



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERLAKUAN *PREHEAT* DALAM PENGENDALIAN
DISTORSI PADA PENGELASAN *SWING ARM***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**DIMAS MUHAMMAD FAWWAZ
0405040228**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan
semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Dimas Muhammad Fawwaz

NPM : 0405040228

Tanda Tangan :

Tanggal : 17 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Dimas Muhammad Fawwaz
NPM : 0405040228
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Perlakuan *Preheat* dalam Pengendalian Distorsi pada Pengelasan *Swing Arm*.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Muhammad Anis, M.Met ()

Penguji 1 : Dr. Ir. Winarto M.Sc ()

Penguji 2 : Dr. Ir. Donanta Dhaneswara M.Si ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 17 Juli 2009

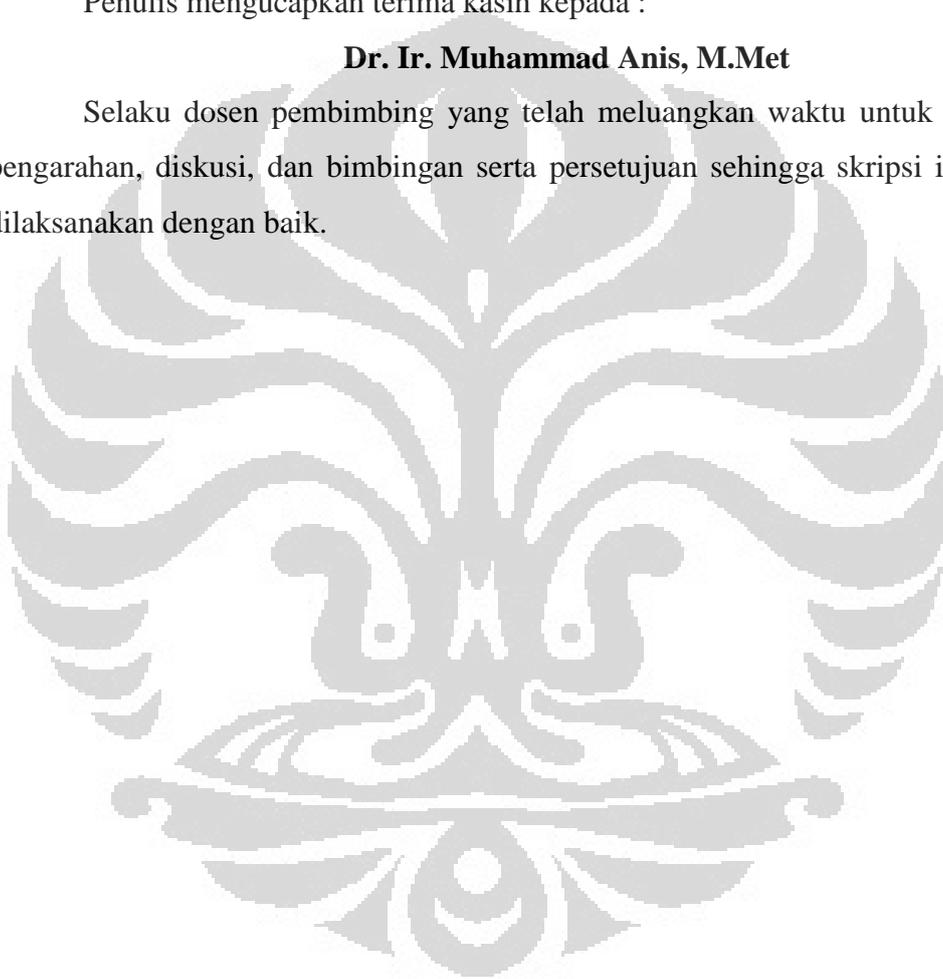
UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillahirabbilalamin. Dengan menyebut nama Allah SWT Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, saya panjatkan puji syukur ke Hadirat-Nya atas semua rahmat-Nya yang diberikan sehingga, saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Perlakuan *Preheat* dalam Pengendalian Distorsi pada Pengelasan *Swing Arm***”.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Dr. Ir. Muhammad Anis, M.Met

Selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk member pengarahan, diskusi, dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat dilaksanakan dengan baik.



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini, :

Nama : Dimas Muhammad Fawwaz
NPM : 0405040228
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Perlakuan *Preheat* dalam Pengendalian Distorsi pada Pengelasan *Swing Arm*”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 17 Juli 2009

Yang menyatakan

(Dimas Muhammad Fawwaz)

v

ABSTRAK

Nama : Dimas Muhammad Fawwaz
Program Studi : Metalurgi dan Material
Judul : Perlakuan *Preheat* dalam Pengendalian Distorsi pada Pengelasan *Swing Arm*.

Distorsi yang terjadi pada proses produksi *swing arm* di perusahaan manufaktur otomotif menyebabkan produktivitas yang kurang maksimal karena diperlukan waktu dan tenaga kerja yang lebih untuk mengkoreksi dari pengaruh distorsi. Skripsi ini berisi tentang penelitian pengaruh pemanasan awal (*preheat*) terhadap pengendalian distorsi pada pengelasan *swing arm* dengan menggunakan proses pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW). Proses pemanasan awal (*preheat*) dilakukan menggunakan mesin las oksidasi - asetilen dengan variabel suhu 90° C dan 125 °C. Sampel material terdiri dari 21 buah dengan 7 buah sampel untuk tiap variabel yang terdiri dari tanpa *preheat*, *preheat* suhu 90° C dan *preheat* 125 °C. Berdasarkan hasil analisa data, penerapan perlakuan pemanasan awal (*preheat*) pada temperatur 125 °C pada pengelasan *swing arm* memberikan nilai distorsi yang lebih kecil dan memiliki nilai distorsi yang lebih konsisten bila dibandingkan dengan *preheat* pada temperatur 90°C dan yang tidak menggunakan *preheat*. Perlakuan pemanasan awal (*preheat*) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besar distorsi atau distorsi dan dapat dijadikan salah satu metode pengendalian distorsi pada pengelasan *swing arm*.

Kata kunci: Distorsi, *preheat*, GMAW, *swing arm*.

ABSTRACT

Name : Dimas Muhammad Fawwaz

Study Program: Metallurgy and Materials

Title : Preheating Treatment in Controlling Distortion on Swing Arm
Welding.

Distortion that occur in production process of swing arm in automotive manufacturing company cause less of productivity because of taking more time and more man power to fixed up distortion effect. On this project consist of research on influence of preheating treatment in controlling distortion on swing arm welding with GMAW process. The process of preheat is done by using oxyacetylene welding machines with variable temperature in 90° C and 125 °C. All of sample consisted of 21 parts with 7 parts for each variable consisting of without preheat, preheat temperature of 90 °C and preheat 125 °C. Based on the results of data analysis, the application of the initial heating treatment (preheat) temperature at 125 °C on swing arm welding has smaller distortion, distortion rate and has a more consistent distortion when compared with preheat treatment on temperature of 90°C and not use the preheat treatment variable. Initial heating treatment (preheat) provides a significant influence on distortion and can be used as a method of controlling the distortion on swing arm welding process.

Keywords : Distortion, preheat, GMAW, swing arm.

DAFTAR ISI

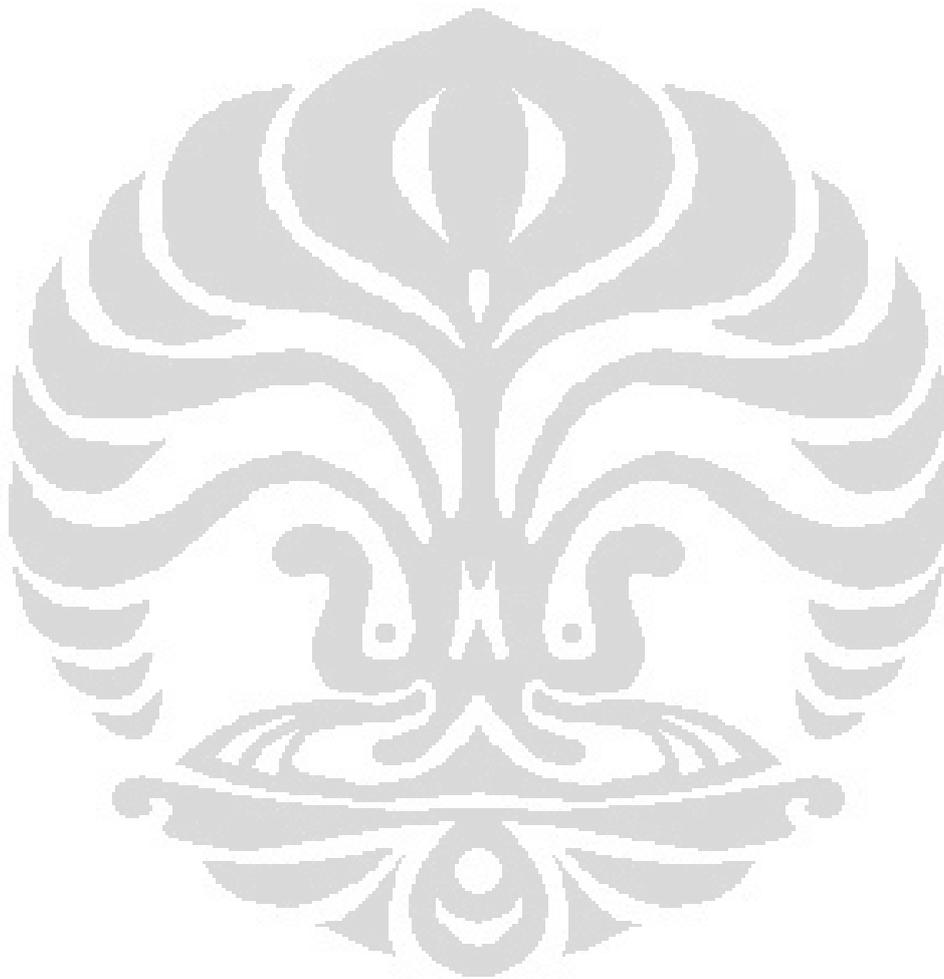
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	
KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penyambungan Logam	5
2.1.1 Proses GMAW	5
2.1.2 Proses Oksi-Asetilena	7
2.2 Distorsi Pada Pengelasan	10
2.2.1 Pengertian	10
2.2.2 Jenis – Jenis Distorsi	11
2.2.3 Pengendalian Distorsi	13
2.3 Pemanasan Awal (<i>Preheating</i>)	16
2.3.1 Pengertian	16
2.3.2 Tujuan <i>Preheating</i>	16

BAB 3 METODE PENELITIAN	19
3.1 Diagram Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan	20
3.2.1 Alat	20
3.2.2 Bahan	20
3.3 Persiapan Sampel	20
3.3.1 Pengukuran Dimensi Awal	20
3.3.2 Perlakuan Pemanasan Awal (<i>Preheating</i>)	21
3.4 Proses Pengelasan Robot (GMAW)	23
3.5 Pengamatan Setelah Pengelasan	25
3.5.1 Pengukuran Dimensi Akhir	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Distorsi <i>Collar</i> Setelah Pengelasan Robot	27
4.1.1 Tanpa Pemanasan Awal (<i>Preheating</i>)	27
4.1.2 Dengan Pemanasan Awal (<i>Preheating</i>) 90°C dan 125°C	30
4.1.3 Perbandingan Antara Dengan <i>Preheat</i> dan Tanpa <i>Preheat</i>	37
4.2 Distorsi <i>End Piece</i> Setelah Pengelasan Robot	39
4.2.1 Tanpa Pemanasan Awal (<i>Preheating</i>)	39
4.2.2 Dengan Pemanasan Awal (<i>Preheating</i>) 90°C dan 125°C	42
4.1.3 Perbandingan Antara Dengan <i>Preheat</i> dan Tanpa <i>Preheat</i>	47
BAB 5 PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	49
REFERENSI	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema pengelasan pada GMAW	5
Gambar 2.2 Metode dasar transfer logam pada proses GMAW	7
Gambar 2.3 Skema peralatan mesin las oksasi asetilen	8
Gambar 2.4 Tipe nyala api pada oksasi asetilen	9
Gambar 2.5 Mekanisme Penyusutan	11
Gambar 2.6 Penyusutan Memanjang	12
Gambar 2.7 Penyusutan Melintang	12
Gambar 2.8 Penyusutan Angular	12
Gambar 2.9 Tipe Distorsi	13
Gambar 2.10 <i>Overweld</i>	14
Gambar 2.11 <i>Intermittent Welding</i>	14
Gambar 2.12 <i>Presetting</i>	15
Gambar 2.13 Macam-macam alat bantu dan alat steel	15
Gambar 2.14 Skema pemanasan awal	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 3.2 <i>Swing arm</i>	21
Gambar 3.3 Temperatur pemanasan awal (<i>preheat</i>)	21
Gambar 3.4 Mesin Las Oksasi Asetilen	22
Gambar 3.5 Proses pemanasan awal	23
Gambar 3.6 Skema proses pengelasan	24
Gambar 3.7 Pengelasan robot (GMAW)	25
Gambar 3.8 Distorsi <i>swing arm</i>	26
Gambar 4.1 Grafik besaran distorsi <i>collar</i> tanpa <i>preheat</i>	28
Gambar 4.2 Grafik besaran distorsi <i>collar</i> tiap waktu tanpa <i>preheat</i>	29
Gambar 4.3 Grafik besaran distorsi <i>collar</i> dengan <i>preheat</i> 90 °C	31
Gambar 4.4 Grafik besaran distorsi <i>collar</i> tiap waktu dengan <i>preheat</i> 90 °C	32
Gambar 4.5 Grafik besaran distorsi <i>collar</i> dengan <i>preheat</i> 125 °C	34
Gambar 4.6 Grafik besaran distorsi <i>collar</i> tiap waktu dengan <i>preheat</i> 125 °C	35
Gambar 4.7 Grafik besaran distorsi tanpa <i>preheat</i> dengan <i>preheat</i> 125°C,90 °C	37
Gambar 4.8 Grafik besaran distorsi <i>end piece</i> tanpa <i>preheat</i>	40

Gambar 4.9 Grafik besaran distorsi <i>end piece</i> tiap waktu tanpa <i>preheat</i>	41
Gambar 4.10 Grafik besaran distorsi <i>end piece</i> dengan <i>preheat</i> 90 °C	43
Gambar 4.11 Grafik besaran distorsi <i>end piece</i> tiap waktu dengan <i>preheat</i> 90 °C	44
Gambar 4.12 Grafik besaran distorsi <i>end piece</i> dengan <i>preheat</i> 125 °C	45
Gambar 4.13 Grafik besaran distorsi <i>end piece</i> tiap waktu dengan <i>preheat</i> 125 °C	46
Gambar 4.14 Grafik besaran distorsi tanpa <i>preheat</i> dengan <i>preheat</i> 125 °C dan 90 °C	48



