek terlebih dahulu untuk mengetahui bahwa pemasangan *strain gauge* sudah benar.

Adapun benda uji yang sudah disiapkan sebelumnya, diukur kembali dimensinya untuk mendapatkan dimensi yang sebenarnya, dapat dilihat pada

Tabel 4.3. Benda uji tarik disiapkan 4 buah. 1 buah tanpa *strain gauge*, untuk mengetahui kapasitas tariknya. 3 buah benda uji lainnya menggunakan *strain gauge*, diantaranya 1 buah benda uji pemasangan *strain gauge* tidak bekerja dengan baik. Data dari *data logger* (hasil data dari *strain gauge*) dibandingkan dengan data dari alat uji UTM (*Universal Testing Machine*).



Gambar 4.3. Pengecekan Pemasangan *Strain Gauge* ke *Data Logger*.

Tabel 4.3. Dimensi benda uji

| kode | Tebal(mm) | Lebar(mm) | Panjang(mm) |
|------|-----------|-----------|-------------|
| A | 0,75 | 11,25 | 100,00 |
| 1 | 0,75 | 11,45 | 100,00 |
| 2 | 0,75 | 11,40 | 100,00 |
| 3 | 0,75 | 11,45 | 100,00 |

Adapun hasil pengetesan benda uji tarik galvalum dapat dilihat hasilnya pada Gambar 4.4 di bawah ini. Gambar 4.4 menunjukkan hasil pengujian benda uji tarik galvalum. Dari grafik tersebut diperlihatkan bahwa ketiga benda uji mengalami awal leleh pada beban sekitar 480 kg dan kapasitas ultimit nya sekitar pada beban 500 kg.

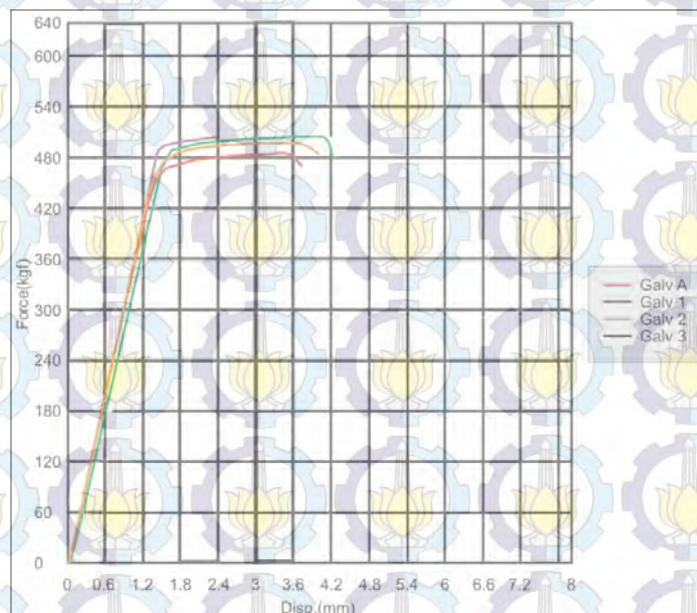
Dari grafik tersebut diperoleh nilai tegangan leleh, f_y dan tegangan ultimate, f_u seperti terlihat pada tabel 4.2. Tabel 4.2. memperlihatkan nilai gaya dan perpindahan saat tegangan leleh dan tegangan maksimal

terjadi. Memperhatikan grafik hasil pengujian tarik benda uji tarik pada gambar 4.4 hasil titik leleh dari 3 benda uji (galvalum A, galvalum 1 dan galvalum 3) diperoleh nilai rata-rata pada beban 495 kg dan mengalami putus pada beban maksimal 503 kg.

Tabel 4.4. Beban Leleh dan Maksimal Benda Uji Tarik.

| Kode | Beban Leleh | Beban ultimit |
|-----------|-------------|---------------|
| Benda uji | kg | kg |
| Galv A | 485,924 | 494,169 |
| Galv 1 | 503,518 | 509,655 |
| Galv 2 | 495.500 | 509,889 |
| Galv 3 | 495,915 | 505,405 |

Terlihat bahwa benda uji galvalum 2 (galv 2) belum mencapai kapasitas putusya, hal ini karena kapasitas alat uji UTM (*universal testing machine*) yang digunakan adalah 500 kg (0.5 Ton). Namun dengan memperhatikan kapasitas putus benda uji yang lain dapat diperkirakan kapasitas putusnya sekitar 509 kg atau 5090 N.



Gambar 4.4. Hasil Uji Tarik Benda Uji Galvalum Gabungan.

Mengingat bahwa grafik pada gambar 4.7. adalah grafik antara beban dan perpindahan, perlu diolah sehingga diperoleh tegangan leleh dan tegangan ultimate galvalum yang dijadikan benda uji tersebut.

$$\sigma = P/A$$

Dimana σ = Tegangan,
 P = Beban
 A = luas penampang

Jadi F_y atau

$$\sigma_y = \frac{495.12 * 10}{(0.75 * 11.25)}$$

$$= 586.81 \text{ Mpa}$$

Tabel 4.5. Tegangan Leleh dan Tegangan Ultimate Galvalum

| kode | tebal | lebar | panjang | beban leleh | beban ultimit | luas | F_y | F_u |
|------|-------|-------|---------|-------------|---------------|-----------------|--------|--------|
| | mm | mm | mm | kg | kg | mm ² | Mpa | Mpa |
| A | 0.75 | 11.25 | 100.00 | 485.924 | 494.169 | 8.4375 | 575.91 | 585.68 |
| 1 | 0.75 | 11.45 | 100.00 | 503.518 | 509.655 | 8.5875 | 596.76 | 604.04 |
| 2 | 0.75 | 11.40 | 100.00 | 495.5 | 509.889 | 8.55 | 587.26 | 604.31 |
| 3 | 0.75 | 11.45 | 100.00 | 495.915 | 505.405 | 8.5875 | 587.75 | 599 |
| | | | | | | rata2 | 586.92 | 598.26 |

Dari keempat benda uji diambil nilai rata – rata dari tegangan leleh dan putus benda uji. Diperoleh $F_y = 587 \text{ mpa}$ dan $F_u = 598 \text{ mpa}$. Adapun modulus elastisitas adalah sebagai berikut.

Tabel 4.6. Modulus Elastisitas Galvalum

| kode | tebal | lebar | panjang | Perpindahan | ϵ | F_y | E |
|------|-------|-------|---------|-------------|------------|--------|------------|
| | mm | mm | mm | mm | | Mpa | Mpa |
| A | 0.75 | 11.25 | 100.00 | 1.55 | 0.015 | 575.91 | 38393.9951 |
| 1 | 0.75 | 11.45 | 100.00 | 1.54 | 0.015 | 596.76 | 39784.1383 |
| 2 | 0.75 | 11.40 | 100.00 | 1.52 | 0.015 | 587.26 | 39150.6173 |
| 3 | 0.75 | 11.45 | 100.00 | 1.62 | 0.016 | 587.75 | 36734.4444 |
| | | | | Rata-rata | 0.01525 | 586.92 | 38515.7988 |

Secara manual kapasitas leleh dan putus dari benda dapat diprediksi. Galvalum specimen akan mengalami titik leleh saat tegangan leleh

galvalum dikalikan dengan luas penampang benda uji. Dan begitu pula dengan titik putus atau beban maksimal yang dapat diterima oleh benda uji adalah saat luasan penampang benda uji dikalikan dengan tegangan ultimate galvalum (menurut brosure galvalum). Dari perhitungan manual diperoleh bahwa benda uji akan mengalami leleh saat beban 468 kg dan putus saat beban 516 kg. adapun secara rinci perhitungan beban leleh dan putus adalah sebagai berikut.

a. leleh penampang kotor

$$\begin{aligned} N_n &= F_y \cdot A_g \\ &= 500 \cdot 0.75 \cdot 12.5 \\ &= 4687.5 \text{ N} \\ &= 4.6 \text{ KN} \end{aligned}$$

Dimana ; N_n = Kapasitas nominal leleh
 F_y = Tegangan leleh material tarik
 A_g = Luas Penampang kotor material

b. fraktur pada penampang netto

$$\begin{aligned} N_n &= F_u \cdot A_e \\ &= 550 \cdot 0.75 \cdot 12.5 \\ &= 5156.25 \text{ N} \\ &= 5.16 \text{ KN} \end{aligned}$$

Dimana ; N_n = Kapasitas nominal Putus
 F_u = Tegangan putus material tarik
 A_e = Luas Penampang efektif material

Untuk mengetahui kevalidan data hasil eksperimen dibandingkan dengan data perhitungan secara manual. Seperti yang terlihat pada tabel 4.5. dengan berdasarkan data pada brosur baja ringan bahwa tegangan leleh dan putus baja ringan adalah masing-masing 500 Mpa dan 550 Mpa. Untuk penampang kotor dan netto diambil nilai yang sama karena kegagalan tidak pada daerah sambungan.

4.3. Pengujian Sambungan

Pengujian berikutnya adalah pengujian terhadap sambungan. Meliputi sambungan 1 buah sekrup yang akan dibandingkan dengan

sambungan lem dengan luasan lap yang sama dan sambungan dengan 2 sekrup dibandingkan dengan sambungan lem sukadur cf normal dengan luasan lap yang sama. Sambungan dengan 1 sekrup dan lem Sikadur CF Normal dengan luas lap sama dilakukan di laboratorium beton dengan menggunakan UTM (universal testing Machine) digital dengan kapasitas alat 500 kg. sedangkan pengujian dengan 2 sekrup dan lem sikadur dengan luas lap yang sama dilakukan di laboratorium struktur dengan UTM analog dengan kapasitas lebih besar dari 500 kg. Adapun untuk pengkodean benda uji dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.7. Perbandingan Nilai Beban (Leleh dan Putus) Rencana dengan Hasil Eksperimen

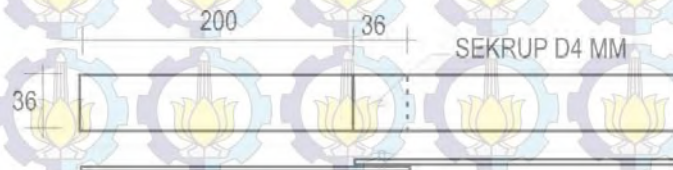
| Kode galv. | tebal mm | lebar mm | panjang mm | fy data mpa | fu data mpa | leleh rencana kg | Leleh eksp kg | Putus rencana kg | putus eksp kg |
|-------------------|-------------|-------------|---------------|-------------------|-------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| A | 0.75 | 11.25 | 100 | 500 | 550 | 421.88 | 485.92 | 464.06 | 494.17 |
| 1 | 0.75 | 11.45 | 100 | 500 | 550 | 429.38 | 503.52 | 472.31 | 509.66 |
| 2 | 0.75 | 11.40 | 100 | 500 | 550 | 427.50 | 495.50 | 470.25 | 509.89 |
| 3 | 0.75 | 11.45 | 100 | 500 | 550 | 429.38 | 495.92 | 472.31 | 505.41 |
| nilai rata - rata | | | | | | 427.03 | 495.21 | 469.73 | 504.78 |

Tabel 4.8. Kode Benda Uji

| No | Kode Benda Uji | Keterangan |
|----|----------------|------------------------------------|
| 1 | S1 | Benda Uji 1 Buah Sekrup |
| 2 | L1 | Benda Uji Lem 1 |
| 3 | S2H | Benda Uji 2 Buah Sekrup Horisontal |
| 4 | S2V | Benda Uji 2 Buah Sekrup Vertikal |
| 5 | L2H | Benda Uji Lem 2 Horisontal |
| 6 | L2V | Benda Uji Lem 2 Vertikal |
| 7 | GALV | Benda Uji Tarik Galvalum |

4.3.1 Pengujian Sambungan dengan 1 buah Sekrup

Pengujian berikutnya adalah pengujian benda uji sambungan geser dengan sekrup. Berdasarkan SNI 7971 2013 tentang Struktur Baja Canai dingin jarak antara sekrup ke sekrup atau sekrup ke tepi tidak boleh kurang dari 3 kali diameter sekrup. Jarak lap minimal yang diperlukan menjadi $2 \times 3 \times \text{diameter sekrup}$. Dengan menggunakan sekrup dengan diameter 4.22 mm diperlukan luasan lap minimal 25.32 mm x 25.32 mm. sambungan dengan 1 sekrup ini penulis menggunakan menggunakan benda uji sambungan dengan luas lap 36 x 36 mm (lebih besar dari luas lap minimal).



