



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PENGARUH HEAT INPUT DAN WELDING SEQUENCE PADA
PENGELASAN GMAW BAJA SS400 UNTUK MENGURANGI
DISTORSI STUDI KASUS SHEETING ROOF E-INOBUS**

SKRIPSI

Oleh:
Hauzan Rafif Seno
NIM. 1802411022

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN MANUFaktur
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

AGUSTUS, 2022



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PENGARUH HEAT INPUT DAN WELDING SEQUENCE PADA
PENGELASAN GMAW BAJA SS400 UNTUK MENGURANGI
DISTORSI STUDI KASUS SHEETING ROOF E-INOBUS**

SKRIPSI

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan Sarjana Terapan Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh:

**Hauzan Rafif Seno
NIM. 1802411022**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN MANUFaktur
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

AGUSTUS, 2022



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**HALAMAN PERSETUJUAN
SKRIPSI**

**PENGARUH HEAT INPUT DAN WELDING SEQUENCE PADA
PENGELASAN GMAW BAJA SS400 UNTUK MENGURANGI DISTORSI
STUDI KASUS SHEETING ROOF E-INOBUS**

Oleh,

Hauzan Rafif Seno

NIM. 1802411022

Program Studi Sarjana Terapan Manufaktur

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Ketua Program Studi

Sarjana Terapan manufaktur

Pembimbing

Drs., Raden Grenny Sudarmawan , S.T., M.T.

NIP. 196005141986031002

Rosidi , S.T., M.T.

NIP. 196509131990031001



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI

PENGARUH HEAT INPUT DAN WELDING SEQUENCE PADA
PENGELASAN GMAW BAJA SS400 UNTUK MENGURANGI DISTORSI
STUDI KASUS SHEETING ROOF E-INOBUS

Oleh,

Hauzan Rafif Seno
NIM. 1802411022

Program Studi Sarjana Terapan Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan manufaktur dihadapan Dewan Penguji pada tanggal 16 Agustus 2022 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan Manufaktur Jurusan Teknik Mesin.

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1	Rosidi, S.T., M.T. NIP. 196509131990031001	Ketua Sidang		22/8-22
2	Dr. Dewin Purnama, S.T., M.T. NIP. 197410282009121001	Penguji 1		22/8-22
3	Dr.Eng., Pribadi Mumpuni Adhi, S.Si, M.Eng. NIP. 198901312019031009	Penguji 2		22/8-22

Depok, 6 September 2022

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M.T., IWE.
NIP. 197707142008121005



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hauzan Rafif Seno

NIM :1802411022

Program Studi : Sarjana Terapan Manufaktur

Menyatakan bahwa yang dituliskan dalam Skripsi ini adalah hasil karya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapatm gagasan atau temuan orang lain yang terdapat dalam Skripsi telah saya kutip dan rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Jakarta, 6 Agustus 2022



Hauzan Rafif Seno

NIM. 1802411022



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

PENGARUH HEAT INPUT DAN WELDING SEQUENCE PADA PENGELASAN GMAW BAJA SS400 UNTUK MENGURANGI DISTORSI STUDI KASUS SHEETING ROOF E-INOBUS

Hauzan Raffif Seno¹ dan Rosidi¹

¹)Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

E-mail : hauzan.r.seno@gmail.com

ABSTRAK

E-Inobus merupakan bus elektrik rakitan PT Industri Kereta Api (Persero). Material yang digunakan sebagai chasisnya adalah baja SS400. Baja jenis ini memiliki kemampuan machining dan kemampuan las yang baik, sehingga digunakan las GMAW dalam proses penyambungannya. Temperatur pengelasan yang tinggi dapat menyebabkan logam disekitar daerah lasan mengalami perubahan sifat metalurgi, perubahan ini juga menyebabkan adanya distorsi pada logam lasan. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalisir distorsi yang terjadi pada logam dengan menggunakan parameter masukan panas (*heat input*) dan urutan las (*welding sequence*). Variasi heat input didapatkan dengan merubah kecepatan pengelasan yaitu 3 mm/s, 3.5 mm/s dan 4 mm/s. Sedangkan welding sequence menggunakan metode stepping stone dengan jarak antar bead sejauh 3 mm. Hasilnya besar Distorsi terkecil terjadi pada spesimen tanpa menggunakan urutan dengan kecepatan las 4 mm/s yaitu 0.6 mm. Sedangkan pada spesimen dengan menggunakan urutan las pada kecepatan las 4 mm/s distorsi terkecil dicapai dengan besar 1.06 mm. Penggunaan urutan las ini dapat meningkatkan besar distorsi sebesar 24%. Perbedaan masukan panas juga memengaruhi ukuran butir spesimen, pada kecepatan las 3 mm/s rata-rata ukuran butir mencapai 53.4 μm sedangkan pada kecepatan las 4 mm/s ukuran rata-rata butir mencapai 89.8 μm . Kecepatan las pada 4 mm/s mampu menaikkan ukuran butir sebesar 68.16%

Kata-kata kunci: Baja SS400, Distorsi las, masukan panas, urutan las



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

PENGARUH HEAT INPUT DAN WELDING SEQUENCE PADA PENGELASAN GMAW BAJA SS400 UNTUK MENGURANGI DISTORSI STUDI KASUS SHEETING ROOF E-INOBUS

Hauzan Raffif Seno¹ dan Rosidi¹

¹)Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

E-mail : hauzan.r.seno@gmail.com

ABSTRACT

E-Inobus is an electric bus made by PT Industri Kereta Api (Persero). The material used as the chassis is SS400. This type of steel has good machining and weldability, so GMAW welding is used in the assembly process. High welding temperatures can cause metal around weld area to change and affect the metallurgical properties, this will led to distortion of the welded steel. This study is aimed to minimize the distortion that occurs by altering the heat input and using welding sequence parameters. Heat input variation is obtained by changing the welding speed, namely 3 mm/s, 3.5 mm/s and 4 mm/s, while the welding sequence used the stepping stone method with a distance between beads are 3 mm. The result indicated that smallest distortion occurs in the specimen without using a welding sequence at the speed of 4 mm/s, which is 0.6 mm. While on the specimen using a welding sequence at a welding speed of 4 mm/s the smallest distortion is 1.06 mm. The use of this welding sequence can increase the amount of distortion by 24%. The difference in heat input also affects the grain size of the specimen, at an average speed of 3 mm/s the grain size reaches 53.4 m while at an average speed of 4 mm/s it reaches 89.8 m. Weld speed at 4 mm/s is able to increase grain size by 68.16%

Keywords: SS400 Steel, Weld Distortion, Heat Input, Welding Sequence



Kata Pengantar

Puji Syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT. Tuhan Yang Maha Esa berkat rahmat dan hidayatnya penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul “*Pengaruh Masukan panas dan urutan las Pada Pengelasan GMAW Baja SS400 Untuk mengurangi Distorsi Studi Kasus Sheeting Roof E-Inobus*” untuk memenuhi persyaratan meraih gelar Sarjana pada program studi Teknik Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta dengan waktu yang telah ditentukan.