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Material <i>swing arm</i>	3
Tabel 1.2 Komposisi Material	3
Tabel 2.1 Karakteristik bahan bakar gas dalam pengelasan	8
Tabel 4.1 Data besaran distorsi tanpa <i>preheat</i> (dalam satuan mm)	27
Tabel 4.2 Data besaran distorsi tiap waktu tanpa <i>preheat</i> (dalam satuan mm)	28
Tabel 4.3 Data besaran distorsi dengan <i>preheat</i> 90 °C (dalam satuan mm)	30
Tabel 4.4 Data besaran distorsi tiap waktu dengan <i>preheat</i> 90 °C (dalam mm)	32
Tabel 4.5 Data besaran distorsi dengan <i>preheat</i> 125 °C (dalam satuan mm)	33
Tabel 4.6 Data besaran distorsi tiap waktu dengan <i>preheat</i> 125 °C (dalam mm)	34
Tabel 4.7 Suhu pemanasan awal pada pengelasan baja karbon	36
Tabel 4.8 Data besaran distorsi tanpa <i>preheat</i> dengan <i>preheat</i> (dalam mm)	37
Tabel 4.9 Data besaran distorsi tanpa <i>preheat</i> (dalam mm)	39
Tabel 4.10 Data besaran distorsi tiap waktu tanpa <i>preheat</i> (dalam satuan mm)	40
Tabel 4.11 Data besaran distorsi dengan <i>preheat</i> 90 °C (dalam satuan mm)	42
Tabel 4.12 Data besaran distorsi tiap waktu dengan <i>preheat</i> 90 °C (dalam mm)	43
Tabel 4.13 Data besaran distorsi dengan <i>preheat</i> 125 °C (dalam satuan mm)	44
Tabel 4.14 Data besaran distorsi tiap waktu dengan <i>preheat</i> 125°C (dalam mm)	45
Tabel 4.15 Data besaran distorsi tanpa <i>preheat</i> dengan <i>preheat</i> (dalam satuan mm)	47

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Distorsi merupakan masalah yang sering dijumpai pada proses pengelasan. Distorsi pada pengelasan tidak dapat dihindarkan tetapi distorsi dapat diprediksi dan dapat diminimalisir sehingga hasil dari proses pengelasan dapat maksimal. Pengertian distorsi adalah perubahan bentuk akibat adanya tegangan dalam logam las yaitu tegangan memanjang dan tegangan melintang. Dalam hal ini distorsi atau deformasi ini disebabkan oleh ekspansi (pengembangan) yang tidak merata dari logam las selama periode pemanasan dan pendinginan. Bila logam cair dibiarkan membeku secara bebas maka volume dari logam cair tersebut akan mengalami penyusutan secara bebas.[1]

Distorsi pada pengelasan di dunia industri khususnya manufaktur dapat mengurangi produktivitas yang diakibatkan oleh perbaikan atau koreksi dari hasil pekerjaan pengelasan yang mengalami distorsi. Pada perusahaan manufaktur otomotif khususnya motor, distorsi sering dijumpai pada produk – produk yang mengalami beberapa tahap pengelasan seperti di *frame body* dan pada *swing arm*.

Pengelasan *swing arm* memiliki beberapa tahap diantaranya, tahap pertama adalah pengelasan *uniting pipe*, tahap kedua adalah pengelasan *uniting gusset*, dan tahap yang terakhir adalah pengelasan robot. Semua proses pengelasan menggunakan proses GMAW (Gas Metal Arc Welding). Parameter las yang digunakan adalah arus sebesar 180-220 A, tegangan sebesar 19-24 V dan kecepatan las 120 cm/menit. Kawat las yang digunakan adalah AWS A5.18 ER70S-6 dengan merk kobelco mg51t, 1.2 mm. Std. Untuk gas pelindung digunakan campuran gas Argon dan CO₂ dengan perbandingan 80% Argon dan 20% CO₂.

Jumlah permintaan untuk *swing arm* yang harus diselesaikan dari bagian produksi ke bagian *assembly* per hari berkisar antara 600-800 part. Distorsi yang

terjadi pada proses produksi *swing arm* di perusahaan manufaktur otomotif menyebabkan produktivitas yang kurang maksimal karena diperlukan waktu dan tenaga kerja yang lebih untuk mengoreksi dari pengaruh distorsi.

Distorsi dapat dikurangi dengan berbagai cara salah satunya adalah dengan melakukan pemanasan awal (*preheating*). *Preheating* dipilih karena beberapa alasan antara lain material yang berada dalam kondisi temperatur rendah memungkinkan terjadinya *thermal shock* pada saat pendinginan yang menyebabkan pendinginan yang tidak merata sehingga memperbesar peluang terjadinya penyusutan atau deformasi. Selain itu, proses *preheating* juga dapat diaplikasikan dengan mudah.

Distorsi pada hasil pengelasan *swing arm* di perusahaan manufaktur otomotif memberikan pengaruh ke produktivitas produksi. *Preheating* adalah metode yang dipilih untuk mengurangi distorsi. Karena dilihat dari segi ekonomisnya bila dibandingkan dengan dilakukan *Post Weld Heat Treatment* tidak cukup efisien karena material yang digunakan memiliki kadar karbon yang rendah sehingga memiliki weldability yang baik.

1.2 Tujuan Penelitian

Mengetahui pengaruh dari *preheating* pada proses pengelasan *swing arm* terhadap pengendalian deformasi atau distorsi setelah proses pengelasan.

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Proses *preheating* yang umum dilakukan adalah dengan cara memasukkan material ke dalam dapur dan dipanaskan hingga temperatur yang diinginkan. *Preheating* juga dapat dilakukan dengan memberikan panas langsung ke benda kerja seperti menggunakan api yang dikeluarkan dari mesin las. Pada penelitian ini digunakan alat *preheating* berupa mesin las asetilen yang digunakan untuk memanaskan material *swing arm*.

Jenis material yang digunakan pada produk *swing arm* berbeda-beda untuk tiap bagian – bagiannya. Bagian dari *swing arm* terdiri dari *pipe R*, *pipe L*, *pipe cross*, dan *gusset*.

Jenis material yang digunakan pada *swing arm* dapat dilihat pada **Tabel 1.1.**

Tabel 1.1 Material *swing arm*

Bagian	Material Drawing	Material Aktual
<i>Pipe R</i>	STAM 290 GA	STKM 11 A
<i>Pipe L</i>	STAM 290 GA	STKM 11 A
<i>Pipe Cross</i>	STAM 290 GA	STKM 11 A
<i>Gusset</i>	JSH 270 C	SPHC

Material yang digunakan adalah material aktual yang masuk ke dalam toleransi yang ditentukan perusahaan. Adapun komposisi material dari *swing arm* dapat dilihat pada **Tabel 1.2.**

Tabel 1.2 Komposisi Material

Material	%C Max.	%Si Max.	%Mn Max.	%P Max.	%S Max.	%Ti Max.	Tensile (N/mm ²)	Standar
SPHC	0.15	-	0.6	0.05	0.05	-	270	JIS G 3141-96
JSH 270C	0.15	0.05	0.6	-	-	0.1	270	HESC 051-04
STAM 290 GA	0.12	0.35	0.6	0.035	0.035	-	290	JIS G 3472-88
STKM 11A	0.12	0.35	0.6	0.04	0.04	-	290	JIS G 3445-88

1.4. Batasan Penelitian

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada lingkungan perusahaan manufaktur khususnya otomotif yang memproduksi sepeda motor.
2. Material yang digunakan adalah material aktual yang digunakan sebagai barang produksi dari perusahaan manufaktur.

3. Penelitian fokus pada tahap pengelasan robot.
4. Penelitian fokus terhadap distorsi yang terjadi pada bagian *collar* dan *end piece*.
5. Proses *preheating* yang dilakukan adalah dengan menggunakan mesin las asetilen yang tersedia di lingkungan perusahaan manufaktur.
6. Sistem pengelasan yang dilakukan disesuaikan dengan sistem yang sudah ada tanpa memodifikasi atau merubah parameter dari proses pengelasan.

1.5.1 Sistematika Penulisan

Bab 1 berisi latar belakang, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, batasan penelitian dan metode penulisan. Bab 2 menjelaskan dasar teori mengenai distorsi pada pengelasan, pengaruh *preheating* dan proses pengelasan GMAW. Bab 3 menjelaskan tentang metode penelitian yang mencakup proses preparasi sampel dari material yang diujikan hingga didapatkan kesimpulan dari penelitian. Bab 4 berisi tentang data pengujian dan analisa berdasarkan hasil pengujian Bab 5 berisi mengenai kesimpulan dari penelitian. Referensi dan lampiran dimuat pada halaman-halaman terakhir dalam laporan penelitian ini.

BAB 2

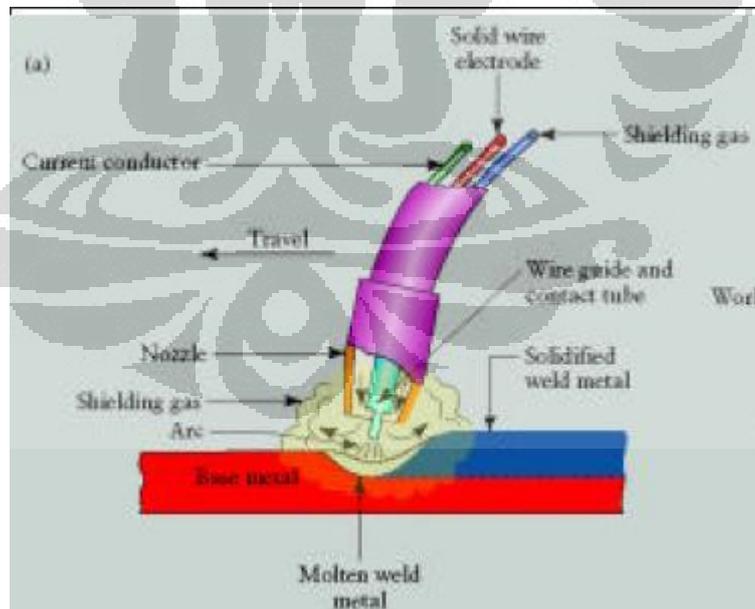
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penyambungan Logam

2.1.1 Proses GMAW

GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) disebut juga las logam mulia. Las busur gas adalah las dimana gas dihembuskan ke daerah las untuk melindungi busur dan logam yang mencair terhadap pengaruh atmosfer. Gas yang digunakan adalah gas helium (He), gas argon (Ar), gas karbondioksida (CO₂) atau campuran dari gas-gas tersebut. [7]

Dalam metode ini, kawat las pengisi juga berfungsi sebagai elektroda yang diumpungkan terus-menerus. Selain itu, busur listrik terjadi antara kawat pengisi dan logam induk. Skema kerja las jenis GMAW dapat dilihat pada **Gambar 2.1**: [8]



Gambar 2.1 Skema pengelasan pada GMAW [8]

Terdapat 4 jenis klasifikasi GMAW berdasarkan penggunaan gas pelindung dan penyalurannya :[9]

1. CO₂ GMAW

Tipe dari GMAW ini menghasilkan kecepatan las yang tinggi dan menggunakan gas karbondioksida sebagai gas pelindung.

2. *Microwire* GMAW

Metode ini digunakan untuk mengelas baja yang memiliki ukuran sangat tipis. Menggunakan gas pelindung yang terdiri dari campuran 25% karbondioksida dan 75% argon.

3. MIG-GMAW

Metode ini yang paling sering digunakan, digunakan gas argon sebagai gas pelindung atau bisa juga dicampur dengan helium.

4. *Spray-Arc* GMAW

Metode ini sering digunakan pada material yang datar dan horizontal. Biasanya digunakan 5% oksigen dengan argon sebagai gas pelindung, hal ini dapat meningkatkan kecepatan las.

Gas argon memberikan perlindungan yang lebih baik dari gas helium, tetapi penembusannya dangkal. Untuk memperdalam penembusannya dapat dilakukan dengan peningkatan kecepatan volume alir gas sehingga tekanan yang didapat meningkat. Tingginya penekanan pada manik las dapat memperbaiki penguatan manik, memperkecil terjadinya rongga-rongga halus pada lasan.[7]

Beberapa alasan memakai gas argon sebagai gas pelindung adalah : [7]

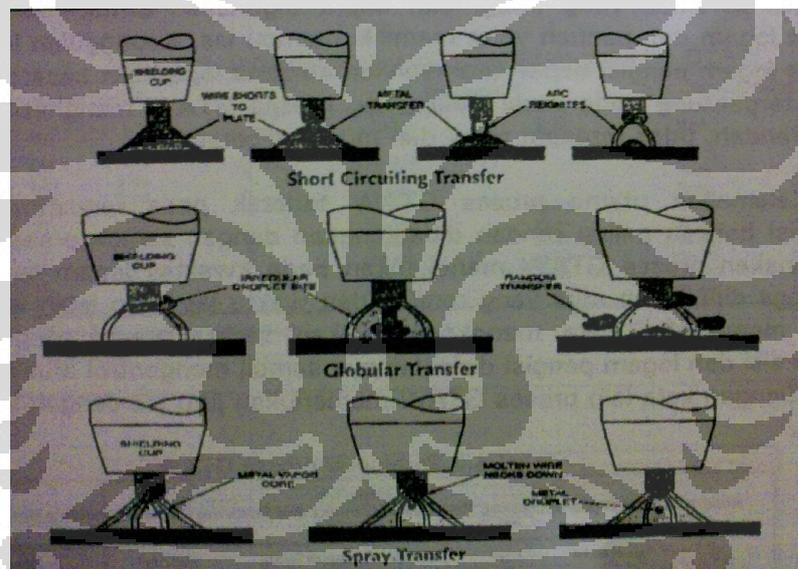
1. Membuat busur listrik lebih stabil dan halus, mengurangi percikan.
2. Argon lebih mudah mengion dari pada helium, karena itu tidak diperlukan tegangan busur yang tinggi.
3. Penghantar panas argon rendah, menyebabkan pengaliran panas melalui busur listrik lambat, oleh karena itu baik untuk metal tipis.

Keuntungan menggunakan las GMAW antara lain : [10]

1. Karena konsentrasi busur yang tinggi, maka busurnya sangat mantap dan percikannya sedikit sehingga memudahkan operasi pengelasan.
2. Karena dapat menggunakan arus yang tinggi, maka kecepatannya juga tinggi, sehingga efisiensinya baik.

Terdapat tiga metoda dasar logam transfer dari elektroda ke benda kerja pada proses GMAW seperti pada **Gambar 2.2** : [12]

1. *Short Circuiting Transfer*
2. *Globular Transfer*
3. *Spray Transfer*

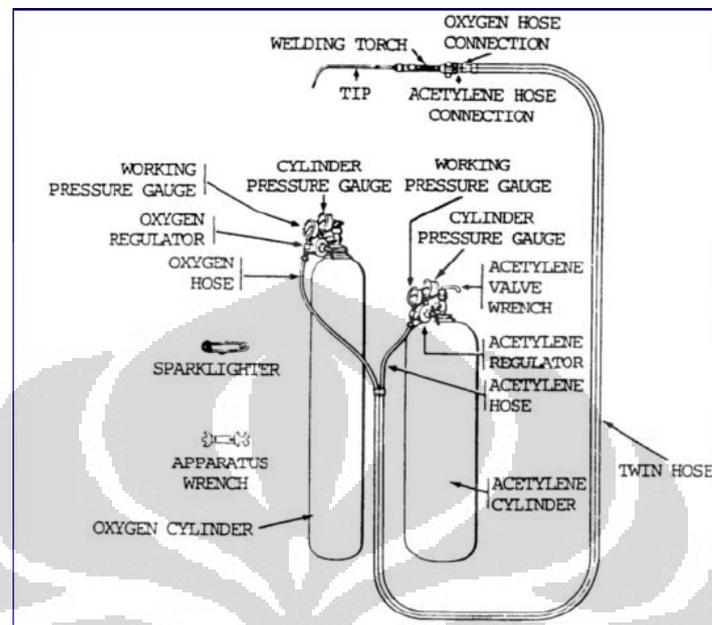


Gambar 2.2 Metode dasar transfer logam pada proses GMAW [12]

2.1.2 Proses Oksi-Asetilena

Pengelasan dengan gas dilakukan dengan membakar bahan bakar gas dengan oksigen sehingga menimbulkan nyala api (*flame*) dengan suhu sekitar 3000°C yang dapat mencairkan logam induk dan logam pengisi. Sebagai contoh adalah las oksi-asetilen dan skema peralatan mesin las oksi-asetilen dapat dilihat pada **Gambar 2.3**. Ciri terpenting dalam nyala api untuk proses pengelasan adalah

temperatur nyala api itu sendiri. Panas dipindahkan dari nyala api ke benda kerja atas dasar konveksi dan radiasi. [12]



Gambar 2.3 Skema peralatan mesin las oksasi asetilen[8]

Adapun karakteristik dari bahan bakar gas dalam pengelasan dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Karakteristik bahan bakar gas dalam pengelasan [8]

Fuel gas	Net CV (Btu/ft ³) (1)	Combustion ratio	Ratio of oxygen to fuel gas used	Flame temp. (°C)	Combustion intensity (total) (Btu/s/ft ²) (2)
Acetylene	1433	2.5	1 to 1	3250	12 700
Propane	2309	5.0	3.25 to 1	3100	5500
Hydrogen	275	0.5	0.5 to 1	2800	7500

Dalam pengelasan oksasi asetilen terdapat berbagai macam nyala api seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.

Terdapat tiga jenis nyala api (*flame*) :[12]

1. Nyala netral



2. Nyala oksidasi



3. Nyala karburisasi



Gambar 2.4 Tipe nyala api pada oksasi asetilen [12]

- Nyala Netral

Nyala api nya berwarna biru. Umumnya digunakan pada pekerjaan pengelasan dan pemotongan. Oksigen yang diperlukan pada nyala ini berasal dari udara. Suhu maksimum yang dapat dicapai adalah 3300 – 3500°C.

- Nyala Oksidasi

Pada nyala ini terdapat oksigen yang berlebih. biasanya digunakan untuk memotong baja, mengelas tembaga, brass, dan bronze.

- Nyala Karburisasi

Nyala apinya berwarna kuning putih atau putih-merah yang menunjukkan kelebihan asetilen. Biasanya digunakan untuk pengelasan logam monel, nikel, berbagai jenis baja dan bermacam-macam bahan pengerasan permukaan nonferrous.

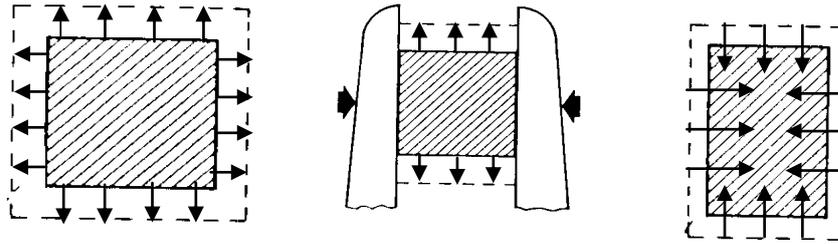
2.2 Distorsi Pada Pengelasan

2.2.1 Pengertian

Distorsi merupakan perubahan bentuk akibat adanya tegangan dalam logam las yaitu tegangan memanjang dan tegangan melintang. Dalam hal ini distorsi ini disebabkan oleh ekspansi (pengembangan) yang tidak merata dari logam las selama periode pemanasan dan pendinginan. Bila logam cair ini dibiarkan membeku secara bebas maka volume dari logam cair tersebut akan mengalami penyusutan secara bebas.[1]

Bila sebuah logam dipanaskan secara merata maka akan terjadi ekspansi atau pengembangan ke segala arah dan setelah terjadi pendinginan maka akan terjadi kontraksi secara merata sampai dimensi semula. Bila suatu batang mendapat tahanan selama dipanaskan maka ekspansi ke arah lateral tidak akan terjadi namun volume ekspansi harus terjadi sehingga batang akan mengalami ekspansi ke arah vertikal. Bila batang tersebut kembali ke temperatur kamar maka kontraksi tetap terjadi ke segala arah secara merata sehingga batang sekarang menjadi berubah bentuk dari bentuk semula.[1]

Ilustrasi mekanisme penyusutan dapat terlihat seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5**



Gambar 2.5 Mekanisme Penyusutan [1]

Secara umum, ada beberapa faktor yang memberikan kesempatan lebih besar untuk terjadinya distorsi, antara lain :[2]

- i. Koefisien ekspansi termal yang tinggi
- ii. *Yield strength* yang tinggi
- iii. Konduktivitas termal yang rendah
- iv. Modulus elastisitas rendah

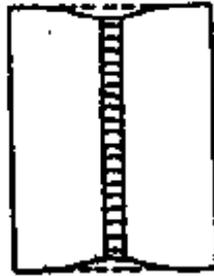
Menurut parameter pengelasan, juga terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya distorsi :[2]

- i. Tipe penyampungan dan preparasi
- ii. Urutan pengelasan
- iii. Prosedur pengelasan
- iv. Pengelasan bersambung atau pengelasan terputus – putus
- v. Jumlah *pass* pengelasan
- vi. Tegangan alami yang terdapat di dalam struktur las
- vii. *Pre- dan post-weld heating*
- viii. Arus, kecepatan las dan jarak busur.

2.2.2 Jenis – Jenis Distorsi

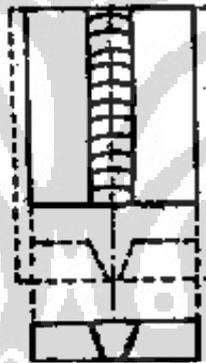
Ada 3 tipe utama distorsi :[2]

- i. Distorsi longitudinal terjadi ketika kontraksi terjadi di sepanjang daerah pengelasan yang menyebabkan kontraksi longitudinal distorsi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Penyusutan Memanjang [3]

- ii. Distorsi transversal atau penyusutan tegak lurus (melintang) dengan bidang pengelasan dan hal tersebut dapat menimbulkan tegangan sisa yang tinggi yang dapat menyebabkan retak. Iustrasi penyusutan melintang dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Penyusutan Melintang[3]

- iii. Distorsi angular yang disebabkan oleh tegangan tekuk yang dihasilkan dari pemanasan dan pendinginan yang tidak merata di sepanjang bidang material yang disambung seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8**.

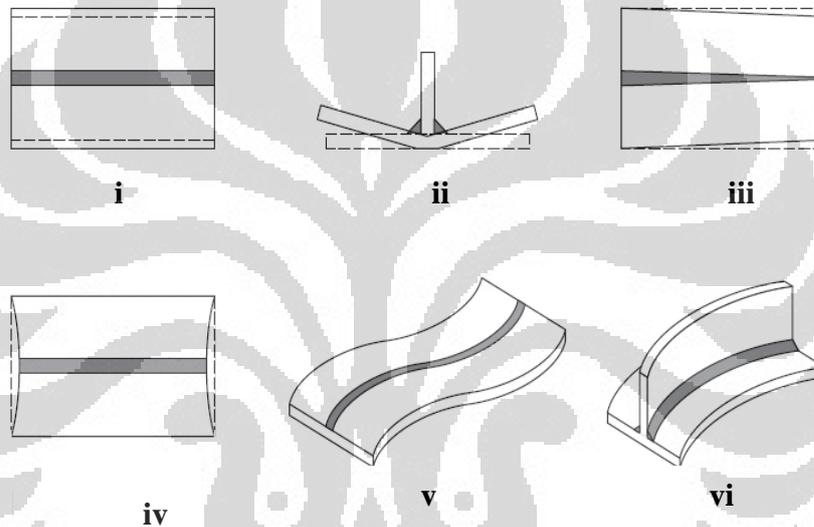


Gambar 2.8 Penyusutan Angular [3]

Masubuchi membagi tipe distorsi menjadi 6 kategori : [4]

- i. Penyusutan transversal
- ii. Distorsi angular
- iii. Distorsi rotasi
- iv. Penyusutan longitudinal
- v. Distorsi *buckling*
- vi. Distorsi tegangan tekuk longitudinal

Adapun ilustrasi dari jenis-jenis distorsi yang disebutkan diatas dapat dilihat pada **Gambar 2.9**



Gambar 2.9 Tipe Distorsi [4]

2.2.3 Pengendalian Distorsi

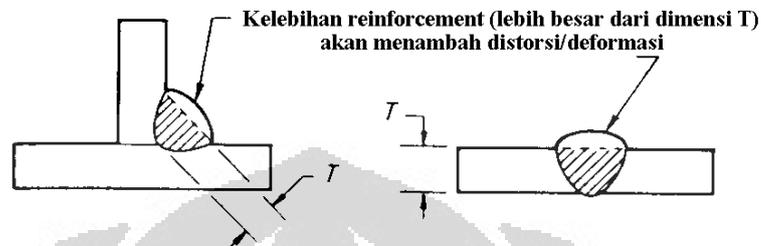
Untuk mengendalikan distorsi dapat digunakan beberapa metode termasuk desain dan selama pengelasan yang menghasilkan siklus pemanasan dan pendinginan. Penyusutan tidak dapat dicegah tetapi dapat dikendalikan. Beberapa cara yang digunakan untuk meminimalisir distorsi adalah :

1. Jangan membuat ukuran yang berlebihan.

Reinforcement yang berlebihan (lebih besar dari T akan menambah terjadinya distorsi/deformasi. Dalam hal ini semakin banyak logam yang

ditambahkan pada sambungan maka akan semakin besar gaya penyusutannya yang terjadi. [5]

Adapun ilustrasi dari *reinforcement* yang berlebihan dapat dilihat pada **Gambar 2.10**.

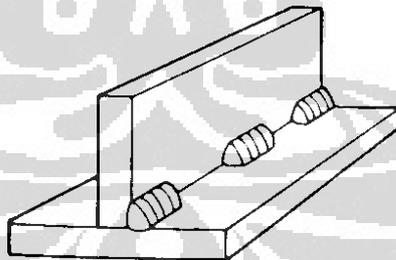


Gambar 2.10 *Overweld* [5]

2. Menggunakan pengelasan melompat.

Metode ini kalau mungkin harus digunakan, akan dapat mengurangi logam las sebanyak 75% dan dapat mengurangi terjadinya distorsi/deformasi. [5]

Ilustrasi *intermittent welding* dapat dilihat pada **Gambar 2.11**.



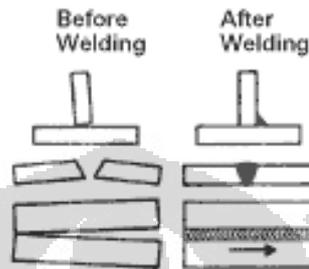
Gambar 2.11 *Intermittent Welding* [5]

3. Melakukan *Presetting*

Dengan memanfaatkan posisi material yang dilas sebelum distorsi terjadi. Teknik ini merupakan teknik yang ditentukan dengan melakukan beberapa percobaan untuk mengetahui arah distorsi.

Menggunakan gaya mekanik yang berlawanan dengan arah distorsi pada saat dilakukan pengelasan sehingga hasil akhir sesuai dengan posisi yang diinginkan. [5]

Contoh ilustrasi dari penggunaan *presetting* dapat dilihat pada **Gambar 2.12**.

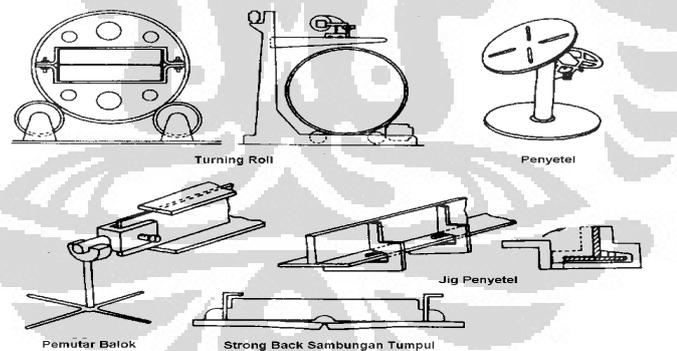


Gambar 2.12 Presetting[5]

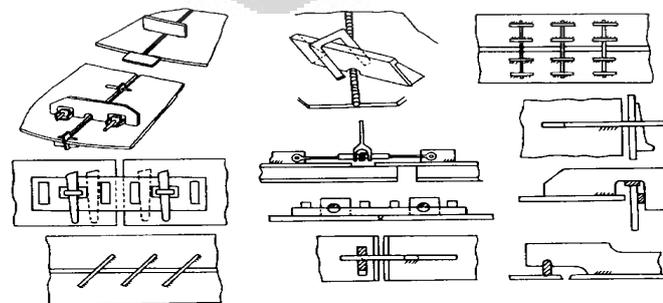
4. Menggunakan Jig

Berfungsi sebagai penahan arah distorsi pada saat pengelasan. Dengan penahan diharapkan distorsi yang dihasilkan dapat dikendalikan sehingga produk akhir hasil pengelasan masih sesuai dengan yang diinginkan. [5]

Ilustrasi macam-macam alat bantu dapat dilihat pada **Gambar 2.13**.



Gambar macam-macam alat bantu



Gambar macam-macam alat steel

Gambar 2.13 Macam-macam alat bantu dan alat steel [4]

5. Melakukan Pemanasan

Dalam situasi kondisi tertentu, pemanasan dilakukan bukan bertujuan untuk memperbaiki distorsi tetapi untuk mencegah terjadinya distorsi berlebihan pada produk akhir setelah dilakukan pengelasan. Pemanasan dilakukan untuk memperkecil selisih temperatur antara material induk dan daerah las sehingga didapatkan pendinginan yang merata. [5]

2.3 Pemanasan Awal (*Preheating*)

2.3.1 Pengertian

Preheating dalam AWS Standard didefinisikan sebagai “panas yang diberikan kepada material induk atau substrat untuk mencapai atau menjaga pada temperatur pemanasan”. Temperatur *preheat* didefinisikan sebagai “temperatur dari material induk yang besarnya disekitar temperatur las sebelum dilakukan pengelasan”. [6]

2.3.2 Tujuan *Preheating*

Ketika dilakukan pengelasan pada material dan pada saat kondisi tertentu, *preheating* atau *post weld heat treatment* (PWHT) terkadang diperlukan. Beberapa tipe perlakuan panas ini pada umumnya dibutuhkan pada saat memastikan kesatuan pengelasan dan juga dapat untuk mencegah atau menghilangkan sifat-sifat yang tidak diinginkan pada saat selesai dilakukan pengelasan. Segala bentuk dari perlakuan panas pasti berdampak pada biaya, seperti perlengkapan ekstra, waktu, dan penanganan yang lebih. Untuk beberapa alasan tersebut, maka perlakuan panas harus dipertimbangkan secara seksama apakah menguntungkan atau tidak. Pada kasus tertentu, perlakuan panas menjadi suatu hal yang wajib dan harus dilakukan karena alasan tertentu. [6]

Preheating dapat dilakukan dengan menggunakan gas *burners*, *oxy-gas flames*, *electric blankets*, pemanasan induksi, atau *dengan dipanaskan di dapur*. Untuk hasil yang bagus sangat penting untuk memanaskan secara merata di daerah sekitar yang akan dilakukan pengelasan. Ketika pemanasan yang tidak

merata, maka pendinginan yang lambat akan dapat memberikan dampak tegangan sisa, distorsi, atau perubahan secara metalurgi lainnya yang tidak diinginkan. [6]

Ketika melakukan preheating, seluruh permukaan sambungan yang akan dilas dipastikan diberikan panas merata ke seluruh ketebalan material sampai ke temperature yang diinginkan. Untuk mendapatkan temperature yang merata ke semua ketebalan material adalah dengan mengarahkan sumber panas ke salah satu bagian material dan mengukur temperature yang terjadi di bagian lainnya yang berlawanan. [6]

Pada aplikasi khusus, temperature preheat harus dikontrol secara tepat. Dalam situasi ini dapat dikontrol dengan menggunakan alat seperti thermocouple sebagai indikator dari temperature. [6]

Beberapa Alasan dilakukannya *preheating*:

- a) Untuk menghilangkan air dari daerah pengelasan.

Pemanasannya biasanya diarahkan kepada permukaan material dengan temperature yang relatif rendah, hanya beberapa derajat diatas titik didih air. Hal ini akan membuat permukaan material kering dan mengangkat kontaminan yang tidak diinginkan yang bias menyebabkan porositas, *hydrogen embrittlement*, atau retak karena pengaruh hydrogen selama proses pengelasan. [6]

- b) Mengontrol laju pendinginan.

Semua proses pengelasan busur menggunakan sumber panas yang memiliki temperatur tinggi. Perbedaan temperatur yang curam terjadi antara sumber panas yang terlokalisasi dengan material induk yang akan dilas. Perbedaan temperatur ini menyebabkan perbedaan ekspansi termal, kontraksi yang tinggi dan tegangan yang tinggi pada daerah las. Mengurangi perbedaan temperature yang sangat jauh dapat digunakan dengan cara *preheating* atau pemanasan sebelum dilakukan pengelasan yang dapat meminimalisir beberapa masalah dan dapat menyeragamkan pendinginan. [6]

c) Menurunkan residual stress dan distorsi

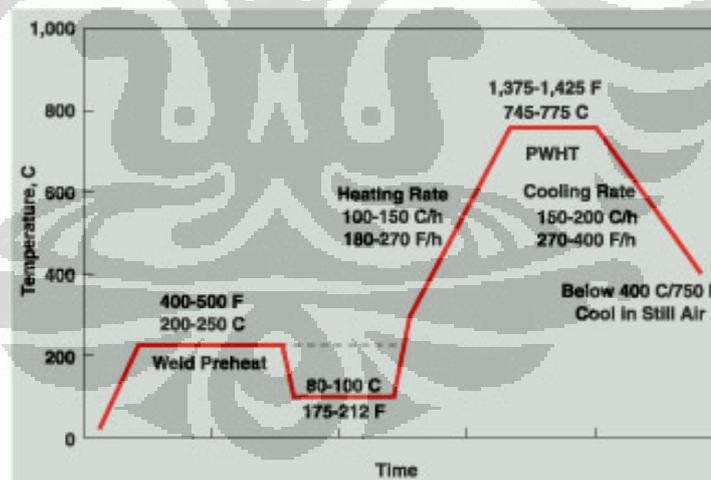
Ketika *preheating* tidak diaplikasikan maka perbedaan temperatur yang tinggi antara daerah las dengan material induk dapat menyebabkan pendinginan yang sangat cepat sehingga memungkinkan terjadinya distorsi karena pendinginan yang tidak merata, apabila material memiliki *hardenability* yang baik atau kadar karbon yang cukup besar maka akan mempermudah terbentuknya fasa martensit yang rentan terhadap retak. [6]

Untuk menentukan temperatur *preheat* ditentukan oleh 3 faktor :

1. Komposisi dan Kekerasan Logam.
2. Kemungkinan dilakukannya *post weld heat treatment*.
3. Ukuran dan dimensi dari material yang akan dilas.

Untuk mengetahui skema pemanasan awal dapat dilihat pada

Gambar 2.14



Gambar 2.14 Skema pemanasan awal [12]

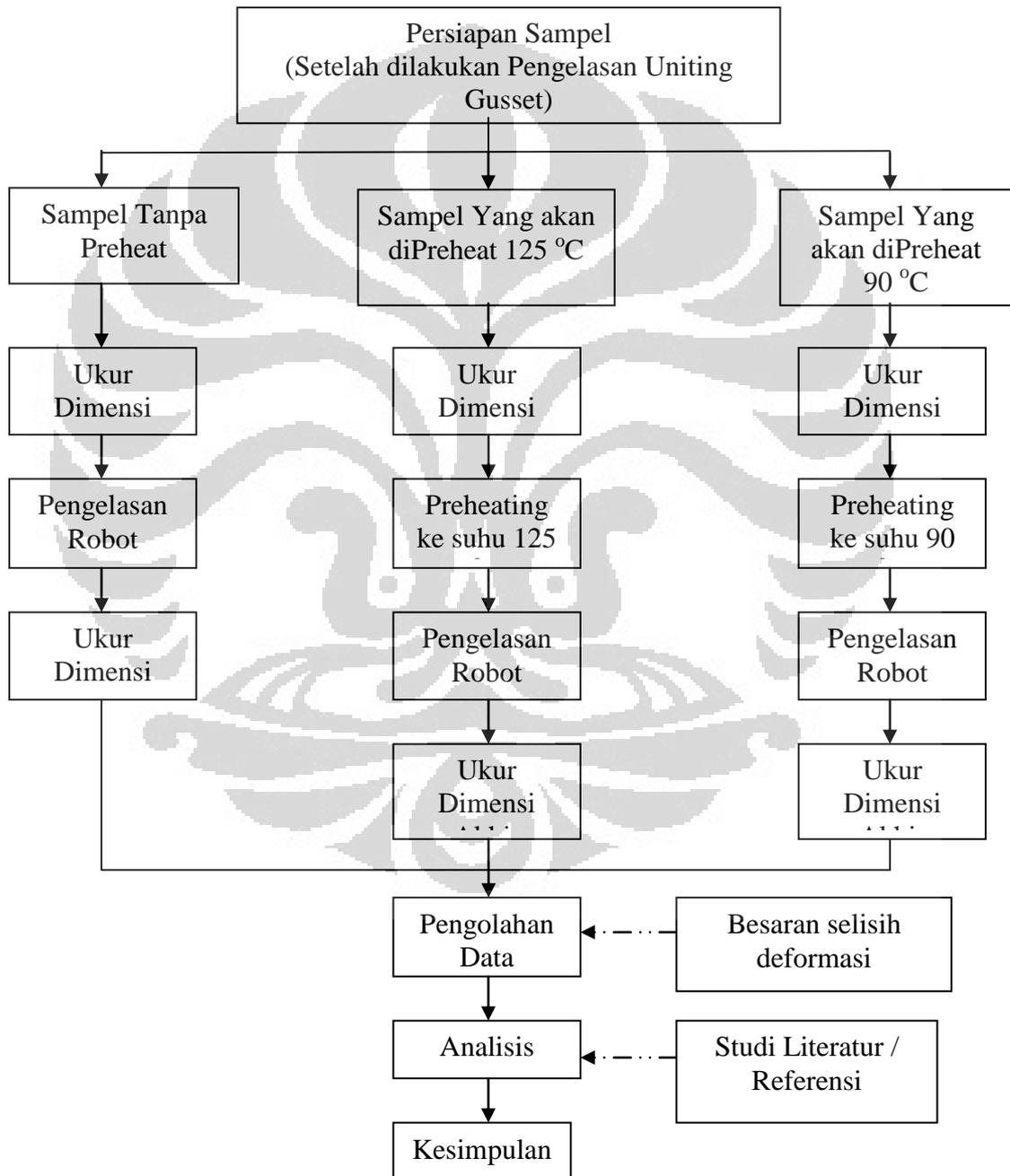
Temperatur untuk preheating berkisar antara 100°F (40°C) untuk baja tanpa paduan sampai 500°F (250°C) untuk baja dengan kekerasan yang tinggi.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Penelitian

Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat secara umum pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penellitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

1. Satu set Mesin Las Oksi-Asetilena
2. Satu set Mesin Las Robot GMAW (MIG)
3. Jangka Sorong
4. Termometer
5. Jig
6. Perlengkapan keselamatan kerja

3.2.1 Bahan

1. Material *Swing Arm* (21 Buah)

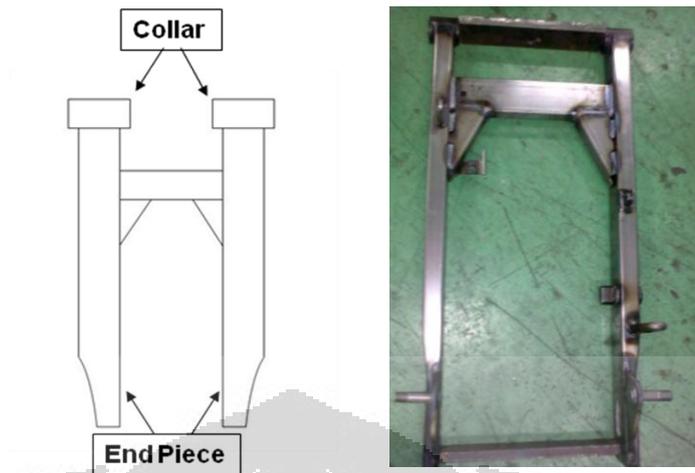
3.3 Persiapan Sampel

3.3.1 Pengukuran Dimensi Awal

Jenis material untuk ketiga kelompok sampel memiliki material yang sama. Sebelum material dilakukan pengelasan robot maka diperlukan pengukuran dimensi awal yang bertujuan untuk mengetahui kondisi awal yang nanti akan dibandingkan dengan kondisi akhir setelah pengelasan.

Pengukuran dimensi awal berdasarkan pengukuran bagian *collar* dan bagian *end piece* sebelum dilakukan perlakuan pemanasan awal dan sebelum pengelasan robot. Digunakan jangka sorong *digital* untuk memudahkan pengukuran.

Untuk memudahkan mengetahui bentuk dari *swing arm* maka ilustrasi dari material tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 *Swing arm*

3.3.2 Perlakuan Pemanasan Awal (*Preheating*)

Sampel material yang mengalami pemanasan awal adalah material yang dikategorikan ke parameter pemanasan awal 90°C dan 125°C . Jumlah sampel ini berjumlah 14 buah, 7 buah untuk dilakukan pemanasan awal sampai suhu 90° dan 7 buah lagi sampai 125°C .

Untuk pemanasan 125°C dilakukan pemanasan sampai suhu 130°C dan untuk pemanasan 90°C dilakukan pemanasan hingga suhu 100°C dengan asumsi terdapat penurunan temperatur ketika dibawa ke tempat pengelasan robot yang berjarak kurang lebih 5 m. Pada Gambar 3.3 berikut adalah contoh dari pengukuran temperatur *preheat* dengan menggunakan termometer.



Gambar 3.3 Temperatur pemanasan awal (*preheat*)

Peralatan pemanasan awal adalah dengan menggunakan mesin las oksidasi asetilen dengan memanfaatkan mekanisme perpindahan panas dengan cara konveksi dan radiasi.[12]

Pada **Gambar 3.4** merupakan contoh dari mesin las oksidasi asetilen yang digunakan untuk melakukan *preheat* yang terdapat di lingkungan perusahaan manufaktur.



Gambar 3.4 Mesin Las Oksidasi Asetilen

Proses dilakukannya pemanasan awal yaitu dengan cara mengarahkan api las dari mesin oksidasi asetilen yang telah disesuaikan untuk aplikasi pemanasan awal ke material induk yang ingin dipanaskan. Nyala api yang digunakan adalah nyala api karburisasi dan hanya bersifat memanaskan. Bagian material yang dipanaskan adalah seluruh bagian secara merata dengan harapan semua *moisture* yang ada dapat terangkat dan memiliki temperatur yang relative seragam. Ketika suhu pemanasan tercapai ditandai dengan pengukuran temperatur oleh termometer maka proses pemanasan dihentikan.

Ilustrasi dari proses aplikasi *preheat* pada material *swing arm* dengan menggunakan mesin las oksidasi asetilen dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 3.5 Proses pemanasan awal

3.4 Proses Pengelasan Robot (GMAW)

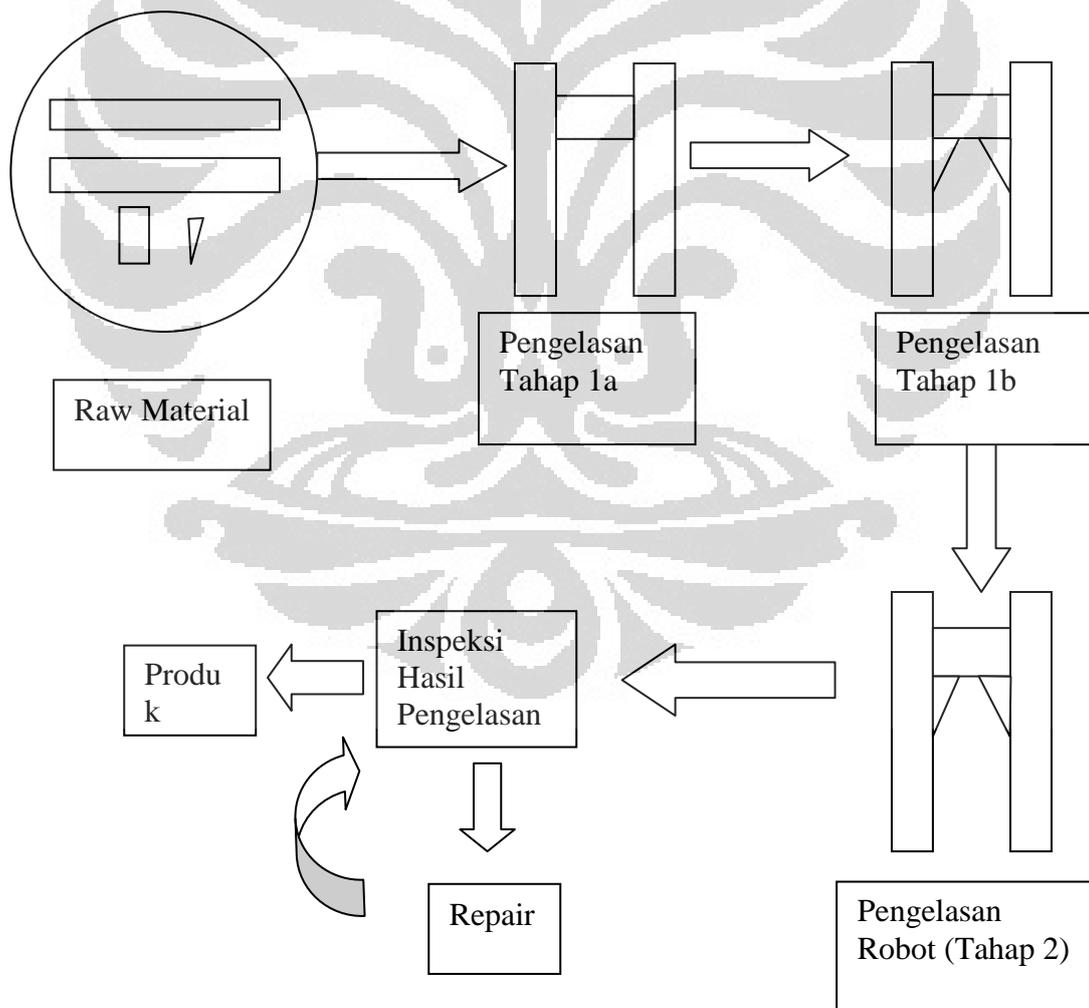
Seluruh sampel *swing arm* akan di lakukan proses pengelasan robot dengan metode GMAW baik yang dilakukan pemanasan awal (*preheat*) dan yang tanpa pemanasan awal. Jumlah keseluruhan yang dilas sebanyak 21 material. Pada perusahaan manufaktur ini pengelasan produk *swing arm* dilakukan dengan beberapa tahap sebelum ke pengelasan robot. Untuk mengetahui tahapan secara lengkapnya adalah sebagai berikut :

1. **Tahap 1a. *Uniting Pipe*.** Material yang sudah mengalami inspeksi dimensi dilakukan pengelasan Tahap 1a. Pada tahap ini pengelasan dilakukan secara manual tidak dilakukan permanen melainkan hanya titik tertentu saja untuk merekatkan material las.
2. **Tahap 1b. *Uniting Gusset*.** Material dipasangkan segitiga yang berfungsi sebagai penopang agar *swing arm* lebih kuat.pada tahap ini pengelasan sama seperti tahap 1a.
3. **Tahap 2. *Pengelasan Robot*.** *Swing arm* yang sudah dilakukan pengelasan manual dilanjutkan untuk dilas secara permanen dengan menggunakan robot. Pengelasan menggunakan robot ini melanjutkan titik-titik las yang belum dilakukan pengelasan manual tanpa mengulang pengelasan sebelumnya.
4. **Tahap Inspeksi.** Pada tahap ini, armswing yang telah dilakukan pengelasan dilakukan inspeksi terhadap kualitas las dan dimensi

akhir dari *swing arm*. Untuk produk yang membutuhkan repair maka akan dilanjutkan ke tahap repairing.

5. **Tahap Repair.** Pada tahap ini adalah tahap dimana dilakukan perbaikan hasil pengelasan dengan pengelasan bagian yang membutuhkan repair dengan pengelasan manual. Untuk produk yang mengalami distorsi maka *swing arm* akan dilakukan pemukulan untuk menyesuaikan dengan dimensi yang standar. Setelah itu produk akan kembali masuk ke tahap inspeksi untuk mengecek ulang hasil produksi.

Untuk memudahkan maka ilustrasi dari proses pengelasan *swing arm* dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3.6 Skema proses pengelasan

Parameter las yang digunakan di pengelasan robot adalah arus sebesar 180-220 A, tegangan sebesar 19-24 V dan kecepatan las 120 cm/menit. Kawat las yang digunakan adalah AWS A5.18 ER70S-6 dengan merk kobelco mg51t, 1.2 mm. Std. Untuk gas pelindung digunakan campuran gas Argon dan CO₂ dengan perbandingan 80% Argon dan 20% CO₂.

Masukan panas (*Heat Input*) :

$$\begin{aligned}h &= 60 \times \frac{VI}{v} \\ &= 60 \times 22 \times 200 : 120 \\ &= 2200 \text{ joule per centimeter}\end{aligned}$$

Pada saat pengelasan juga sudah digunakan jig, tetapi dimensi jig memiliki toleransi yang cukup besar $\pm 5\text{mm}$. Contoh jig dan peralatan pengelasan robot dapat dilihat pada **Gambar 3.7**.



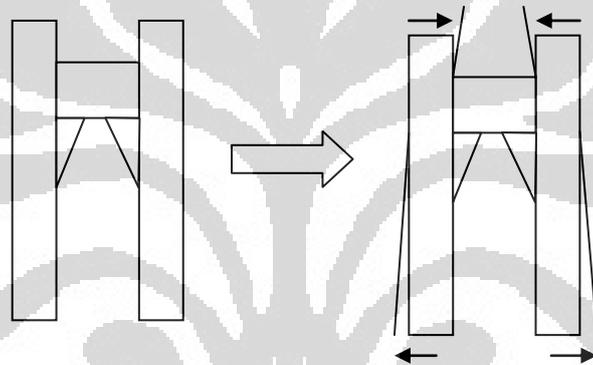
Gambar 3.7 Pengelasan robot (GMAW)

3.5 Pengamatan Setelah Pengelasan

3.5.1 Pengukuran Dimensi Akhir

Material yang telah dilakukan pengelasan tahap robot maka dilakukan pengukuran ukuran akhir sebagai pembanding besaran deformasi yang terjadi antara sebelum pengelasan robot dan sesudah pengelasan robot. Pengukuran dilakukan menggunakan jangka sorong *digital* dan difokuskan terhadap deformasi bagian *collar* dan bagian *endpiece*.

Ilustrasi dari pergerakan perubahan dimensi dari *swing arm* setelah proses pengelasan dapat terlihat seperti **Gambar 3.8**.



Gambar 3.8 Distorsi *swing arm*

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Distorsi Collar Setelah Pengelasan Robot

4.1.1 Tanpa Pemanasan Awal (*Preheating*)

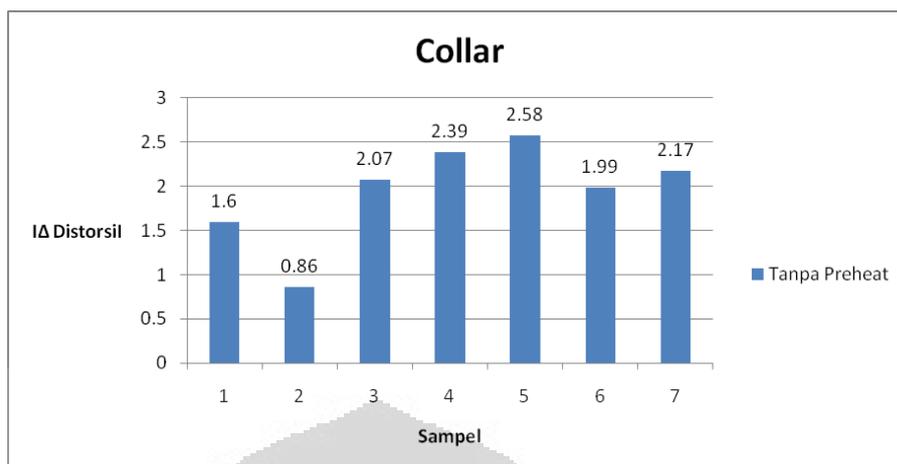
Hasil pengamatan terhadap perubahan dimensi pada sampel yang tidak dilakukan pemanasan awal dapat dilihat pada **Tabel 4.1** dan **Gambar 4.1**.

Tabel 4.1 Data besaran distorsi tanpa *preheat* (dalam satuan mm)

Sampel	Ukuran Awal	30 s	60 s	120 s	300 s
1	164,9	163,58	163,45	163,41	163,3
2	165,16	164,6	164,37	164,35	164,3
3	166,14	164,31	163,82	163,13	164,07
4	166,15	164,26	163,97	163,85	163,76
5	166,48	164,5	164,14	163,95	163,9
6	166,15	164,54	164,32	164,24	164,16
7	166,3	164,56	164,38	164,11	164,13

Ukuran Akhir	[Selisih]	IΔ DistorsiI
163,3	-1,6	1,6
164,3	-0,86	0,86
164,07	-2,07	2,07
163,76	-2,39	2,39
163,9	-2,58	2,58
164,16	-1,99	1,99
164,13	-2,17	2,17

IΔ DistorsiI = selisih distorsi pada ukuran awal (setelah pengelasan *Uniting Gusset*) - ukuran akhir (setelah Pengelasan Robot)



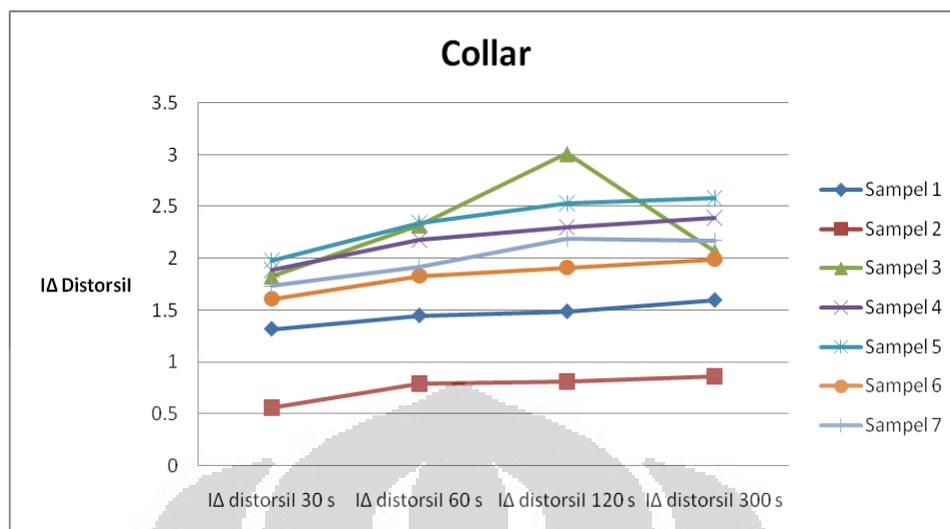
Gambar 4.1 Grafik besaran distorsi *collar* tanpa *preheat*

Hasil pengamatan terhadap perubahan dimensi tiap waktu pada sampel yang tidak dilakukan pemanasan awal dapat dilihat pada **Tabel 4.2** dan **Gambar 4.2**.

Tabel 4.2 Data besaran distorsi tiap waktu tanpa *preheat* (dalam satuan mm)

Sampel	IA Distorsil	IA Distorsil	IA Distorsil	IA Distorsil
	30 s	60 s	120 s	300 s
1	1,32	1,45	1,49	1,6
2	0,56	0,79	0,81	0,86
3	1,83	2,32	3,01	2,07
4	1,89	2,18	2,3	2,39
5	1,98	2,34	2,53	2,58
6	1,61	1,83	1,91	1,99
7	1,74	1,92	2,19	2,17

IA Distorsil = Selisih distorsi pada ukuran awal (setelah pengelasan *Uniting Gusset*) - ukuran akhir (setelah Pengelasan Robot)



Gambar 4.2 Grafik besaran distorsi *collar* tiap waktu tanpa *preheat*

Pada **gambar 4.1** terlihat besaran distorsi yang bervariasi. Nilai distorsi yang ditunjukkan memiliki kisaran dari 0,86 - 2,59 mm. Distorsi terjadi ketika terjadi ekspansi (pengembangan) yang tidak merata dari logam las selama periode pemanasan dan pendinginan. Bila pendinginan ini dibiarkan membeku secara bebas maka volume dari logam cair tersebut akan mengalami penyusutan secara bebas.[1]

Ketika keadaan material dalam kondisi suhu normal, lalu dilanjutkan dengan pengelasan, maka terdapat perbedaan suhu yang cukup besar antara bagian material yang dilas dan bagian yang tidak. Hal ini menyebabkan ketika material mendingin setelah dilas memiliki kecepatan pendinginan yang berbeda-beda di setiap daerah. Karena pendinginan yang tidak merata itu distorsi terjadi. Untuk material yang tidak dilakukan pemanasan awal, besaran distorsi dipengaruhi oleh dimensi, pemerataan temperatur sebelum pengelasan dan selisih temperatur antara bagian material yang dilas dan yang tidak.

Tanpa pemanasan awal, maka temperatur di setiap titik atau daerah material berbeda-beda sehingga pada saat dilakukan pengelasan terjadi perbedaan temperatur yang tidak merata di setiap daerah dan memiliki selisih temperatur yang cukup besar. Kondisi temperatur yang berbeda-beda ini untuk setiap daerah atau titik pada material menyebabkan setiap material mengalami respon terhadap

distorsi juga berbeda-beda. Akibatnya, distorsi yang terjadi pada material yang tidak dilakukan pemanasan awal cukup bervariasi dan beragam.

Pada **gambar 4.2** terlihat pergerakan distorsi dimulai dari 30 detik setelah pengelasan memiliki besaran yang cukup berbeda-beda. Terdapat material yang pergerakan distorsinya kecil tetapi ada pula yang pergerakan distorsinya besar. Hal ini dikarenakan kondisi material yang berbeda-beda termasuk temperatur material yang terpengaruh oleh suhu lingkungan.

Besaran distorsi yang tidak dapat dikendalikan disini disebabkan oleh kondisi material yang berbeda-beda sebelum dilakukan pengelasan, terutama kondisi temperatur. Selain itu, kandungan *moisture* seperti oli, air dan kotoran tidak dapat terangkat dari material karena dapat menyebabkan cacat dan mempengaruhi aliran panas yang dampaknya pada laju pendinginan.

4.1.2 Dengan Pemanasan Awal (*Preheating*) 90°C dan 125°C

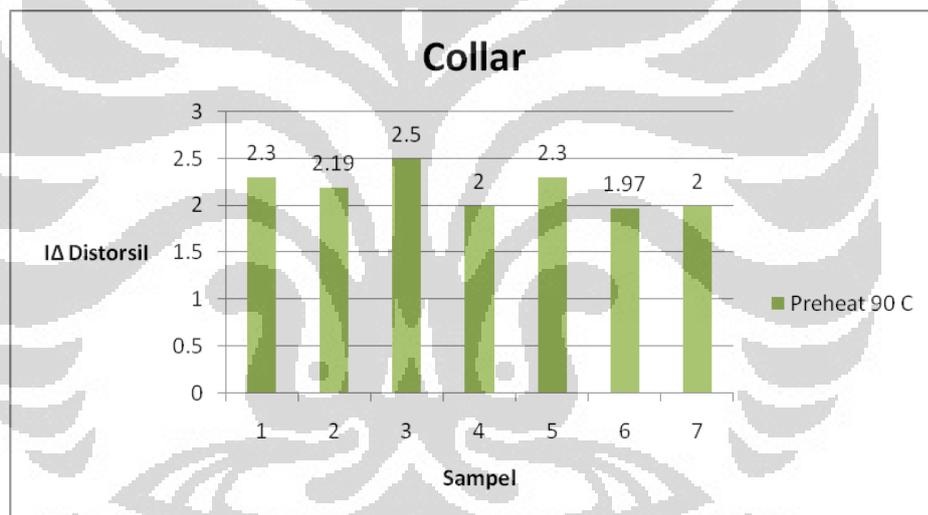
Hasil pengamatan terhadap perubahan dimensi pada sampel yang dilakukan pemanasan awal 90 °C dapat dilihat pada **Tabel 4.3** dan **Gambar 4.3**.

Tabel 4.3 Data besaran distorsi dengan *preheat* 90 °C (dalam satuan mm)

Material	Ukuran Awal	30 s	60 s	120 s	300 s
1	166,31	164,48	164,25	164,21	164,01
2	165,97	164,32	163,98	163,9	163,78
3	166,26	164,23	163,96	163,9	163,76
4	166,08	164,63	164,39	164,29	164,08
5	166,17	164,54	164,25	164,05	163,87
6	164,65	163,32	163,04	162,88	162,68
7	165,75	164,25	164,05	163,86	163,75

Ukuran Akhir	[Selisih]	IΔ DistorsiI
164,01	-2,3	2,3
163,78	-2,19	2,19
163,76	-2,5	2,5
164,08	-2	2
163,87	-2,3	2,3
162,68	-1,97	1,97
163,75	-2	2

IΔ DistorsiI = Selisih distorsi pada ukuran awal (setelah pengelasan *Uniting Gusset*) - ukuran akhir (setelah Pengelasan Robot)



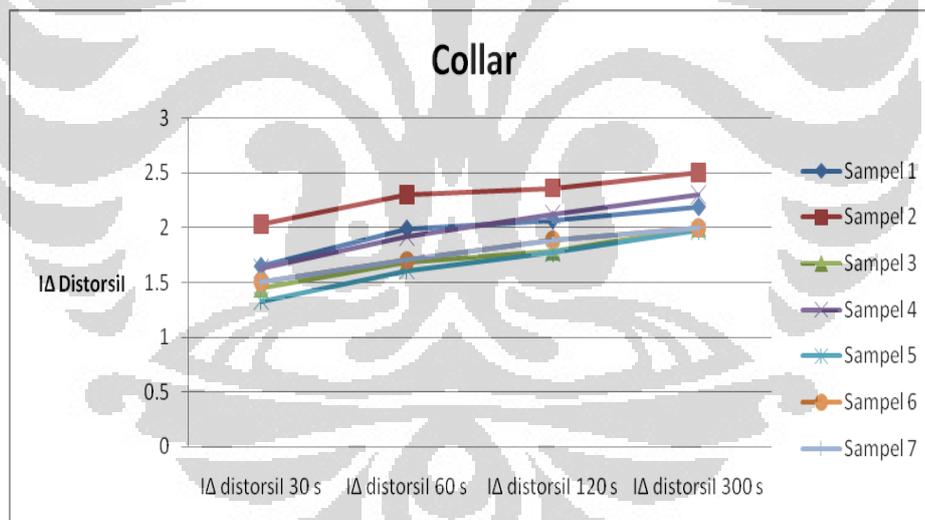
Gambar 4.3 Grafik besaran distorsi *collar* dengan *preheat* 90 °C

Hasil pengamatan terhadap perubahan dimensi tiap waktu pada sampel yang dilakukan pemanasan awal 90 °C dapat dilihat pada **Tabel 4.4** dan **Gambar 4.4**.

Tabel 4.4 Data besaran distorsi tiap waktu dengan *preheat* 90 °C (dalam mm)

Sampel	IΔ DistorsiI 30 s	IΔ DistorsiI 60 s	IΔ DistorsiI 120 s	IΔ DistorsiI 300 s
1	1,83	2,06	2,1	2,3
2	1,65	1,99	2,07	2,19
3	2,03	2,3	2,36	2,5
4	1,45	1,69	1,79	2
5	1,63	1,92	2,12	2,3
6	1,33	1,61	1,77	1,97
7	1,5	1,7	1,89	2

IΔ DistorsiI = Selisih distorsi pada ukuran awal (setelah pengelasan *Uniting Gusset*) - ukuran akhir (setelah Pengelasan Robot)

**Gambar 4.4** Grafik besaran distorsi *collar* tiap waktu dengan *preheat* 90 °C

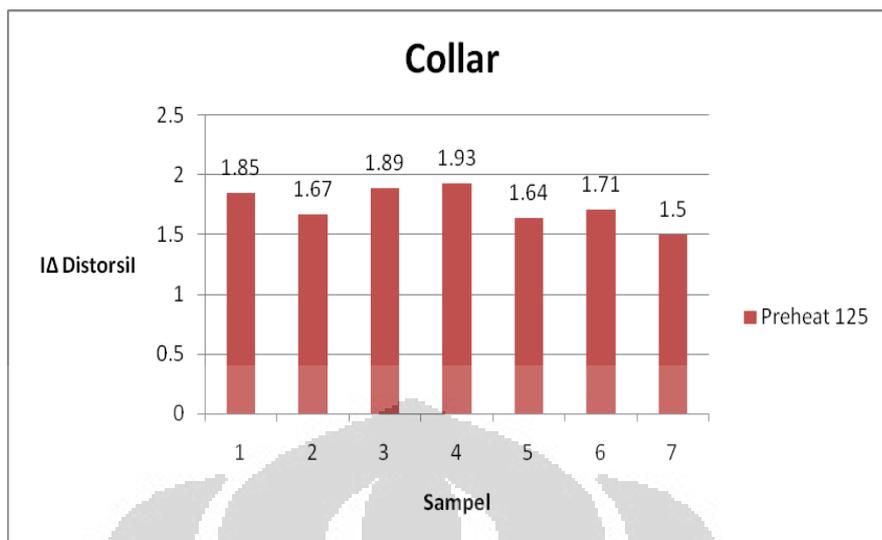
Hasil pengamatan terhadap perubahan dimensi pada sampel yang dilakukan pemanasan awal 125 °C dapat dilihat pada **Tabel 4.5** dan **Gambar 4.5**.

Tabel 4.5 Data besaran distorsi dengan *preheat* 125 °C (dalam satuan mm)

Sampel	Ukuran Awal	30 s	60 s	120 s	300 s
1	165,05	163,65	163,54	163,4	163,2
2	165,79	164,54	164,34	164,22	164,12
3	165,97	164,45	164,37	164,21	164,08
4	166	164,52	164,13	164,1	164,07
5	165,14	164,2	163,71	163,61	163,5
6	165,62	164,44	164,1	163,98	163,91
7	165,25	164,63	164,15	164	163,75

Ukuran Akhir	[Selisih]	IΔ DistorsiI
163,2	-1,85	1,85
164,12	-1,67	1,67
164,08	-1,89	1,89
164,07	-1,93	1,93
163,5	-1,64	1,64
163,91	-1,71	1,71
163,75	-1,5	1,5

IΔ DistorsiI = Selisih distorsi pada ukuran awal (setelah pengelasan *Uniting Gusset*) - ukuran akhir (setelah Pengelasan Robot)



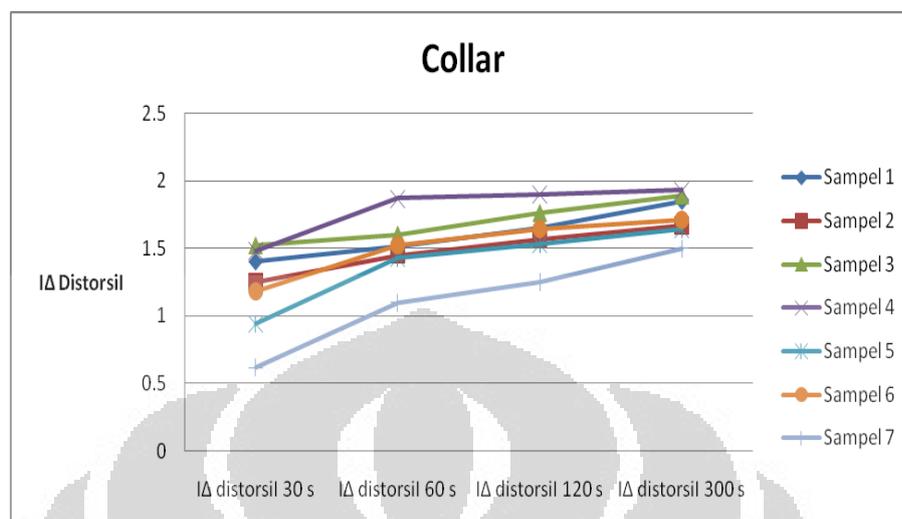
Gambar 4.5 Grafik besaran distorsi *collar* dengan *preheat* 125 °C

Hasil pengamatan terhadap perubahan dimensi tiap waktu pada sampel yang dilakukan pemanasan awal 125 °C dapat dilihat pada **Tabel 4.6** dan **Gambar 4.6**.

Tabel 4.6 Data besaran distorsi tiap waktu dengan *preheat* 125 °C (dalam mm)

Sampel	IA DistorsiI	IA DistorsiI	IA DistorsiI	IA DistorsiI
	30 s	60 s	120 s	300 s
1	1,4	1,51	1,65	1,85
2	1,25	1,45	1,57	1,67
3	1,52	1,6	1,76	1,89
4	1,48	1,87	1,9	1,93
5	0,94	1,43	1,53	1,64
6	1,18	1,52	1,64	1,71
7	0,62	1,1	1,25	1,5

IA DistorsiI (mm) = Selisih distorsi pada ukuran awal (setelah pengelasan *Uniting Gusset*) - ukuran akhir (setelah Pengelasan Robot)



Gambar 4.6 Grafik besaran distorsi *collar* tiap waktu dengan *preheat* 125 °C

Dari data sebelumnya terlihat bahwa dengan dilakukan pemanasan awal (*preheat*) terdapat pengaruhnya ke besaran distorsi setelah dilakukan pengelasan robot. Pada **Gambar 4.3** terlihat bahwa besaran distorsi atau distorsi berkisar antara 1,97 - 2,5 mm. Besaran ini terlihat memiliki rentang yang lebih kecil sehingga distorsi yang terjadi tidak bergerak terlalu variatif.

Pemilihan pemanasan awal pada temperatur 90°C berdasarkan kadar karbon yang terkandung pada material yang berada dibawah 0.2%. Pada **Gambar 4.4** terlihat bahwa distorsi pada saat 30 detik pertama juga memiliki rentang yang lebih kecil dengan kisaran antara 1,33 - 2,03 mm. Kemudian pada detik selanjutnya distorsi bergerak terus membesar tetapi dengan pergerakan yang cukup terkendali dan besarnya juga relatif kecil.

Besaran distorsi yang konstan pada kisaran 1,97 - 2,5 mm dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya temperatur yang merata di daerah material induk dan selisih temperatur antara daerah las dengan daerah yang tidak dilas semakin kecil sehingga pendinginan dan pemanasan yang terjadi lebih merata bila dibandingkan dengan tidak dilakukan pemanasan awal. Selain itu, suhu pemanasan yang berkisar 90 - 100 °C memungkinkan *moisture* yang ada menguap dan kotoran juga terangkat.

Tabel 4.7 Suhu pemanasan awal pada pengelasan baja karbon [11]

Kadar Karbon (%)	Suhu Pemanasan Mula (°C)
0.2 (maks)	90 (maks)
0.2 - 0.3	90 - 150
0.3 - 0.45	150 - 260
0.45 - 0.80	260 - 420

Pada **Gambar 4.5** terlihat besaran distorsi dengan rentang yang tidak terlalu besar antara 1,5 - 1,93 mm. Besaran distorsi juga terlihat tidak terlalu bervariasi dan nilainya juga tidak terlalu besar. Pada **Gambar 4.6** terlihat pergerakan distorsi pada 30 detik dan setelahnya menunjukkan bahwa pada 30 detik pertama distorsi yang terjadi memiliki rentang antara 0,62 - 1,52 mm. Hal ini berarti pergerakan distorsi dalam rentang yang kecil dan bernilai rendah. Demikian juga dengan penambahan distorsi pada detik - detik selanjutnya terlihat tidak menunjukkan besaran yang terlalu tinggi, sehingga distorsi dapat terkendalikan dalam nilai yang rendah.

Pemilihan temperatur di 125°C mempengaruhi terhadap distorsi yang nilainya lebih kecil dan konstan. Hal ini bisa disebabkan karena pada temperatur tersebut selisih atau perbedaan temperatur antara bagian yang di las dan yang tidak di las tidak terlalu jauh, dan pendinginan bisa berjalan lebih merata. Karena suhu 125°C dapat menguapkan air maka kemungkinan *moisture* yang ada seperti oli, air dan kotoran dapat terangkat sehingga pada saat pemanasan dilas dan pendinginan tidak terdapat lagi kandungan air yang mempengaruhi laju pendinginan dan distorsi material.

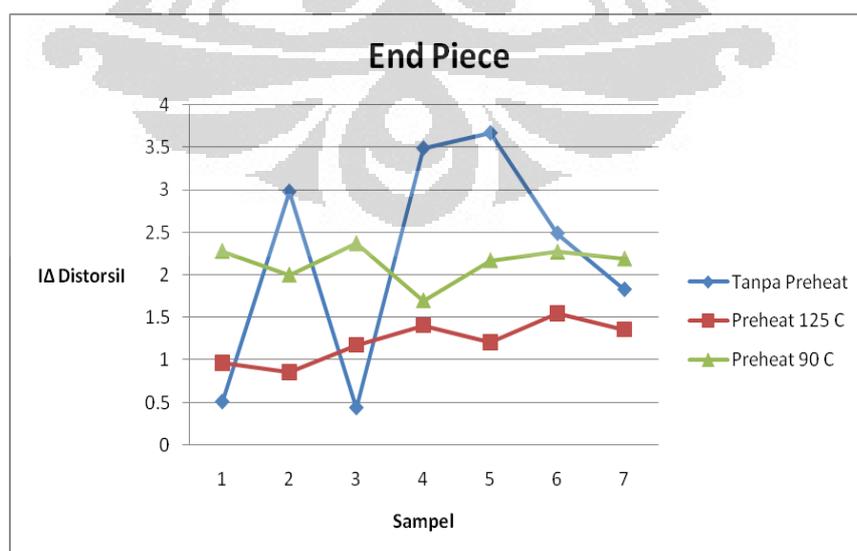
4.1.3 Perbandingan Antara Dengan *Preheat* dan Tanpa *Preheat*

Hasil pengamatan terhadap perbandingan perubahan dimensi pada sampel yang dilakukan *preheat* dan yang tidak dilakukan *preheat* dapat dilihat pada tabel 4.8 dan gambar 4.7.

Tabel 4.8 Data besaran distorsi tanpa *preheat* dengan *preheat* (dalam mm)

Material	Δ Distorsil		
	Tanpa Preheat	Preheat 125 °C	Preheat 90 °C
1	1,6	1,85	2,3
2	0,86	1,67	2,19
3	2,07	1,89	2,5
4	2,39	1,93	2
5	2,58	1,64	2,3
6	1,99	1,71	1,97
7	2,17	1,5	2

Δ Distorsil = Selisih distorsi pada ukuran awal (setelah pengelasan *Uniting Gusset*) - ukuran akhir (setelah Pengelasan Robot)



Gambar 4.7 Grafik besaran distorsi tanpa *preheat* dengan *preheat* 125°C,90 °C

Gambar 4.7 menggambarkan bahwa nilai rentang distorsi material dengan perlakuan tanpa *preheat* memiliki besaran distorsi yang cukup variatif. Disamping itu, tidak konsistennya nilai distorsi pada tiap material menggambarkan bahwa dengan tidak dilakukannya *preheat* nilai distorsi menjadi tidak bisa diprediksi dengan baik karena dengan perbedaan temperatur yang sangat tinggi pada saat pengelasan menyebabkan *thermal gradient* yang tinggi sehingga pendinginannya tidak merata yang menyebabkan distorsi bernilai beragam tergantung dari kondisi material sebelum dilakukan pengelasan.