Gambar 4.5. Rencana Benda Uji Sambungan 1 Buah Sekrup

Untuk memprediksi kapasitas sambungan sekrup dan lem, dilakukan perhitungan manual. Pada sambungan sekrup dicek kapasitas sambungan baik kapasitas tumpu maupun kapasitas geser. Sedangkan pada sambungan lem Sikadur CF Normal dicek kapasitas sambungan berdasarkan data pada tabel 4.1 dari brosur lem sikadur. Adapun pengecekan kapasitas sambungan secara manual dapat dilihat pada perhitungan berikut.

a. Kapasitas tumpu

$$\begin{aligned} R_n &= 2.4 \cdot 0.75 \cdot d \cdot t_p \cdot f_u \quad (\text{SNI 13.2.2.4}) \\ &= 2.4 \cdot 0.75 \cdot 4.22 \cdot 0.75 \cdot 550 \\ &= 3133 \text{ N} \\ &= 313 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Dimana

R_n = Kapasitas nominal tumpu

D = diameter baut/sekrup pada daerah Yang tidak berulir

TP = tebal plat minimal

Fu = tegangan tarik putus yang terendah dari baut/sekrup atau pelat/galvalum

b. Kapasitas geser

Luas Penampang sekrup;

$$A_b = \frac{1}{4} * \pi D^2$$
$$= \frac{1}{4} * 3.14 * 4.22^2 = 13.97 \text{ mm}^2$$

Rn = $0.75 * r_1 * f_{ub} * A_b$ (SNI 13.2.2.1)

$$= 0.75 * 0.4 * 550 * 2 * 13.97$$

$$= 4610 \text{ N}$$

$$= 461 \text{ Kg}$$

Dimana

Rn = Kapasitas nominal tumpu

R1 = 0.5 untuk baut tanpa ulir pada bidang gesernya

R1 = 0.4 untuk baut dengan ulir pada bidang gesernya

fub = tegangan tarik putus baut / sekrup

Ab = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

Kapasitas bahan = $F_u * A$

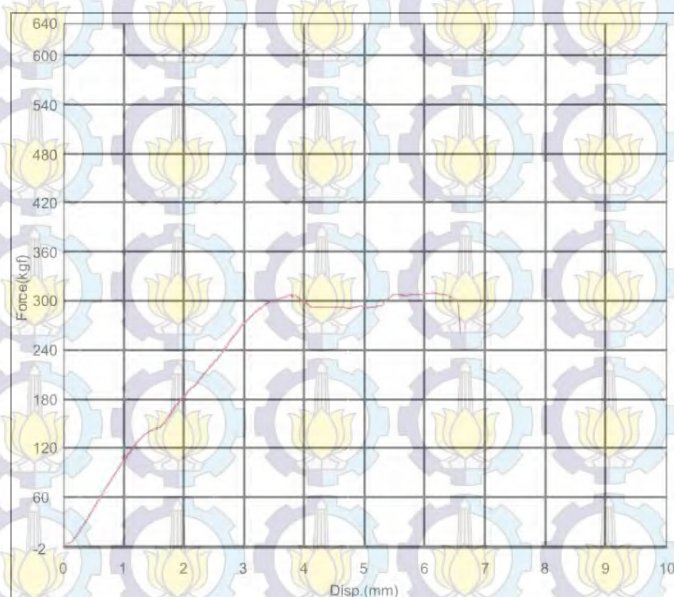
$$= 550 * 36 * 0.75$$

$$= 14850 \text{ N}$$

Dari kedua jenis kapasitas sambungan sekrup di atas, terlihat bahwa kapasitas geser yang lebih menentukan kegagalan sambungan tersebut. Jadi diperkirakan benda uji sambungan sekrup mengalami kegagalan pada saat beban sebesar 313kg. sedangkan untuk kapasitas bahan adalah 14850 N atau 1485 kg.

Pada benda uji 1 titik leleh benda uji terjadi saat beban tarik 300 kg dan putus saat beban ultimate 310 kg (prediksi manual 313 kg). sedangkan

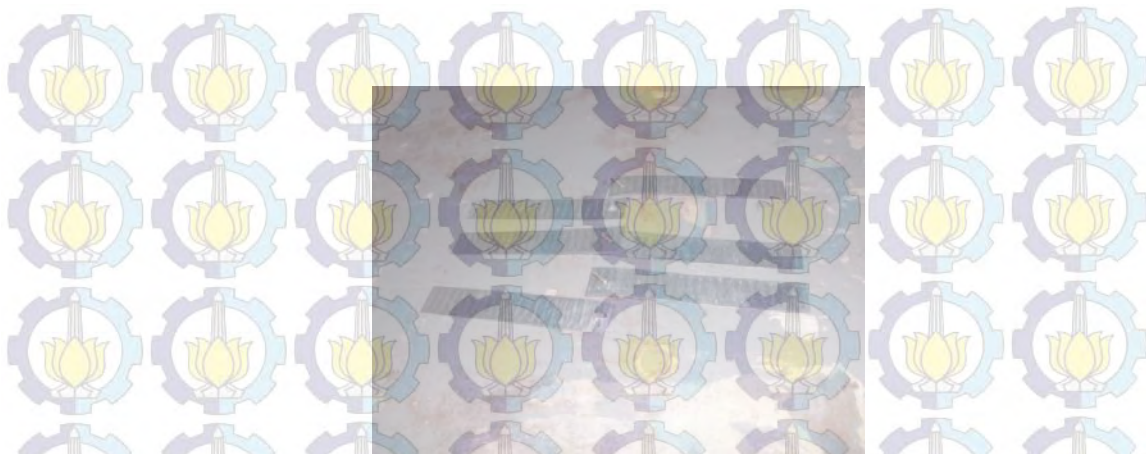
displacement saat putus adalah 6.55 mm. kegagalan terjadi karena tipisnya elemen yang disekrup (galvalum) atau kegagalan tumpu sehingga lubang sambungan menjadi membesar dan akhirnya sekrup tercabut (*pull out*). Hasil percobaan di laboratorium dapat dilihat pada gambar 4.5.



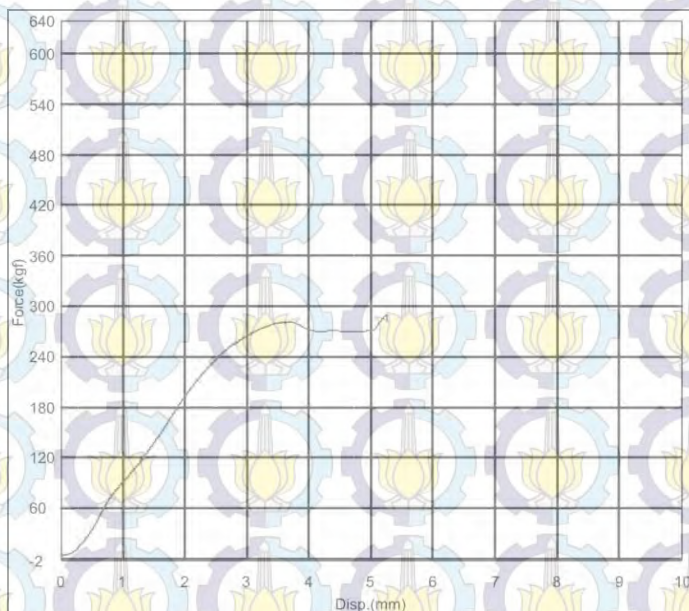
Gambar 4.6. hasil uji tarik benda uji sambungan sekrup GALV1

Untuk benda uji tarik material galvalum 2 dan 3 terlihat pada gambar 4.11 dan gambar 4.12 bahwa titik leleh benda uji masing-masing berada pada beban < 300 kg (± 270 kg). sedangkan titik putus juga berada pada beban < 300 kg (± 280 kg). Kapasitas beban benda uji 2 dan 3 relatif lebih rendah dari benda uji 1. Perpindahan saat putus adalah sebesar 5.4 mm. ini menunjukkan perhitungan secara manual menghasilkan nilai yang mendekati dengan hasil eksperimen.

Adapun dengan menganalisa hasil kegagalan sambungan, seperti terlihat pada gambar 4.10 di atas, sambungan dengan sekrup selalu gagal tumpu dan diikuti dengan tercabutnya sekrup (*pull out*). Hal ini karena ketebalan dari benda uji yang sangat tipis sehingga tidak bisa mencapai kapasitas geser yang menyebabkan rusaknya sekrup.



Gambar 4.7. hasil benda uji sambungan sekrup



Gambar 4.8. Hasil Uji Tarik Benda Uji Sambungan Sekrup GALV2

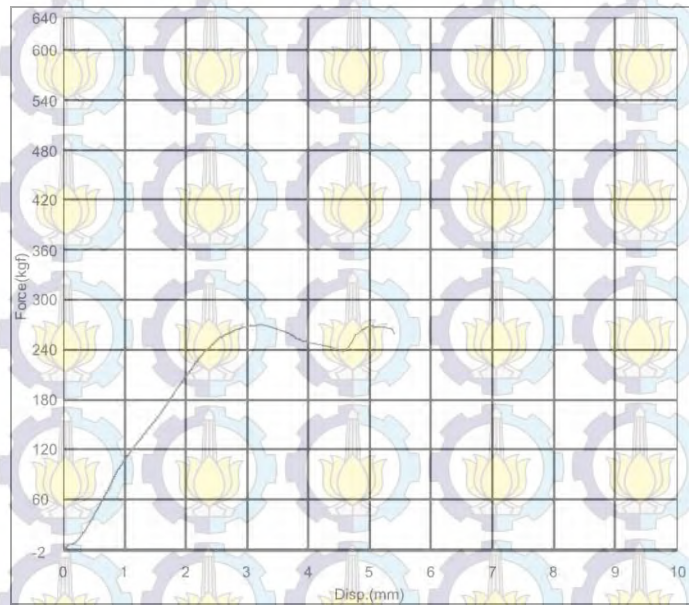
4.3.2 Pengujian Sambungan dengan Lem L1

Pengujian berikutnya adalah sambungan geser dengan sambungan lem.

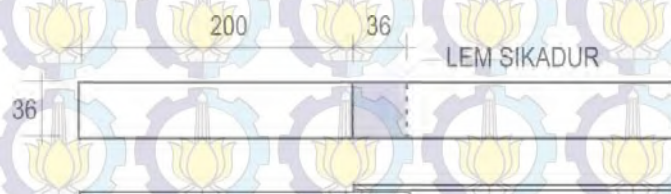
Model benda uji pada Pengujian sambungan lem Sikadur CF Normal ini mengikuti model benda uji pengujian sambungan sekrup dengan luasan lap sambungan yang sama yaitu 36 x 36 mm.

Sebelum dilekatkan dengan lem, benda uji galvalum yang merupakan profil C 75 dipotong sehingga terbentuk menjadi plat dengan ukuran 200 x 36 mm. benda uji diberi perlakuan perbaikan permukaan lap dengan cara

dikasarkan dengan kertas gosok untuk kedua bidang yang akan dilem. Hal ini berdasarkan permukaan galvalum yang sangat licin sehingga diprediksi kapasitas lekat lem sikadur tidak bisa bekerja secara optimum.



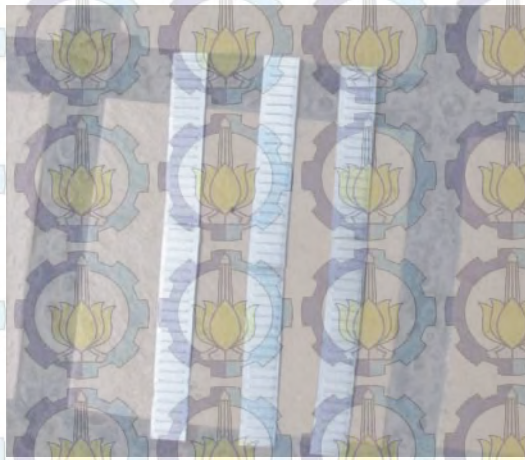
Gambar 4.9. Hasil Uji Tarik Benda Uji Sambungan sekrup GALV 3



Gambar 4.10. rencana benda uji sambungan lem

Sebagaimana benda yang dilekatkan, benda uji perlu didiamkan terlebih dahulu dengan mengikuti petunjuk pada brosur Sikadur CF Normal. Berdasarkan data pada brosur Sikadur CF Normal adalah lem yang terdiri dari 2 unsur yaitu resin epoxy dan special filler dan didesain untuk dipakai pada suhu antara 10 dan 30 °C. lem ini dapat digunakan sebagai untuk sambungan structural misalnya elemen beton, batu alam, keramik, mortar, bata, baja, besi, aluminium, kayu dan gelas.

Adapun pengecekan kapasitas sambungan lem Sikadur CF Normal ini bisa diprediksi dengan menggunakan data kekuatan lem yang tertera pada brosur lem sikadur. Dengan mengalikan kapasitas lekat lem dengan luasan lap diperoleh kapasitas sambungan dengan lem Sikadur CF Normal sebagai berikut. Untuk kapasitas lekat diambil 6 N/mm² karena sambungan didiamkan selama 1 hari.