Dalam penyusunan skripsi ini, terdapat beberapa kendala yang terjadi. Namun beberapa kendala tersebut dapat teratasi atas bantuan dari berbagai macam pihak yang telah memberikan berbagai macam bantuan baik secara moral maupun material. Untuk itu saya mengucapkan banyak terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Muslimin, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta dan telah membantu atas surat persetujuan untuk keperluan penelitian diluar kampus
2. Bapak Drs., Raden Grenny Sudarmawan , S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi Manufaktur, Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan persetujuan atas judul skripsi ini
3. Bapak Rosidi , S.T., M.T., selaku dosen pembimbing laporan skripsi yang telah meluangkan waktunya dan memberikan arahan serta masukan selama proses pembuatan skripsi.
4. Bapak Mamat abc selaku Kepala Workshop CMPFA FTUI yang telah meluangkan waktunya dan memberikan bimbingan selama proses penelitian ini
5. Bapak Yusuf selaku Pranata Workshop Welding Politeknik Negeri Jakarta yang telah membantu proses pengelasan untuk penelitian ini
6. Bapak Eko Novianto selaku Senior Manager Teknologi Produksi, Departemen Teknologi PT. Industri Kereta Api (Persero) yang memberikan izin waktu dan tempat untuk keperluan penelitian

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

7. Bapak Tarmuji selaku Kepala Bagian Teknologi Proses selaku pembimbing Industri yang telah membimbing dan memberikan arahan serta masukan terkait proses pembuatan skripsi
8. Seluruh jajaran staff PT. Industri Kereta Api (Persero) dan PT INKA Multi Solusi (IMS) yang telah membantu dan memberikan bimbingan selama proses pembuatan skripsi ini
9. Kedua Orang Tua yang telah memberikan do'a, dukungan secara moral dan semangat yang tiada henti kepada penulis
10. Saudara Aldhi Novanda Saputra dan Rea Mauludy Suryaman sebagai rekan penelitian yang selalu membantu dan memberikan saran serta masukan dalam penyusunan skripsi ini
11. Rekan-rekan Program Studi Manufaktur yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam proses penyelesaian skripsi

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam skripsi ini. oleh karen itu, segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis terima dengan baik. Akhir kata penulis berharap agar penelitian ini dapat berguna bagi pembaca dan khalayak umum serta pihak-pihak lain yang berkepentingan

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 1 Agustus 2022

Hauzan Rafif Seno

NIM. 1802411022



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Daftar Isi

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
ABSTRAK	iv
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi.....	viii
Daftar Gambar.....	x
Daftar Tabel	xii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penilitan	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Lokasi Penelitian	6
1.7 Luaran Penelitian.....	6
1.8 Sistematika Penulisan Skripsi	6
BAB II.....	8
TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Kajian Literatur	8
2.2 Landasan Teori	11
2.2.1. Baja Karbon	11
2.2.2. Metalurgi Las	12
2.2.3. Gas Metal Arc Welding	16
2.2.4. Distribusi Temperatur	17
2.2.5. Siklus Thermal dan Transformasi Fasa.....	19
2.2.6. Tegangan Sisa	20
2.2.7. Proses Distrosi.....	22
2.2.8. Urutan las (Urutan las).....	23
2.2.9. <i>Metode Analisis Statistik</i>	23



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB III	27
METODOLOGI	27
3.1. Metode Penelitian	27
3.2. Prosedur Penelitian	28
3.2.1. Studi Literatur	28
3.2.2. Penyiapan Material & Peralatan Uji	28
3.2.3. Pembuatan Spesimen Uji	30
3.2.4. Pengelasan GMAW	31
3.2.5. Pengukuran Besar Deformasi	32
3.2.6. Uji Metalografi (Pengujian Makro dan Mikro)	33
3.2.7. Analisis Data	34
BAB IV	35
HASIL DAN ANALISIS	35
4.1. Hasil Pengujian	35
4.2. Analisis Statistik Data Pengelasan	38
4.1.1. Uji Validitas dan Uji Reliabilitas	40
4.1.2. Uji Normalitas Shapiro-Wilk	43
4.1.3. Uji ANOVA (<i>Analysis of Variance</i>)	44
4.3. Data dan Analisis Distorsi Pengelasan	49
4.2.1. Distorsi akibat penggunaan urutan las dan kecepatan lasan	49
4.2.2. Kecepatan Pengelasan terhadap Besar Masukan panas	53
4.4. Analisis Uji Metalografi	55
4.3.1. Hasil Uji Makrostruktur	55
4.3.2. Hasil Uji Mikrostruktur	57
4.3.3. Perhitungan Besar Struktur/Butir	60
BAB V	63
PENUTUP	63
5.1. Kesimpulan	63
5.2. Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	65
Lampiran	67



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Tabel diagram fasa Fe-Fe ₃ C.....	12
Gambar 2. 2 pengelasan baja karbon (a) HAZ; (b) Diagram Fasa.....	13
Gambar 2. 3 perbandingan antara Heat Treatment dan Pengelasan: (a) proses Thermal; (b) diagram fasa.....	14
Gambar 2. 4 Daerah Lasan dan Proses terbentuknya Fasa	15
Gambar 2. 5 Ilustrasi Pengelasan GMAW	16
Gambar 2. 6 Sistem koordinat pengelasan dengan sumber panas bergerak	18
Gambar 2. 7 grafik siklus termal dari pengelasan busur tangan	19
Gambar 2. 8 model tegangan selama proses pengelasan [13].....	21
Gambar 2. 9 macam-macam distorsi pada pengelasan	22
Gambar 2. 10 Macam-macam Welding Sequence.....	23
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3. 2 Pelat SS400 Produksi PT Karakatu Steel (Dok. Pribadi).....	29
Gambar 3. 3 Peralatan yang digunakan selama proses pengelasan	29
Gambar 3. 4 Ukuran Pelat Uji.....	30
Gambar 3. 5 skema weld sequence steping stone	32
Gambar 3. 6 Pengukuran Besar Distorsi	32
Gambar 3. 7 Skema pengukuran distorsi lasan.....	32
Gambar 3. 8 pemotongan benda uji untuk uji metalografi.....	33
Gambar 3. 9 Metalurgi pengelasan dimana sampel untuk Struktur Mikro diambil	34
Gambar 4. 1 Makrostruktur Pelat Hasil Pengelasan Pada Spesimen kecepatan las 3 mm/s (kiri); dan Dengan kecepatan las 4 mm/s (kanan).....	37
Gambar 4. 2 Penampang Mikrostruktur Pada Bagian Logam Dasar kecepatan las 3 mm/s (kiri); dan Dengan kecepatan las 4 mm/s (kanan) – perbesaran 100 x	37
Gambar 4. 3 Penampang Mikrostruktur Pada Daerah HAZ kecepatan las 3 mm/s (kiri); dan kecepatan las 4 mm/s (kanan) – Perbesaran 100x.....	37
Gambar 4. 4 Penampang Mikrostruktur Pada Daerah Kampuh Las kecepatan las 3 mm/s (kiri); dan kecepatan las 4 mm/s (kanan) – Perbesaran 200x.....	38
Gambar 4. 5 Plot Hasil distorsi pengelasan ke grafik candlestick.....	51
Gambar 4. 6 Makrostruktur Hasil pengelasan Pada Spesimen dengan masukan panas pada kecepatan las 3 mm/s (kiri); dan kecepatan las 4 mm/s (kanan) - Perbesaran 7x	55
Gambar 4. 7 Bagian-bagian daerah lasan.....	56