Dengan menggunakan *preheat* distorsi yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih konstan jika dibandingkan dengan yang tidak dilakukan *preheat*. Pada bagian *collar* ini merupakan bagian yang paling dekat dengan daerah pengelasan, sehingga panas yang diterima juga sangat terpengaruh pada suhu pengelasan. Dengan dilakukannya *preheat* terlihat pengendalian distorsi dapat dilakukan. Pada *preheat* suhu 90° C menunjukkan besaran distorsi yang lebih besar tetapi nilainya relatif konstan. Hal ini terlihat pada grafik Gambar 4.7 yang menunjukkan kestabilan nilai distorsi yang terjadi. Faktor-faktor yang mempengaruhinya antara lain selisih temperatur yang kecil antara daerah las dan bukan daerah las, pendinginan yang lebih merata dan sedikit terangkatnya *moisture* yang terdapat pada material induk.

Pada *preheat* 125 °C terlihat memiliki nilai distorsi yang paling kecil dan memiliki rentang yang paling kecil juga. Terlihat pada Gambar 4.7 daerah garis dengan *preheat* 125 °C berada di bagian bawah dan bergerak cukup stabil. Jika dibandingkan antara ketiga garis maka *preheat* 125 °C memiliki nilai distorsi yang paling kecil dan memiliki nilai yang konstan. Pada Gambar 4.7 digambarkan bahwa *preheat* memberikan pengaruh terhadap pergerakan distorsi yang bernilai konstan sehingga pengendalian distorsi dapat dilakukan dengan melakukan prediksi besaran distorsi yang terjadi setelah pengelasan.

4.2 Distorsi *End Piece* Setelah Pengelasan Robot

4.2.1 Tanpa Pemanasan Awal (*Preheating*)

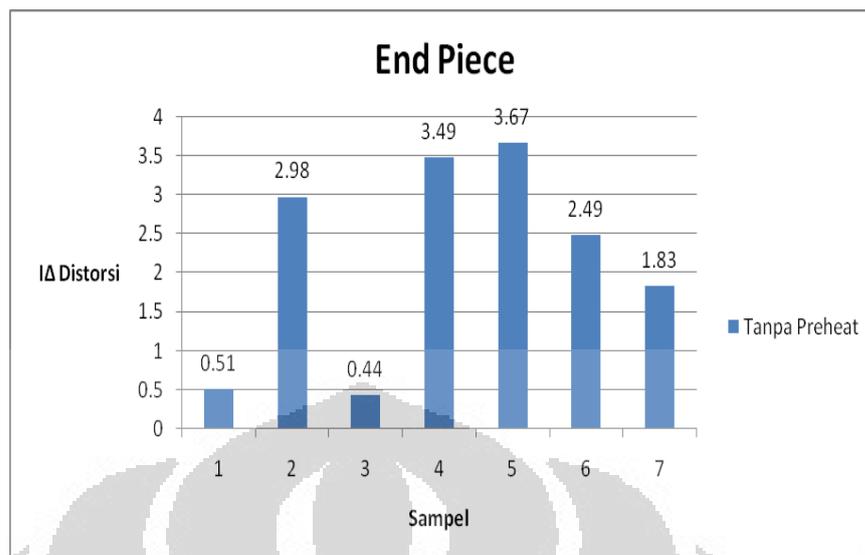
Hasil pengamatan terhadap perubahan dimensi pada sampel yang tidak dilakukan pemanasan awal dapat dilihat pada **Tabel 4.9** dan **Gambar 4.8**.

Tabel 4.9 Data besaran distorsi tanpa *preheat* (dalam mm)

Sampel	Ukuran Awal	30 s	60 s	120 s	300 s
1	175,94	177,95	177,34	176,52	176,45
2	175,68	173,38	172,93	172,88	172,7
3	172,61	173,74	173,27	173,3	173,05
4	171,27	175,55	175,24	175,05	174,76
5	171,93	176,34	176,09	175,91	175,6
6	172,03	175,43	175	174,73	174,52
7	173,16	174,86	174,53	174,06	173,99

Ukuran Akhir	[Selisih]	IΔ DistorsiI
176,45	0,51	0,51
172,7	-2,98	2,98
173,05	0,44	0,44
174,76	3,49	3,49
175,6	3,67	3,67
174,52	2,49	2,49
174,99	1,83	1,83

IΔ DistorsiI = Selisih distorsi pada ukuran awal (setelah pengelasan *Uniting Gusset*) - ukuran akhir (setelah Pengelasan Robot)



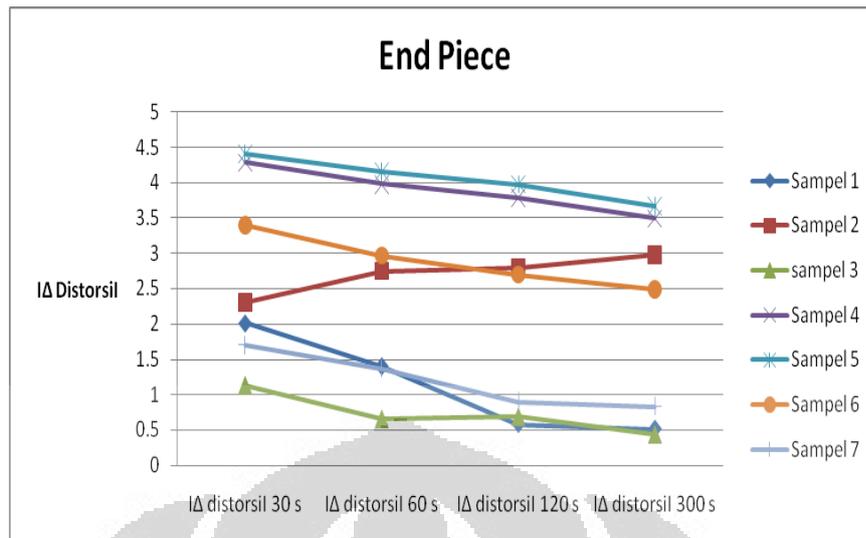
Gambar 4.8 Grafik besaran distorsi *end piece* tanpa *preheat*

Hasil pengamatan terhadap perubahan dimensi tiap waktu pada sampel yang tidak dilakukan pemanasan awal dapat dilihat pada **Tabel 4.10** dan **Gambar 4.9**.

Tabel 4.10 Data besaran distorsi tiap waktu tanpa *preheat* (dalam satuan mm)

Sampel	IΔ DistorsiI	IΔ DistorsiII	IΔ DistorsiIII	IΔ DistorsiIV
	30 s	60 s	120 s	300 s
1	2,01	1,4	0,58	0,51
2	2,3	2,75	2,8	2,98
3	1,13	0,66	0,69	0,44
4	4,28	3,97	3,78	3,49
5	4,41	4,16	3,98	3,67
6	3,4	2,97	2,7	2,49
7	1,7	1,37	0,9	0,83

IΔ DistorsiI = Selisih distorsi pada ukuran awal (setelah pengelasan *Uniting Gusset*) - ukuran akhir (setelah Pengelasan Robot)



Gambar 4.9 Grafik besaran distorsi *end piece* tiap waktu tanpa *preheat*

Dari data di atas, pada **gambar 4.8** terlihat adanya besaran distorsi atau distorsi yang sangat bervariasi. Nilai distorsi yang ditunjukkan memiliki kisaran dari 0,44 - 3,67 mm. Nilai distorsi yang terjadi memiliki rentang yang cukup besar dan tidak ada konsistensi nilai distorsi setiap material.

Sama seperti pembahasan pada bagian *collar*, nilai yang sangat bervariasi ini disebabkan oleh selisih temperatur yang besar antara daerah yang dilas dan daerah yang tidak dilas, pendinginan yang tidak merata, ditambah lagi khusus bagian *end piece* yang memiliki dimensi yang panjang dan letaknya jauh dari daerah pengelasan..

Pada **gambar 4.9** terlihat pergerakan distorsi dimulai dari 30 detik setelah pengelasan memiliki besaran yang berbeda-beda. Terdapat material yang pergerakan distorsinya kecil tetapi ada pula yang pergerakan distorsinya besar. Bahkan pergerakan distorsi setelah 30 detik bervariasi, ada yang signifikan dan ada yang terdistorsi kecil. Hal ini dikarenakan kondisi material yang berbeda-beda termasuk temperatur material yang terpengaruh oleh suhu lingkungan.

Terlihat pola distorsi yang terjadi adalah ketika 30 detik pertama terjadi ekspansi atau distorsi mengembang, dan setelah 60 detik baru material kembali menyusut seiring pendinginan material. Dimensi dari *end piece* yang cukup panjang juga mempengaruhi pergerakan distorsi ini serta sangat bergantung

kepada distorsi *collar*, karena terdapat gaya tarik dari *collar* yang membuat distorsi di *end piece* bergerak mengembang.

4.2.2 Dengan Pemanasan Awal (*Preheating*) 90°C dan 125°C

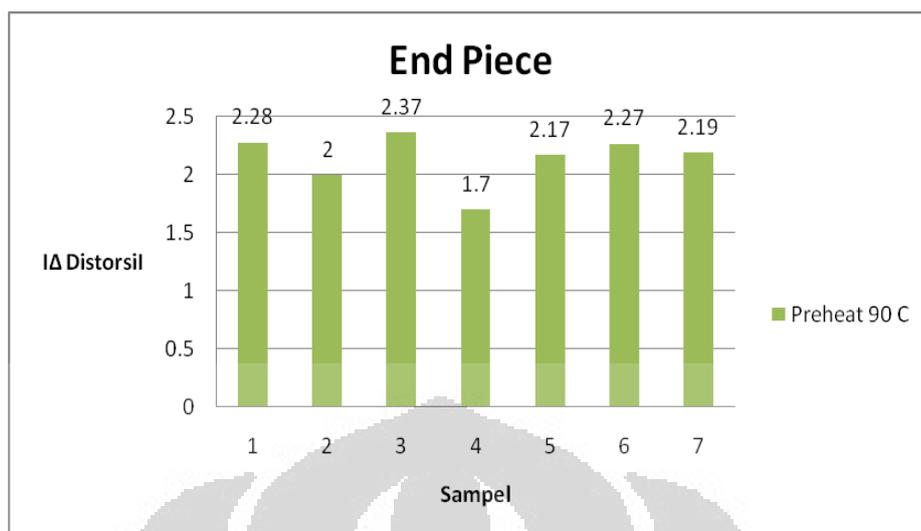
Hasil pengamatan terhadap perubahan dimensi pada sampel yang dilakukan pemanasan awal 90 °C dapat dilihat pada tabel 4.11 dan gambar 4.10.

Tabel 4.11 Data besaran distorsi dengan *preheat* 90 °C (dalam satuan mm)

Material	Ukuran Awal	30 s	60 s	120 s	300 s
1	172,8	175,97	175,7	175,56	175,08
2	174,15	176,83	176,54	176,42	176,15
3	172,78	175,6	175,55	175,42	175,15
4	172,75	174,95	174,62	174,52	174,45
5	171,8	174,75	174,44	174,18	173,97
6	173,58	176,42	176,18	175,96	175,85
7	174,26	176,98	176,74	176,55	176,45

Ukuran Akhir	[Selisih]	IΔ DistorsiI
175,08	2,28	2,28
176,15	2	2
175,15	2,37	2,37
174,45	1,7	1,7
173,97	2,17	2,17
175,85	2,27	2,27
176,45	2,19	2,19

IΔ DistorsiI = Selisih distorsi pada ukuran awal (setelah pengelasan *Uniting Gusset*) - ukuran akhir (setelah Pengelasan Robot)



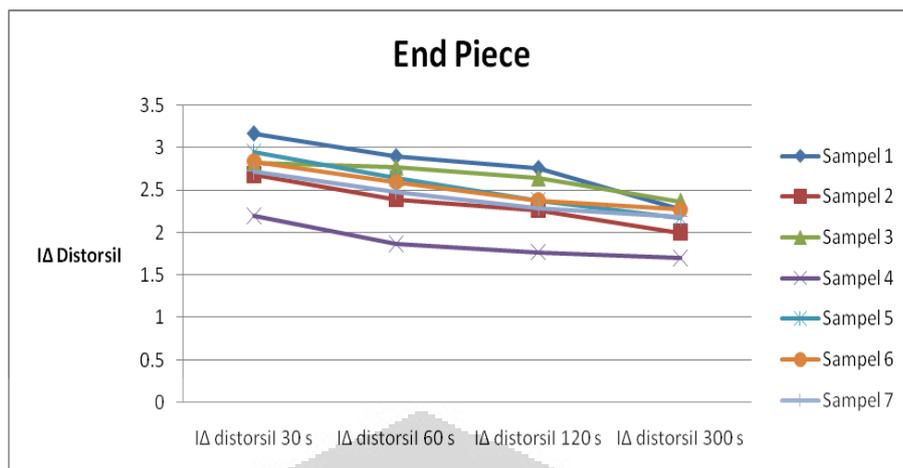
Gambar 4.10 Grafik besaran distorsi *end piece* dengan *preheat* 90 °C

Hasil pengamatan terhadap perubahan dimensi tiap waktu pada sampel yang dilakukan pemanasan awal 90 °C dapat dilihat pada **Tabel 4.12** dan **Gambar 4.11**.

Tabel 4.12 Data besaran distorsi tiap waktu dengan *preheat* 90 °C (dalam mm)

Sampel	IA DistorsiI	IA DistorsiII	IA DistorsiIII	IA DistorsiIV
	30 s	60 s	120 s	300 s
1	3,17	2,9	2,76	2,28
2	2,68	2,39	2,27	2
3	2,82	2,77	2,64	2,37
4	2,2	1,87	1,77	1,7
5	2,95	2,64	2,38	2,17
6	2,84	2,6	2,38	2,27
7	2,72	2,48	2,29	2,19

IA DistorsiI = Selisih distorsi pada ukuran awal (setelah pengelasan *Uniting Gusset*) - ukuran akhir (setelah Pengelasan Robot)



Gambar 4.11 Grafik besaran distorsi *end piece* tiap waktu dengan *preheat* 90 °C

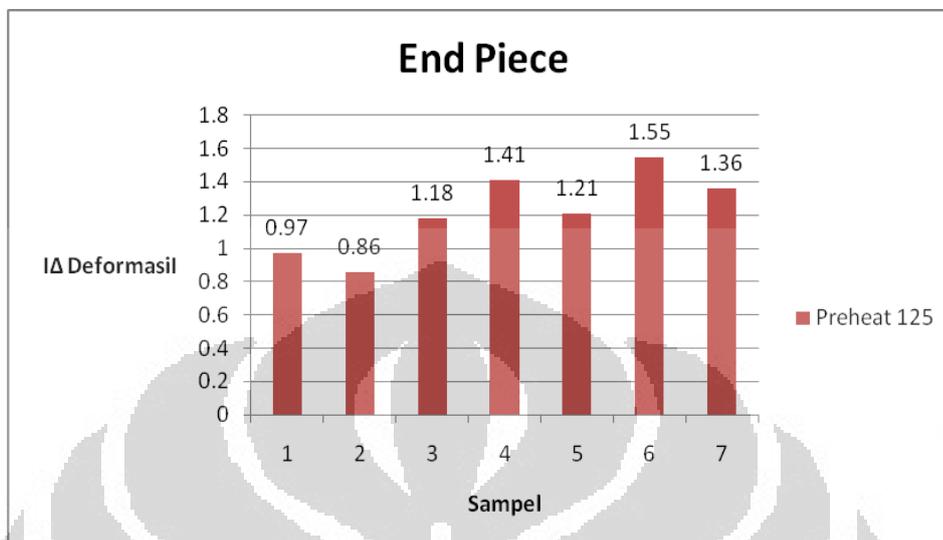
Hasil pengamatan terhadap perubahan dimensi pada sampel yang dilakukan pemanasan awal 125 °C dapat dilihat pada **Tabel 4.13** dan **Gambar 4.12**.

Tabel 4.13 Data besaran distorsi dengan *preheat* 125 °C (dalam satuan mm)

Sampel	Ukuran Awal	30 s	60 s	120 s	300 s
1	176,25	178,88	178,08	177,6	177,22
2	171,48	173,22	173	172,67	172,34
3	172,57	174,24	173,97	173,8	173,75
4	173,06	175,24	174,87	174,66	174,47
5	174,25	176,24	175,93	175,68	175,46
6	172,68	175,36	174,94	174,67	174,23
7	173,14	175,2	174,95	174,65	174,5

Ukuran Akhir	Selisih	Δ Distorsil
177,22	0,97	0,97
172,34	0,86	0,86
173,75	1,18	1,18
174,47	1,41	1,41
175,46	1,21	1,21
174,23	1,55	1,55
174,5	1,36	1,36

Δ DistorsiI = Selisih distorsi pada ukuran awal (setelah pengelasan *Uniting Gusset*) - ukuran akhir (setelah Pengelasan Robot)



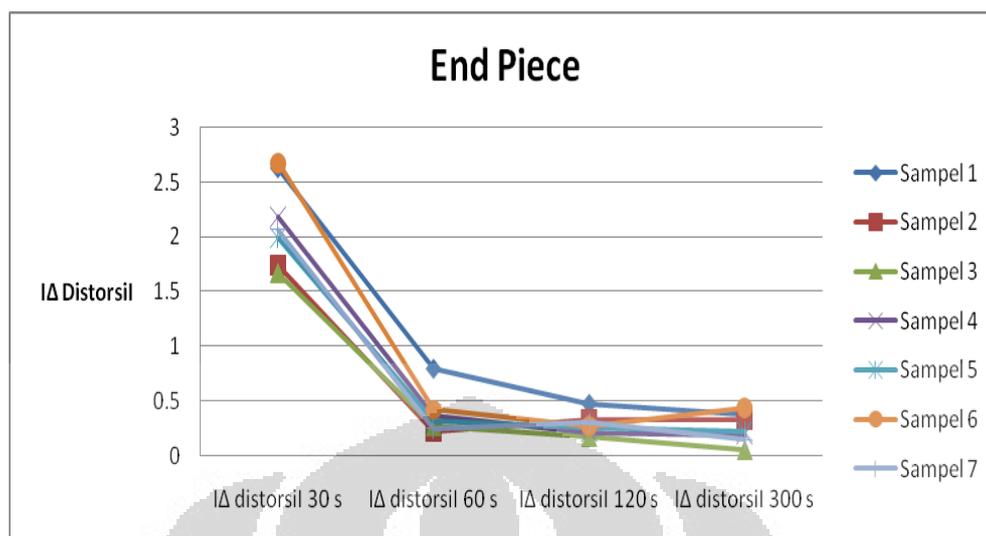
Gambar 4.12 Grafik besaran distorsi *end piece* dengan *preheat* 125 °C

Hasil pengamatan terhadap perubahan dimensi tiap waktu pada sampel yang dilakukan pemanasan awal 125 °C dapat dilihat pada **Tabel 4.14** dan **Gambar 4.13**.

Tabel 4.14 Data besaran distorsi tiap waktu dengan *preheat* 125°C (dalam mm)

Sampel	Δ DistorsiI	Δ DistorsiI	Δ DistorsiI	Δ DistorsiI
	30 s	60 s	120 s	300 s
1	2,63	0,8	0,48	0,38
2	1,74	0,22	0,33	0,33
3	1,67	0,27	0,17	0,05
4	2,18	0,37	0,21	0,19
5	1,99	0,31	0,25	0,22
6	2,68	0,42	0,27	0,44
7	2,06	0,25	0,3	0,15

Δ DistorsiII = Selisih distorsi pada ukuran awal (setelah pengelasan *Uniting Gusset*) - ukuran akhir (setelah Pengelasan Robot)



Gambar 4.13 Grafik besaran distorsi *end piece* tiap waktu dengan *preheat* 125 °C

Berdasarkan data di atas, maka dengan melakukan *preheat* terdapat pengaruh yang cukup signifikan. Pada **Gambar 4.10** terlihat nilai yang konsisten pada distorsi bagian *end piece*. Rentang nilai distorsinya dalam kisaran antara 1,7 - 2,37 mm. Distorsi yang terjadi dengan perlakuan *preheat* di suhu 90°C ini memiliki nilai yang besar rata-rata diatas 2 mm. Nilai yang konsisten menunjukkan pendinginan yang cukup baik dan merata sehingga untuk setiap material yang dilakukan *preheat* memiliki besaran distorsi yang hampir sama.

Pada **Gambar 4.11** juga terlihat setelah 30 detik pertama distorsi yang terjadi adalah berkisar antara 2,2 - 3,17 mm. Terdapat satu material yang memiliki garis perubahan distorsi yang berada di bawah namun besarnya tidak terlalu signifikan perbedaannya dengan material yang lain yang dilakukan perlakuan *preheat* yang sama.

Pada suhu 90°C diharapkan *moisture* yang ada dapat terangkat walaupun tidak seefektif di suhu 125°C terlihat bahwa dengan berkurangnya kandungan air maka pendinginan akan lebih baik karena tidak terdapat daerah yang memiliki banyak *moisture* di suatu daerah tertentu dalam satu material.

Pada suhu 125°C memiliki nilai distorsi yang merata dan berada pada nilai yang kecil. Pada **Gambar 4.12** terlihat kisaran distorsinya terdapat pada rentang 0,86 - 1,55 mm. Pada suhu 125°C distorsi yang terjadi tiap waktunya juga

menunjukkan nilai yang merata, sehingga dapat diprediksi dan dikontrol dengan baik seperti terlihat pada **Gambar 4.13**. Pada **Gambar 4.13** terlihat grafik yang cukup baik dimana nilai distorsi bergerak merata sehingga menunjukkan bahwa distorsi pada bagian tersebut dapat diprediksi dengan baik dan dapat dikontrol.

Hal yang mempengaruhi signifikansi dari perlakuan *preheat* di suhu 125°C ini antara lain perbedaan suhu yang relatif kecil sehingga pendinginan bisa merata dan mengurangi terjadinya *thermal shock*. Selain itu, pada suhu ini *moisture* seperti air, oli, dan kotoran telah terangkat seluruhnya sehingga dapat menyeragamkan pendinginan pada setiap daerah di material dan menghasilkan distorsi yang merata dan nilainya tidak terlalu besar karena selisih temperatur antara bagian material yang dilas dan daerah yang tidak dilas tidak terlalu jauh. Selebihnya analisis pada bagian *end piece* ini tidak berbeda jauh dengan bagian *collar*.

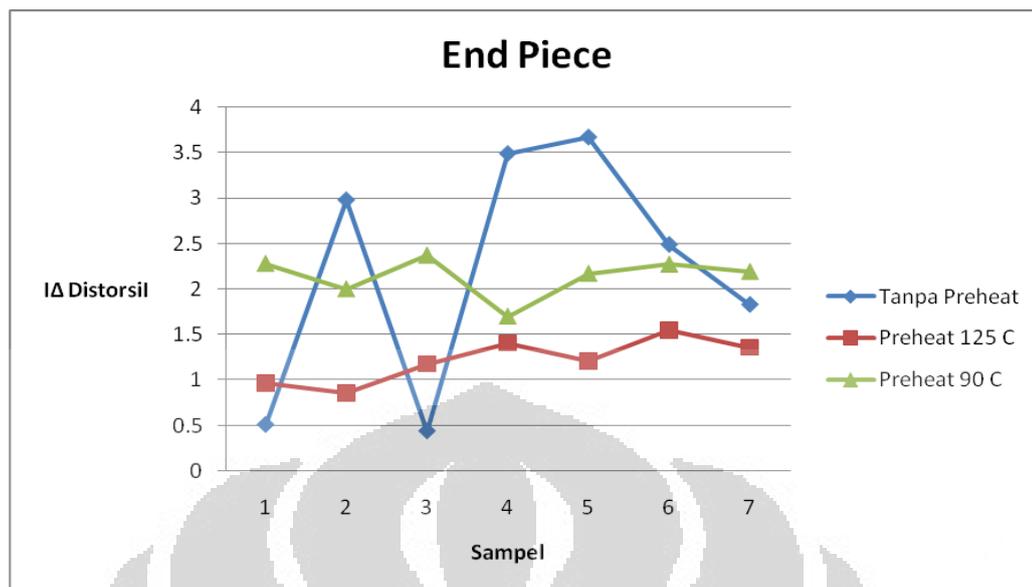
4.1.3 Perbandingan Antara Dengan *Preheat* dan Tanpa *Preheat*

Hasil pengamatan terhadap perubahan dimensi pada sampel yang dilakukan *preheat* dan yang tidak dilakukan *preheat* dapat dilihat pada tabel 4.15 dan gambar 4.14.

Tabel 4.15 Data besaran distorsi tanpa *preheat* dengan *preheat* (dalam satuan mm)

Material	IA DistorsiI		
	Tanpa Preheat	Preheat 125 C	Preheat 90C
1	0,51	0,97	2,28
2	2,98	0,86	2
3	0,44	1,18	2,37
4	3,49	1,41	1,7
5	3,67	1,21	2,17
6	2,49	1,55	2,27
7	1,83	1,36	2,19

IA DistorsiI (mm) = Selisih distorsi pada ukuran awal (setelah pengelasan *Uniting Gusset*) - ukuran akhir (setelah Pengelasan Robot)



Gambar 4.14 Grafik besaran distorsi tanpa *preheat* dengan *preheat* 125 °C dan 90 °C

Dari **Gambar 4.14** terlihat perbedaan yang cukup signifikan antara material yang dilakukan *preheat* dan yang tidak. Pada material yang tidak dilakukan *preheat* memiliki nilai distorsi yang sangat bervariasi dan tidak menunjukkan nilai yang konsisten. Tetapi, dengan dilakukan *preheat* terlihat pada grafik bahwa besarnya distorsi dapat dikendalikan sehingga dapat menjadi suatu prediksi yang baik. Terlihat dengan dilakukan *preheat* pada suhu yang berbeda menunjukkan grafik yang berbeda juga.

Pada suhu 90°C terlihat memiliki garis nilai distorsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *preheat* pada suhu 125°C. Tetapi bila dibandingkan dengan yang tidak dilakukan *preheat* memiliki garis yang konsisten yaitu terdistorsi dengan besar rata-rata 2 mm. Hal tersebut mengindikasikan bahwa terdapat pengaruh yang cukup signifikan terhadap pergerakan distorsi, dan distorsi harus lebih dikendalikan dengan diharapkan nilai distorsi akan turun.

Pada perlakuan *preheat* di 125°C terlihat bahwa pengendalian distorsi cukup signifikan. Terlihat dengan menurunnya nilai distorsi menjadi yang paling kecil diantara yang lain yaitu rata-rata sebesar 1,25 mm. Nilai distorsinya juga menunjukkan konsistensi yang jelas sehingga dapat digunakan untuk salah satu metode pengendalian distorsi pada produk *swing arm*.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Perlakuan pemanasan awal (*preheat*) dengan suhu 90°C pada bagian *collar* memberikan kisaran besaran perubahan dimensi antara 2 - 2,5 mm, dengan suhu 125 °C memberikan kisaran besaran perubahan dimensi antara 1,5 - 1,93 mm, dan yang tidak dilakukan pemanasan awal (*preheat*) memberikan kisaran besaran perubahan dimensi antara 0,86 - 2,58 mm.
2. Perlakuan pemanasan awal (*preheat*) dengan suhu 90°C pada bagian *end piece* memberikan kisaran besaran perubahan dimensi antara 1,7 - 2,37 mm, dengan suhu 125 °C memberikan kisaran besaran perubahan dimensi antara 0,86 - 1,55 mm, dan yang tidak dilakukan pemanasan awal (*preheat*) memberikan kisaran besaran perubahan dimensi antara 0,44 - 3,67mm.
3. Berdasarkan hasil analisa data, menggunakan perlakuan pemanasan awal (*preheat*) pada temperatur 125 °C memberikan nilai perubahan dimensi yang lebih kecil dan memiliki nilai perubahan dimensi yang lebih konsisten bila dibandingkan dengan *preheat* pada temperatur 90°C dan yang tidak menggunakan *preheat*.
4. Perlakuan pemanasan awal (*preheat*) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besaran perubahan dimensi atau distorsi dan dapat dijadikan salah satu metode pengendalian perubahan dimensi atau distorsi pada pengelasan *swing arm* dengan menggunakan proses pengelasan GMAW.

REFERENSI

1. Farid Moch. Zamil. 2003. "Manual Distorsi/Deformasi (Perubahan Bentuk)". Diakses 10 Mei 2009, dari migas online.
<http://www.migas-indonesia.com/index.php?module=article&sub=article&act=view&id=164>
2. G.L Datta, Amar Kumar Behera, Chandan Kumar, Ramchandra Palsaniya. "An Investigation Into Distortion In Welded Tee Joints". Diakses 10 Mei 2009.
http://www.geocities.com/chandan_kumar004/Distortion.pdf
3. Juliana Anggono, Roche Alimin. "Pengaruh Besar Input Panas Pengelasan SMAW Terhadap Distorsi Angular Sambungan T Baja Lunak SS 400". Diakses 10 Mei 2009, dari Universitas Kristen Petra.
<http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/mes/article/viewFile/15895/15>
4. James Dydo, Harvey Castner. 1999. "Guidelines For Control Of Distortion In Thin Ship Structures". Navy Joining Center. Ohio.
5. Artikel "Prevention and Control of Weld Distortion". Diakses 10 Mei 2009.
<http://www.lincolnelectric.com/knowledge/articles/content/distortion.asp?print=y>
6. Artikel "What The Welding Inspector Should Know About Preheating And Postweld Heat Treatment" Diakses 15 Mei 2009.
<http://www.esabna.com/us/en/education/knowledge/weldinginspection/What-The-Welding-Inspector-Should-Know-About-Preheating-And-Postweld-Heat-Treatment.cfm>
7. Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura. 1996. "Teknologi Pengelasan Logam", Cetakan Ke-7, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
8. Klas Weman. 2003. "Welding Process Handbook". Woodhead Publishing. USA.
9. Gower A.Kennedy. 1976. "Welding Technology, 1st Edition". Howard W. Sam & Co., Indiana Polis, USA.
10. I N Budiarsa. 2008. "Pengaruh besar arus pengelasan dan kecepatan volume alir gas pada proses las GMAW terhadap ketangguhan aluminium 5083 " Diakses 17 Mei 2009 dari Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Bali..
11. Dave Smith. 1986. "Welding Skills and Technology". McGraw-Hill Book. Singapore.