Gambar 4.11. benda uji sambungan lem

Adapun kontrol kapasitas lekatan lem adalah sebagai berikut;

$$\begin{aligned} N_n &= \sigma \cdot A_{adh} \\ &= 6 \cdot 36 \cdot 36 \\ &= 7350 \text{ N} \\ &= 730 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Dimana

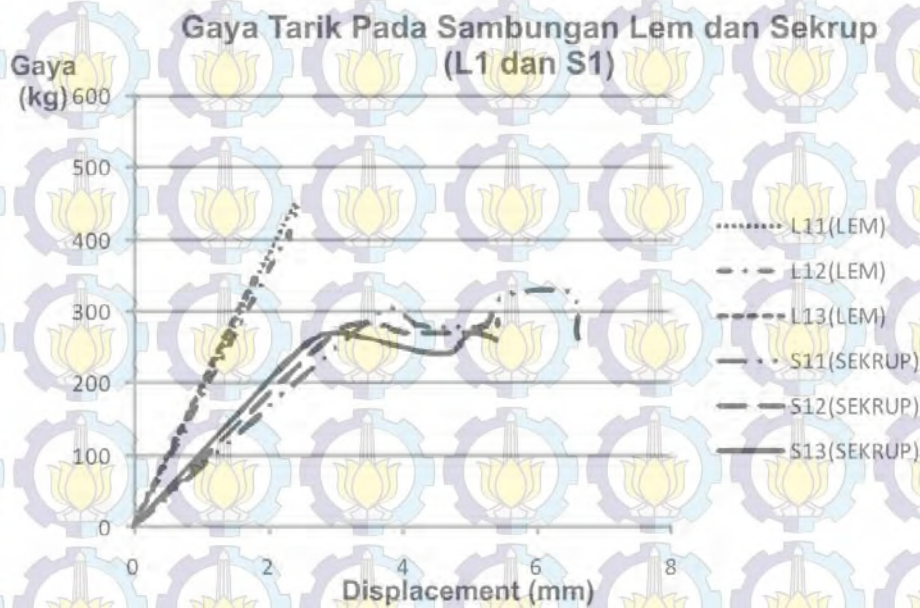
N_n = Kapasitas lekatan lem sikadur
 σ = tegangan lekatan lem

A_{adh} = luas bidang kontak lekatan

Perhitungan diatas terlihat bahwa benda uji dengan sambungan lem Sikadur CF Normal seperti di atas akan mengalami kegagalan saat beban sebesar 7.3 KN relatif lebih besar dari kapasitas putus sambungan sekrup (2.76 KN). Namun dari hasil eksperimen diperoleh hasil 4.04 KN (< hasil teori 7.3

KN). Hasil ini diperkirakan karena permukaan galvalum yang licin sehingga lekatan lem dengan bahan galvalum tidak maksimal.

Memperhatikan Gambar 4.15 dapat ditarik kesimpulan bahwa sambungan dengan lem Sikadur CF Normal mempunyai kapasitas geser yang lebih besar daripada sambungan sekrup (dengan 1 sekrup), namun lebih getas. Hal tersebut terjadi untuk sambungan dengan 1 sekrup. Sambungan dengan model seperti tersebut di atas, diperoleh bahwa sambungan lem Sikadur CF Normal lebih kaku, terlihat dari nilai tangensial dari gaya – perpindahan yang lebih besar atau berarti modulus elastisitas sambungan lem lebih besar daripada sambungan dengan sekrup.



Gambar 4.12. Grafik Gaya – Perpindahan Sambungan Sekrup dan Lem Sikadur CF Normal

Namun untuk pekerjaan konstruksi (misalnya rangka atap) pelaksanaan sambungan dengan lem tidak disarankan mengingat getasnya sambungan sehingga dkuatirkan terjadi kegagalan yang tiba-tiba. Selain itu, proses sambungan didiamkan yang membutuhkan waktu akan menyulitkan pelaksana

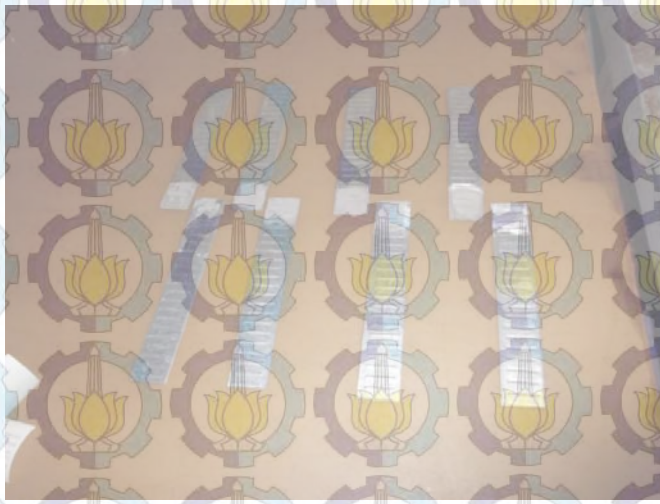
untuk merakit struktur rangka, karena selama masa sambungan didiamkan struktur harus tetap berada dalam bentuk yang direncanakan.

Tabel 4.9 memberikan perbandingan antara kapasitas sambungan berdasarkan hasil eksperimen dan hasil perhitungan manual. Apabila diperlukan untuk bangunan dengan daktilitas yang baik, sambungan dengan lem Sikadur CF Normal ini tidak lebih baik daripada sambungan dengan sekrup. Putus yang secara tiba-tiba dan nilai perpindahan puncak yang lebih kecil dari sambungan sekrup ini tidak sesuai untuk struktur yang bergerak. Diperoleh kapasitas lem sikadur adalah $=7350 \text{ n}/(36*36) \text{ mm}^2 = 5.67 \text{ N/mm}^2$.

Tabel 4.9. Perbandingan Nilai Beban (Leleh dan Putus) Teoritis dengan Hasil Eksperimen

| No | benda uji | Beban leleh eksperimen kg | Beban putus eksperimen kg | Beban putus teoritis kg |
|----------------------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 1 | S11 (Benda uji Sekrup 1) | 308.036 | 310.634 | 276.32 |
| 2 | S12 (benda uji sekrup 2) | 280.073 | 288.626 | 276.32 |
| 3 | S13 (benda uji sekrup 3) | 268.728 | 269.258 | 276.32 |
| 4 | L11 (benda uji lem 1) | 412.025 | 412.025 | 735.00 |
| 5 | L12 (benda uji lem 2) | 452.097 | 452.097 | 735.00 |
| 6 | L13 (benda uji lem 3) | 349.86 | 349.86 | 735.00 |
| Nilai rata - rata benda uji sekrup, S1 | | 285.61 | 289.51 | 276.32 |
| Nilai rata - rata benda uji Lem, L1 | | 404.66 | 404.66 | 735.00 |

Kecilnya kapasitas sambungan lem secara relatif terhadap kapasitasnya yang tertulis pada brosur lem Sikadur CF Normal disebabkan tidak sempurnanya permukaan galvalum dan adanya rongga udara pada lem sikadur. Diharapkan penelitian lebih lanjut lebih teliti dalam pembuatan benda uji. Waktu didiamkan yang hanya 1 hari juga menyebabkan kurang maksimalnya kapasitas lem Sikadur CF Normal.



Gambar 4.13. Sambungan dengan Lem Sikadur CF Normal Setelah Diuji Geser.

4.3.3 Pengujian Sambungan dengan 2 buah Sekrup

Setelah pengujian dengan 1 buah sekrup, pengujian berikutnya adalah pengujian sambungan dengan 2 buah sekrup yang akan dibandingkan dengan sambungan lem Sikadur CF Normal. Sambungan ini didasarkan pada konfigurasi yang diatur oleh SNI Struktur Baja Canai Dingin, 2013. Pada pasal 5.4.1 untuk sambungan structural baja canai dingin (cold formed) yang menggunakan sekrup self tapping dengan diameter (d_f) yang memenuhi $3.0 \text{ mm} < d_f < 7.0 \text{ mm}$ maka jarak antara pusat-pusat harus menyediakan tempat yang cukup untuk ring sekrup dan tidak boleh kurang dari tiga kali diameter sekrup nominal.

Dalam eksperimen ini digunakan diameter $d_f = 4.22 \text{ mm}$, maka jarak minimal antar pusat-pusat sekrup adalah $3 \times 4.22 = 12.66 \text{ mm}$. Untuk itu digunakan model sambungan sekrup seperti pada gambar 4.16.

Untuk mengetahui prediksi kapasitas putusnya sambungan ini, sebelumnya pengujian, dilakukan perhitungan manual terlebih dahulu. Hal ini penting untuk menentukan alat yang akan digunakan untuk pengujian. Adapun perhitungan secara manual tersebut dapat dilihat pada halaman berikut.



Gambar 4.14. Sambungan 2 Buah Sekrup dengan Konfigurasi Horizontal (Hs) dan Konfigurasi Vertikal (Vs).

a. Kapasitas tumpu

$$\begin{aligned}
 R_n &= 2.4 \cdot d \cdot t_p \cdot f_u \quad (\text{SNI 13.2.2.4}) \\
 &= 2 \cdot 2.4 \cdot 0.75 \cdot 4 \cdot 0.75 \cdot 550 \\
 &= 5940 \text{ N} \\
 &= 594 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Dimana

R_n = Kapasitas nominal tumpu

D = diameter baut/sekrup pada daerah Yang tidak berulir

TP = tebal plat minimal

F_u = tegangan tarik putus yang terendah dari baut/sekrup atau pelat/galvalum

b. Kapasitas geser

Luas Penampang sekrup;

$$\begin{aligned}
 A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \theta^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3.14 \cdot 4.22^2 = 13.97 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= r_1 \cdot f_u b \cdot A_b \quad (\text{SNI 13.2.2.1}) \\
 &= 0.75 \cdot 0.4 \cdot 550 \cdot 2 \cdot 13.97 \cdot 2 \\
 &= 9220.2 \text{ N} \\
 &= 922 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Dimana

R_n = Kapasitas nominal tumpu

R_1 = 0.5 untuk baut tanpa ulir pada bidang gesernya

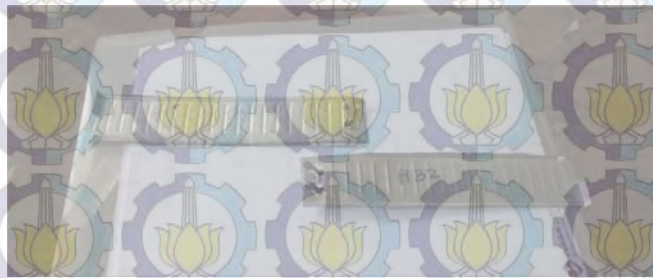
R_1 = 0.4 untuk baut dengan ulir pada bidang gesernya

f_{ub} = tegangan tarik putus baut / sekrup

A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas bahan} &= F_u * A \\ &= 550 * 38 * 0.75 \\ &= 15675 \text{ N}\end{aligned}$$

Dari perhitungan kapasitas beban sambungan sekrup di atas dapat diketahui bahwa sambungan akan mengalami putus saat beban tarik 594 kg. sehingga Pelaksanaan eksperimen dengan 2 sekrup dan lem (yang setara luasan lapnya) menggunakan alat UTM (*Universal testing machine*) yang ada di laboratorium struktur Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya. Hal ini karena kapasitas tarik alat UTM di laboratorium Beton FTSP ITS tidak mencukupi untuk menguji specimen yang ada (kapasitas maksimum 500 kg). kapasitas bahan diluar sambungan mencapai 15675 N atau 1567.5 kg.



Gambar 4.15. Kegagalan yang Terjadi Karena *Pull Out* (Tercabut)

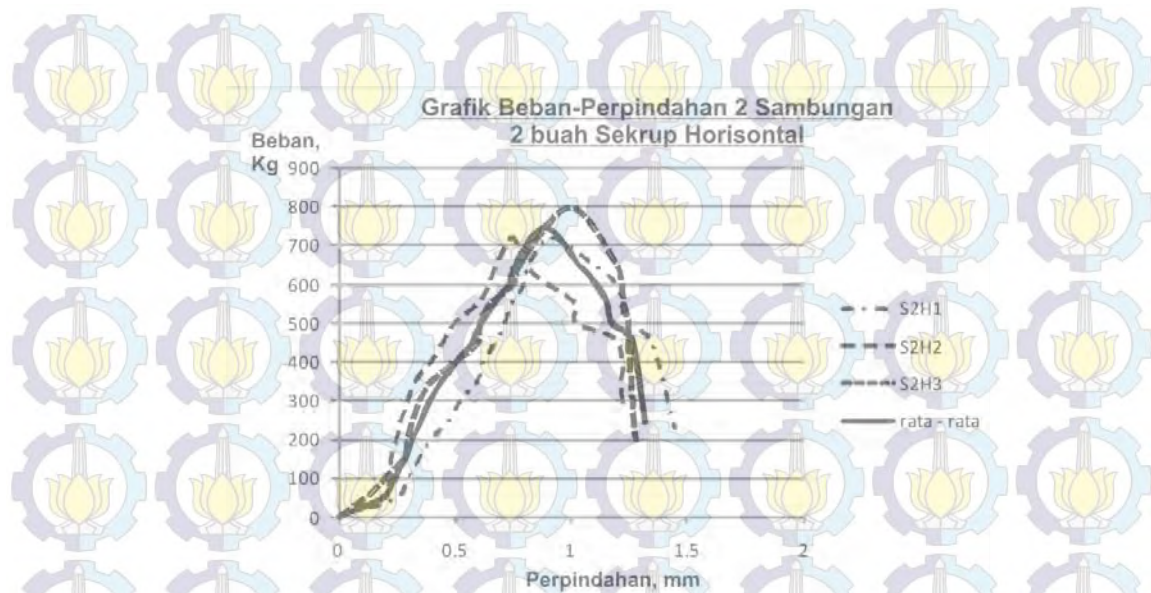
Hasil ujian di laboratorium menunjukkan bahwa kegagalan tercabutnya sekrup (*pull out*) dominan terjadi pada semua sepecimen. Kegagalan terjadi karena aspek terlalu tipisnya galvalum yang diuji sehingga sekrup tidak mengalami tegangan yang berarti. Tegangan yang menentukan hanya tegangan pada galvalum, mengingat ketebalan galvalum yang sangat tipis