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4. 8 Perbedaan struktur pada fusion line di daerah weld pool.....	56
Gambar 4. 9 Mikrostruktur pada spesimen dengan masukan panas pada kecepatan las 3 mm/s (kiri); dan kecepatan 4 mm/s (kanan) – perbesaran 200x	57
Gambar 4. 10 Persebaran butir ferrite dan pearlite pada logam dasar	57
Gambar 4. 11 Mikrostruktur Pada Daerah HAZ spesimen dengan masukan panas pada kecepatan las 3 mm/s (kiri); dan 4 mm/s (kanan) – Perbesaran 100 x	58
Gambar 4. 12 Mikrostruktur Pada Daerah HAZ kasar spesimen dengan masukan panas pada kecepatan las 3 mm/s (kiri); dan 4 mm/s (kanan) – Perbesaran 200 x	58
Gambar 4. 13 Pembentukan mikrostruktur pada daerah HAZ halus spesimen dengan masukan panas pada kecepatan las 3 mm/s (kiri); dan dengan kecepatan las 4 mm/s (kanan) – Perbesaran 100 x.....	59
Gambar 4. 14 Pembentukan mikrostruktur pada daerah kampuh las dengan masukan panas pada kecepatan las 3 mm/s(kiri); dan dengan kecepatan las 4 mm/s (kanan) – Perbesaran 400 x	59
Gambar 4. 15 Pengukuran batas antar grain pada bagian HAZ kasar struktur mikro spesimen dengan masukan panas pada kecepatan las 3 mm/s.....	60
Gambar 4. 16 Pengukuran batas antar grain pada bagian HAZ kasar struktur mikro spesimen dengan masukan panas pada kecepatan las 4 mm/s.....	61





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Daftar Tabel

Tabel 1. 1 Tabel waktu prosuksi rata-rata sebuah produk di PT Industri Kereta Api (Persero)	3
Tabel 2. 1 Efisiensi busur las pada beberapa proses pengelasan	17
Tabel 3. 1 Tabel komposisi kimi dan sifat mekanik dari baja SS400	28
Tabel 3. 2 Nilai Parameter Uji	30
Tabel 3. 3 Variasi Spesimen Uji Coba	31
Tabel 4. 1 Parameter pembagian spesimen uji coba	35
Tabel 4. 2 Tabel hasil uji coba pengelasan	36
Tabel 4. 3 Analisis Statistis Deskriptif Distorsi Lasan Pada Titik Awal lasan (Dial indicator 1)	38
Tabel 4. 4 Analisis Statistika Deskriptif Distorsi Lasan pada titik akhir lasan (Dial indicator 2)	39
Tabel 4. 5 Hasil Uji Validitas Terhadap Besar Distorsi yang Terjadi Setelah Pengelasan.....	40
Tabel 4. 6 Hasil analisis uji validitas	41
Tabel 4. 7 Nilai Reliabilitas total spesimen uji coba.....	41
Tabel 4. 8 Nilai Statistik dari Uji Reliabilitas Pada Tiap Spesimen	42
Tabel 4. 9 Hasil Analisis Uji Reliabilitas	42
Tabel 4. 10 Uji Normalitas Shapiro-Wilk	43
Tabel 4. 11 Rangkuman hasil uji normalitas Shapiro-Wilk pada tiap spesimen ..	43
Tabel 4. 12 Hasil levene's Test untuk mengukur homogenitas distorsi pengelasan (variable terikat)	44
Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan ANOVA Dua Faktor Pada Data Penelitian	45
Tabel 4. 14 Hasil Uji F test Data Distorsi Pengelasan	46
Tabel 4. 15 Besar nilai Koefisien Determinasi pada variabel terikat Uji F	47
Tabel 4. 16 Parameter Pengelasan	49
Tabel 4. 17 Distorsi pengelasan yang terukur pada spesimen tanpa menggunakan urutan las	49
Tabel 4. 18 Distorsi pengelasan yang terukur pada spesimen dengan menggunakan urutan las.....	50
Tabel 4. 19 Hasil Distorsi Lasan dengan Masukan panas.....	53
Tabel 4. 20 Standar ukuran grain menurut ASTM E112	62



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Industri Kereta Api (Persero) atau PT INKA (Persero) merupakan salah satu badan usaha milik negara (BUMN) yang bergerak dibidang industri manufaktur dengan produk utamanya adalah kereta api. Selain kereta api, PT INKA (Persero) melakukan diversifikasi produknya dengan memproduksi bus elektrik E-Inobus. Proyek ini merupakan pengembangan dari Inobus yang sudah diproduksi pada tahun 2011. salah satu bagian bus yang diproduksi oleh PT INKA(Persero) adalah chasis, salah satu bagian chasis pada E-Inobus adalah *sheeting roof* yang merupakan bagian penutup dari bus tersebut. Karena digunakan sebagai penutup dan tempat penopang beberapa komponen maka diperlukans ebuah material yang kokoh dan mampu menahan beban terjadinya perubahan secara plastis

Untuk menunjang kebutuhan tersebut, PT INKA (Persero) menggunakan material baja SS400 pada bagian chasis E-Inobus. Baja SS400 merupakan jenis baja karbon rendah. Baja jenis ini memiliki sifat keuletan yang baik dan kekuatan yang cukup tangguh [1]. Baja SS400 juga dapat diproses menggunakan metode pengelasan apapun salah satunya adalah pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*). Dalam kegiatan pengelasan ini sumber panas akan selalu bergerak dan mengakibatkan perbedaan distribusi suhu pada permukaan kontak kedua logam, hal ini mengakibatkan terjadinya pemuaihan dan penyusutan yang tidak merata sehingga terjadilah deformasi bentuk dan ukuran pada logam yang dilas [2]. Selain itu, pengelasan juga dapat menimbulkan efek merugikan lainnya, diantaranya: perubahan struktur dari material yang dilas, kekuatan mekanis material menurun, serta terakumulasinya tegangan sisa pada daerah lasan. Faktor yang memiliki pengaruh terhadap kualitas las dimulai dari perencanaan las, persiapan pengelasan dan prosedur pengelasan.[2]

Dalam perencanaan las, salah satu parameter yang dapat diatur adalah masukan panas (*heat input*), dimana masukan panas ini dilakukan dengan mengatur tegangan dan arus pengelasan, atau mengatur kecepatan pengelasan. Masukan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

panas yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya distorsi yang dapat berupa distorsi bentuk, ukuran, dan sudut [2]. Hal ini disebabkan karena masukan panas yang tinggi akan menimbulkan tegangan thermal yang tidak merata semakin besar sehingga regangan ini berakibat pada distorsi pada benda yang tidak ditahan pada bagian ujungnya [3]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Reehan et. al., Masukan panas pada pengelasan juga memiliki pengaruh terhadap laju pendinginan las, yang mengakibatkan pada perubahan mikrostruktur las. Berdasarkan simulasi FEM, pengaturan masukan panas mampu meminimalisir distorsi las pada pelat tipis dengan mengatur parameter las yaitu arus busur, tegangan busur dan kecepatan pengelasan [4]. Kemudian menurut Wibowo et. al., pada penelitiannya membuktikan bahwa semakin kecil besar masukan panas pada proses pengelasan, maka distorsi pada arah transversal maupun longitudinal dapat diperkecil [3]. Sedangkan menurut Hasrin et. al., masukan panas yang semakin besar dapat meningkatkan kekuatan tarik dari hasil lasan tersebut namun nilai kekerasan akan menurun serta distorsi yang timbul menjadi semakin besar [5].

Selain masukan panas dalam perencanaan las, penggunaan urutan las (*welding sequence*) memiliki pengaruh terhadap besar distorsi yang terjadi selama dan sesudah pengelasan. Dengan melakukan modifikasi terhadap penggunaan urutan las maka penguraian tegangan thermal, distribusi panas dan besar distorsi dapat dimitigasi dengan baik [6]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fu et. al, urutan las memengaruhi besar dan bentuk distorsi yang terjadi pada pelat lasan dengan sambungan *butt joint*. Hal ini dibuktikan dengan melakukan analisis secara FEM untuk mendeteksi bagaimana urutan las memengaruhi perubahan bentuk dan struktur selama pengelasan, pengelasan dilakukan dengan 9 macam urutan las dan didapatkan hasil bahwa urutan las secara signifikan memberikan dampak terhadap perubahan pelat secara longitudinal serta mampu merubah besar tegangan yang terjadi secara transversal pada pelat lasan [6]. Selanjutnya oleh Bai-Qiao Chen et.al. membuktikan bahwa penggunaan urutan las mampu mendistribusikan panas yang terjadi selama pengelasan dengan baik dibandingkan dengan pengelasan yang hanya dilakukan sekali jalan (*one pass*) [7]. Dan oleh Subarmono et. al. pada penelitiannya memberikan kesimpulan bahwa distorsi akan timbul pada pengelasan

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

yang pada proses pengelasannya tidak ada variasi Gerakan. Sedangkan dengan menggunakan urutan las secara berlawanan dan secara bertahap, maka distorsi yang timbul semakin kecil [8].

Distorsi yang timbul pada pengelasan sangat merugikan karena menghasilkan ukuran dan bentuk yang tidak sesuai dengan desain awal serta biaya perbaikan yang besar. Seperti yang dicontohkan pada proses produksi sebuah gerbong kereta api di PT Industri Kereta Api (Persero), gerbong kereta yang mengalami distorsi saat proses pengelasan membuat proses produksi semakin panjang dan sumber daya yang digunakan semakin banyak karena dilakukan kegiatan *reforming*. Proses *reforming* pada PT Industri Kereta Api (Persero) dijelaskan pada Tabel 1.1 berikut:

Tabel 1. 1 Tabel waktu prosuksi rata-rata sebuah produk di PT Industri Kereta Api (Persero)

No.	Tahap	Kegiatan	Lama proses	jumlah Personel
1	Fabrikasi	<i>Steel Work</i>	1 Shift	1 orang
2		Minor Assembly	1 Shift	2 orang
3		Minor Reforming	1 Shift	4 orang
4		Sub-Assembly	2 Shift	4 orang
5		Reforming	2 Shift	4 orang
6	Finishing	Carbody Assembly	2 Shift	4-6 orang
7		Blasting	1 Shift	3 orang
8		Painting	1 Shift (Hold time ≈1 minggu)	2 orang
9		Equipment Fitting	5 hari	10 orang
10		Testing (Trial Test)	(Tentative)	(Tentative)
Total Waktu Produksi (1 Produk)			≈ 10-14 hari	≈ 36 personel

Berdasarkan Tabel 1.1 diatas, kegiatan *reforming* menggunakan sekitar 15% total waktu produksi serta 22.2% tenaga kerja yang dibutuhkan dari keseluruhan proses produksi sebuah produk. Jumlah tenaga kerja yang dicantumkan pada Tabel diatas belum termasuk staff divisi QC yang melakukan inspeksi produk



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada penelitian terdahulu, banyak berfokus pada penerapan masukan panas dan Urutan las untuk memperbaiki kekuatan dari hasil las, penguraian tegangan thermal las, namun belum membahas secara keseluruhan korelasi antara penggunaan masukan panas dan urutan las terhadap besar distorsi, siklus thermal yang terjadi dan perubahan mikrostruktur yang terjadi pada pelat las. Berdasarkan uraian masalah tersebut maka penulis tertarik untuk mengangkat permasalahan tersebut menjadi penelitian untuk tugas akhir dengan judul “*Pengaruh Masukan panas dan Urutan las Pada Pengelasan GMAW Baja SS400 Untuk mengurangi Distorsi Studi Kasus Sheeting Roof E-Inobus*” dengan membahas pengaruh masukan panas dan urutan las pada baja SS400 tebal 6 mm untuk meminimalisir besar distorsi las dan pengaruhnya terhadap perubahan mikrostruktur hasil lasannya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas maka didapatkan rumusan masalah dengan penjabaran sebagai berikut:

- a. Bagaimana masukan panas memengaruhi besar nilai deformasi pada sambungan baja SS400 pengelasan GMAW dapat diperkecil?
- b. Bagaimana urutan las dapat memengaruhi nilai deformasi pada sambungan baja SS400 pengelasan GMAW?
- c. Bagaimana korelasi antara masukan panas dan urutan las dan dalam mengurangi nilai deformasi sambungan baja SS400?
- d. Bagaimana pengaruh yang ditimbulkan oleh masukan panas dalam perubahan mikrostruktur pada sambungan baja SS400 pengelasan GMAW?