Tabel 4.10. Hasil Uji Sambungan 2 Sekrup Horizontal

| S2H1 (BENDA UJI 1) | | S2H2 (BENDA UJI 2) | | S2H2 (BENDA UJI 2) | | RATA-RATA | |
|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|-----------|-----------|
| P (KG) | Y (MM) | P (KG) | Y (MM) | P (KG) | Y (MM) | P (KG) | Y (MM) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0.25 | 50 | 0.2 | 50 | 0.12 | 50 | 0.19 |
| 100 | 0.3 | 100 | 0.22 | 100 | 0.2 | 100 | 0.24 |
| 150 | 0.35 | 150 | 0.23 | 150 | 0.28 | 150 | 0.2866667 |
| 200 | 0.4 | 200 | 0.25 | 200 | 0.3 | 200 | 0.3166667 |
| 250 | 0.48 | 250 | 0.27 | 250 | 0.32 | 250 | 0.3566667 |
| 300 | 0.525 | 300 | 0.3 | 300 | 0.35 | 300 | 0.3916667 |
| 350 | 0.6 | 350 | 0.33 | 350 | 0.4 | 350 | 0.4433333 |
| 400 | 0.625 | 400 | 0.4 | 400 | 0.5 | 400 | 0.5083333 |
| 450 | 0.68 | 450 | 0.45 | 450 | 0.6 | 450 | 0.5766667 |
| 500 | 0.72 | 500 | 0.5 | 500 | 0.61 | 500 | 0.61 |
| 550 | 0.75 | 550 | 0.6 | 550 | 0.65 | 550 | 0.6666667 |
| 600 | 0.8 | 600 | 0.65 | 600 | 0.75 | 600 | 0.7333333 |
| 650 | 0.82 | 650 | 0.68 | 650 | 0.78 | 650 | 0.76 |
| 720 | 0.92 | 720 | 0.75 | 800 | 1 | 746.67 | 0.89 |
| 650 | 1.1 | 650 | 0.8 | 650 | 1.2 | 650 | 1.0333333 |
| 600 | 1.2 | 600 | 0.9 | 600 | 1.22 | 600 | 1.1066667 |
| 550 | 1.22 | 550 | 1.02 | 550 | 1.23 | 550 | 1.1566667 |
| 500 | 1.25 | 500 | 1.02 | 500 | 1.25 | 500 | 1.1733333 |
| 450 | 1.35 | 450 | 1.2 | 450 | 1.25 | 450 | 1.2666667 |
| 230 | 1.45 | 300 | 1.22 | 200 | 1.28 | 243.33 | 1.3166667 |

Pengujian sambungan dengan dengan 2 buah sekrup menunjukkan hasil bahwa nilai rata-rata kapasitas sambungan adalah 750 kg atau 7500 N (lihat gambar 4.15) dengan perpindahan sebesar 1.3 mm untuk sambungan dengan konfigurasi horizontal. Hal ini menunjukkan sambungan sekrup adalah sambungan yang lebih daktail bila dibandingkan dengan sambungan lem sikadur.

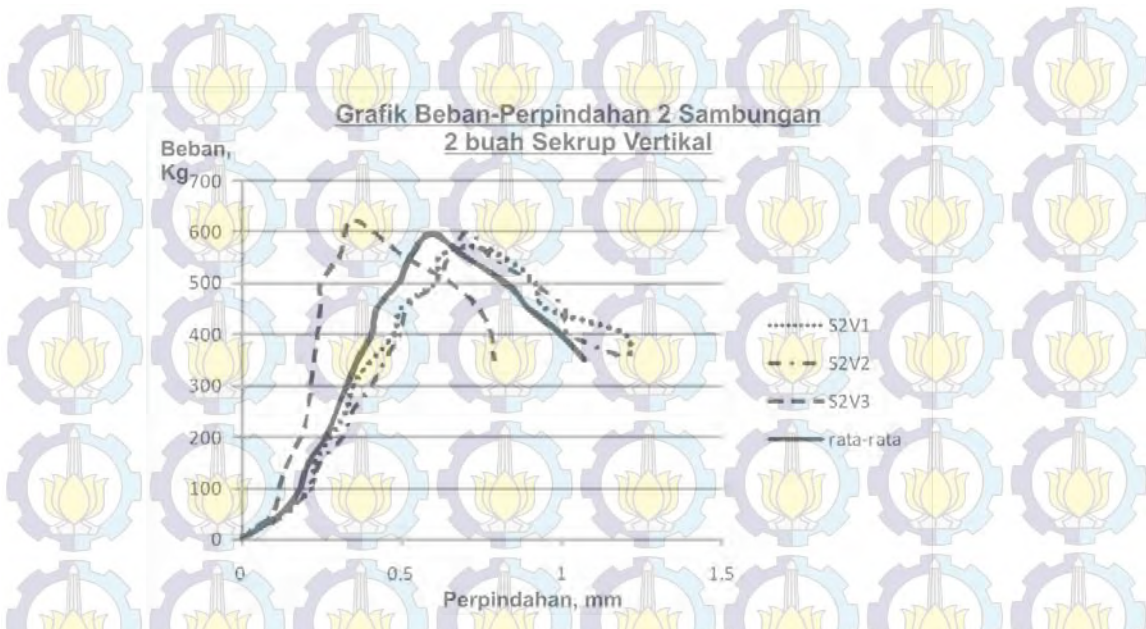
Perpindahan yang terjadi pada sambungan dengan 2 sekrup ini lebih kecil daripada perpindahan pada sambungan dengan menggunakan 1 buah sekrup, hal ini karena sambungan dengan menggunakan 2 buah sekrup lebih kaku daripada sambungan dengan 1 buah sekrup.



Gambar 4.16. grafik perbandingan gaya dan perpindahan sambungan 2 sekrup horizontal

Tabel 4.11. Hasil uji sambungan 2 sekrup vertikal

| S2V1 (BENDA UJI 1) | | S2V2 (BENDA UJI 2) | | S2V3 (BENDA UJI 3) | | RATA-RATA | |
|--------------------------|-----------|--------------------------|-----------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| P (KG) | Y (MM) | P (KG) | Y (MM) | P (KG) | Y (MM) | P (KG) | Y (MM) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0.125 | 50 | 0.15 | 50 | 0.101 | 50 | 0.1253333 |
| 100 | 0.22 | 100 | 0.21 | 100 | 0.12 | 100 | 0.1833333 |
| 150 | 0.23 | 150 | 0.25 | 150 | 0.15 | 150 | 0.21 |
| 200 | 0.28 | 200 | 0.32 | 200 | 0.19 | 200 | 0.2633333 |
| 250 | 0.33 | 250 | 0.35 | 250 | 0.21 | 250 | 0.2966667 |
| 300 | 0.35 | 300 | 0.41 | 300 | 0.22 | 300 | 0.3266667 |
| 350 | 0.41 | 350 | 0.45 | 350 | 0.23 | 350 | 0.3633333 |
| 400 | 0.48 | 400 | 0.499 | 400 | 0.24 | 400 | 0.4063333 |
| 450 | 0.501 | 450 | 0.52 | 450 | 0.25 | 450 | 0.4236667 |
| 500 | 0.61 | 500 | 0.61 | 500 | 0.25 | 500 | 0.49 |
| 550 | 0.62 | 550 | 0.65 | 550 | 0.31 | 550 | 0.5266667 |
| 570 | 0.72 | 600 | 0.71 | 620 | 0.35 | 596.67 | 0.5933333 |
| 550 | 0.82 | 550 | 0.78 | 550 | 0.51 | 550 | 0.7033333 |
| 500 | 0.92 | 500 | 0.91 | 500 | 0.65 | 500 | 0.8266667 |
| 450 | 0.95 | 450 | 1.01 | 450 | 0.74 | 450 | 0.9 |
| 400 | 1.2 | 400 | 1.02 | 400 | 0.78 | 400 | 1 |
| 350 | 1.22 | 350 | 1.21 | 350 | 0.79 | 350 | 1.0733333 |



Gambar 4.17. grafik perbandingan gaya dan perpindahan sambungan 2 sekrup vertical

Bila kedua jenis sambungan ini dibandingkan terlihat bahwa sambungan dengan konfigurasi horizontal menghasilkan kapasitas beban tarik yang lebih besar, tipe horizontal bisa mencapai beban ultimit sebesar 750 kg sementara tipe vertikal hanya mampu menerima beban 600 kg. Perhatikan perbandingan kedua tipe sambungan sekrup ini pada gambar 4.15 dibawah ini. Perhitungan secara manual memberikan prediksi kegagalan pada nilai yang sama besarnya, yaitu sebesar 594 kg atau 5940 N untuk kedua jenis tipe sambungan. Jadi secara teoritis seharusnya diperoleh hasil yang sama besar untuk kedua tipe sambungan.

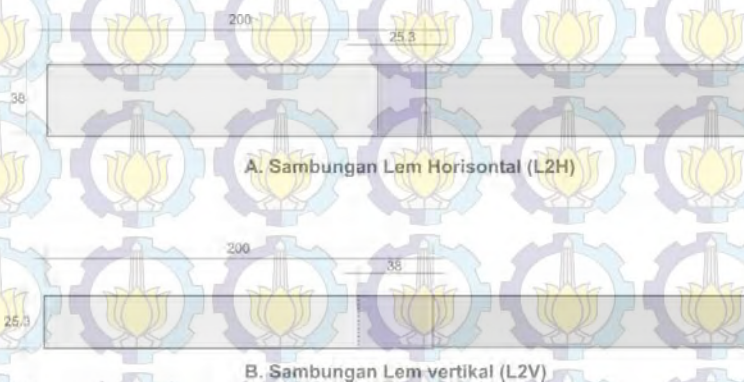


Gambar 4.18. grafik perbandingan hasil sambungan sekrup horizontal-vertikal

Perbedaan besarnya nilai kapasitas kedua jenis tipe sambungan diatas sebabkan karena perbedaan konfigurasi. Sambungan tipe horizontal menyebabkan beban tarik yang diterima ditahan oleh kedua sekrup secara simultan. Adapun pada sambungan tipe vertical menyebabkan sekrup bekerja secara bergantian, saat beban bekerja beban diterima oleh sekrup terdepan (terdekat dengan gaya) dan setelah sekrup tersebut gagal, kemudian diteruskan oleh sekrup terjauh (di belakangnya).

4.3.4 Pengujian Sambungan Lem (L2H dan L2V)

Sambungan ini didasarkan luasan overlap pada sambungan tipe sekrup 2 (2 buah sekrup). Sambungan lem 2 ini dengan overlap 25.3 mm x 38 mm (961.4 mm²). Sebagaimana sambungan sekrup, sambungan lem 2 ini dibuat dengan 2 tipe yaitu sambungan tipe vertical dan sambungan tipe horizontal.



Gambar 4.19. sambungan dengan lem konfigurasi horizontal dan vertical

Perlakuan awal pada sambungan ini adalah dengan menggosok bidang sambungan dengan kertas gosok supaya lem Sikadur CF Normal dapat melekat dengan baik. Pelaksanaan pengujian eksperimental pada sambungan ini dilaksanakan di laboratorium struktur. Sebelum melakukan pengujian kapasitas sambungan lem dicek terlebih dahulu dengan perhitungan manual dengan berdasarkan data dari brosur sikadur.

Kapasitas lekat diambil 10 N/mm² sebab diamkan yang dilakukan lebih dari 3 hari.

$$F = \text{kapasitas lekat} * \text{luasan}$$

$$= 10 * 25 * 38$$

$$= 9500 \text{ N}$$

Sedangkan bahan yang disambung, galvalum akan putus saat beban sebagai berikut;

$$P = F_u * A_e$$

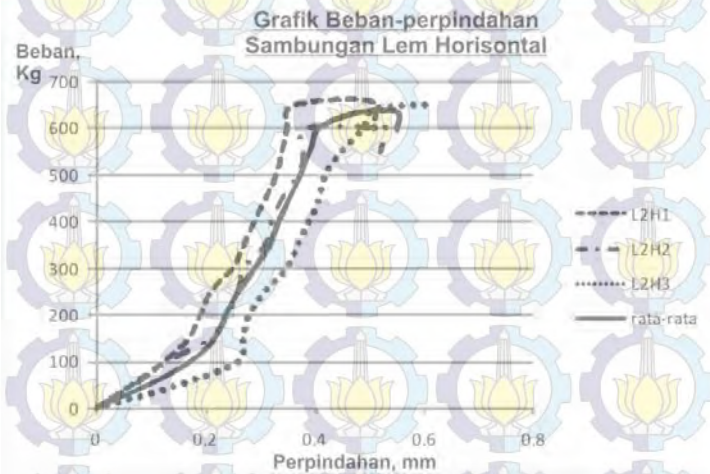
$$= 550 * 0.75 * 38$$

$$= 15675 \text{ N}$$

Jadi bisa diprediksi bahwa sambungan akan gagal terlebih dahulu sebelum terjadi kegagalan bahan yang disambung (galvalum). adapun hasil pengujian sambungan lem (L2H) dapat dilihat pada tabel dan grafik dibawah ini.