1.3 Tujuan Penilitan

Dengan rumusan masalah diatas maka tujuan dari penilitan ini adalah sebagai berikut:

- a. Menganalisis pengaruh yang ditimbulkan dari perbedaan masukan panas terhadap besar distorsi yang terjadi pada pengelasan GMAW sambungan baja SS400.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- b. Menganalisis pengaruh yang ditimbulkan dari penggunaan urutan las terhadap besar distorsi yang timbul pada pengelasan GMAW sambungan baja SS400.
- c. Mengukur serta mengidentifikasi korelasi antara urutan las dan masukan panas dalam memengaruhi nilai distorsi Pengelasan GMAW sambungan baja SS400.
- d. Mengidentifikasi perubahan struktur pada baja SS400 hasil pengelasan GMAW akibat pengaruh dari perubahan masukan panas.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan memberikan perlakuan awal yang berbeda-beda pada benda kerja yang akan dilas, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- a. Dapat membantu dunia industri terutama PT Industri Kereta Api (Persero) untuk menentukan perlakuan awal yang baik pada benda kerja untuk mengurangi besar deformasi pada proses pengelasan GMAW
- b. Sebagai bahan referensi untuk penelitian yang memiliki topik sejenis dalam rangka pengembangan ilmu pengetahuan teknologi permesinan di Indonesia
- c. Menambah wawasan terkait subjek teknologi manufaktur bagi mahasiswa dan khalayak umum

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat batasan masalah yang akan diteliti, hal ini bertujuan agar penelitian memiliki arah yang jelas dan tidak terlalu luas. Batasan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Material Menggunakan pelat baja karobn rendah SS400
- b. Pengelasan yang digunakan adalah jenis las GMAW
- c. Pengelasan menggunakan tegangan dengan batasan 22 Volt dan arus 150A
- d. Jenis Sambungan yang digunakan pada spesimen adalah *Butt Joint* dengan kampuh Square dan dengan ketebalan pelat 6 mm
- e. Masukan panas didapatkan dengan memodifikasi kecepatan pengelasan pada kecepatan 3 mm/s, 3.5 mm/s dan 4 mm/s



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- f. Metode urutan las yang digunakan adalah *Stepping Stone Mtehod*
- g. Pengujian yang dilakukan pada benda kerja yaitu pengamatan struktur makro dan mikro pada daerah kampuh las (*weld pool*), HAZ, dan logam induk (*weld base*)

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi dimana penelitian ini akan dilakukan adalah pada Workshop Teknik Mesin Gedung M, laboratorium CMPFA Fakultas Teknik Universitas Indonesia, (UI) dan PT. Industri Kereta Api (Persero) yang terletak di Kota Madiun, Jawa Timur,

1.7 Luaran Penelitian

Hasil (*Output*) yang diharapkan dari penelitian ini yaitu dapat digunakan oleh pada perusahaan sebagai bahan masukan dalam melaksanakan kegiatan produksi khususnya pada sector pengelasan. Kemudian laporan dari penelitian ini juga akan diterbitkan pada prosiding nasional jurusan Teknik mesin yang terakreditasi serta akan diberikan

1.8 Sistematika Penulisan Skripsi

Berikut ini merupakan penjelasan terkait sistematika penulisan laporan skripsi yang dibagi menjadi 3 bagian, penjabaran ketiga bagian tersebut adalah sebagai berikut:

a. Bagian Pembuka

Terdiri atas halaman sampul, halaman judul, halaman persetujuan, halaman pengesahan, halaman pernyataan orisinalitas, abstrak yang terdiri dari dalam bahasa indonesia dan bahasa inggris, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, daftar Tabel, dan daftar lampiran.

b. Bagian Utama

Bagian ini merupakan intisari yang memuat pembahasan dari laporan skripsi yang terdiri dari 5 BAB yaitu :



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. BAB I (Pendahuluan)

Pembahasan mengenai mengenai latar belakang dilakukannya penelitian, rumusan permasalahan, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan skripsi.

2. BAB II (Tinjauan Pustaka)

berisi pemaparan landasan teori maupun kajian literatur dan kajian pembandingan yang bersumber dari buku, *e-book*, katalog, dan sumber lainnya yang mendukung proses pembuatan laporan skripsi.

3. BAB III (Metodologi Penelitian)

berisi diagram alir penelitian yang membahas metode pelaksanaan serta penyelesaian masalah selama proses penelitian.

4. BAB IV (Hasil Analisis dan Pembahasan)

Kemudian Bab ini berisikan tentang hasil analisis yang terjadi dilapangan dan membahas hasil analisis secara teoritik dari hasil analisis dan penelitian yang dilakukan.

5. BAB V (Kesimpulan dan Saran)

Bab ini berisikan pemaparan kesimpulan dari hasil analisis penelitian serta saran yang berkaitan dengan kegiatan pembuatan skripsi.

c. Bagian Akhir Laporan

Bagian akhir laporan skripsi yaitu terdiri dari, daftar pustaka dan lampiran

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil pengelasan dan dengan beberapa pengujian dijelaskan pada paragraf dibawah ini:

1. Masukan panas memiliki pengaruh yang signifikan terhadap besar distorsi pengelasan. Masukan panas pada penelitian ini didapat dari melakukan variasi kecepatan pengelasan pada tiap spesimen. Semakin besar masukan panas maka distorsi yang terjadi akan semakin besar.
2. Penggunaan urutan las yang berulang pada satu kampuh pada pengelasan dapat meningkatkan distorsi yang terjadi setelah pengelasan dilakukan. Hal ini karena banyaknya pass yang dilakukan pada satu kampuh menimbulkan penumpukan tegangan thermal pada pengelasan sehingga proses pemanasan dan pendinginan di daerah kampuh las tidak stabil [6], [8]
3. Secara statistik, paramater urutan las dan masukan panas memiliki pengaruh sebesar 80.4% dalam menurunkan besar distorsi yang terjadi. Sementara sisanya sebesar 19.6 % adalah pengaruh oleh variable inteveren yang tidak diperhitungkan dalam penelitian ini.
4. Masukan panas yang semakin besar dapat memengaruhi besar pertumbuhan butir, semakin tinggi masukan panas yang digunakan maka bentuk butir pada mikrostruktur akan semakin besar. Perbedaan masukan panas akibat kecepatan pengelasan 3 mm/s memiliki peningkatan ukuran butir sebesar 68.16% dibandingkan dengan masukan panas yang diperoleh pada kecepatan las 4 mm/s.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5.2. Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan uji mekanik seperti uji tarik, uji dampak dan uji difraksi untuk mengukur tegangan sisa agar korelasi antara kemampuan mekanis dan distorsi yang terjadi dapat lebih valid.
2. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya proses pengelasan diganti menggunakan mesin las otomatis, hal ini bertujuan untuk meminimalisir variabel pengganggu diluar variabel yang terukur agar hasil yang diperoleh minim dari error.
3. Kepada perusahaan agar besar distorsi yang terjadi perlu diukur dan direkam datanya sehingga bila ada studi atau penelitian yang dilakukan dapat memberikan gambaran yang tepat terhadap bagaimana distorsi tersebut terjadi dan besar pengaruh yang diberikan untuk mengatasi distorsi tersebut.



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Japan Industrial Standard, “JIS G 3101,” 2015
- [2] Wiryosumarto Harsono and Okumura Toshie, “Teknologi Pengelasan Logam,” 2000.
- [3] H. Wibowo, M. Noer Ilman, and P. Iswanto, “Analisa Heat Input Pengelasan terhadap Distorsi, Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanis Baja A36,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 5–12, 2016.
- [4] K. Azam, A. Khan, and F. Shah, “Welding distortion control in thin metal plates by altering heat input through weld parameters,” *Technical Journal, UET Taxila, Pakistan*, vol. 20, no. 1, 2015.
- [5] H. Lubis, “PENGARUH HEAT INPUT PROSES PENGELASAN PADA PELAT BAJA ST37 TERHADAP KEKUATAN TARIK LAS SMAW DENGAN MENGGUNAKAN ELEKTRODA E7018”.
- [6] G. Fu, M. I. Lourenço, M. Duan, and S. F. Estefen, “Influence of the welding sequence on residual stress and distortion of fillet welded structures,” *Marine Structures*, vol. 46, pp. 30–55, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.marstruc.2015.12.001.
- [7] B. Q. Chen and C. Guedes Soares, “Effect of welding sequence on temperature distribution, distortions, and residual stress on stiffened plates,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 86, no. 9–12, pp. 3145–3156, Oct. 2016, doi: 10.1007/s00170-016-8448-0.
- [8] Subarmono, R. Sriwijaya, B. N. Ghupta, and D. K. Yunanto, “Pengaruh Urutan Las Terhadap Deformasi Las Pada Pengelasan Chassis MOLINA UGM,” *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV*, pp. 826–829, Oct. 2016.
- [9] J. C. F. Jorge *et al.*, “Influence of welding procedure and PWHT on HSLA steel weld metals,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 561–571, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.jmrt.2018.05.007.
- [10] A. S. Baskoro, R. Hidayat, A. Widianto, M. A. Amat, and D. U. Putra, “Optimization of gas metal arc welding (Gmaw) parameters for minimum distortion of t welded joints of a36 mild steel by taguchi method,” in *Materials Science Forum*, 2020, vol. 1000 MSF, pp. 356–363. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1000.356.
- [11] D. Gery, H. Long, and P. Maropoulos, “Effects of welding speed, energy input and heat source distribution on temperature variations in



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- butt joint welding,” *J Mater Process Technol*, vol. 167, no. 2–3, pp. 393–401, Aug. 2005, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.06.018.
- [12] S. Kou, “WELDING METALLURGY SECOND EDITION.”
 - [13] American Welding Society, “Welding Handbook_ Welding Technology VOLUME 1 8th edition,” 1998.
 - [14] American Welding Society, *metals handbook materials characterization*, 10th ed.
 - [15] K. Azam, A. Khan, and F. Shah, “Welding distortion control in thin metal plates by altering heat input through weld parameters.”
 - [16] American Standard for Testing Material, “Standard Test Methods for Determining Average Grain Size 1.” doi: 10.1520/E0112-10.
 - [17] Y. Shigeaki, “The ABC’s of Arc Welding and Inspection,” 2015.
 - [18] R. Priyastama, *The Book of SPSS pengolahan & Analisis Data*. Yogyakarta: Start Up, 2020.
 - [19] I. Ghazali, *Analisis multivariate lanjutan dengan program SPSS*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro, 2009.
 - [20] G. G. Roussas, *An Introduction to Probability and Statistical Inference*, 2nd ed. 2015.
 - [21] Sudjana, *Metoda Statistika*, vol. 4. Bandung: Tarsito, 2004.
 - [22] Sugiyono, *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta, 2007.
 - [23] Wahyuddin, *Pengolahan data dengan program statistical package for the social sciences (SPSS) Versi 21*, 1st ed. Makassar: Universitas Makassar. Lembaga Perpustakaan dan Penerbitan, 2015.
 - [24] Ronald E. Walpole, Raymond H. Myers, Sharon L. Myers, and Keying E. Ye, *Probability and Statistics for Engineers and Scientists (9th Edition) -Prentice Hall (2011)*. 2011.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran

Lampiran 1 – Tabel distribusi nilai r_{Tabel} (product moment) signifikansi 5% & 1% [21]

N	The Level of Significance		N	The Level of Significance	
	5%	1%		5%	1%
3	0.997	0.999	38	0.320	0.413
4	0.950	0.990	39	0.316	0.408
5	0.878	0.959	40	0.312	0.403
6	0.811	0.917	41	0.308	0.398
7	0.754	0.874	42	0.304	0.393
8	0.707	0.834	43	0.301	0.389
9	0.666	0.798	44	0.297	0.384
10	0.632	0.765	45	0.294	0.380
11	0.602	0.735	46	0.291	0.376
12	0.576	0.708	47	0.288	0.372
13	0.553	0.684	48	0.284	0.368
14	0.532	0.661	49	0.281	0.364
15	0.514	0.641	50	0.279	0.361
16	0.497	0.623	55	0.266	0.345
17	0.482	0.606	60	0.254	0.330
18	0.468	0.590	65	0.244	0.317
19	0.456	0.575	70	0.235	0.306
20	0.444	0.561	75	0.227	0.296
21	0.433	0.549	80	0.220	0.286
22	0.432	0.537	85	0.213	0.278
23	0.413	0.526	90	0.207	0.267
24	0.404	0.515	95	0.202	0.263
25	0.396	0.505	100	0.195	0.256
26	0.388	0.496	125	0.176	0.230
27	0.381	0.487	150	0.159	0.210
28	0.374	0.478	175	0.148	0.194
29	0.367	0.470	200	0.138	0.181
30	0.361	0.463	300	0.113	0.148
31	0.355	0.456	400	0.098	0.128
32	0.349	0.449	500	0.088	0.115
33	0.344	0.442	600	0.080	0.105
34	0.339	0.436	700	0.074	0.097
35	0.334	0.430	800	0.070	0.091
36	0.329	0.424	900	0.065	0.086
37	0.325	0.418	1000	0.062	0.081