Tabel 4.12. Hasil uji sambungan lem horisontal

| L2H1 (BENDA UJI 1) | | L2H2 (BENDA UJI 2) | | L2H3 (BENDA UJI 3) | | RATA-RATA | |
|--------------------------|-----------|--------------------------|-----------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| P (KG) | Y (MM) | P (KG) | Y (MM) | P (KG) | Y (MM) | P (KG) | Y (MM) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0.065 | 50 | 0.07 | 50 | 0.15 | 50 | 0.095 |
| 100 | 0.125 | 100 | 0.13 | 100 | 0.26 | 100 | 0.1716667 |
| 150 | 0.17 | 150 | 0.21 | 150 | 0.27 | 150 | 0.2166667 |
| 200 | 0.19 | 200 | 0.24 | 200 | 0.28 | 200 | 0.2366667 |
| 250 | 0.21 | 250 | 0.26 | 250 | 0.31 | 250 | 0.26 |
| 300 | 0.25 | 300 | 0.27 | 300 | 0.35 | 300 | 0.29 |
| 350 | 0.27 | 350 | 0.31 | 350 | 0.37 | 350 | 0.3166667 |
| 400 | 0.29 | 400 | 0.32 | 400 | 0.39 | 400 | 0.3333333 |
| 450 | 0.31 | 450 | 0.34 | 450 | 0.41 | 450 | 0.3533333 |
| 500 | 0.33 | 500 | 0.37 | 500 | 0.42 | 500 | 0.3733333 |
| 550 | 0.34 | 550 | 0.38 | 550 | 0.45 | 550 | 0.39 |
| 600 | 0.35 | 600 | 0.38 | 600 | 0.49 | 600 | 0.4066667 |
| 650 | 0.36 | 602 | 0.52 | 640 | 0.51 | 630.67 | 0.4633333 |
| 660 | 0.501 | 605 | 0.53 | 650 | 0.61 | 638.33 | 0.547 |
| 600 | 0.51 | 550 | 0.52 | 640 | 0.62 | 596.67 | 0.55 |



Gambar 4.20. grafik perbandingan hasil sambungan sekrup horizontal-vertikal

Hasil pengujian sambungan lem horizontal (L2H) menunjukkan bahwa kapasitas sambungan lem adalah 640 kg. lebih kecil dibandingkan prediksi kapasitas beban secara manual yang mencapai 950 kg. sehingga bila diperiksa kapasitas lekatnya adalah tidak dapat mencapai 10 N/mm² sebagai tertera pada brosur spesifikasi lem Sikadur CF Normal.

Tabel 4.13. Hasil uji sambungan lem vertikal

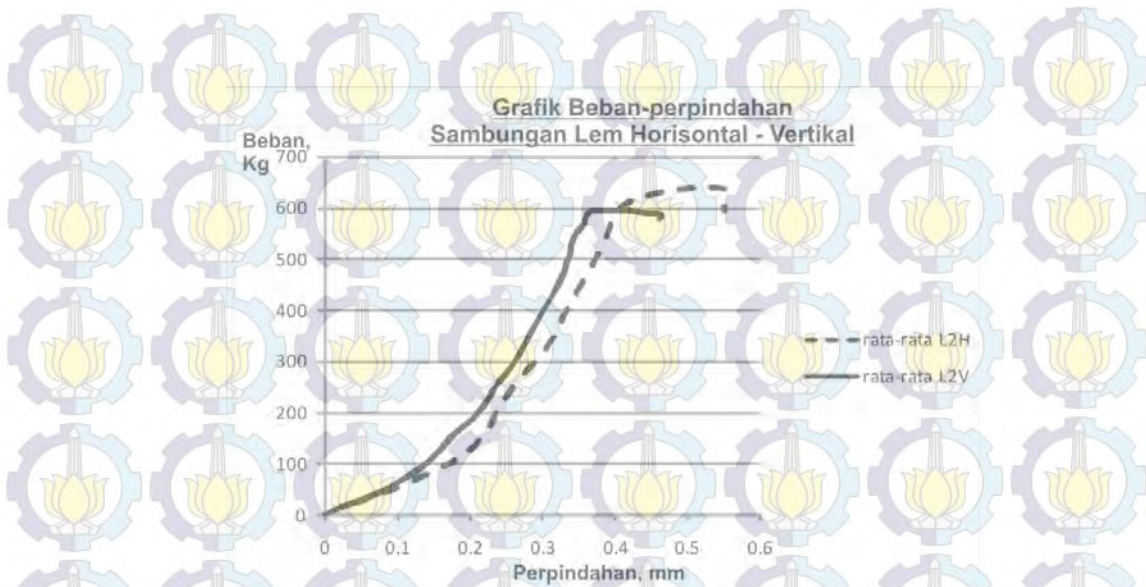
| BENDA UJI 1 | | BENDA UJI 2 | | BENDA UJI 3 | | RATA-RATA | |
|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-----------|-----------|
| P (KG) | Y (MM) | P (KG) | Y (MM) | P (KG) | Y (MM) | P (KG) | Y (MM) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0.125 | 50 | 0.06 | 50 | 0.07 | 50 | 0.085 |
| 100 | 0.22 | 100 | 0.08 | 100 | 0.125 | 100 | 0.1416667 |
| 150 | 0.27 | 150 | 0.123 | 150 | 0.13 | 150 | 0.1743333 |
| 200 | 0.29 | 200 | 0.201 | 200 | 0.15 | 200 | 0.2136667 |
| 250 | 0.3 | 250 | 0.24 | 250 | 0.17 | 250 | 0.2366667 |
| 300 | 0.35 | 300 | 0.25 | 300 | 0.19 | 300 | 0.2633333 |
| 350 | 0.38 | 350 | 0.26 | 350 | 0.21 | 350 | 0.2833333 |
| 400 | 0.41 | 400 | 0.27 | 400 | 0.23 | 400 | 0.3033333 |
| 450 | 0.44 | 450 | 0.28 | 450 | 0.25 | 450 | 0.3233333 |
| 500 | 0.45 | 500 | 0.301 | 500 | 0.26 | 500 | 0.337 |
| 520 | 0.46 | 550 | 0.302 | 550 | 0.27 | 540 | 0.344 |
| 530 | 0.48 | 560 | 0.302 | 600 | 0.29 | 563.33 | 0.3573333 |
| 550 | 0.5 | 580 | 0.305 | 650 | 0.31 | 593.33 | 0.3716667 |
| 530 | 0.501 | 575 | 0.41 | 650 | 0.48 | 585 | 0.4636667 |
| 520 | 0.502 | 570 | 0.409 | 640 | 0.48 | 576.67 | 0.4636667 |

Hasil yang tidak maksimal ini kemungkinan disebabkan karena licinnya permukaan yang disambung, tidak sempurnanya proses diaman serta tidak sempurnya campuran lem (lem A dan B). diharapkan apabila dilakukan riset lebih lanjut, factor – factor di atas supaya lebih ditangani dengan lebih teliti. Selain itu penggunaan alat uji UTM (universal testing machine) yang digital disarankan untuk hasil yang lebih akurat. Bila dibandingkan dengan hasil alat yang digital, gambar grafik terlihat lebih halus, perhatikan gambar 4.15 di atas.



Gambar 4.21. grafik perbandingan hasil sambungan sekrup horizontal-vertikal

adapun apabila dibandingkan antara sambungan lem dengan konfigurasi horizontal (L2H) dengan konfigurasi vertikal (L2V) terlihat bahwa sambungan dengan konfigurasi horizontal bisa menerima beban tarik yang lebih besar (mencapai 640 kg) daripada sambungan lem konfigurasi vertikal (yang hanya mencapai 600 kg).



Gambar 4.22. grafik perbandingan hasil sambungan sekrup horizontal-vertikal



Gambar 4.23. grafik perbandingan hasil sambungan sekrup horizontal-vertikal

adapun apabila membandingkan secara keseluruhan benda uji dengan 2 sekrup dan lem sikadur yang setara dapat disimpulkan bahwa

4.4. Pemodelan sambungan di abaqus

Pemodelan benda uji dilakukan terhadap 2 jenis permodelan, yaitu pemodelan benda uji dengan sambungan sekrup dan pemodelan benda uji

dengan sambungan lem Sikadur CF Normal. Hal ini dilakukan sebagai validasi hasil eksperimental di laboratorium untuk kedua jenis eksperimen.

Pemodelan dengan sambungan sekrup adalah dengan memodelkan benda uji galvalum sebagai 2 buah pelat 36 x 200 mm.

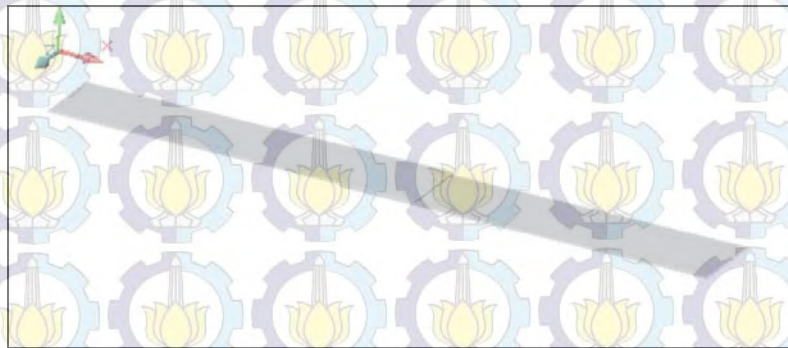
Untuk kedua jenis pemodelan dilakukan pemodelan secara 3 dimensi. Pemodelan semacam ini diharapkan mendapatkan hasil yang lebih realistis daripada pemodelan jenis lain (dua dimensi).

4.4.1 Pemodelan sambungan sekrup di abaqus

1. Pembuatan model

Pemodelan dilakukan dengan dengan model 3 dimensi. Solid dan dengan teknik *extrusion*. Pemilihan tipe model 3 dimensi diharapkan diperoleh hasil yang lebih akurat daripada model 2 dimensi.

Pemodelan dilakukan dengan bantuan program Autocad. Hal ini karena pemodelan dengan Autocad lebih mudah dilakukan. Model yang telah siap selanjutnya dimport dalam bentuk .sat. lebih mudah dilakukan untuk memodelkan model yg rumit.



Gambar 4.24. Create Part import file Cad.sat

Model dipartisi untuk mendapatkan lapisan lem yang memiliki property material yang berbeda dengan galvalum. Pemisahan (partisi) dilakukan dengan cara mendefinisikan bidang potongan, *define cutting plane*, dengan metode *point and normal* yaitu menentukan sebuah titik pada bidang potong dan menentukan

sebuah garis normal / tegak lurus pada bidang yang dimaksud, seperti yang dicontohkan pada gambar berikut.



Gambar 4.25. Partisi Part Untuk Memberikan Material Yang Berbeda

2. Pengaturan material.

Material galvalum dan lem sikadur harus dikenalkan pada program abaqus. Galvalum didefinisikan berat jenisnya atau density sebesar 7800 kg/m^3 atau 0.000078 N/mm^3 dan 0.000019 N/mm^3 untuk lem sikadur. Untuk galvalum pada menu *elastic* diinputkan 230.000 N/mm^2 untuk *modulus young* dan 0.3 untuk *poisson ratio*. Untuk material lem sikadur diinputkan *modulus young* 5000 N/mm^2 dan 0.28 untuk *poisson ratio*. Untuk nilai *expansion coefficient* $1.17\text{E}-005$ untuk material galvalum dan $5.9\text{E}-005$ untuk lem sikadur.

3. Pemberian material pada model

Material yang sudah didefinisikan harus dikenakan pada masing – masing model sesuai material property-nya masing-masing. Metode ini dinamakan *assign material property*.

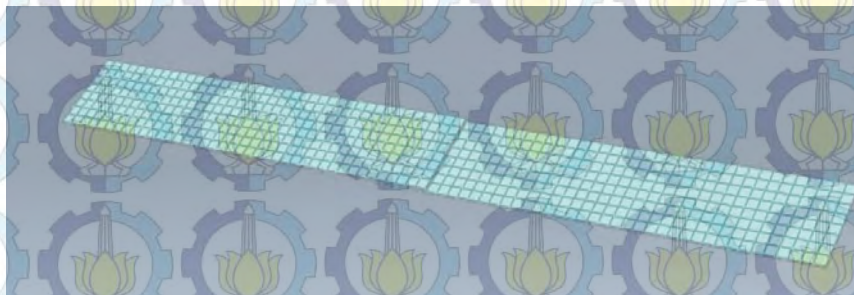
4. Pengaturan step analisa

Pada program Abaqus, pengguna dapat menentukan langkah-langkah analisa program. Langkah-langkah atau *steps* dibuat meliputi saat kondisi awal (*initial*) yang mana model belum mendapat gaya luar (aksial tarik) dan kondisi *load* atau terbebani

yang mana model sudah mendapat gaya aksial tarik berupa perpindahan atau *displacement* dengan nilai tertentu.

5. Meshing

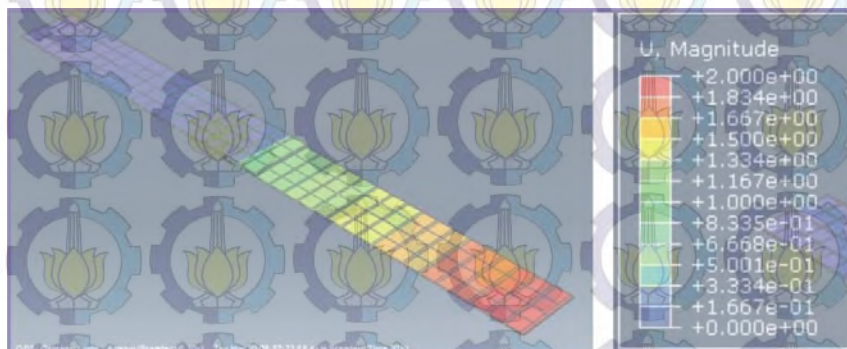
Pada setiap program analisa struktur yang berbasis metode elemen hingga (*finite element method*) selalu melalui proses meshing. Metode membagi model struktur yang dianalisa menjadi bagian-bagian yang saling berhubungan yang saling mempengaruhi.



Gambar 4.26. Meshing Elemen Sambungan Lem

6. Syarat batas

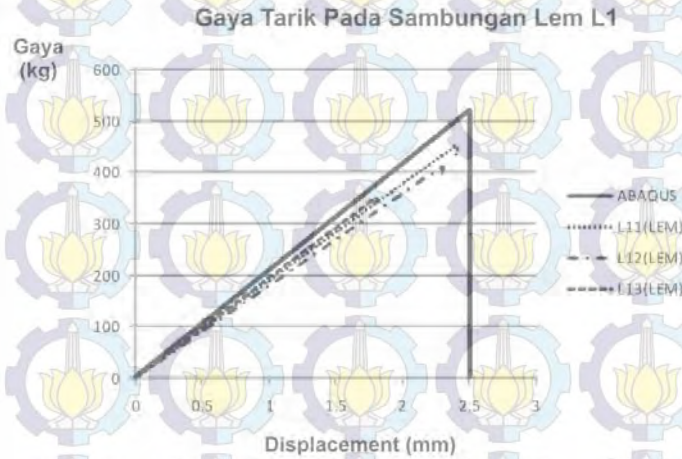
Setiap model struktur yang dianalisa harus didefinisikan syarat batas (*boundary condition*) untuk menjamin model yang dianalisa berjalan dengan baik. Model sambungan ini diberi *boundary condition* berupa jepit di salah satu ujungnya dan perpindahan di ujung yang lain. Hal ini disesuaikan uji laboratorium yang dilakukan. Dengan memberi kondisi seperti tersebut di atas diharapkan diperoleh hasil berupa gaya atau tegangan yang mencocoki hasil uji laboratorium.



Gambar 4.27. Displacement pada Sambungan Lem

7. Running dan hasil.

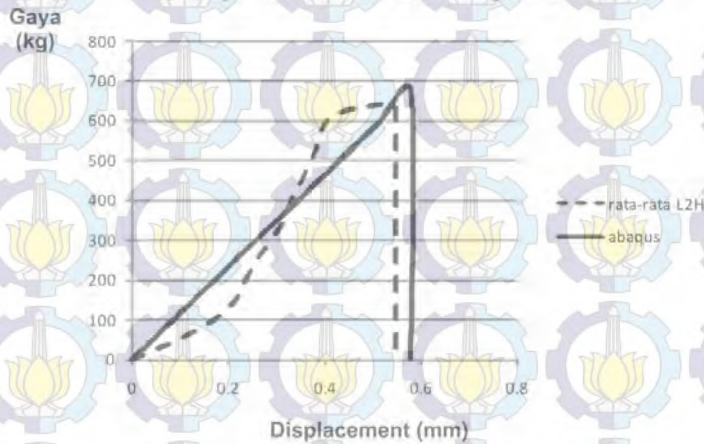
Tahap terakhir dari analisa numerik dengan program abaqus ini adalah running dan menganalisa hasilnya. Hasil program abaqus menunjukkan hasil yang mendekati nilai rata-rata dari hasil lem dari eksperimental di laboratorium.



Tabel 4.14. Hasil Abaqus Gaya Vs Displacemen pada Lem

| No | Perpindahan | Beban | | No | Perpindahan | Beban | |
|----|-------------|----------|----------|----|-------------|---------|---------|
| | mm | N | Kg | | mm | N | Kg |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0.0017496 | 20.2898 | 2.02898 |
| 2 | 2.00E-06 | 0.023194 | 0.002319 | 18 | 0.0026254 | 30.4462 | 3.04462 |
| 3 | 4.00E-06 | 0.046388 | 0.004639 | 19 | 0.0039391 | 45.6808 | 4.56808 |
| 4 | 7.00E-06 | 0.081179 | 0.008118 | 20 | 0.0059096 | 68.5326 | 6.85326 |
| 5 | 1.15E-05 | 0.133366 | 0.013337 | 21 | 0.0088654 | 102.81 | 10.281 |
| 6 | 1.83E-05 | 0.211645 | 0.021165 | 22 | 0.013299 | 154.226 | 15.4226 |
| 7 | 2.84E-05 | 0.329065 | 0.032907 | 23 | 0.0199495 | 231.347 | 23.1347 |
| 8 | 4.36E-05 | 0.505194 | 0.050519 | 24 | 0.0299253 | 347.027 | 34.7027 |
| 9 | 6.63E-05 | 0.769389 | 0.076939 | 25 | 0.044889 | 520.539 | 52.0539 |
| 10 | 0.000100516 | 1.16568 | 0.116568 | 26 | 0.0673345 | 780.792 | 78.0792 |
| 11 | 0.000151773 | 1.76012 | 0.176012 | 27 | 0.101003 | 1171.14 | 117.114 |
| 12 | 0.00022866 | 2.65177 | 0.265177 | 28 | 0.151505 | 1756.57 | 175.657 |
| 13 | 0.00034399 | 3.98925 | 0.398925 | 29 | 0.227259 | 2634.54 | 263.454 |
| 14 | 0.000516985 | 5.99548 | 0.599548 | 30 | 0.340889 | 3951.09 | 395.109 |
| 15 | 0.000776478 | 9.00481 | 0.900481 | 31 | 0.511334 | 5924.99 | 592.499 |
| 16 | 0.00116572 | 13.5188 | 1.35188 | | | | |

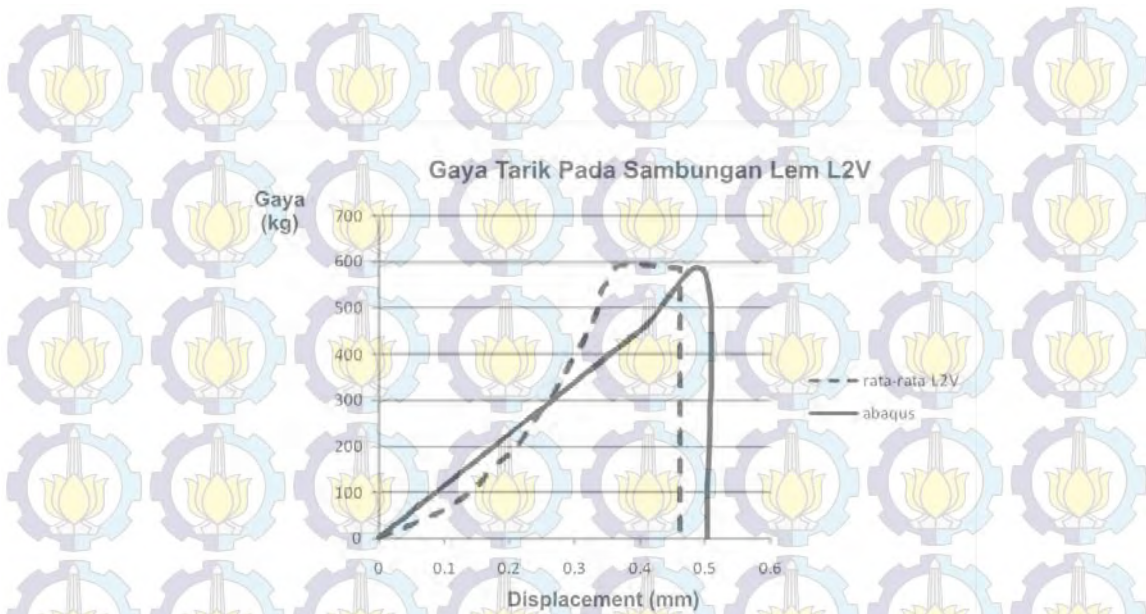
Gaya Tarik Pada Sambungan Lem L2H



Gambar 4.28. Grafik Perbandingan Hasil Uji Laboratorium dan Hasil Abaqus Sambungan Lem Horizontal

Tabel 4.15. Hasil abaqus gaya vs displacemen pada Lem vertikal

| No | Perpindahan | | Beban | | No | Perpindahan | | Beban | |
|----|-------------|---------|----------|----|----|-------------|---------|---------|----|
| | mm | | N | Kg | | mm | | N | Kg |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0.000921017 | 10.2795 | 1.02795 | |
| 2 | 7.0163E-07 | 0.00783 | 0.000783 | | 19 | 0.00138188 | 15.4233 | 1.54233 | |
| 3 | 1.40326E-06 | 0.01566 | 0.001566 | | 20 | 0.00207317 | 23.1389 | 2.31389 | |
| 4 | 2.45571E-06 | 0.02741 | 0.002741 | | 21 | 0.0031101 | 34.7125 | 3.47125 | |
| 5 | 4.03438E-06 | 0.04503 | 0.004503 | | 22 | 0.0046655 | 52.073 | 5.2073 | |
| 6 | 6.40238E-06 | 0.07146 | 0.007146 | | 23 | 0.0069986 | 78.1144 | 7.81144 | |
| 7 | 9.95438E-06 | 0.1111 | 0.01111 | | 24 | 0.0104983 | 117.178 | 11.7178 | |
| 8 | 1.52824E-05 | 0.17057 | 0.017057 | | 25 | 0.0157477 | 175.776 | 17.5776 | |
| 9 | 2.32744E-05 | 0.25977 | 0.025977 | | 26 | 0.023622 | 263.678 | 26.3678 | |
| 10 | 3.52624E-05 | 0.39356 | 0.039356 | | 27 | 0.0354333 | 395.546 | 39.5546 | |
| 11 | 5.32444E-05 | 0.59426 | 0.059426 | | 28 | 0.0531503 | 593.379 | 59.3379 | |
| 12 | 8.02175E-05 | 0.89531 | 0.089531 | | 29 | 0.0797259 | 890.199 | 89.0199 | |
| 13 | 0.000120677 | 1.34688 | 0.134688 | | 30 | 0.119589 | 1335.59 | 133.559 | |
| 14 | 0.000181366 | 2.02424 | 0.202424 | | 31 | 0.179385 | 2004.02 | 200.402 | |
| 15 | 0.0002724 | 3.04027 | 0.304027 | | 32 | 0.269078 | 3007.46 | 300.746 | |
| 16 | 0.000408951 | 4.56432 | 0.456432 | | 33 | 0.403619 | 4514.38 | 451.438 | |
| 17 | 0.000613778 | 6.85041 | 0.685041 | | 34 | 0.5045255 | 5646.55 | 564.655 | |



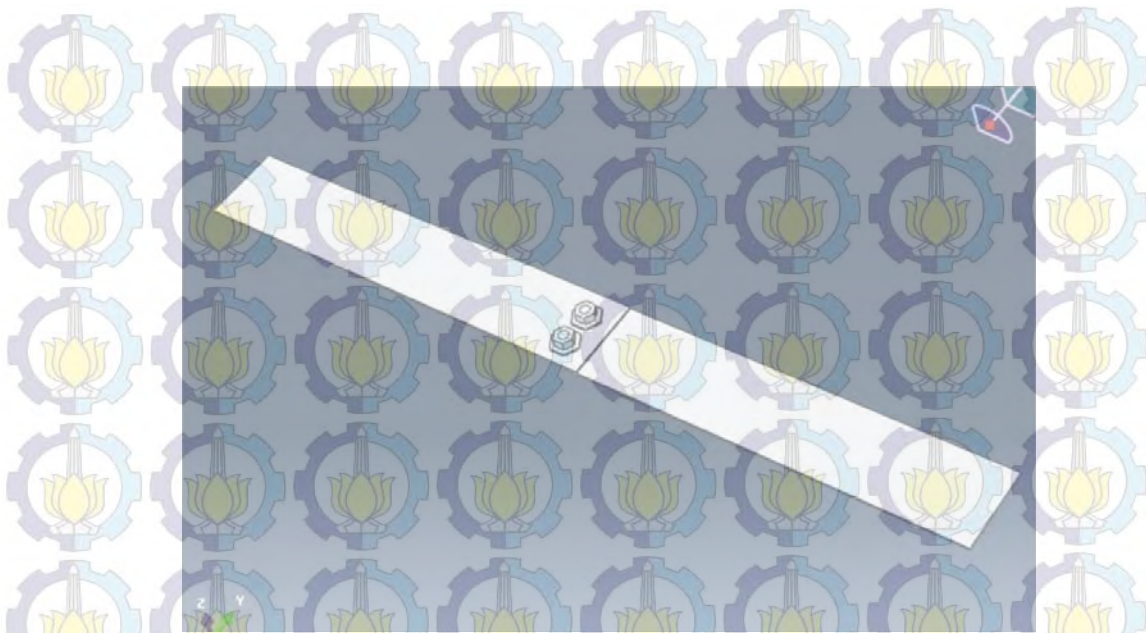
Gambar 4.29. Grafik Hubungan Gaya Perpindahan Sambungan Lem Vertical Eksperimen Vs Abaqus

Hasil running abaqus menunjukkan bahwa perpindahan terbesar terjadi diujung yang tidak diberi perletakan. Perpindahan diujung sebesar 2 mm (sama dengan besar perpindahan yang diberikan pada syarat batas) dan pada daerah lain bergradasi. Karena pada eksperimenl diperoleh perpindahan maksimal pada sambungan lem adalah sekitar 0.5 mm, maka pada grafik beban – perpindahan hanya diambil saat perpindahan sampai 0.5 mm.

4.4.2 Pemodelan sambungan 2 sekrup di abaqus

1. Pembuatan model 3d sambungan 2 buah sekrup

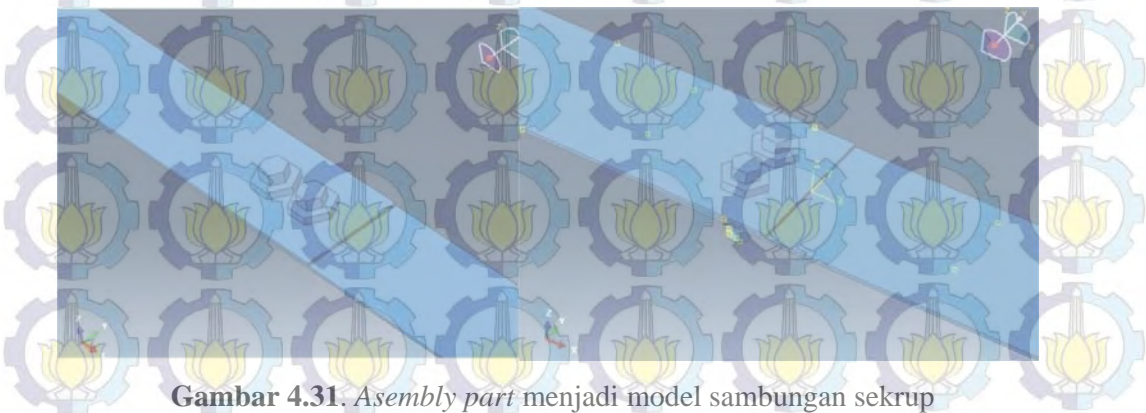
SebagaiPada tahapan ini dilakukan pemodelan bentuk pelat. Dalam kasus ini pelat dimodelkan secara 3D solid. Dipilih model space sebagai 3D sebab pemodelan adalah dengan 3 dimensi. Type modeling adalah deformable, memungkinkan model dapat berdeformasi sesuai material property yang diinputkan. Dipilih 3d solid untuk mendapatkan hasil yang lebih realistic dan lebih sesuai dipilih sebab harus dimodelkan sekrup sebagai penyambung.



Gambar 4.30. *Create Part* dengan import dari CAD

2. Mendefinisi *Material Properties*

Pada tahap ini ditentukan *material properties* yang digunakan. Pemodelan dilakukan dengan mendefinisikan *material properties* pelat galvalum 38 x 200 mm dan sekrup diameter 4.22 mm.



Gambar 4.31. *Assembly part* menjadi model sambungan sekrup

Material properties yang didefinisikan adalah density dan perilaku elastic meliputi modulus elastisitas dan poisson ratio. Density diisi berat jenis baja/galvalum yaitu 7800 kg/m³ atau 0.000078 N/mm³. Sedangkan modulus young 43000 mpa, poisson ratio 0.3. untuk galvalum dan sekrup. Adapun untuk nilai tegangan dan regangan pada plasticity dapat dilihat pada tabel 4.16.

Tabel 4.16. *Plasticity* Pada Material Galvalum Dan Sekrup

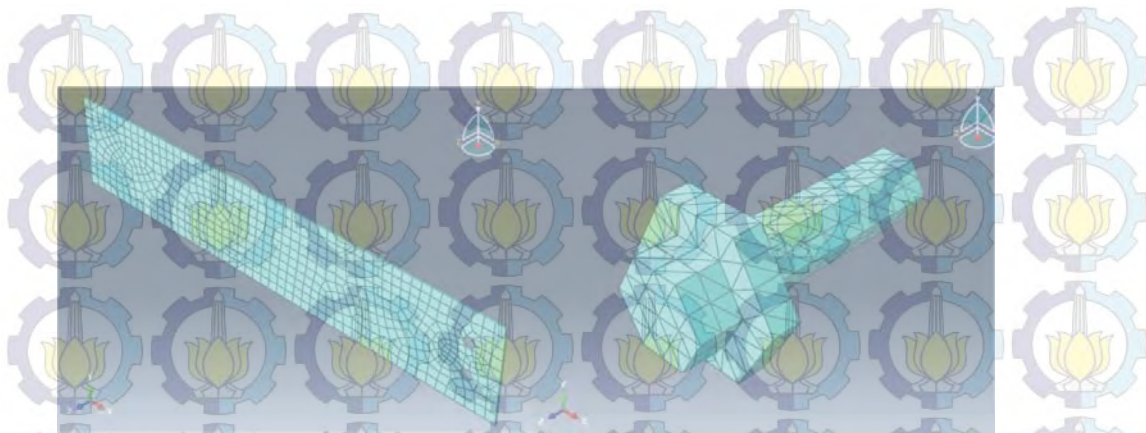
| Galvalum | | Sekrup | |
|----------------|----------|----------------|----------|
| Tegangan (Mpa) | Regangan | Tegangan (Mpa) | Regangan |
| 350 | 0 | 907 | 0 |
| 368.71 | 0.001 | 934.86 | 0.001 |
| 376.5 | 0.002 | 944.28 | 0.002 |
| 391.98 | 0.005 | 961.77 | 0.005 |
| 403.15 | 0.008 | 973.73 | 0.008 |
| 412.36 | 0.011 | 983.28 | 0.011 |
| 422.87 | 0.015 | 993.89 | 0.015 |
| 444.17 | 0.025 | 1014.7 | 0.025 |
| 461.5 | 0.035 | 1023.3 | 0.03 |
| 507.9 | 0.07 | 1051.1 | 0.05 |
| 581.5 | 0.15 | 1099.8 | 0.1 |
| 649.17 | 0.25 | 1129 | 0.14 |
| 704.22 | 0.35 | 1164.9 | 0.2 |
| 728.78 | 0.4 | 1190.2 | 0.25 |
| 751.85 | 0.45 | 1212.8 | 0.3 |
| 773.68 | 0.5 | | |
| 794.44 | 0.55 | | |
| 814.28 | 0.6 | | |

3. Pengaturan step analisa

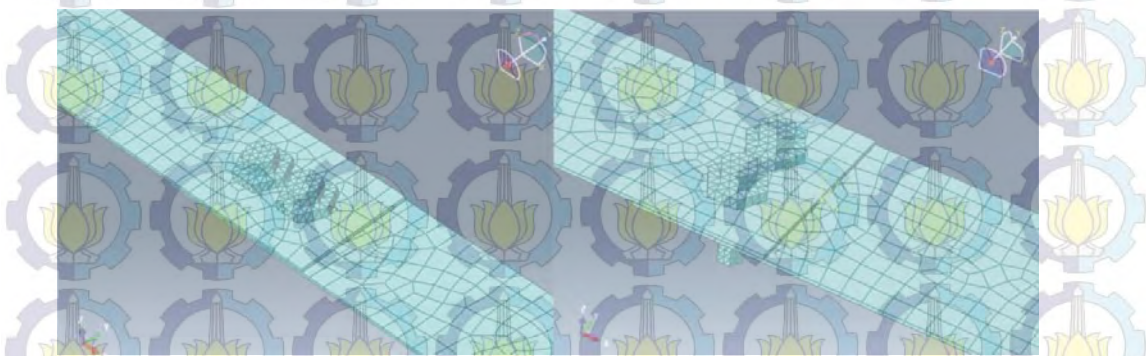
Pada program Abaqus, pengguna dapat menentukan langkah-langkah analisa program. Langkah-langkah atau *steps* dibuat meliputi saat kondisi awal (initial) yang mana model belum mendapat gaya luar (aksial tarik) dan kondisi *load* atau terbebani yang mana model sudah mendapat gaya aksial tarik berupa perpindahan atau *displacement* dengan nilai tertentu.

4. Meshing

Prosen meshing menggunakan meshing menggunakan meshing Pada setiap program analisa struktur yang berbasis metode elemen hingga (*finite element method*) selalu melalui proses meshing. Metode membagi model struktur yang danalisa menjadi bagian-bagian yang saling berhubungan yang saling mempengaruhi.



Gambar 4.32. Meshing masing-masing part



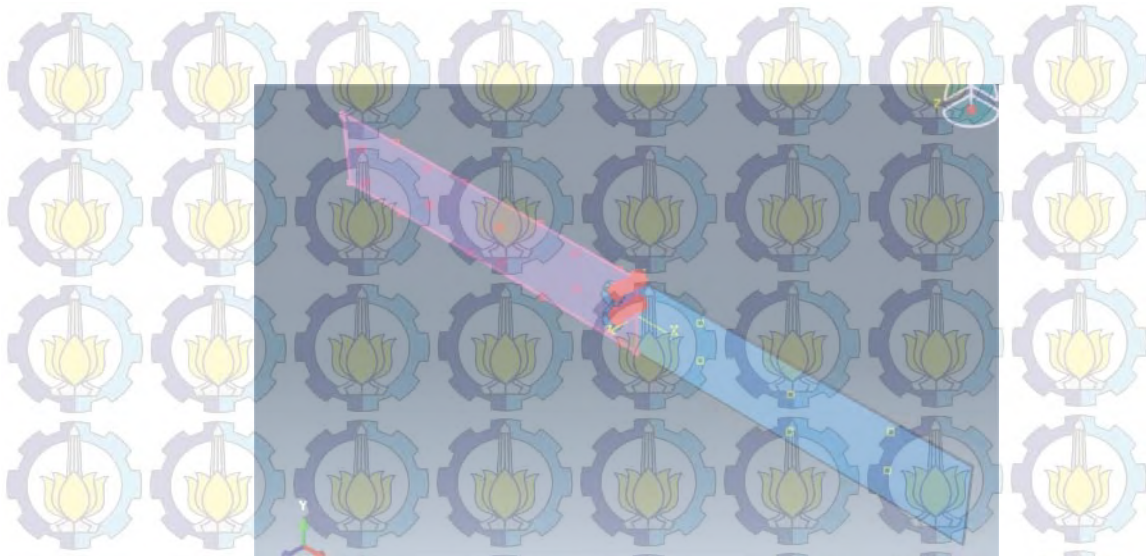
Gambar 4.33. meshing model sambungan sekrup

5. Syarat batas dan interaksi

Setiap model struktur yang dianalisa harus didefinisikan syarat batas (*boundary condition*) untuk menjamin model yang dianalisa berjalan dengan baik. Model sambungan ini diberi *boundary condition* berupa jepit di salah satu ujungnya dan perpindahan di ujung yang lain. Hal ini disesuaikan uji laboratorium yang dilakukan. Dengan memberi kondisi seperti tersebut di atas diharapkan diperoleh hasil berupa gaya atau tegangan yang mencocoki hasil uji laboratorium.

Untuk menghindari perpindahan pada arah yang tidak diinginkan selain kedua syarat batas (*Boundary condition*) diatas model juga diberikan batasan tidak boleh berdeformasi keluar bidangnya, selain arah longitudinalnya.

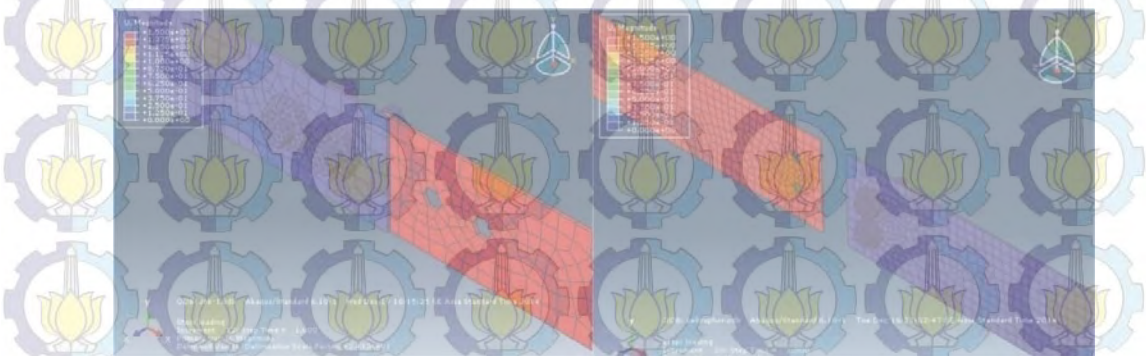
Interaksi antara elemen didefinisikan. Interaksi antara galvalum dan galvalum, maupun antara galvalum dan sekrup didefinisikan sebagai mengikuti *tangential behavior* dengan nilai *coefficient of friction* adalah 0.2.



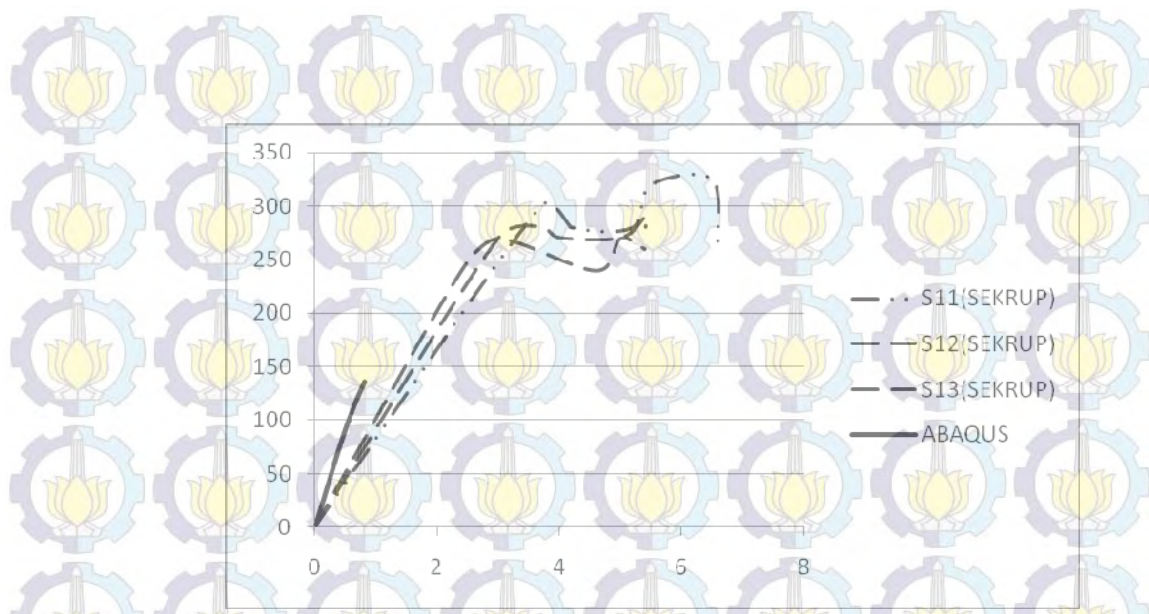
Gambar 4.34. pemdefinisian interaksi

6. Running dan hasil.

Tahap terakhir dari analisa numerik dengan program abaqus ini adalah running dan menganalisa hasilnya. Hasil program abaqus menunjukkan bahwa kegagalan yang terjadi adalah karena lepasnya sekrup dari galvalum. Tegangan yang besar terjadi pada elemen galvalum sedangkan pada sekrup tidak terjadi tegangan yang besar. Hal ini karena elemen galvalum sebagai yang yang disambung memiliki ketebalan yang sangat kecil (tipis) sehingga mudah sobek sehingga sekrup terlepas dari galvalum.



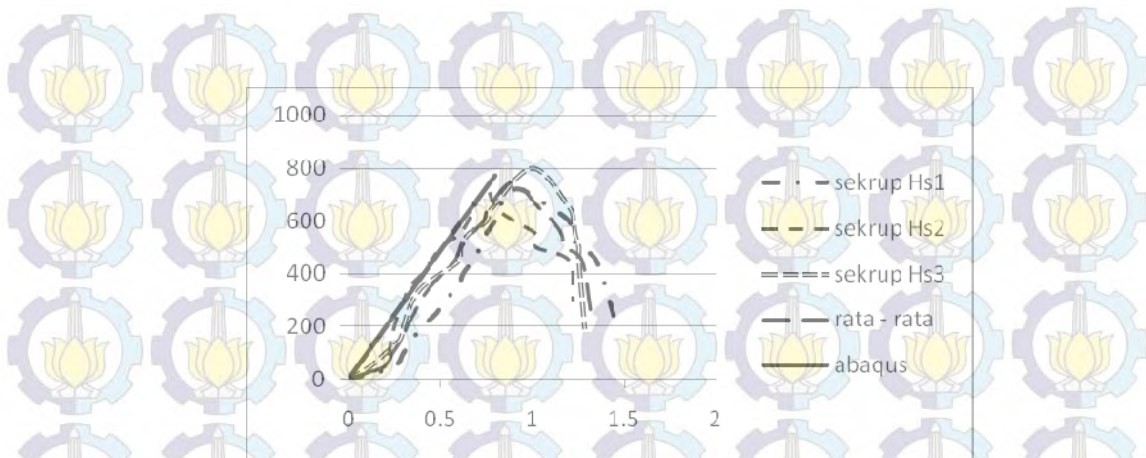
Gambar 4.35. Perpindahan Pada Sambungan Sekrup Hasil Abaqus Adapun besarnya beban yang terjadi



Tabel 4.16. Hasil abaqus gaya vs displacemen pada Sekrup.

| NO | Perpindahan (mm) | Gaya (kg) |
|----|---------------------|--------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0.125 | 157.574 |
| 3 | 0.2387 | 450.901 |
| 4 | 0.359 | 632.209 |
| 5 | 0.456 | 738.277 |
| 6 | 0.570315 | 726.021 |
| 7 | 0.88672 | 547.256 |
| 8 | 1.2 | 307.275 |

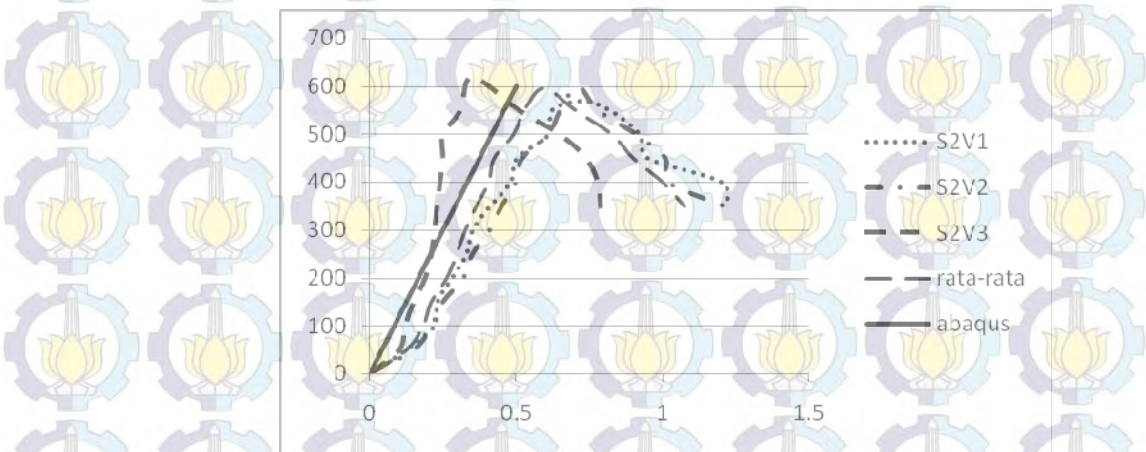
Tidak memiliki perbedaan yang besar, pada sekrup dengan konfigurasi vertical maupun horizontal, hasil validasi abaqus belum mendekati keadaan sebenarnya (hasil eksperimental). Hal ini dimungkinkan karena adanya kekurangan dalam pendefinisian interaksi antar elemen yang disambung (galvalum) maupun antara elemen yang disambung (galvalum) dengan alat penyambung (sekrup). Pemodelan interaksi yang benar diharapkan bisa mendekati hasil eksperimental dengan hasil running abaqus.



Gambar 4.36. Grafik hasil eksperimental sekrup S2H vs abaqus

Tabel 4.17. Hasil abaqus gaya vs displacemen pada Sekrup S2V

| NO | Perpindahan (mm) | Gaya (kg) |
|----|---------------------|--------------|
| 1 | 0.125 | 131.3120 |
| 2 | 0.2387 | 375.7510 |
| 3 | 0.359 | 526.8410 |
| 4 | 0.456 | 615.2310 |
| 5 | 0.570315 | 605.2500 |
| 6 | 0.88672 | 550.5890 |
| 7 | 1.2 | 352.7450 |



Gambar 4.37. Grafik hasil eksperimental sekrup S2V vs abaqus

Tabel 4.18 menunjukkan perbedaan tegangan pada sambungan yang menggunakan 2 buah sekrup dan lem yang sebanding luas lapnya. Sambungan lem menunjukkan tegangan yang hampir sama untuk kedua tipe sambungan (L2H dan L2V). kedua tipe sambungan lem sama-sama memiliki kapasitas

lekatan sekitar 6 N/mm². Hal ini masih lebih kecil daripada nilai kapasitas lekat yang ada pada brosur lem Sikadur CF Normal yang dapat mencapai 10 N/mm². Diharapkan riset yang berikutnya memperhatikan proses pembuatan benda uji yang lebih teliti supaya diperoleh kapasitas lekat yang lebih besar.

Tabel 4.18. Perbandingan Tegangan Pada Sambungan Lem dan Sekrup

| NO | SAMBUNGAN | LUAS LAP | | | BEBAN PUTUS (N) | δ N/mm ² |
|----|------------|----------|--------|-------------------------|-----------------|----------------------------|
| | | B (mm) | H (mm) | LUAS (mm ²) | | |
| 1 | LEM L2H | 38 | 25 | 950 | 5966.7 | 6.280737 |
| 2 | LEM L2V | 25 | 38 | 950 | 5760 | 6.063158 |
| 3 | SEKRUP S2H | 38 | 25 | 950 | 7466.7 | 7.859684 |
| 4 | SEKRUP S2V | 25 | 38 | 950 | 5966.7 | 6.280737 |

Sambungan dengan 2 buah sekrup (S2H dan S2V) menunjukkan hasil tegangan yang relative lebih besar dari pada sambungan lem dengan luasan lap yang sama. Berbeda dengan dengan sambungan dengan 1 sekrup yang lebih besar kapasitas putus sambungan lem. Sambungan dengan 1 sekrup di atas memiliki luasan relatif besar (karena jarak > jarak minimal) sehingga kapasitas sambungan lem lebih besar dari pada sambungan sekrup.

Adapun dari besar perpindahan sambungan dengan 1 buah sekrup mengalami perpindahan yang lebih besar dari pada sambungan dengan 2 buah sekrup (5 mm > 1.5 mm). Hal ini karena sambungan dengan 2 sekrup otomatis lebih kaku daripada sambungan dengan 1 buah sekrup. Sedangkan pada lem dengan waktu diamkan di atas 3 hari membuat sambungan lebih kaku, sehingga nilai perpindahan dengan *diamkan time* lebih dari 3 hari (pada sambungan L2H dan L2V) memiliki nilai perpindahan yang lebih kecil (0.5 mm < 2 mm).

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari studi yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Galvalum sebagai material baja ringan memiliki tegangan leleh, f_y dan tegangan putus F_u lebih tinggi dari pada baja konvensional. Dari hasil eksperimen yang dilakukan diperoleh hasil rata – rata dari empat benda uji tarik bahwa tegangan leleh, f_y galvalum = 586.92 Mpa dan tegangan putus galvalum, f_u = 598.26 Mpa.

Material galvalum apabila ditarik maka grafik hanya memiliki daerah elastis dan plastis saja tanpa daerah strain hardening. Hal ini berbeda dengan baja konvensional yang memiliki tiga daerah berbeda yaitu daerah elastis, daerah plastis dan daerah strain hardening.

2. Sambungan 1 sekrup dan lem yang sepadan, untuk sambungan dengan lem Sikadur CF Normal memiliki kapasitas tarik yang lebih besar, mencapai sekitar + 4000 N, dari pada sambungan sekrup dengan luas daerah lap yang sama, yang hanya mencapai sekitar 2500 N. Akan tetapi sambungan dengan lem Sikadur CF Normal lebih getas daripada sambungan sekrup, untuk benda uji sambungan geser (perpindahan pada sambungan sekrup mencapai 5 mm sementara pada sambungan lem 1.5 mm). ini untuk waktu curing 1 hari. Adapun Sambungan dengan 2 buah sekrup menghasilkan beban tarik yang sedikit relative lebih besar dibandingkan dengan sambungan lem Sikadur CF Normal, tegangan yang dihasilkan oleh kedua jenis sambungan sekitar 6 N/mm².

3. Hasil validasi dengan program abaqus menghasilkan grafik yang linear untuk sambungan lem Sikadur CF Normal, mendekati hasil eksperimental. Diharapkan bila menggunakan alat uji yang lebih baik hasil eksperimental lebih mendekati hasil abaqus.



5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Perlu adanya studi lebih lanjut mengenai jumlah sekrup minimal dan konfigurasi yang optimal agar hasil yang didapat lebih beragam.
2. Perlu adanya studi lebih lanjut mengenai ketebalan lem yang optimal dan permukaan benda uji dan proses curing yang baik dan alat uji yang canggih (digital) untuk mendapatkan hasil yang maksimal.