Lampiran 2- Tabel Distribusi nilai F_{Tabel} dengan besar signifikansi 0.05 (95%)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246
2	18,5	19,0	19,2	19,2	19,3	19,3	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4
3	10,1	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51
8	5,32	4,46	4,07	3,84	4,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62
13	4,67	3,81	3,41	3,13	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	6,59	2,54	2,48	2,40
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,18
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,15
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,13
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,11
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,09
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,01
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92
45	4,06	3,20	2,81	2,58	2,42	2,31	2,22	2,15	2,10	2,05	1,97	1,89
46	4,05	3,20	2,81	2,57	2,42	2,30	2,22	2,15	2,09	2,04	1,97	1,89
47	4,05	3,20	2,80	2,57	2,41	2,30	2,21	2,14	2,09	2,04	1,96	1,88
48	4,04	3,19	2,80	2,57	2,41	2,29	2,21	2,14	2,08	2,03	1,96	1,88
49	4,04	3,19	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,08	2,03	1,96	1,88

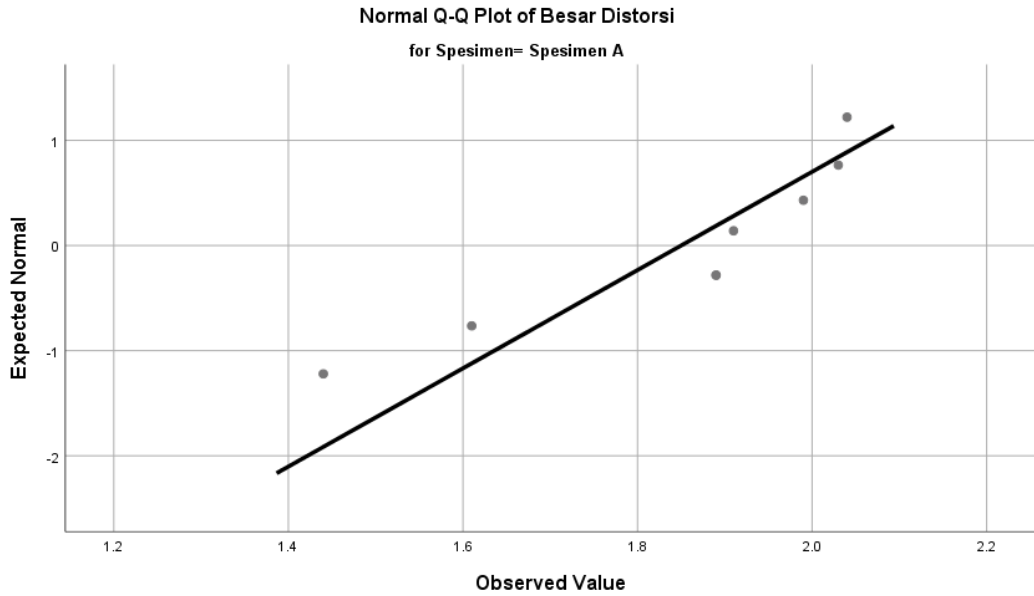
- Hak Cipta :**
- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 - Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

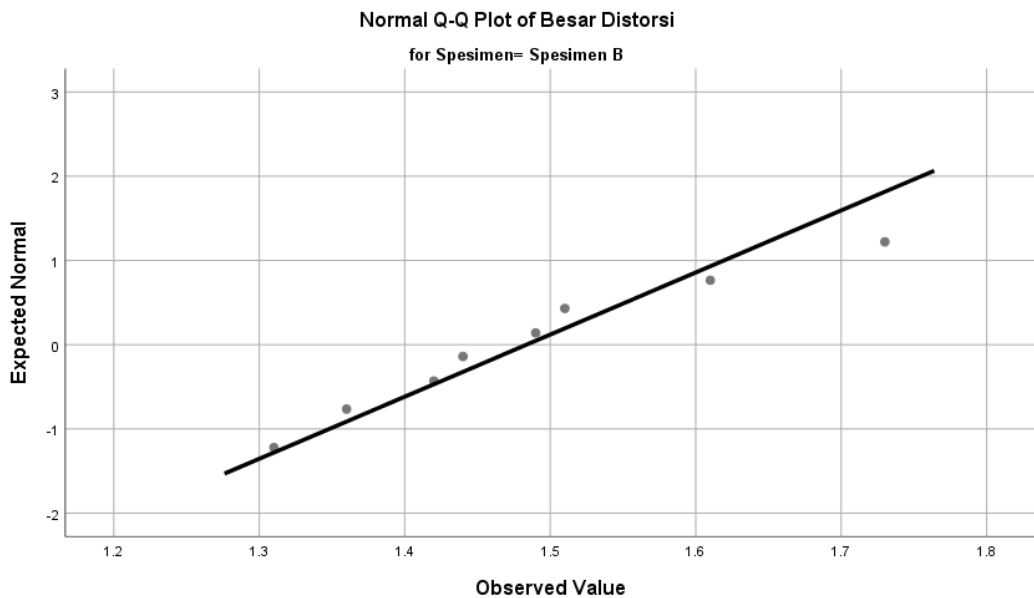
Lampiran 4 – Hasil analisa statistik regresi linier terhadap besar distorsi spesimen

A



Lampiran 5 – Hasil analisa statistik regresi linier terhadap besar distorsi spesimen

B

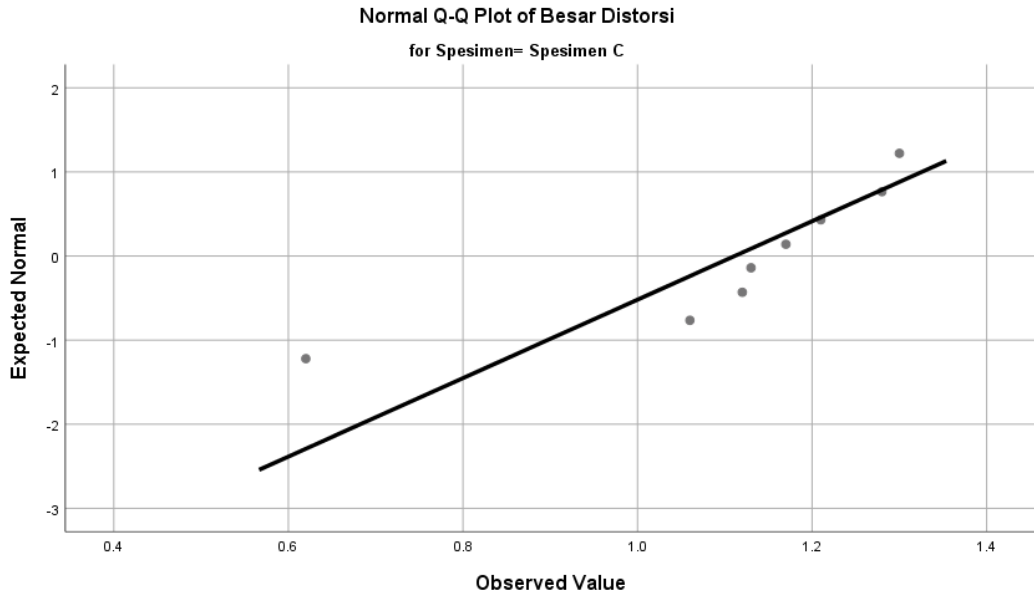


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

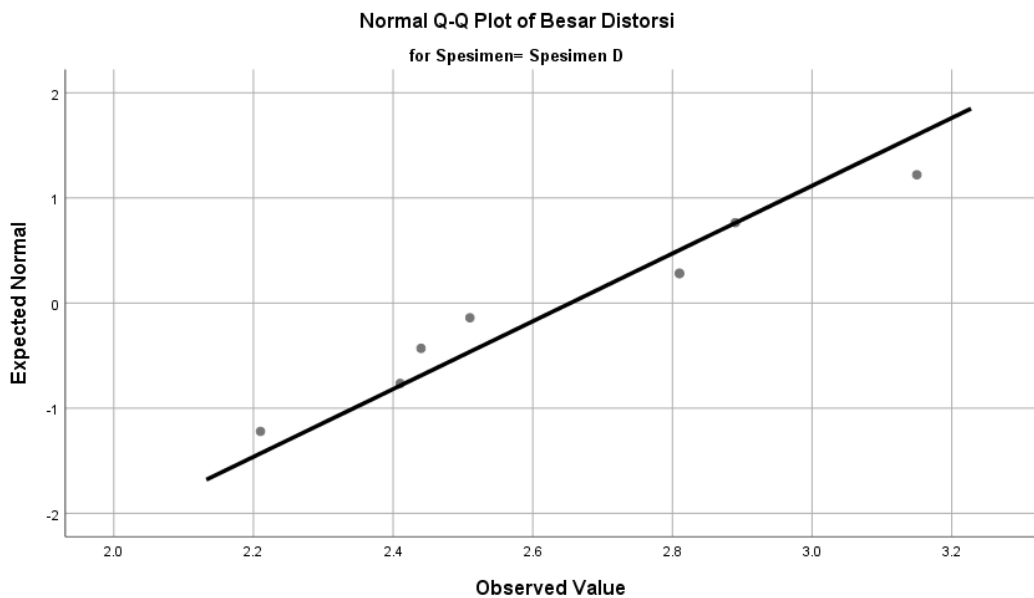
Lampiran 6 – Hasil analisa statistik regresi linier terhadap besar distorsi spesimen

C



Lampiran 7 – Hasil analisa statistik regresi linier terhadap besar distorsi spesimen

D

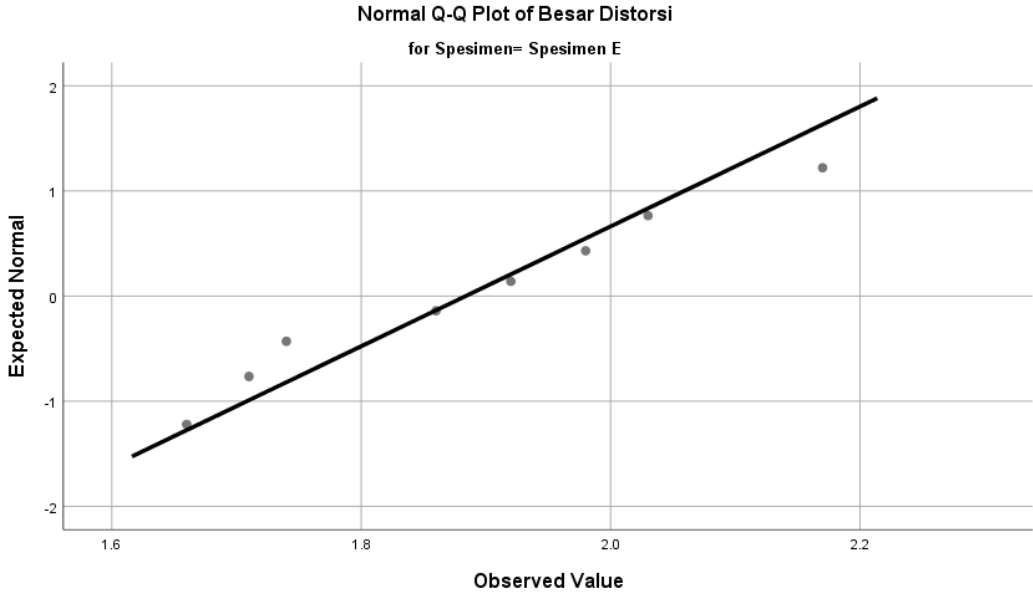


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

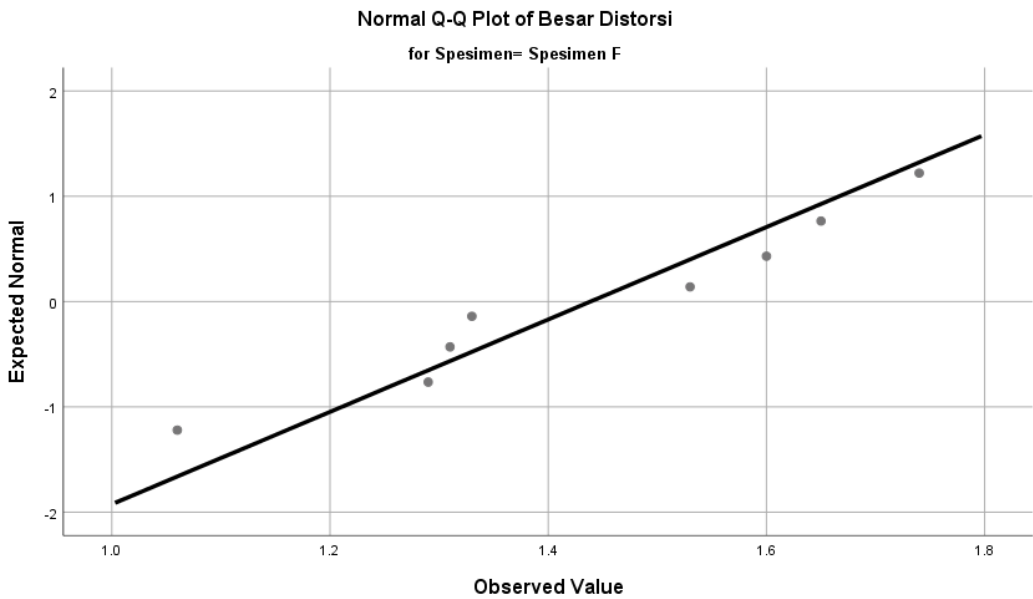
Lampiran 8 – Hasil analisa statistik regresi linier terhadap besar distorsi spesimen

E



Lampiran 9 – Hasil analisa statistik regresi linier terhadap besar distorsi spesimen

F



Lampiran 10 – Proses Pemotongan Benda Kerja (kasar)



Lampiran 11 – Proses Pemotongan Benda Kerja (Presisi)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta