



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUNAAN BAJA PENAHAN DALAM PENGENDALIAN
DISTORSI PADA PENGELASAN *SWING ARM***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**UNWAN FALAHY
0405040694**

**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 : Unwan Falahy
NPM : 0405040694

Tanda Tangan :
Tanggal : 17 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Unwan Falahy
NPM : 0405040694
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Penggunaan baja penahan 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

Segala puji bagi Allah SWT atas selesainya skripsi ini,
Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

Dr. Ir. Muhammad Anis, M.Met.

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



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

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

Nama : Unwan Falahy
NPM : 0405040694
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
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 :

**Penggunaan Baja Penahan 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

(.....)

ABSTRAK

Nama : Unwan Falahy
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Penggunaan baja penahan 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 atau deformasi. Skripsi ini berisi penelitian mengenai pengaruh penggunaan baja penahan terhadap pengendalian distorsi pada *swing arm* yang dilas menggunakan proses pengelasan robot otomatis GMAW. Baja penahan dipasang pada bagian *collar* dan *end piece* pada *swing arm* selama periode waktu tertentu. Hasil dimensi akhir setelah terjadinya distorsi setelah pengelasan dibandingkan antara pengelasan tanpa penahan, pengelasan dengan pemasangan penahan selama 60 detik, dan pengelasan dengan pemasangan penahan selama 120 detik. Berdasarkan data hasil penelitian, pengelasan dengan pemasangan penahan selama 60 detik efektif untuk menghentikan gerak distorsi pada *collar* dan pengelasan dengan pemasangan penahan selama 120 detik efektif untuk menghentikan gerak distorsi pada *end piece*. Namun demikian, penggunaan penahan untuk menghentikan distorsi dapat mengakibatkan tegangan sisa yang lebih besar yang dapat memberikan efek lain bagi material yang dilas.

Kata kunci : Distorsi, GMAW, *Swing Arm*, Baja Penahan, Tegangan Sisa

ABSTRACT

Name : Unwan Falahy
Study Program : Metallurgy & Materials Engineering
Title : Clamping application in controlling distorsion on swing arm welding

Distortion that occur in production process of swing arm in automotive manufacturing company causes less of productivity because of taking more time and more man power to fixed up distortion effect. This project consists of research on influence of clamping application in controlling distortion on swing arm welding with GMAW process. Clamping is installed on the collar and the end piece of swing arm on certain period of time. Final dimension after welding is compared to welding without clamping, welding with clamping installation for 60 seconds, and welding with clamping installation for 120 seconds. Based on the research data, clamping installation for 60 seconds is effective to stop the distortion in the collar and clamping installation for 120 seconds is effective to stop the distortion in the end piece. However, clamping installation in order to stop the distortion can cause bigger residual stress that has the various effects in welded metal.

Keywords: Distortion, GMAW, Swing Arm, Clamping, Residual Stress

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Batasan Penelitian	3
1.4. Sistematika Penulisan	4
2. DASAR TEORI	6
2.1. Distorsi Pada Pengelasan	6
2.1.1. Tipe-Tipe Distorsi	7
2.1.2. Metode Pencegahan dan Pengurangan Distorsi	11
2.2. Aliran Panas (<i>Heat Flow</i>)	12
2.2.1. Penghasil dan Penyebaran Panas Pengelasan	12
2.2.2. Daerah HAZ (<i>Heat-Affected Zone</i>)	14
2.2.3. Kecepatan Pendinginan (<i>Cooling Rate</i>)	15
2.2.4. Tegangan Sisa (<i>Residual Stress</i>)	17
2.3. Pengendalian Distorsi Dengan <i>Clamping</i>	18
2.4. Proses Pengelasan GMAW Pada <i>Swing Arm</i>	21
2.4.1. Proses Pengelasan <i>Gas Metal Arc Welding (GMAW)</i>	21
2.4.2. Pengelasan <i>Swing Arm</i>	22

3. METODE PENELITIAN	25
3.1. Diagram Alir Penelitian	25
3.2. Alat dan Bahan	26
3.2.1 Alat	26
3.2.2 Bahan	26
3.3. Parameter Pengelasan <i>Swing Arm</i>	26
3.4. Pengumpulan Data Statistik Distorsi Tiap Proses	27
3.5. Pembuatan <i>Baja penahan</i>	27
3.6. Pengujian Dengan Menggunakan <i>Baja penahan</i> Setelah Pengelasan Robot	28
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Distorsi Pengelasan Tiap Tahap Proses Pengelasan <i>Swing Arm</i>	31
4.2. Distorsi <i>Swing Arm</i> Setelah Pengelasan Robot Tanpa <i>Baja penahan</i>	33
4.3. Distorsi <i>Swing Arm</i> Setelah Pengelasan Robot Dengan <i>Baja penahan</i> selama 60 detik	38
4.4. Distorsi <i>Swing Arm</i> Setelah Pengelasan Robot Dengan <i>Baja penahan</i> selama 120 detik	43
4.5. Pengaruh <i>Baja penahan</i> Terhadap Pengendalian Distorsi <i>Swing Arm</i> Setelah Pengelasan Robot	47
5. KESIMPULAN	51
DAFTAR REFERENSI	52

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data distorsi <i>collar</i> tanpa <i>baja penahan</i>	33
Tabel 4.2. Data distorsi <i>end piece</i> tanpa <i>baja penahan</i>	36
Tabel 4.3. Data distorsi <i>collar</i> dengan <i>baja penahan</i> selama 60 detik	38
Tabel 4.4. Data distorsi <i>end piece</i> dengan <i>baja penahan</i> selama 60 detik	41
Tabel 4.5. Data distorsi <i>collar</i> dengan <i>baja penahan</i> selama 120 detik	43
Tabel 4.6. Data distorsi <i>end piece</i> dengan <i>baja penahan</i> selama 120 detik	45
Tabel 4.7. Data perbandingan Δ distorsi <i>collar</i> setiap variabel	48
Tabel 4.8. Data perbandingan Δ distorsi <i>end piece</i> setiap variabel	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema tegangan yang terjadi saat pengelasan	7
Gambar 2.2. Ilustrasi distorsi penyusutan transversal	8
Gambar 2.3. Ilustrasi distorsi angular	8
Gambar 2.4. Ilustrasi distorsi rotasi	9
Gambar 2.5. Ilustrasi distorsi penyusutan longitudinal	9
Gambar 2.6. Ilustrasi distorsi menekuk longitudinal	10
Gambar 2.7. Ilustrasi distorsi melengkung	10
Gambar 2.8. Jenis-jenis <i>pre-heating</i>	12
Gambar 2.9. Ilustrasi struktur mikro daerah HAZ	14
Gambar 2.10. Grafik pengaruh ketebalan terhadap kecepatan pendinginan	16
Gambar 2.11. Grafik pengaruh panjang lasan terhadap kecepatan pendinginan	17
Gambar 2.12. Perbandingan hasil pengelasan dengan clamping dan tanpa clamping	19
Gambar 2.13. Distorsi akibat pemasangan clamping	20
Gambar 2.14. Ilustrasi mesin dan prinsip kerja GMAW	21
Gambar 2.15. Bentuk <i>swing arm</i> beserta bagian <i>collar</i> dan <i>end piece</i>	22
Gambar 2.16. Tahapan pengelasan <i>swing arm</i>	23
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	25
Gambar 3.2. <i>Baja penahan</i> yang digunakan dalam penelitian	28
Gambar 3.3. Pemasangan <i>baja penahan</i> setelah pengelasan	29
Gambar 4.1. Grafik distorsi <i>collar</i> pada semua tahap	31
Gambar 4.2. Grafik distorsi <i>end piece</i> pada semua tahap	32

Gambar 4.3. Grafik Δ distorsi <i>collar</i> tanpa <i>baja penahan</i>	35
Gambar 4.4. Grafik Δ distorsi <i>end piece</i> tanpa <i>baja penahan</i>	37
Gambar 4.5. Grafik Δ distorsi <i>collar</i> dengan <i>baja penahan</i> selama 60 detik	40
Gambar 4.6. Grafik Δ distorsi <i>end piece</i> dengan <i>baja penahan</i> selama 60 detik	42
Gambar 4.7. Grafik Δ distorsi <i>collar</i> dengan <i>baja penahan</i> selama 120 detik	44
Gambar 4.8. Grafik Δ distorsi <i>end piece</i> dengan <i>baja penahan</i> selama 120 detik	47
Gambar 4.9. Grafik perbandingan Δ distorsi <i>collar</i> setiap variabel	48
Gambar 4.10. Grafik perbandingan Δ distorsi <i>end piece</i> setiap variabel	50



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam industri manufaktur kendaraan bermotor, pengelasan memiliki peranan penting. Walaupun pada saat sekarang teknologi material berbasis polimer dan keramik sedang berkembang pesat, bagian-bagian kerangka inti dari sepeda motor masih berbahan dasar logam. Oleh karena itu untuk merangkai bentuk-bentuk tertentu dan memiliki kekuatan yang diinginkan, caranya adalah dengan dilas. Salah satu bagian dalam kerangka sepeda motor yang difabrikasi dengan proses pengelasan adalah *swing arm* yaitu bagian yang menyambungkan antara roda belakang dengan mesin.

Swing arm terdiri dari tiga komponen utama yaitu *pipe R*, *pipe L*, *pipe cross*, dan *gusset*. Proses fabrikasi *swing arm* dimulai dengan proses pengelasan yang terdiri dari tiga tahap yaitu *uniting pipe RL*, *uniting gusset*, dan *full uniting* dengan robot. Selanjutnya dilakukan proses *fine boring* dan *buffing*. Selanjutnya, komponen (*part*) ini masuk ke bagian *assembly* untuk disatukan dengan komponen lain dan akan dirangkai menjadi sepeda motor.

Pada proses pengelasan *swing arm*, terjadi suatu masalah. Dimensi akhir *swing arm* setelah proses pengelasan tidak sesuai dengan standar dimensi yang diinginkan. Hal ini terjadi karena terjadi fenomena perubahan bentuk material dari dimensi yang diinginkan disebabkan oleh pengaruh panas akibat proses pengelasan, atau yang disebut distorsi. Terjadinya distorsi pada *swing arm* dapat diketahui dengan mengukur jarak antara kedua *collar* dan *end piece*. Jika tidak sesuai dengan standar dimensi beserta toleransinya, maka komponen tersebut telah mengalami distorsi pengelasan yang tidak diinginkan.

Terjadinya distorsi pada *swing arm* ini memiliki efek negatif pada produksi sepeda motor secara keseluruhan. Jika terjadi distorsi, maka jarak antara kedua *collar* dan *end piece* tidak sesuai standar, bisa lebih besar atau lebih kecil.

Khususnya jika jarak kedua *end piece* lebih kecil dari standar, maka roda belakang motor tidak akan dapat masuk dan berakibat produksi satu buah sepeda motor dapat dikatakan gagal. Pada pabrik tempat dilakukan penelitian, jika suatu *swing arm* teridentifikasi mengalami distorsi berlebihan tersebut, maka dilakukan proses mekanis untuk mengembalikan dimensi ke ukuran yang diinginkan dengan cara dipukul dengan palu. Hingga saat ini, proses mekanis ini cukup efektif untuk mengatasi permasalahan distorsi pengelasan yang terjadi pada *swing arm*. Tapi masalah yang dihadapi adalah adanya waktu tambahan yang cukup banyak untuk dilakukannya proses mekanis tersebut karena hampir tidak ada satupun komponen yang tidak mengalami proses mekanis ini, yang artinya hampir semua komponen mengalami distorsi yang berlebihan akibat pengelasan pada fabrikasi *swing arm* ini. Produksi sepeda motor merupakan produksi massal yang setiap detiknya sangat berguna untuk meningkatkan laju produksi. Dengan adanya proses mekanis untuk mengatasi permasalahan distorsi ini akan mengurangi laju produksi. Selain itu, penambahan *man power* untuk proses mekanis ini juga dapat menjadi pertimbangan.

Material yang digunakan sebagai material dasar *swing arm* adalah baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,15%. Proses pengelasan *swing arm* menggunakan proses (GMAW) *Gas Metal Arc Welding*.

Distorsi merupakan fenomena alamiah yang terjadi akibat panas pengelasan. Fenomena ini tidak dapat dihindari atau dihilangkan. Hal yang dapat dilakukan oleh para perekayasa adalah mengurangi dan mengendalikan pergerakan distorsi akibat pengelasan ini. Beberapa cara telah dipelajari untuk mengendalikan distorsi seperti *pre-heating*, *pre-deformation*, *clamping*, dll. Metode yang telah dilakukan di pabrik tempat penelitian dilakukan adalah dengan *pre-deformation*. Metode ini dilakukan dengan mengatur ukuran *jig* awal sebelum proses pengelasan dilakukan lebih besar dari ukuran standar dengan harapan ketika terjadi distorsi setelah pengelasan, maka dimensi akan berubah mendekati ke ukuran standar yang diinginkan.

Untuk mengendalikan pergerakan distorsi pada *swing arm*, maka salah satu cara yang dapat dikatakan paling murah adalah dengan menahan pergerakan distorsi tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sebuah batangan baja untuk menahan pergerakan distorsi setelah pengelasan robot. Hal ini bertujuan untuk melihat sejauh mana pengaruh adanya baja penahan tersebut terhadap pengendalian distorsi *swing arm* tersebut. Pengujian dilakukan dengan variabel waktu lamanya penahanan dengan baja penahan dilakukan. Selain untuk melihat signifikansi penggunaan penahan terhadap pergerakan distorsi, penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui waktu optimal lamanya penahanan dilakukan untuk menghasilkan komponen dengan ukuran yang diinginkan dan memiliki tegangan sisa yang tidak terlalu besar.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui pengaruh penggunaan baja penahan dalam pengendalian distorsi akibat pengelasan.
2. Mengetahui waktu optimal lamanya penahanan dilakukan untuk menghasilkan dimensi yang diinginkan dan bebas dari tegangan sisa yang besar.

1.3. Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini adalah :

1. Komponen yang diteliti adalah *swing arm*. *Swing arm* merupakan bagian yang menyambungkan roda belakang sepeda motor dengan mesin. Penelitian ini dilakukan untuk mengendalikan distorsi akibat pengelasan hanya pada fabrikasi *swing arm*.
2. Terdapat beberapa jenis sepeda motor yang difabrikasi dalam pabrik, artinya terdapat pula beberapa tipe *swing arm* yang difabrikasi. Penelitian ini difokuskan kepada tipe *swing arm* KVL-P.

3. Proses pengelasan dalam fabrikasi *swing arm* dibagi menjadi beberapa tahap. Penelitian ini dilakukan untuk mengendalikan distorsi akibat pengelasan pada tahap akhir yaitu pengelasan otomatis dengan menggunakan robot. Pengelasan robot ini memiliki peran paling besar dalam terjadinya distorsi pada *swing arm*.
4. Material yang diteliti adalah material yang digunakan sebagai logam dasar komponen *swing arm* yaitu baja karbon rendah dengan kandungan karbon 0,15%.
5. Terdapat beberapa cara untuk mengendalikan pergerakan distorsi akibat pengelasan. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah penggunaan penahan yang selanjutnya disebut baja penahan. Cara kerja baja penahan ini menggunakan prinsip *clamping*.
6. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel waktu lamanya proses penahanan pergerakan distorsi setelah pengelasan. Hasil akhir dimensi *swing arm* ini akan dibandingkan dengan hasil akhir dimensi *swing arm* tanpa penahan setelah pengelasan. Variabel yang digunakan adalah tanpa baja penahan, pemasangan baja penahan selama 60 detik, dan pemasangan baja penahan selama 120 detik. Dalam setiap variabel waktu tersebut akan diambil sampel masing-masing sebanyak 6 (enam) buah.

1.4. Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun menjadi lima bab yaitu pendahuluan, dasar teori, metode penelitian, hasil dan pembahasan, serta kesimpulan.

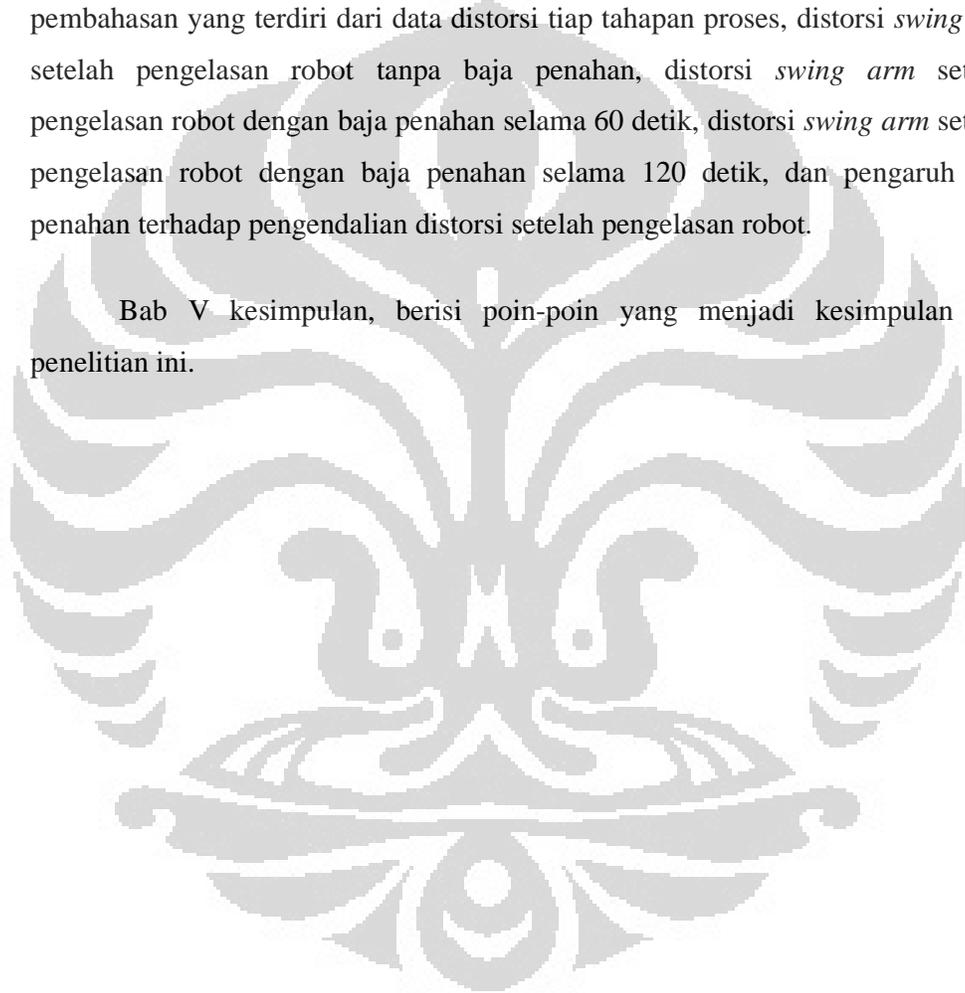
Bab I pendahuluan, berisi latar belakang dilakukannya penelitian, tujuan penelitian, batasan-batasan yang ada dalam melakukan penelitian, serta sistematika penulisan skripsi.

Bab II dasar teori, berisi penjelasan beberapa teori-teori literatur yang dapat dijadikan referensi dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi. Hal-hal yang dibahas yaitu distorsi pengelasan, aliran panas, pengendalian distorsi dengan *clamping*, dan proses pengelasan *swing arm* dengan menggunakan proses GMAW.

Bab III metode penelitian, berisi diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, serta penjelasan langkah-langkah penelitian secara garis besar yaitu pengumpulan data statistik distorsi pengelasan yang terjadi dalam setiap tahap proses, pembuatan baja penahan, dan pengujian penggunaan baja penahan untuk mengendalikan distorsi.

Bab IV hasil dan pembahasan, berisi data hasil penelitian beserta analisa pembahasan yang terdiri dari data distorsi tiap tahapan proses, distorsi *swing arm* setelah pengelasan robot tanpa baja penahan, distorsi *swing arm* setelah pengelasan robot dengan baja penahan selama 60 detik, distorsi *swing arm* setelah pengelasan robot dengan baja penahan selama 120 detik, dan pengaruh baja penahan terhadap pengendalian distorsi setelah pengelasan robot.

Bab V kesimpulan, berisi poin-poin yang menjadi kesimpulan dari penelitian ini.



BAB 2

DASAR TEORI

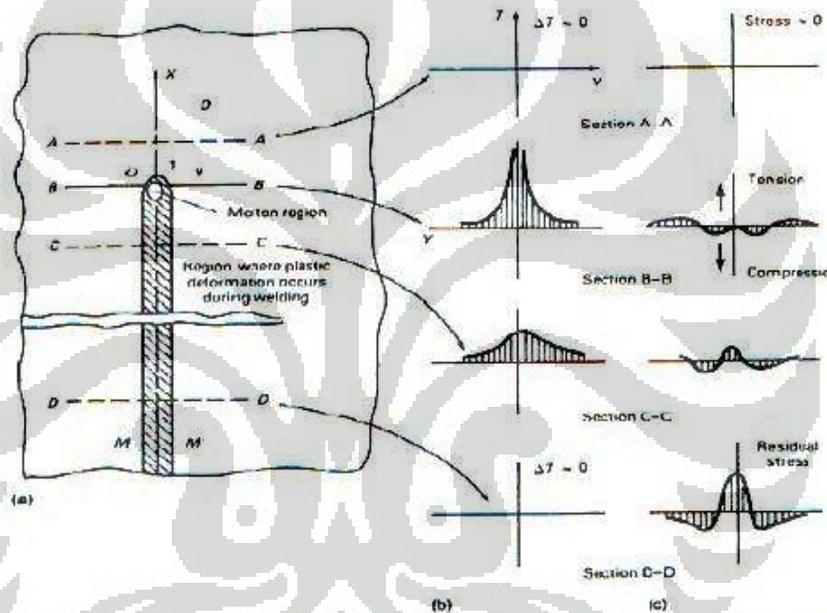
2.1. Distorsi Pada Pengelasan

Selama proses pengelasan berlangsung, terjadi regangan termal dalam daerah *weld metal* dan *base metal* yang dekat dengan daerah yang dilas. Regangan yang dihasilkan selama pemanasan akan disertai dengan perubahan plastis yang tidak menentu. Akibatnya, munculah tegangan yang menyatu dengan regangan tersebut dan menghasilkan gaya dalam internal material yang mengakibatkan pembengkokan, pelengkungan, dan rotasi pada material. Perubahan bentuk ini yang dinamakan distorsi [1].

Secara umum, distorsi akibat pengelasan didefinisikan sebagai perubahan bentuk dari bentuk yang diinginkan suatu benda kerja akibat panas pada proses pengelasan. Pada dasarnya, terjadi perubahan sifat fisis dari benda kerja misalnya penurunan modulus elastisitas (E) dengan peningkatan temperatur, atau penurunan kekuatan luluh benda kerja seiring dengan peningkatan koefisien ekspansi termal. Sifat-sifat fisis dan mekanis logam induk turut mempengaruhi terjadinya distorsi pada pengelasan. Singkatnya, modulus elastisitas (E) dan kekuatan luluh dapat dipertimbangkan sebagai ukuran perlawanan logam induk terhadap terjadinya distorsi. Pada logam induk yang tipis, kekakuan cukup untuk menentukan perlawanan logam induk terhadap terjadinya distorsi, terutama distorsi lengkung. Jika koefisien ekspansi termal meningkat, distorsi yang terjadi juga akan meningkat. Namun jika konduktivitas termal yang meningkat, distorsi yang terjadi akan berkurang. Pada saat pengelasan, ketika temperatur daerah lasan meningkat, maka modulus elastisitas, kekuatan luluh, dan konduktivitas termal berkurang sedangkan koefisien ekspansi termal meningkat [2].

Pada saat pengelasan, *filler metal* dan *base metal* akan dilelehkan dan menghasilkan temperatur yang sangat tinggi. Temperatur tinggi ini mengakibatkan bagian logam yang paling dekat dengan las-lasan untuk berekspansi menjauhi las-lasan. Bagian logam yang lebih dingin akan menahan

gaya ekspansi ini. Karena terjadi penurunan kekuatan luluh, maka terjadi aliran plastis di dalam logam yang panas. Ketika terjadi proses pendinginan, bagian dari las-lasan yang berdeformasi mengalami kontraksi dan gaya kontraksi ini tertahan oleh logam sekitarnya yang lebih dingin. Hal ini menghasilkan tegangan tarik pada las-lasan. Distorsi kebanyakan terjadi ketika muncul tegangan *compressive* yang mengimbangi tegangan tarik yang nilainya melebihi nilai *critical buckling* dari material[1]. Skema munculnya tegangan sisa (tarik dan tekan) selama proses pengelasan terdapat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Skema tegangan yang terjadi saat pengelasan [1]

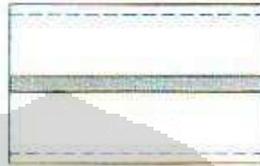
2.1.1. Tipe-Tipe Distorsi

Terdapat tiga perubahan dimensi paling mendasar yang terjadi selama proses pengelasan yang mengakibatkan distorsi, yaitu [1]:

- Shrinkage transversal* yang tegak lurus dengan garis pengelasan
- Shrinkage longitudinal* yang sejajar dengan garis pengelasan
- Distorsi angular yang bergerak mengitari garis pengelasan

Perubahan-perubahan dimensi ini diklasifikasikan menjadi beberapa jenis distorsi sebagai berikut :

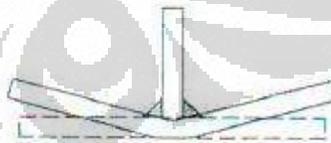
1. Penyusutan transversal (*transversal shrinkage*)



Gambar 2.2. Ilustrasi distorsi penyusutan transversal [16]

Gambar 2.2 menunjukkan penyusutan transversal yang terjadi pada sambungan tumpul (*butt joint*). Gaya penyusutan ini terjadi secara tidak merata sepanjang garis pengelasan. Namun demikian, distorsi ini tidak biasa terjadi pada sambungan tumpul, khususnya jika pengelasannya panjang. Pada kondisi tersebut, biasanya terjadi penyusutan transversal yang kompleks. Faktor-faktor utama yang menyebabkan ketidakmerataan penyusutan ini adalah *rotational distortion* dan *restrain*. Penyusutan transversal yang terjadi dalam las-lasan seakan diakibatkan oleh penahanan (*restrain*) yang diaplikasikan pada las-lasan tersebut[1].

2. Distorsi Angular (*angular change*)



Gambar 2.3. Ilustrasi distorsi angular [16]

Distorsi angular sering terjadi disebabkan oleh ketidakmerataan distribusi panas pada setiap variasi ketebalan. Ilustrasi distorsi angular terdapat pada Gambar 2.3. Besarnya distorsi angular dipengaruhi oleh : a).

lebar dan kedalaman *fusion zone*, b). tipe sambungan, c). urutan pengelasan, d). sifat termomekanis material, dan e) parameter pengelasan[3].

3. Distorsi rotasi (*rotational distortion*)

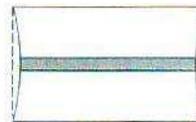


Gambar 2.4. Ilustrasi distorsi rotasi [16]

Distorsi rotasi dapat disebabkan oleh pengaruh masukan panas dan kecepatan pengelasan yang mengakibatkan ekspansi termal pada material. Ilustrasi distorsi rotasi terdapat pada Gambar 2.4. Distorsi rotasi umumnya dapat menyebabkan dua hal yaitu[1] :

- a. Distorsi rotasi merupakan salah satu hal yang mengakibatkan penyusutan transversal pada sambungan tumpul, khususnya pada sambungan yang panjang. Ketika mempelajari bagaimana urutan pengelasan (*welding sequence*) mempengaruhi penyusutan transversal, juga harus mempertimbangkan efek dari distorsi rotasi. Distorsi rotasi terbesar terjadi selama pengelasan pass pertama ketika bagian sambungan yang tidak dilas dapat dikatakan relatif bebas.
- b. Gaya yang dihasilkan oleh distorsi rotasi dapat menjadi cukup besar untuk merusak las-lasan.

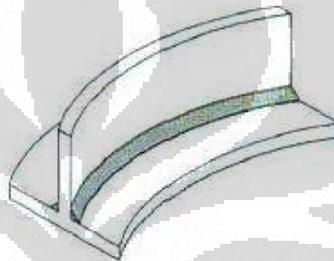
4. Penyusutan longitudinal (*longitudinal shrinkage*)



Gambar 2.5. Ilustrasi distorsi penyusutan longitudinal [16]

Penyusutan longitudinal jarang sekali terjadi pada sambungan tumpul dibandingkan dengan penyusutan transversal. Penyusutan longitudinal banyak dipelajari pada sambungan *fillet*. Ilustrasi distorsi penyusutan longitudinal terdapat pada Gambar 2.5. Penyusutan longitudinal pada dasarnya adalah fungsi dari total *cross section* yang meliputi sambungan las. Penahan akan lebih efektif ketika material lebih tipis dan lebih lebar[1].

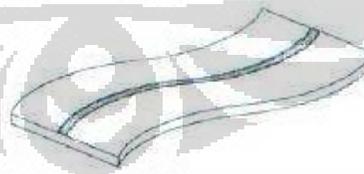
5. Distorsi menekuk longitudinal (*longitudinal bending distortion*)



Gambar 2.6. Ilustrasi distorsi menekuk longitudinal [16]

Ilustrasi distorsi menekuk longitudinal terdapat pada Gambar 2.6. Ketika garis pengelasan tidak berimpit dengan garis netral (*neutral axis*) dari benda kerja, penyusutan longitudinal akan mengakibatkan momen tekuk[1].

6. Distorsi melengkung (*Buckling distortion*)



Gambar 2.7. Ilustrasi distorsi melengkung [16]

Kebanyakan terjadi pada material dengan ketebalan kecil (tipis) yang disebabkan tegangan tekan akibat panas yang tidak stabil. Ketika plat tipis dilas, tegangan tekan sisa akan terjadi pada daerah yang agak jauh dari las-lasan dan mengakibatkan lengkungan pada benda kerja. Distorsi melengkung

terjadi ketika panjang spesimen melampaui batas kritis dimensi yang ditentukan. Ilustrasi distorsi melengkung terdapat pada Gambar 2.7. Dalam mempelajari distorsi pada plat tipis, sangat penting untuk menentukan apakah distorsi tersebut dikarenakan oleh distorsi tekuk (*bending*) atau distorsi lengkung (*buckling*). Distorsi lengkung berbeda dengan distorsi tekuk dalam hal[1]:

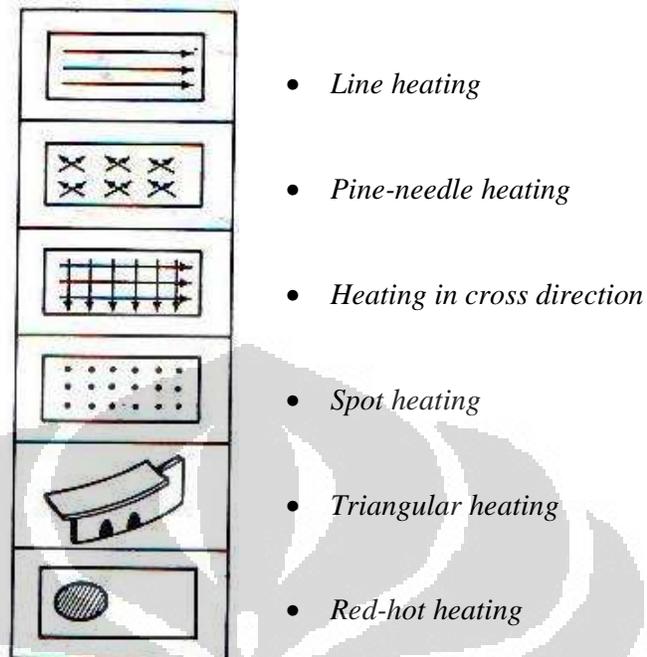
- a. Terdapat lebih dari satu bentuk deformasi yang stabil
- b. Jumlah distorsi lebih banyak

Karena jumlah distorsi lengkung lebih besar, cara terbaik untuk menghindarinya adalah dengan pemilihan yang tepat mengenai beberapa hal seperti ketebalan material dan parameter pengelasan.

2.1.2. Metode Pencegahan dan Pengurangan Distorsi

Beberapa cara telah dipelajari dan diteliti untuk mencegah terjadinya distorsi. Karena distorsi pada pengelasan merupakan fenomena alamiah pada logam yang dilas, maka distorsi sesungguhnya tidak dapat dihilangkan sama sekali. Hal yang dapat dilakukan adalah mengontrol pergerakan distorsi tersebut dan menguranginya. Beberapa metode tersebut antara lain[1] :

1. Pemilihan parameter las (arus, tegangan, kecepatan pengelasan), teknik pengelasan, disain sambungan, dan urutan pengelasan yang tepat.
2. Pemanasan awal (*pre-heating*) untuk mengontrol laju pendinginan setelah pengelasan. Beberapa metode pemanasan yang diaplikasikan pada benda kerja sebelum dilas dapat dilihat pada Gambar 2.8[1] :



Gambar 2.8. Jenis-jenis *pre-heating* [1]

3. Deformasi awal (*pre-deformation*) yang bertujuan agar ketika terjadi deformasi setelah pengelasan, maka dimensi akhir adalah dimensi yang diinginkan.
4. Menggunakan penahan (*clamping*) untuk menghalangi pergerakan distorsi pada material.

2.2. Aliran Panas (*Heat Flow*)

2.2.1. Penghasil dan Penyebaran Panas Pengelasan

Sumber panas yang dihasilkan dalam pengelasan busur berasal dari tiga sumber yaitu[1]:

1. Panas yang dihasilkan oleh daya listrik dari busur las, atau disimbolkan dengan H .

$$H = V \cdot I \quad , \text{ watts (joule per second)}$$

dimana, V = Tegangan busur, *volts* dan I = Arus busur, *ampere*

2. Panas yang diakibatkan oleh reaksi kimia dari pelapis elektroda, busur dengan atmosfer, dan dari kolam panas (*molten pool*). Reaksi dalam kolam panas meliputi reaksi antara terak (*slag*) dan lelehan logam, dll.
3. Panas yang diakibatkan perubahan bentuk logam.

Akan tetapi, faktor yang paling berpengaruh dalam menghasilkan panas pengelasan adalah daya listrik dari busur. Masukan energi panas atau yang biasa dikenal dengan masukan panas (*heat input*) dinotasikan dengan h dapat diperoleh dari gabungan pengaruh arus mesin, tegangan mesin, dan kecepatan pengelasan yang diformulasikan sebagai berikut [1]:

$$h = 60 \times \frac{VI}{v}, \text{ joule per centimeter}$$

dimana, V = Tegangan mesin, *volts*

I = Arus mesin, *ampere*

v = Kecepatan pengelasan, *centimeter per menit*

Panas hasil pengelasan tersebut selanjutnya disebarkan ke dalam beberapa hal yaitu [1]:

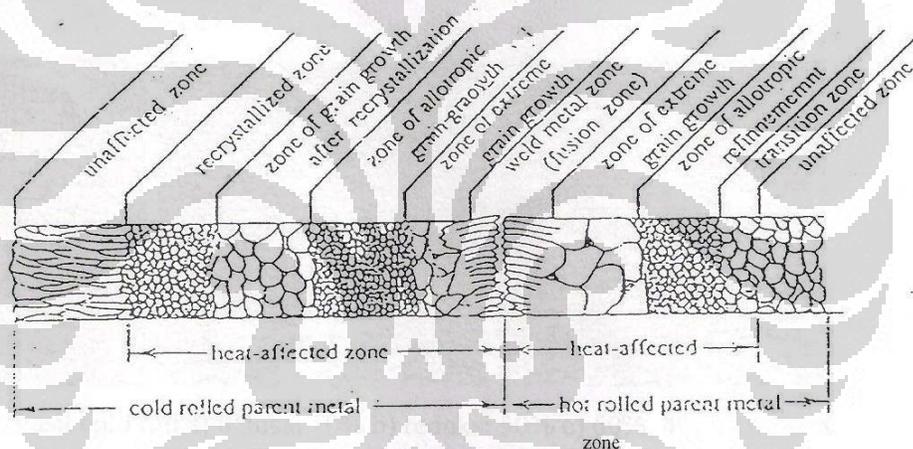
1. Benda kerja melalui prinsip konduktivitas termal
2. Elektroda melalui prinsip konduktivitas termal, kebanyakan panas digunakan untuk melelehkan elektroda (hanya untuk *consumable electrode*).
3. Lingkungan sekitar dengan prinsip radiasi yang berlangsung sangat cepat dari busur dan dari benda kerja.

Panas dari busur kebanyakan dialirkan secara cepat ke benda kerja yang berada di bawah busur tersebut. Selanjutnya panas tersebut dialirkan kembali ke bagian benda kerja lain yang lebih jauh letaknya dari bagian lasan. Panas yang disebarkan, dinotasikan dengan Q , kalori per detik. Penyebaran panas pada logam induk ini dipengaruhi oleh efisiensi termal dari logam tersebut yang dinotasikan dengan η_a . Panas tersebut dapat didapat dari formulasi [1]:

$$Q = \eta_a \times 0,24 VI$$

2.2.2. Daerah HAZ (*Heat-Affected Zone*)

Prinsip pengelasan adalah menyatukan logam pengisi dan logam induk dengan terlebih dahulu melelehkan keduanya. Tentunya, untuk melelehkan logam ini memerlukan panas yang sangat tinggi hingga melebihi titik didih logam tersebut. Panas yang tinggi ini memberikan efek pada struktur mikro logam induk yang berada di daerah sekitar daerah pengelasan. Daerah logam induk yang mendapatkan pengaruh akibat panas pengelasan dinamakan *Heat-Affected Zone (HAZ)*. Pengaruh panas ini dapat menghasilkan tegangan termal sementara. Tegangan inilah yang dapat menyebabkan terjadinya distorsi. Pembagian daerah HAZ ini dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Ilustrasi struktur mikro daerah HAZ [13]

Pada daerah HAZ, terdapat beberapa bagian dengan struktur mikro yang berbeda, yaitu :

1. Daerah logam las (daerah fusi). Daerah logam pengisi yang cair bercampur dengan logam induk yang dipanaskan hingga mencapai temperatur lebur. Bentuk butirnya *columnar* dan *widmanstatten*, yaitu bentuk memanjang karena logam cair mendapat pendinginan yang sangat cepat.

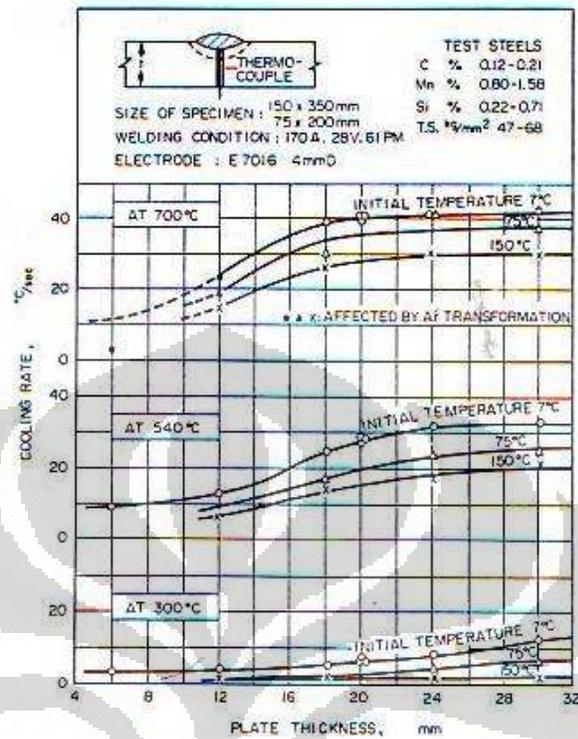
2. Daerah pertumbuhan butir, dimana butir-butir pada logam induk yang tidak ikut mencair akan membesar karena pemanasan yang sangat tinggi akibat pengelasan.
3. Daerah penghalusan butir (rekristalisasi), karena temperatur sedikit lebih rendah dari daerah pada nomor 2. Butir austenit mengalami rekristalisasi dan membentuk butir baru yang lebih halus.
4. Daerah transisi. Ketika proses pengelasan, sebagian fasa adalah austenit dan sebagian lagi masih ferit. Jadi ketika proses pendinginan, bercampur antara ferit baru dan ferit yang telah ada. Daerah 1, 2, 3, dan 4 ini merupakan daerah HAZ.
5. Daerah tak terpengaruh panas (*Unaffected zone*), yaitu bagian logam induk yang tidak berubah fasa karena panas yang diterima tidak terlalu besar atau tidak terkena panas sama sekali.

2.2.3. Kecepatan Pendinginan (*Cooling Rate*)

Besarnya tegangan akibat pengelasan yang dapat menyebabkan distorsi pengelasan dipengaruhi oleh kecepatan pendinginan logam induk setelah proses pengelasan. Makin tinggi kecepatan pendinginan, artinya makin cepat logam mendingin setelah pengelasan, maka distorsi akan makin turun. Kecepatan pendinginan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu [1]:

1. Ketebalan material

Berdasarkan penelitian oleh Kihara [14], kecepatan pendinginan akan meningkat seiring dengan peningkatan ketebalan material. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.10.



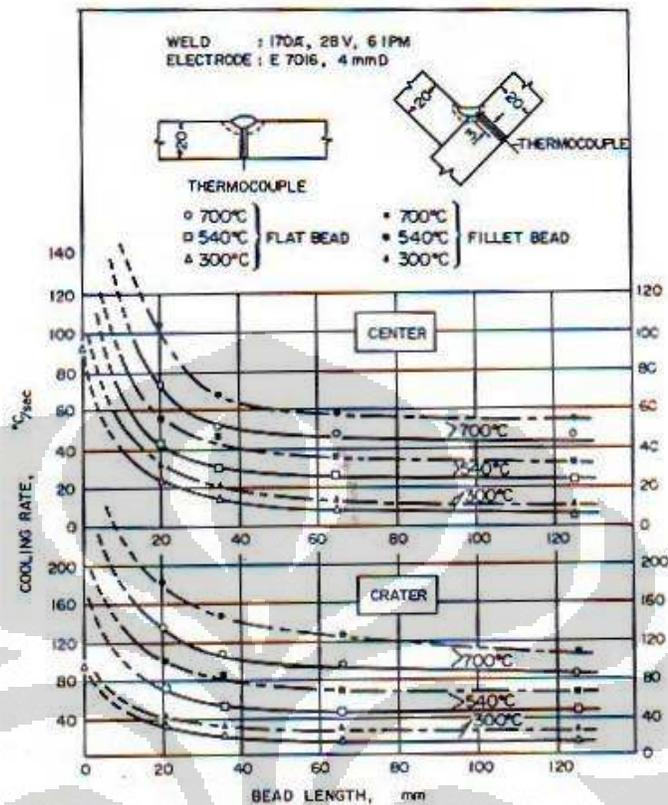
Gambar 2.10. Grafik pengaruh ketebalan terhadap kecepatan pendinginan[1]

2. Temperatur pemanasan awal

Temperatur pemanasan awal memiliki nilai optimum pada setiap jenis material untuk mendapatkan kecepatan pendinginan yang baik yang dapat meminimalisasi distorsi.

3. Panjang lasan

Berdasarkan penelitian oleh Kihara, kecepatan pendinginan akan menurun, yang artinya logam makin lama mendingin, seiring dengan makin panjangnya las-lasan. Hal ini dapat dilihat dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Grafik pengaruh panjang lasan terhadap kecepatan pendinginan [1]

2.2.4. Tegangan Sisa (*Residual Stress*)

Residual stress (tegangan sisa) adalah tegangan yang hadir pada material setelah beban kepada material tersebut yang diberikan di lepas. Tegangan sisa pada pengelasan adalah tegangan sisa internal setelah pengelasan saat pendinginan ke temperatur ruang, terjadi pada daerah lasan sebagai hasil deformasi plastis lokal. Tegangan sisa yang terjadi ketika sebuah logam dikenai perubahan temperatur yang tidak merata disebut juga tegangan termal. Tegangan sisa yang hadir pada benda kerja bergantung pada penyebaran dan besarnya tegangan termal.

Pada Gambar 2.1. dijelaskan *thermal stress* dan hasil tegangan sisa. Gambar A adalah arah pengelasan yang dimulai dari titik O dan dibagi kedalam

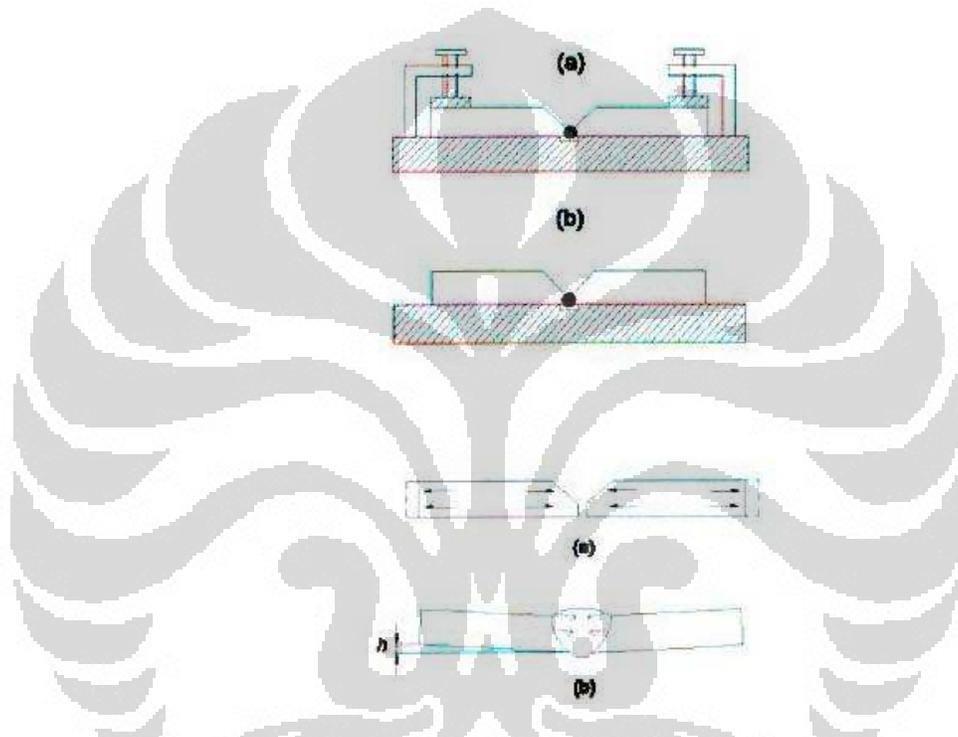
beberapa daerah distribusi. Pada Gambar 2.1(b) terlihat perubahan temperatur saat siklus termal, daerah A-A yang terletak di depan busur las, perubahan temperatur mendekati nol. Pada daerah B-B yang terdapat tepat dipermulaan busur listrik, mengalami perubahan temperatur yang sangat tinggi dan distribusi tidak merata. Sedangkan pada daerah C-C terletak agak jauh dibelakang busur listrik perubahan temperatur sedikit menurun dan pada daerah D-D yang hampir mendekati nol kembali. Pada Gambar C menunjukkan distribusi tegangan termal. Pada daerah A-A tegangan termal mendekati nol. Sedangkan pada daerah B-B ditribusi menunjukkan jumlah tegangan yang sedikit meningkat karena adanya tegangan di daerah HAZ di kedua sisi kampuh las yang *compressive* karena pemuaiian dari logam las. Pada daerah C-C logam las dan HAZ telah dingin sehingga mulai menyusut dan tegangan tarik mulai mempengaruhi daerah deposit lasan sedangkan tegangan yang jauh dari deposit las berupa tegangan tekan. Sedangkan pada daerah D-D dihasilkan tegangan tarik yang besar dekat dengan deposit las dan tegangan tekan dihasilkan pada daerah yang jauh dari deposit las. Daerah ini merupakan tegangan sisa yang terjadi setelah pengelasan dilakukan.

2.3. Pengendalian Distorsi Dengan *Clamping*

Salah satu cara pengendalian pergerakan distorsi pengelasan yang jarang dipertimbangkan dalam banyak penelitian adalah metode *clamping* [5]. *Clamping* merupakan aspek penting dalam pengelasan. Biasanya *clamping* banyak digunakan selama proses pengelasan untuk mem-*fix*-kan benda kerja yang akan dilas. Tidak seperti kebanyakan metode pengendalian distorsi lain, penggunaan *clamping* sebagai pengendali distorsi memiliki salah satu keuntungan utama yaitu tidak mengkonsumsi energi yang besar. Hanya saja, sangat terbatas literatur yang ada mengenai pengaruh *clamping* terhadap pengendalian distorsi setelah pengelasan.

Pengaruh mekanis *clamping* terhadap pergerakan distorsi telah dianalisis secara numerik oleh Roeren dkk. yang menghasilkan kesimpulan bahwa *clamping* memiliki pengaruh yang krusial pada hasil akhir distorsi, khususnya distorsi angular [15].

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Cheng dkk [9], membandingkan dua plat yang dilas dengan parameter yang sama. Seperti ilustrasi pada Gambar 2.12, plat pertama dipasangkan *clamping* pada kedua ujung benda kerja, sedangkan plat kedua dibiarkan bebas ketika dan setelah dilas. Dimensi akhir kedua plat tersebut jelas menunjukkan bahwa plat yang diberikan penahan tidak mengalami distorsi.



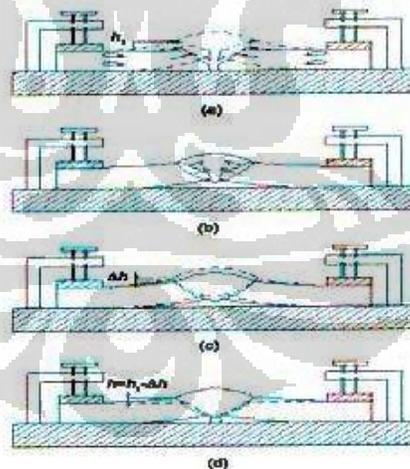
Gambar 2.12. Perbandingan hasil pengelasan dengan *clamping* dan tanpa *clamping* [9]

Pada Gambar 2.12. telah diilustrasikan terjadinya distorsi angular pada plat yang tidak diberikan penahan, yaitu (a) ketika proses pengelasan dan (b) proses pembekuan/pendindingan. Ilustrasi ini memperlihatkan gaya penyusutan akibat pendinginan terjadi pada lasan dan mengakibatkan distorsi plastis pada *weld metal*. Hal ini mengakibatkan logam induk “tertarik” oleh gaya ini dan melengkung ke atas, yaitu menuju ke arah pengelasan dilakukan[9].

Pengaplikasian *clamping* setelah proses pengelasan juga memiliki pengaruh negatif terhadap benda kerja. Seperti yang diketahui bahwa pergerakan

distorsi merupakan fenomena alamiah pada logam yang dilas artinya panas akibat pengelasan pasti memiliki tegangan yang menghasilkan gaya tarik-tekan yang akan mendistorsi logam induk. Dengan ditahannya pergerakan logam yang mendapat gaya dari tegangan tersebut, maka berakibat tegangan seakan tidak tersalurkan. Akibatnya, tegangan sisa akibat pengelasan akan menumpuk pada logam induk. Besarnya tegangan sisa pada suatu logam berakibat potensi logam tersebut untuk mengalami retak dan penurunan kekuatan mekanis sangat besar. Hal ini berakibat perlunya metode tambahan untuk mengurangi tegangan sisa ini hingga ke batas toleransi, salah satunya yaitu dengan menggunakan PWHT (*Post Weld Heat Treatment*).

Pengaruh negatif lain dari ditahannya pergerakan logam induk pada suatu titik tertentu adalah gaya tersebut akan mengakibatkan distorsi pada bagian lain yang masih bebas bergerak. Hal ini dapat mengakibatkan distorsi jenis lain seperti distorsi lengkung atau distorsi tekuk. Pada Gambar 2.13. terlihat bahwa distorsi terjadi pada bagian plat yang tidak ditahan yaitu pada bagian logam induk dekat *weld metal*.



Gambar 2.13. Distorsi akibat pemasangan clamping [9]

Untuk mengurangi besarnya tegangan sisa akibat pengaplikasian *clamping*, terdapat salah satu cara yaitu dengan memperhatikan waktu penahanan oleh

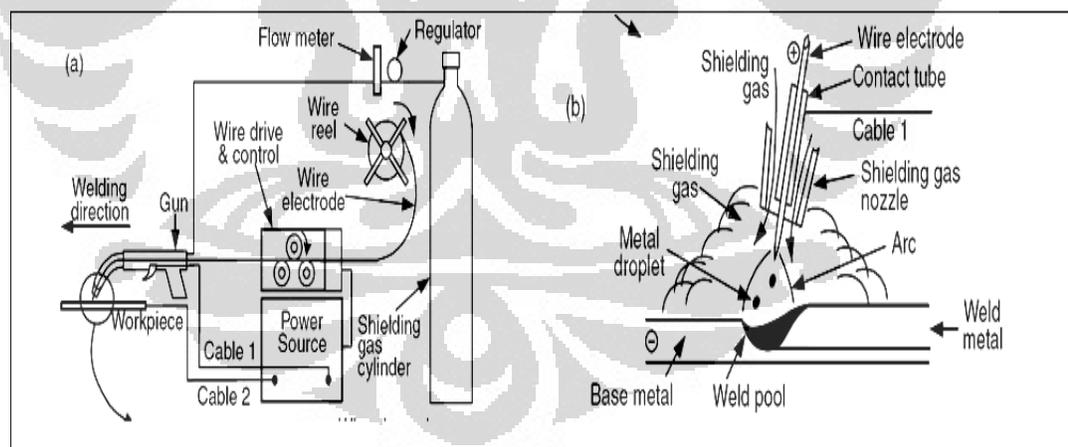
clamping tersebut. Untuk itu harus dipilih waktu penahanan yang optimal yang dapat mendapatkan hasil distorsi yang minimum dengan besar tegangan sisa yang minimum pula.

2.4. Proses Pengelasan GMAW Pada *Swing Arm*

2.4.1. Proses Pengelasan *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*

Gas-metal arc welding merupakan salah satu proses penggabungan dua logam dengan menggunakan elektroda *filler* berupa kawat kontinu dan gas pelindung. Gas pelindung berfungsi melindungi logam cair pada kumpuh las dengan menggunakan gas inert seperti argon dan helium sehingga GMAW juga bisa disebut Metal Inert Gas (MIG). Penggunaan gas tidak inert seperti CO₂ juga sangat umum digunakan pada pengelasan paduan aluminium.

Busur yang stabil, transfer logam yang lebih halus dengan sedikit *spatter* yang hilang dan penetrasi lasan yang baik diperoleh dengan menggunakan jenis arus AC atau DCEN meskipun transfer logamnya kadang tak menentu. [5]



Gambar 2.14. Ilustrasi mesin dan prinsip kerja GMAW [8]

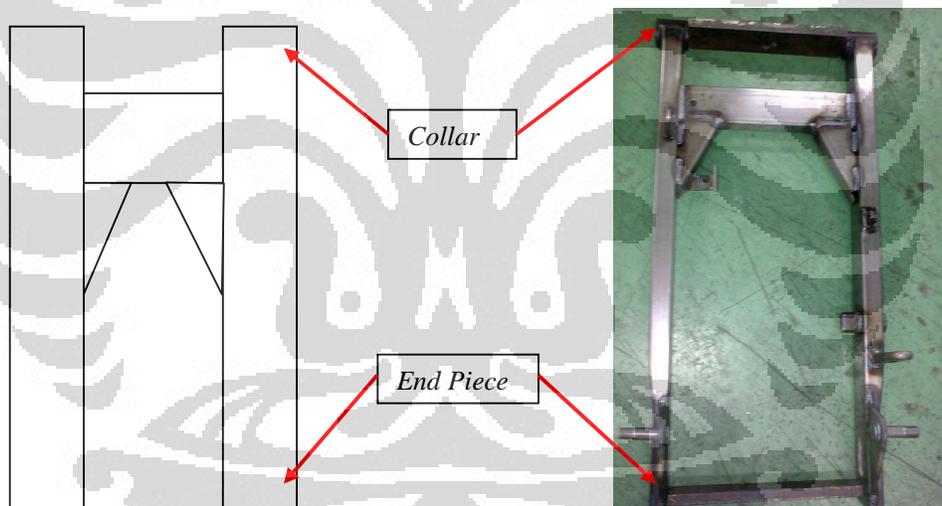
Argon, helium, dan campuran keduanya biasa digunakan untuk pengelasan logam *nonferrous*, baja tahan karat dan baja paduan. Energi dari busur argon lebih sedikit yang terdispersi daripada helium karena argon memiliki konduktivitas termal yang lebih rendah. Sebagai konsekuensinya, busur plasma gas argon

memiliki energi utama yang sangat tinggi hal ini menghasilkan kestabilan pada aksial transfer logam pada busur dengan gas argon.

Baja karbon dan baja paduan rendah umumnya menggunakan gas CO₂ sebagai gas pelindung pada proses pengelasan. Keuntungannya yaitu memiliki kecepatan las yang cepat, penetrasi yang bagus dan murah. Selain itu gas CO₂ juga menghasilkan *splatter* yang banyak, diperlukan tegangan yang relatif rendah untuk menjaga agar tidak banyak *splatter*.

2.4.2. Pengelasan *Swing Arm*

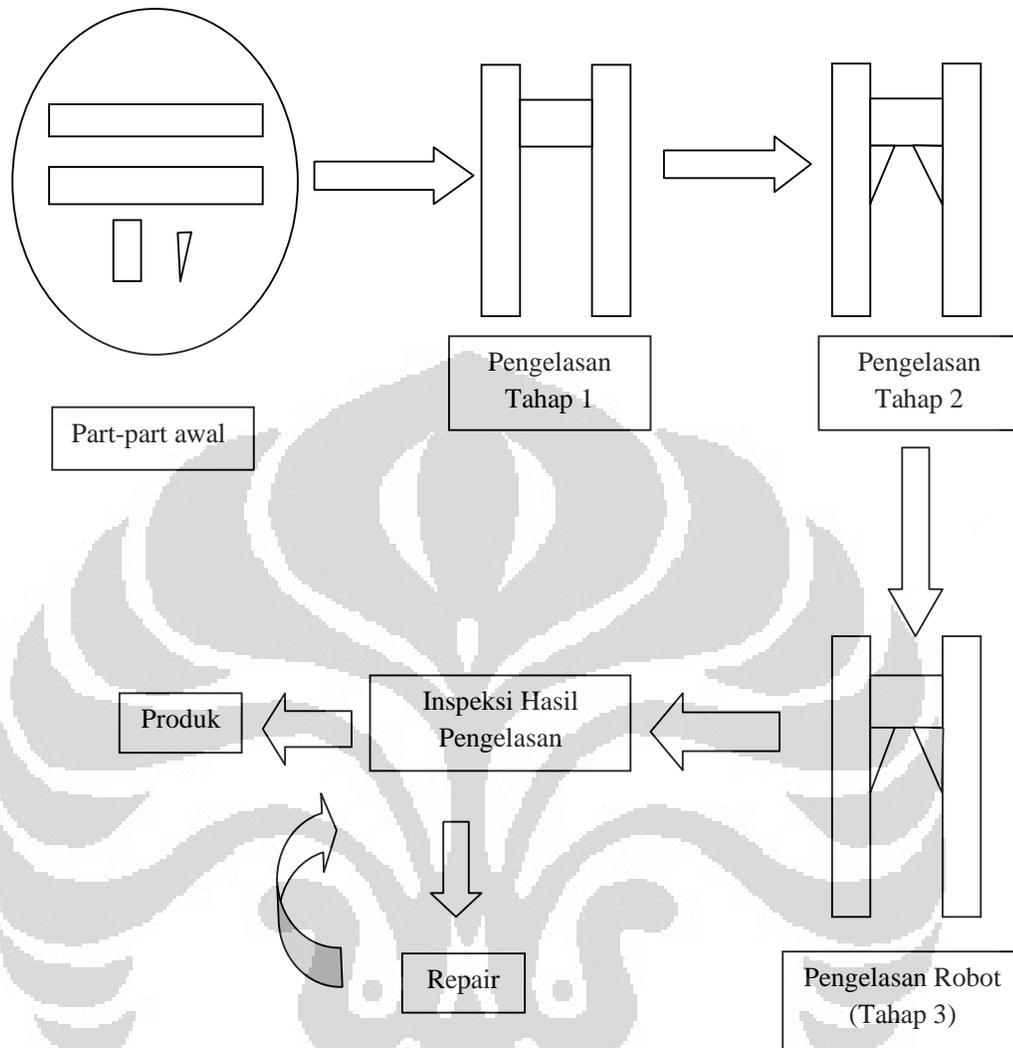
Komponen *swing arm* yang diteliti memiliki bentuk seperti Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Bentuk *swing arm* beserta bagian *collar* dan *end piece*

Swing arm dilas menggunakan proses GMAW dengan parameter pengelasan arus 180 – 220 Ampere, tegangan 19 – 24 Volts, dan kecepatan pengelasan sebesar 120 cm/menit. Gas pelindung yang digunakan dalam proses GMAW ini adalah campuran argon dan CO₂.

Urutan tahap-tahap proses pengelasan *swing arm* adalah sebagai berikut, urutan tahap ini dijelaskan berdasarkan Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Tahapan pengelasan *swing arm*

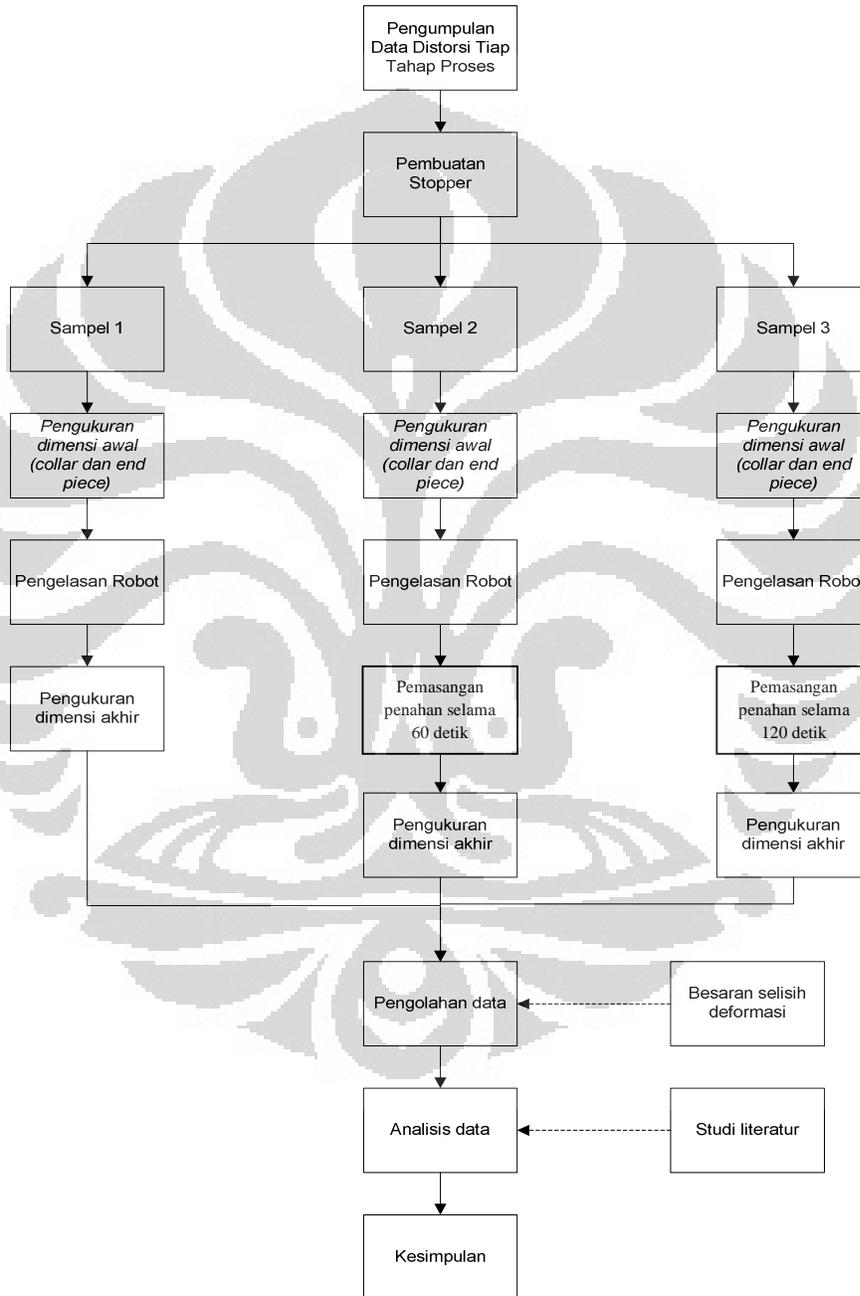
1. **Tahap 1, uniting pipe.** Material yang sudah mengalami inspeksi dimensi dilakukan pengelasan . Pada tahap ini pengelasan dilakukan secara manual dan tidak permanen melainkan hanya titik tertentu saja untuk merekatkan material las.
2. **Tahap 2, uniting gusset.** Material dipasangkan segitiga yang berfungsi sebagai penopang agar *swing arm* lebih kuat. Pada tahap ini pengelasan sama seperti tahap 1.

3. **Tahap 3**, 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, *swing arm* yang telah dilakukan pengelasan dilakukan inspeksi terhadap kualitas las dan dimensi akhir dari *swing arm*. Untuk produk yang membutuhkan perbaikan (*repair*) maka akan dilanjutkan ke tahap perbaikan.
5. **Tahap Perbaikan**. Tahap ini merupakan tahap dimana dilakukan perbaikan hasil pengelasan dengan mengelas ulang bagian yang membutuhkan repair dengan menggunakan pengelasan manual. Penyesuaian dimensi dilakukan dengan cara memukul *swing arm* yang telah mengalami distorsi untuk memperoleh dimensi yang standar. Setelah itu produk akan kembali masuk ke tahap inspeksi untuk mengecek ulang hasil produksi.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Satu set mesin las GMAW
2. Jangka sorong
3. Mesin *plasma cutting*
4. Gerinda
5. Baja Penahan
6. *Jig*
7. Perlengkapan keselamatan kerja

3.2.2. Bahan

1. Material *swing arm* (18 buah)

Bagian	Jenis Material
<i>Pipe R</i>	STKM 11 A
<i>Pipe L</i>	STKM 11 A
<i>Pipe Cross</i>	STKM 11 A
<i>Gusset</i>	SPHC

2. Material baja penahan
 - Baja karbon rendah dengan grade ASTM A36
3. Kawat Las GMAW

AWS A5.18 ER 70S-6 dengan merk *kobelco mg51t*, 1.2 mm

3.3. Parameter Pengelasan *Swing Arm*

1. Arus : 180 - 220 Ampere
2. Tegangan : 19 - 24 Volts

3. Kecepatan pengelasan : 120 centimeter per menit
4. Masukan Panas (*Heat Input*) :

$$h = 60 \times \frac{VI}{v}$$

$$= 60 \times 22 \times 200 : 120$$

$$= 2200 \text{ joule per centimeter}$$

3.4. Pengumpulan Data Statistik Distorsi Tiap Proses

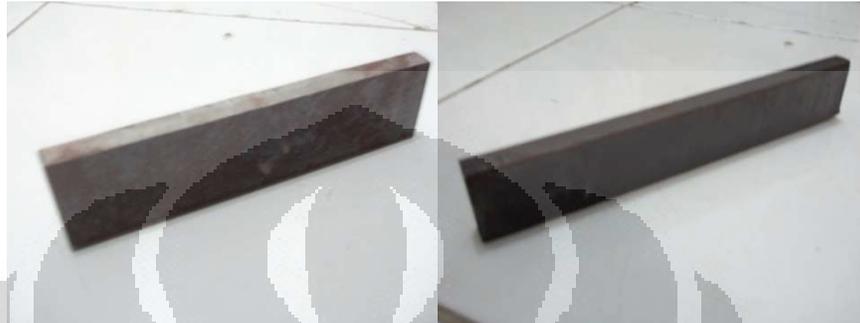
Langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mengukur besarnya distorsi akibat pengelasan pada setiap tahap proses pengelasan *swing arm*. Pendataan ini bertujuan untuk mengetahui tahap proses mana yang memiliki peran paling banyak dalam menghasilkan distorsi pada dimensi akhir *swing arm* setelah semua proses pengelasan dilakukan.

Dalam pendataan ini diambil 4 (empat) sampel *swing arm* yang diamati pergerakan distorsinya per tahapan proses. Pengamatan dilakukan dengan mengukur jarak antara kedua *collar* dan kedua *end piece* setelah pengelasan pada setiap tahap. Untuk satu sampel dalam setiap tahap, pengukuran dilakukan 4 (empat) kali dengan variabel waktu yaitu 0 detik, 30 detik, 60 detik, dan 120 detik setelah pengelasan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pada saat kapan pergerakan distorsi paling besar.

3.5. Pembuatan Baja Penahan

Baja penahan yang digunakan sebagai penahan pergerakan distorsi pengelasan *swing arm* dalam penelitian ini merupakan baja karbon rendah tipe ASTM A36 yang memiliki kekerasan lebih besar daripada material *swing arm*. Selain faktor kekerasan, tidak ada faktor lain lagi yang mendasari pemilihan material baja penahan ini. Pemilihan ini dilakukan dengan harapan agar baja penahan dapat berfungsi dengan baik untuk menahan distorsi *swing arm*. Jika kekerasan baja penahan lebih rendah, maka kemungkinan baja penahan malah akan termakan oleh gaya tekan distorsi tersebut dan tidak berfungsi dengan baik.

Baja penahan dibuat dengan memotong plat baja menggunakan *plasma cutting* sesuai dengan dimensi yang diinginkan. Selanjutnya hasil potongan dirapihkan dengan menggunakan gerinda untuk mencapai dimensi yang lebih presisi.



a). Baja penahan pada *collar*

b). Baja penahan pada *end piece*

Gambar 3.2. Baja penahan yang digunakan dalam penelitian

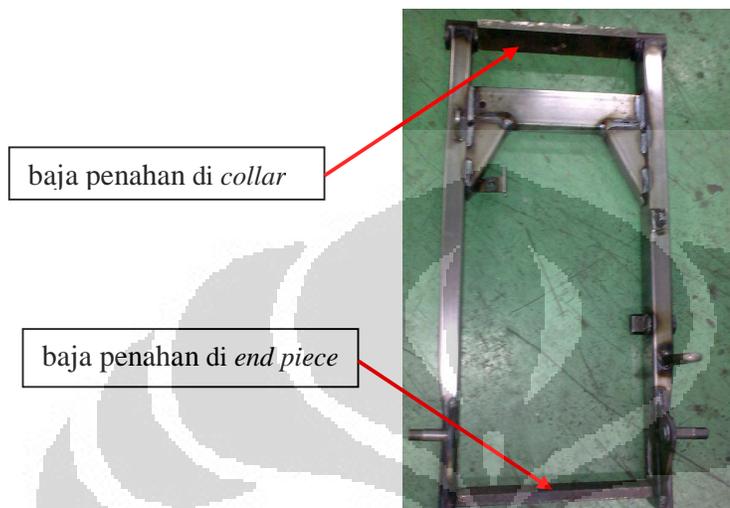
Dimensi baja penahan ini mengacu kepada ukuran standar yang diinginkan. Panjang baja penahan yang dipasangkan dibagian *collar* adalah 163,8 mm dan panjang baja penahan yang dipasangkan pada bagian *end piece* adalah 174,2 mm. Pembuatan baja penahan dengan ukuran dimensi seperti ini dimaksudkan agar setelah pengelasan, maka jarak antara kedua bagian *collar* maupun bagian *end piece* tidak kurang dari panjang baja penahan tersebut yang panjangnya masih masuk dalam toleransi jarak yang diinginkan.

3.6. Pengujian Dengan Menggunakan Baja Penahan Setelah Pengelasan Robot

Pengujian pengendalian distorsi dengan menggunakan baja penahan difokuskan kepada pengelasan robot. Hal ini dikarenakan berdasarkan hasil pendataan sebelumnya bahwa tahap proses yang paling berperan dalam menghasilkan distorsi adalah pengelasan otomatis dengan robot ini.

Pengujian dilakukan dengan meletakkan baja penahan di antara kedua *collar* dan *end piece*. Seperti dapat dilihat dalam gambar 3.3, baja penahan akan

menahan pergerakan distorsi pada kedua bagian tersebut. Baja penahan diletakkan sesaat setelah proses pengelasan selesai dilakukan dan dilepas sesuai dengan variabel waktu yang digunakan.



Gambar 3.3. Pemasangan baja penahan setelah pengelasan

Variabel pertama yaitu *swing arm* dibiarkan bebas berdistorsi tanpa adanya baja penahan. Sebelumnya diukur terlebih dahulu jarak awal antara kedua *collar* dan *end piece* untuk diketahui selisih dimensi awal dengan akhir setelah terjadi distorsi. Setelah dilas, maka diukur jarak kedua *collar* dan *end piece* selama empat kali yaitu setelah 30 detik, 60 detik, 120 detik, dan 300 detik setelah pengelasan. Hal ini dilakukan untuk melihat pergerakan distorsi dalam setiap waktu-waktu tersebut.

Variabel kedua yaitu sesaat setelah dilas, pada *swing arm* dipasangkan baja penahan di tempat yang sama dengan variabel sebelumnya. Sebelumnya diukur terlebih dahulu jarak awal antara kedua *collar* dan *end piece* untuk diketahui selisih dimensi awal dengan akhir setelah terjadi distorsi. Kemudian baja penahan ini dilepas saat 30 detik setelah pengelasan. Selanjutnya diukur jarak antara kedua *collar* dan *end piece* selama tiga kali yaitu setelah 60 detik, 120 detik, dan 300 detik setelah pengelasan.

Variabel ketiga yaitu sesaat setelah dilas, pada *swing arm* dipasangkan baja penahan di tempat yang sama dengan variabel sebelumnya. Sebelumnya diukur terlebih dahulu jarak awal antara kedua *collar* dan *end piece* untuk diketahui selisih dimensi awal dengan akhir setelah terjadi distorsi. Kemudian baja penahan ini dilepas saat 60 detik setelah pengelasan. Selanjutnya diukur jarak antara kedua *collar* dan *end piece* selama dua kali yaitu setelah 120 detik, dan 300 detik setelah pengelasan.

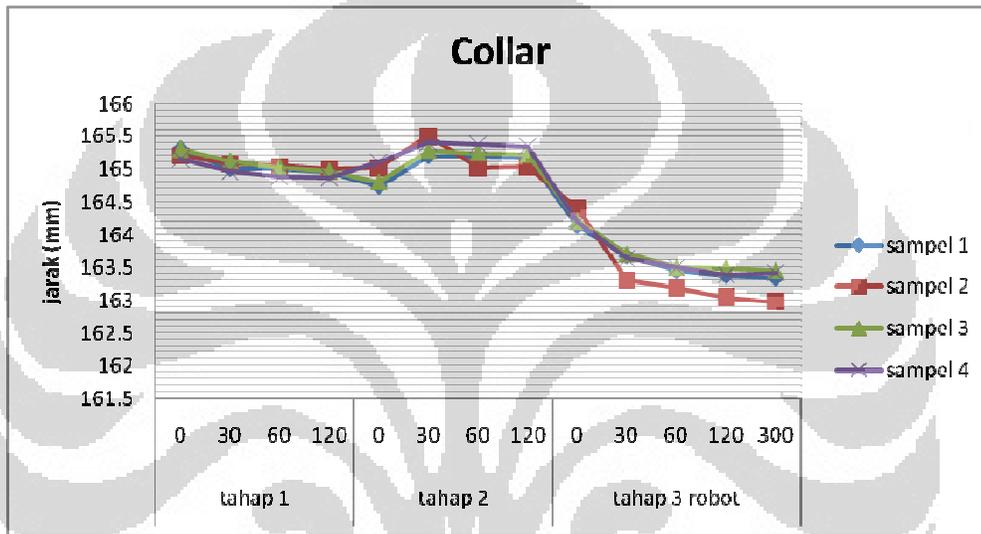
Untuk semua sampel, data hasil pengukuran jarak *collar* dan *end piece* disertai dengan nilai Δ Distorsi yang merupakan selisih jarak setelah pengelasan dengan panjang baja penahan pada kedua bagian baik *collar* maupun *end piece*. Untuk mempermudah dalam memahami distorsi yang terjadi bergerak ke arah mana, maka nilai Δ Distorsi diberi lambang positif (+) dan negatif (-). Jika nilai jarak akhir setelah pengelasan lebih besar dari jarak awal sebelum pengelasan, maka nilai Δ Distorsi dilambangkan dengan (+). Begitupun sebaliknya jika nilainya lebih kecil maka dilambangkan dengan (-).

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Distorsi Pengelasan Tiap Tahap Proses Pengelasan *Swing Arm*

Pengukuran dimensi *swing arm* pada bagian *collar* menghasilkan data sebagai berikut :



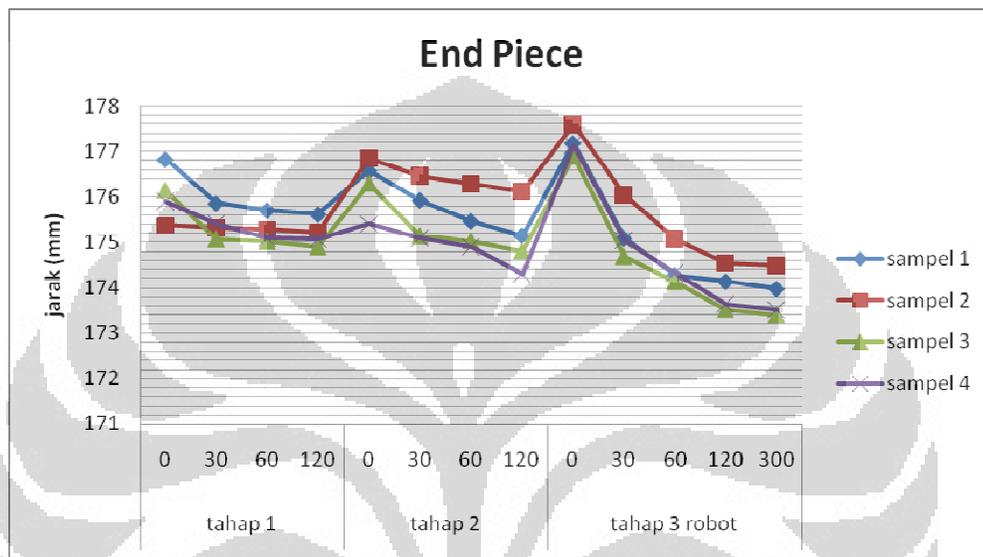
Gambar 4.1. Grafik distorsi *collar* pada semua tahap

Pada Gambar 4.1. dapat dilihat grafik perubahan jarak antar *collar* empat buah sampel *swing arm* selama proses pengelasan pada semua tahapan mulai dari tahap 1 *uniting pipe RL*, tahap 2 *uniting gusset*, dan tahap 3 pengelasan robot. Pergerakan grafik cenderung menurun dari tahap awal hingga tahap akhir. Penurunan grafik paling tajam terjadi saat pengelasan tahap 3 dilakukan.

Berdasarkan grafik, dapat disimpulkan bahwa tahapan proses yang paling berpengaruh secara signifikan untuk mendistorsi bagian *collar* pengelasan tahap tiga yaitu pengelasan robot. Pengelasan robot merupakan pengelasan yang memiliki panjang lasan paling besar dibandingkan dengan pengelasan tahap lain. Berdasarkan dasar teori yang ada, dengan semakin meningkatnya panjang lasan,

maka kecepatan pendinginan akan semakin kecil. Akibatnya kemungkinan terjadinya distorsi akan semakin besar.

Pengukuran dimensi *swing arm* pada bagian *end piece* menghasilkan data sebagai berikut :



Gambar 4.2. Grafik distorsi *end piece* pada semua tahap

Pada Gambar 4.2. dapat dilihat grafik perubahan jarak antar *end piece* empat buah sampel *swing arm* selama proses pengelasan pada semua tahapan mulai dari tahap 1 *uniting pipe RL*, tahap 2 *uniting gusset*, dan tahap 3 pengelasan robot. Pergerakan grafik dari tahap awal hingga tahap akhir cenderung menurun. Hanya pada waktu sesaat setelah pengelasan tahap 2 dan tahap 3, grafik meningkat dan selanjutnya menurun kembali.

Terdapatnya kenaikan grafik sesaat setelah pengelasan berarti meningkatnya jarak antar *end piece* pada saat-saat awal setelah proses pengelasan tahap 2 dan tahap 3. Kenaikan jarak ini dipengaruhi oleh terdistorsinya bagian *collar* karena bagian *end piece* dan *collar* tersambung. Fenomena ini akan dibahas selanjutnya.

Berdasarkan kedua grafik di atas, maka dapat disimpulkan bahwa dari ketiga tahapan proses pengelasan *swing arm*, yang memiliki peran besar untuk mengakibatkan distorsi adalah tahap ke tiga, yaitu pengelasan robot. Oleh karena itu, penelitian dengan penggunaan baja penahan ini difokuskan kepada pengelasan robot.

4.2. Distorsi *Swing Arm* Setelah Pengelasan Robot Tanpa Baja Penahan

- Pengukuran *Collar*

Pada Tabel 4.1 diperlihatkan data distorsi *collar* tanpa baja penahan sampel *swing arm* sebanyak enam buah yang dilas dengan proses otomatis dengan dimensi awal yang berbeda-beda. Setelah pengelasan, sampel dibiarkan bebas berdistorsi tanpa adanya baja penahan.

Tabel 4.1. Data distorsi *collar* tanpa baja penahan (dalam mm)

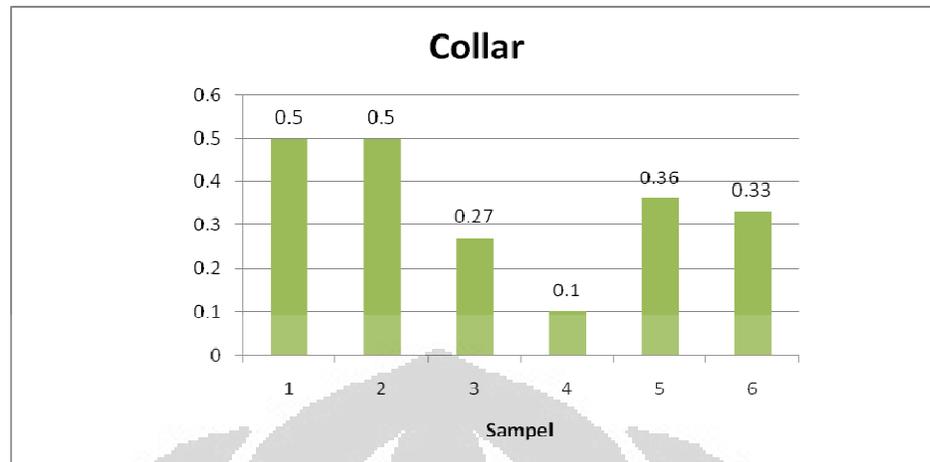
Sampel	Panjang baja penahan	Ukuran Awal	30 s	60 s	120 s	300 s	Ukuran Akhir	[Δ Distorsi]
1	163.8	164.9	163.58	163.45	163.41	163.3	163.3	- 0.5
2		165.16	164.6	164.37	164.35	164.3	164.3	- 0.5
3		166.14	164.31	163.82	163.13	164.07	164.07	- 0.27
4		166.48	164.5	164.14	163.95	163.9	163.9	- 0.1
5		166.15	164.54	164.32	164.24	164.16	164.16	- 0.36
6		166.3	164.56	164.38	164.11	164.13	164.13	- 0.33

Pengukuran dimensi dilakukan dengan mengukur panjang jarak antara *collar* pada setiap sampel. Pengukuran dilakukan pada setiap jangka waktu tertentu setelah pengelasan yaitu 30 detik, 60 detik, 120 detik dan 300 detik. Hasil pengukuran semua sampel menunjukkan penurunan jarak antara *collar* dari ukuran awal. Penurunan ukuran terbesar terjadi dari waktu 0 detik setelah pengelasan hingga 30 detik setelah pengelasan. Selanjutnya, ukuran terus menurun lebih sedikit hingga detik ke 300. Ukuran pada detik ke 300 ini dianggap sebagai ukuran akhir setelah pengelasan. Fenomena ini terjadi hampir pada semua sampel. Hanya sampel ke tiga dan sampel ke enam saja yang menunjukkan fenomena yang agak berbeda yaitu pada detik ke 300, ukuran meningkat dari detik

ke 120. Tabel 4.1 juga menyajikan data Δ distorsi yang dihitung menggunakan nilai mutlak selisih jarak *collar* akhir dengan panjang baja penahan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh adanya baja penahan terhadap dimensi akhir setelah pengelasan pada penelitian selanjutnya.

Penurunan jarak *collar* paling besar yang terjadi sesaat setelah pengelasan hingga detik ke 30 menunjukkan distorsi terbesar telah terjadi pada saat tersebut. Pada saat 30 detik awal ini merupakan saat sebagian besar daerah *weld metal* untuk membeku. Berdasarkan dasar teori yang ada, distorsi terjadi karena adanya kombinasi gaya tarik-tekan terhadap logam induk akibat tegangan yang muncul karena panas pengelasan. Dikarenakan ketebalan *swing arm* yang dilas cukup kecil yaitu sekitar 2 mm dan pengelasan dilakukan hanya satu *pass* saja, maka daerah lasan akan cepat membeku.

Pada saat lasan membeku ini, maka daerah lasan tersebut menghasilkan gaya yang menarik bagian logam induk yang lebih dingin. Khusus untuk *collar* yang berjarak 101,5 mm dari daerah lasan, gaya tarik ini cukup berpengaruh besar. Oleh karena itu, dapat dilihat dalam Tabel 4.1, pada detik ke 30 setelah pengelasan, jarak *collar* mengecil dengan perubahan rata-rata sebesar 2 mm dari ukuran awal sebelum dilas. Pada detik-detik selanjutnya yaitu detik ke 60, 120, dan 300 penurunan jarak *collar* lebih kecil dari saat awal dan terus makin mengecil dengan makin lamanya waktu setelah pengelasan. Hal ini dikarenakan pada saat setelah 30 detik, daerah lasan telah membeku sepenuhnya. Tetapi berdasarkan dasar teori yang ada bahwa tegangan tarik dan tekan akibat pengelasan akan terus ada dan menjadi tegangan sisa yang tersimpan dalam logam induk. Tegangan ini akan terus disalurkan menjadi distorsi yang akan menggerakkan bagian *collar*. Namun demikian, besarnya gaya akibat tegangan sisa ini tidak sebesar gaya tarik saat lasan membeku. Akibatnya, penurunan jarak *collar* juga tidak sebesar ketika 30 detik pertama yaitu tidak melebihi 0,5 mm. Setelah 300 detik, tidak ada lagi perubahan yang signifikan terhadap jarak *collar*. Jadi, dapat dikatakan ukuran saat 300 detik merupakan ukuran akhir *swing arm* setelah pengelasan.



Gambar 4.3. Grafik Δ distorsi *collar* tanpa baja penahan

Pada Gambar 4.3. terdapat grafik Δ distorsi yang terjadi di *collar* pada setiap sampel. Nilai Δ distorsi ini menunjukkan nilai-nilai yang tidak jauh berbeda pada setiap sampel. Nilai-nilai tersebut hanya berada dalam rentang 0,1 – 0,5 mm. Nilai Δ distorsi yang paling kecil adalah sampel nomor 4 dan yang paling besar adalah sampel nomor 1 dan 2.

Selisih distorsi (Δ distorsi) diukur dengan mengurangi ukuran akhir *collar* setelah pengelasan dan panjang baja penahan. Walaupun pengukuran dilakukan terhadap pengelasan tanpa baja penahan, penghitungan Δ distorsi ini tetap perlu untuk membandingkan hasilnya dengan Δ distorsi pada pengelasan dengan baja penahan untuk melihat pengaruh pemasangan baja penahan terhadap pengendalian distorsi ini.

- Pengukuran *End Piece*

Pada Tabel 4.2 terdapat data sampel *swing arm* sebanyak enam buah yang dilas dengan proses otomatis dengan dimensi awal yang berbeda-beda. Setelah pengelasan, sampel dibiarkan bebas berdistorsi tanpa adanya baja penahan. Pengukuran dimensi dilakukan dengan mengukur panjang jarak antara *end piece* pada setiap sampel. Pengukuran dilakukan pada setiap jangka waktu tertentu setelah pengelasan yaitu 30 detik, 60 detik, 120 detik dan 300 detik.

Tabel 4.2. Data distorsi *end piece* tanpa baja penahan (dalam mm)

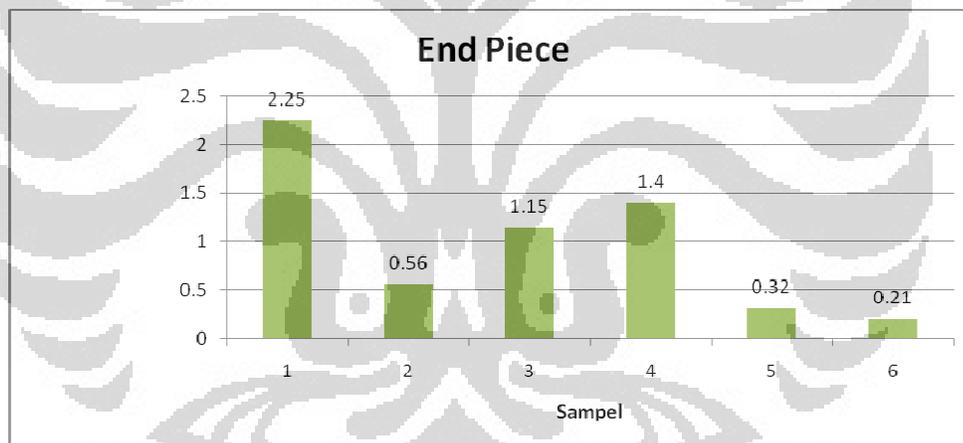
Sampel	Panjang baja penahan	Ukuran Awal	30 s	60 s	120 s	300 s	Ukuran Akhir	[Δ Distorsi]
1	174.2	175.94	177.95	177.34	176.52	176.45	176.45	+ 2.25
2		171.27	175.55	175.24	175.05	174.76	174.76	+ 0.56
3		172.61	173.74	173.27	173.3	173.05	173.05	+ 1.15
4		171.93	176.34	176.09	175.91	175.6	175.6	+ 1.4
5		172.03	175.43	175	174.73	174.52	174.52	+ 0.32
6		173.16	174.86	174.53	174.06	173.99	173.99	+ 0.21

Hasil pengukuran semua sampel menunjukkan terjadinya peningkatan jarak *end piece* setelah pengelasan hingga detik ke 30. Selanjutnya jarak ini mengalami penurunan sedikit hingga detik ke 300. Ukuran pada detik ke 300 ini dianggap sebagai ukuran akhir setelah pengelasan. Fenomena ini terjadi pada semua sampel. Tabel 4.2. juga menyajikan data Δ distorsi yang dihitung menggunakan nilai mutlak selisih jarak *end piece* akhir dengan panjang baja penahan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh adanya baja penahan terhadap dimensi akhir setelah pengelasan.

Terjadinya peningkatan jarak *end piece* dari ukuran awal setelah pengelasan disebabkan pengaruh distorsi yang terjadi pada *collar*. Jarak *collar* terhadap lasan adalah 101,5 mm yaitu lebih pendek dibandingkan dengan jarak *end piece* terhadap lasan yaitu 360 mm. Akibatnya *collar* mendapatkan pengaruh gaya distorsi lebih cepat daripada bagian *end piece*. Seperti pembahasan sebelumnya, ketika 30 detik awal setelah pengelasan *collar* akan terdistorsi cukup besar yaitu sekitar 2 mm. Akibat dari distorsi *collar* menuju ke dalam ini, bagian *end piece* yang jaraknya lebih jauh dari lasan akan tergerak ke luar dengan jarak yang cukup besar. Berdasarkan data, jarak *end piece* rata-rata meningkat sebesar 2 mm dari ukuran awal ketika pengukuran pada saat 30 detik. Hal inilah yang menyebabkan kenaikan jarak antar *end piece* setelah proses pengelasan. Pada dasarnya, bagian *end piece* juga mengalami distorsi karena pembekuan *weld*

metal. Tetapi gaya ini seakan tidak berpengaruh dan kalah oleh gaya reaksi akibat terdistorsinya bagian *collar*.

Setelah 30 detik, daerah lasan telah sepenuhnya membeku, tetapi, seperti pada penjelasan sebelumnya, tegangan sisa yang dihasilkan akan terus mendistorsi logam induk. Akibatnya hingga detik ke 300, jarak antar *end piece* ini akan terus mengecil tanpa dipengaruhi oleh distorsi bagian *collar* secara signifikan. Berdasarkan data, penurunan jarak *end piece* setelah 30 detik ini lebih besar dibandingkan dengan penurunan jarak *collar* pada waktu yang sama yaitu sekitar 1 mm. Hal ini disebabkan jarak *end piece* dari lasan yang lebih panjang dibandingkan dengan jarak *collar* dari lasan. Sama seperti *collar*, setelah 300 detik, pergerakan distorsi pada *end piece* sudah tidak signifikan lagi. Oleh karena itu, ukuran pada saat 300 detik ini dapat dikatakan sebagai ukuran akhir distorsi.



Gambar 4.4. Grafik Δ distorsi *end piece* tanpa baja penahan

Pada Gambar 4.4. terdapat grafik Δ distorsi yang terjadi di *end piece* pada setiap sampel. Nilai Δ distorsi ini menunjukkan nilai-nilai yang tidak jauh berbeda pada setiap sampel hanya saja lebih besar dari selisih jarak *collar*, yaitu hanya berada dalam rentang 0,21 – 2,25 mm. Nilai Δ distorsi yang paling kecil adalah sampel nomor 6 dan yang paling besar adalah sampel nomor 1.

Sama seperti pada *collar*, selisih distorsi (Δ distorsi) diukur dengan mengurangi ukuran akhir *end piece* setelah pengelasan dan panjang baja penahan.

Walaupun pengukuran dilakukan terhadap pengelasan tanpa baja penahan, penghitungan Δ distorsi ini tetap perlu untuk membandingkan hasilnya dengan Δ distorsi pada pengelasan dengan baja penahan. Hal ini dilakukan agar dapat dilihat pengaruh pemasangan baja penahan terhadap pengendalian distorsi ini.

4.3. Distorsi *Swing Arm* Setelah Pengelasan Robot Dengan Baja Penahan selama 60 detik

- Pengukuran *Collar*

Pada Tabel 4.3 terdapat data sampel *swing arm* sebanyak enam buah yang dilas menggunakan proses otomatis dengan dimensi awal yang berbeda-beda. Sesaat setelah pengelasan, diantara kedua *collar* dipasangkan baja penahan yang telah disiapkan. Baja penahan ini akan dilepas kembali pada detik ke 60 setelah pengelasan.

Tabel 4.3. Data distorsi *collar* dengan baja penahan selama 60 detik (dalam mm)

Sampel	Panjang baja penahan	Ukuran Awal	60 s	120 s	300 s	Ukuran Akhir	[Δ Distorsi]
1	163.8	165.78	164.1	163.97	163.83	163.83	- 0.03
2		166.2	163.9	163.9	163.78	163.78	- 0.02
3		166.26	163.9	163.9	163.76	163.76	- 0.04
4		165.7	163.96	163.94	163.89	163.89	- 0.09
5		166.13	163.89	163.84	163.77	163.77	- 0.03
6		166.54	164.17	164	163.9	163.9	- 0.1

Pengukuran dimensi dilakukan dengan mengukur panjang jarak antara *collar* pada setiap sampel. Pengukuran dilakukan pada setiap jangka waktu tertentu setelah pengelasan yaitu 60 detik, 120 detik dan 300 detik. Hasil pengukuran semua sampel menunjukkan penurunan jarak antara *collar* dari ukuran awal. Seperti sebelumnya, penurunan ukuran terbesar terjadi dari waktu 0 detik setelah pengelasan hingga 60 detik setelah pengelasan. Selanjutnya ukuran terus menurun lebih sedikit hingga detik ke 300. Ukuran pada detik ke 300 ini dianggap sebagai ukuran akhir setelah pengelasan. Tidak seperti data tanpa baja penahan (Tabel 4.1), penurunan jarak ini lebih jauh sedikit dan terkesan

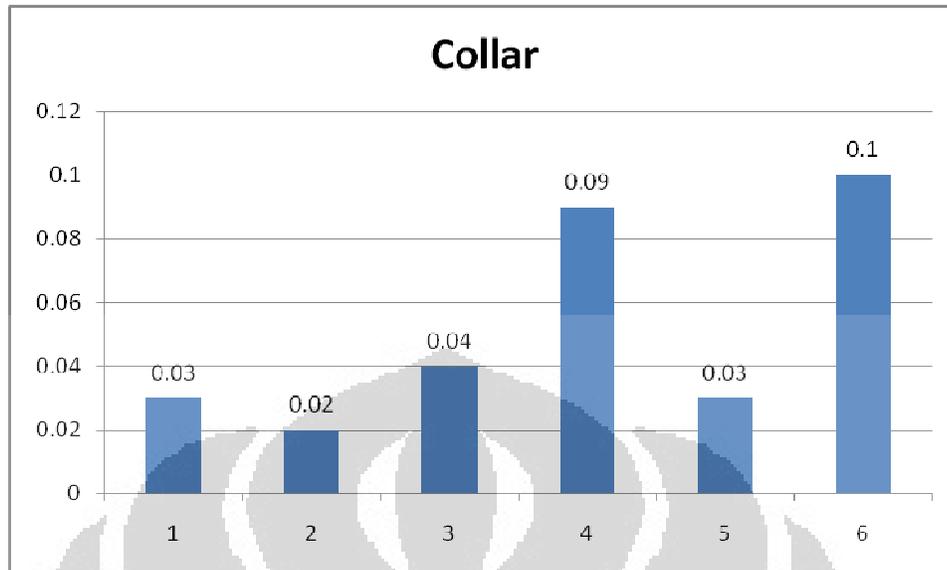
“berhenti” pada kisaran angka 163,8 yang notabene merupakan panjang baja penahan. Fenomena ini terjadi pada semua sampel. Tabel 4.3 juga menyajikan data Δ distorsi yang dihitung menggunakan nilai mutlak selisih jarak *collar* akhir dengan panjang baja penahan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh adanya baja penahan terhadap dimensi akhir setelah pengelasan.

Pengukuran jarak *collar* dimulai pada detik ke 60 karena pada saat itulah baja penahan dilepas. Distorsi yang terjadi pada saat waktu di bawah 60 detik diperkirakan belum terpengaruh oleh pemasangan baja penahan.

Hasil pengukuran jarak *collar* saat 60 detik menunjukkan fenomena yang sama dengan tanpa baja penahan yaitu dalam hal berkurangnya jarak *collar* dari ukuran awal secara signifikan. Hal ini, seperti telah dijelaskan sebelumnya, dikarenakan pembekuan daerah lasan yang dapat mengakibatkan gaya distorsi terjadi pada saat 30 detik awal setelah pengelasan. Setelah 60 detik, jarak *collar* terus turun hingga batas akhir yaitu 300 detik.

Hasil akhir dimensi *collar* akibat dipasangnya baja penahan selama 60 detik menunjukkan nilai yang seragam yaitu sekitar 163,8 yang notabene merupakan panjang baja penahan. Hal ini menunjukkan peran baja penahan pada *collar* berlangsung dengan baik. Pergerakan distorsi akibat tegangan yang dihasilkan dari ekspansi logam akibat adanya daerah lasan yang membeku dapat dihalangi oleh adanya baja penahan. Jika baja penahan tidak dipasang, maka kemungkinan *collar* akan terus terdistorsi ke arah dalam. Hal ini terbukti dengan sulitnya baja penahan untuk dilepas yang menunjukkan bahwa baja penahan telah mengalami tekanan dari pergerakan distorsi.

Pergerakan distorsi yang disebabkan oleh kombinasi gaya tarik-tekan akan menggerakkan logam induk yang temperaturnya lebih dingin dari daerah lasan. Dengan adanya baja penahan, maka gaya tersebut akan tertahan pada titik dimana penahan dipasang. Akibatnya, tegangan ini dapat menyebabkan distorsi pada daerah lain yang tidak ditahan, tetapi dalam hal ini, *collar* telah terlebih dahulu dibiarkan berdistorsi dari ukuran awal hingga mencapai ukuran baja penahan. Jadi, kemungkinan penyaluran distorsi ke arah lain tidak terjadi secara signifikan.



Gambar 4.5. Grafik Δ distorsi *collar* dengan baja penahan selama 60 detik

Pada Gambar 4.5, terdapat grafik Δ distorsi yang terjadi di *collar* pada setiap sampel. Nilai Δ distorsi ini menunjukkan nilai-nilai yang sangat tidak jauh berbeda pada setiap sampel. Nilai-nilai tersebut hanya berada dalam rentang 0,02 – 0,1 mm. Nilai Δ distorsi yang paling kecil adalah sampel nomor 2 dan yang paling besar adalah sampel nomor 6.

Nilai Δ distorsi dari keenam sampel menunjukkan angka yang sangat rendah. Grafik ini makin membuktikan bahwa pemasangan baja penahan sangat efektif untuk menghentikan pergerakan distorsi pada *collar*. Penggunaan baja penahan juga dapat mengendalikan distorsi yaitu dengan menentukan minimal hasil akhir distorsi yang diinginkan. Hal ini dapat dilakukan dengan mendisain baja penahan dengan dimensi sesuai dengan jarak *collar* yang diinginkan. Maka dengan sendirinya distorsi yang terjadi tidak akan melebihi batas ukuran baja penahan tersebut.

- Pengukuran *End Piece*

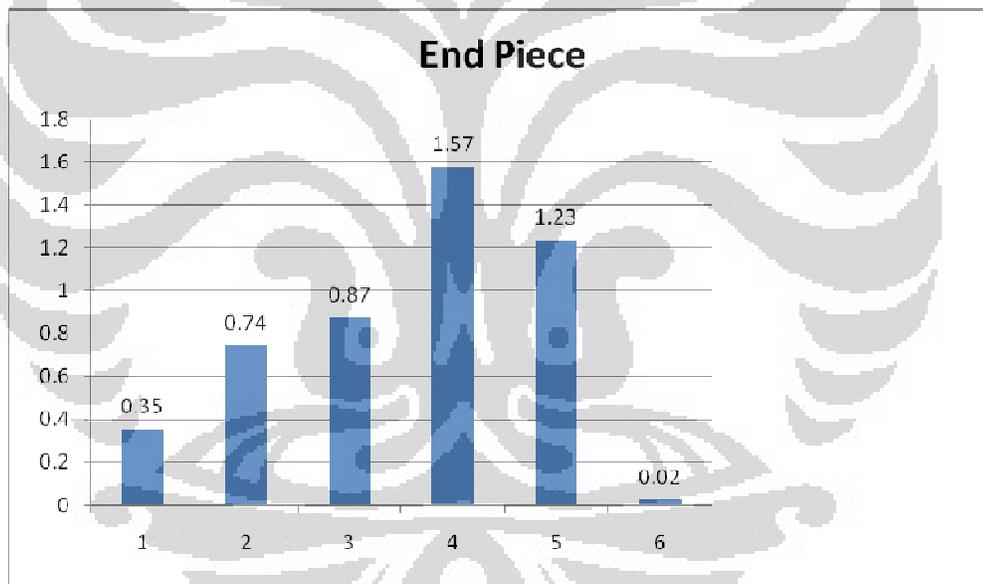
Pada Tabel 4.4 terdapat data sampel *swing arm* sebanyak enam buah yang dilas dengan proses otomatis dengan dimensi awal yang berbeda-beda. Sesaat setelah pengelasan, diantara kedua *end piece* dipasangkan baja penahan yang telah disiapkan. Baja penahan ini akan dilepas kembali pada detik ke 60 setelah pengelasan.

Tabel 4.4. Data distorsi *end piece* dengan baja penahan selama 60 detik (dalam mm)

Sampel	Panjang baja penahan	Ukuran Awal	60 s	120 s	300 s	Ukuran Akhir	[Δ Distorsi]
1	174.2	173.93	174.82	174.92	174.55	174.55	+ 0.35
2		169.86	173.5	173.9	173.46	173.46	+ 0.74
3		171.98	175.15	175.4	175.07	175.07	+ 0.87
4		174	175.73	176.17	175.77	175.77	+ 1.57
5		170.93	175.49	175.79	175.43	175.43	+ 1.23
6		170.39	174.43	174.45	174.18	174.18	+ 0.02

Pengukuran dimensi dilakukan dengan mengukur panjang jarak antara *end piece* pada setiap sampel. Pengukuran dilakukan pada setiap jangka waktu tertentu setelah pengelasan yaitu 60 detik, 120 detik dan 300 detik. Awalnya, jarak *end piece* ini mengalami peningkatan yang besar dari ukuran awal setelah dilas. Selanjutnya jarak ini mengalami penurunan sedikit hingga detik ke 300. Ukuran pada detik ke 300 ini dianggap sebagai ukuran akhir setelah pengelasan. Dengan adanya baja penahan, penurunan jarak ini lebih jauh sedikit dan nilainya tidak kurang dari 174,2 yang notabene merupakan panjang baja penahan pada *end piece*. Fenomena ini terjadi hampir pada semua sampel, hanya nilai pada sampel ke enam saja yang lebih kecil dari panjang baja penahan. Tabel 4.4 juga menyajikan data Δ distorsi yang dihitung menggunakan nilai mutlak selisih jarak *end piece* akhir dengan panjang baja penahan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh adanya baja penahan terhadap dimensi akhir setelah pengelasan.

Seperti yang telah dibahas pada bagian pengelasan tanpa baja penahan, peningkatan jarak *end piece* pada saat-saat awal setelah pengelasan disebabkan oleh pengaruh dari distorsi yang dialami oleh *collar*. Hal ini mengakibatkan jarak *end piece* jadi semakin besar. Pada hampir semua hasil akhir ukuran *end piece* memiliki nilai yang lebih besar dari ukuran baja penahan, yaitu di atas 174,2 mm. Dapat dikatakan bahwa peran baja penahan pada bagian *end piece* ini sebagai penahan gerak distorsi yang berlebih tidak berjalan dengan baik. Hal ini dibuktikan dengan mudahnya baja penahan dilepas ketika detik ke 60. Dengan hasil ini, maka pengaruh pemasangan baja penahan untuk menghentikan pergerakan distorsi pada *end piece* tidak dapat dijelaskan. Namun demikian, dengan melihat pengaruh baja penahan pada *collar*, sudah dapat membuktikan bahwa pemasangan baja penahan dapat menghentikan pergerakan distorsi.



Gambar 4.6. Grafik Δ distorsi *end piece* dengan baja penahan selama 60 detik

Pada Gambar 4.6. terdapat grafik Δ distorsi yang terjadi di *end piece* pada setiap sampel. Nilai Δ distorsi ini menunjukkan nilai-nilai yang cukup berbeda pada setiap sampel. Nilai-nilai tersebut berada dalam rentang 0,02 – 1,57 mm. Nilai Δ distorsi yang paling kecil adalah sampel nomor 6 dan yang paling besar adalah sampel nomor 4.

Nilai-nilai Δ distorsi yang cukup besar ini menunjukkan bahwa pada penelitian ini, pemasangan baja penahan dengan ukuran 174,2 mm kurang signifikan untuk memperlihatkan pengendalian distorsi pada *end piece*.

4.4. Distorsi *Swing Arm* Setelah Pengelasan Robot Dengan Baja Penahan selama 120 detik

- Pengukuran *Collar*

Pada Tabel 4.5 terdapat data sampel *swing arm* sebanyak enam buah yang dilas menggunakan proses otomatis dengan dimensi awal yang berbeda-beda. Sesaat setelah pengelasan, diantara kedua *collar* dipasangkan baja penahan yang telah disiapkan. Baja penahan ini akan dilepas kembali pada detik ke 120 setelah pengelasan.

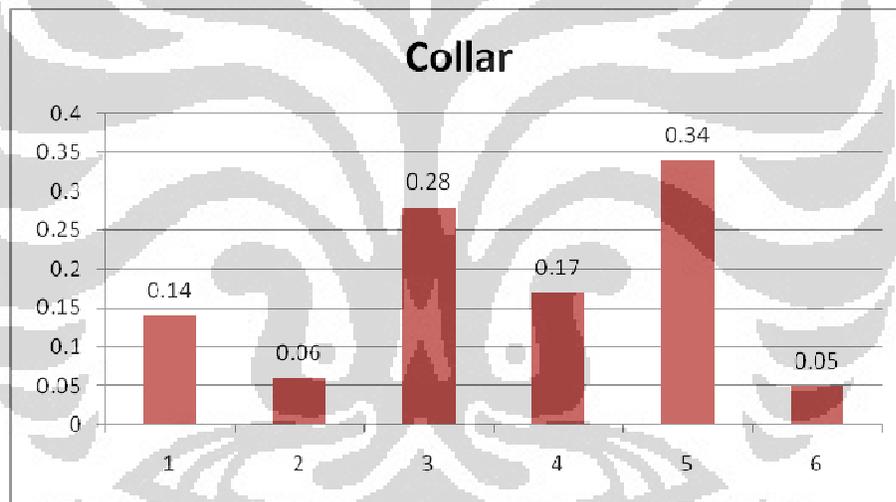
Tabel 4.5. Data distorsi *collar* dengan baja penahan selama 120 detik (dalam mm)

Sampel	Panjang baja penahan	Ukuran Awal	120 s	300 s	Ukuran Akhir	[Δ Distorsi]
1	163.8	165.82	163.9	163.94	163.94	- 0.14
2		165.72	163.9	163.86	163.86	- 0.06
3		166.55	163.68	163.52	163.52	- 0.28
4		166.32	164.1	163.97	163.97	- 0.17
5		166	163.62	163.46	163.46	- 0.34
6		166.33	163.95	163.85	163.85	- 0.05

Pengukuran dimensi dilakukan dengan mengukur panjang jarak antara *collar* pada setiap sampel. Pengukuran dilakukan pada setiap jangka waktu tertentu setelah pengelasan yaitu 120 detik dan 300 detik. Hasil pengukuran semua sampel menunjukkan penurunan jarak antara *collar* dari ukuran awal. Jarak tersebut terus menurun hingga detik ke 300. Sedikit berbeda dengan baja penahan selama 60 detik yang mengalami penurunan ukuran sangat kecil dari detik ke 120 hingga 300, dan pada baja penahan selama 120 detik ini penurunan jarak dari detik ke 120 hingga detik ke 300 lebih besar. Ukuran pada detik ke 300 ini dianggap sebagai ukuran akhir setelah pengelasan. Seperti sebelumnya, penurunan jarak ini lebih jauh sedikit dan terkesan “berhenti” pada kisaran angka 163,8 yang

notabene merupakan panjang baja penahan. Fenomena ini terjadi pada semua sampel. Tabel 4.5 juga menyajikan data Δ distorsi yang dihitung menggunakan nilai mutlak selisih jarak *collar* akhir dengan panjang baja penahan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh adanya baja penahan terhadap dimensi akhir setelah pengelasan. Nilai Δ distorsi *collar* dengan baja penahan selama 120 detik ini lebih besar dari baja penahan selama 60 detik.

Analisis mengenai pengaruh baja penahan selama 120 detik ini terhadap pengendalian distorsi yang terjadi pada *collar* ini sama seperti pada pembahasan baja penahan selama 60 detik. Hasil akhir jarak *collar* yang mendekati panjang baja penahan yaitu 163,8 mm menunjukkan signifikansi pengaruh baja penahan tersebut.



Gambar 4.7. Grafik Δ distorsi *collar* dengan baja penahan selama 120 detik

Pada Gambar 4.7. terdapat grafik Δ distorsi yang terjadi di *collar* pada setiap sampel. Nilai Δ distorsi ini menunjukkan nilai-nilai yang sangat tidak jauh berbeda pada setiap. Nilai-nilai tersebut hanya berada dalam rentang 0,05 – 0,34 mm. Nilai Δ distorsi yang paling kecil adalah sampel nomor 6 dan yang paling besar adalah sampel nomor 5.

Grafik Δ distorsi *collar* pada penggunaan baja penahan selama 120 detik ini menunjukkan nilai-nilai yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan

baja penahan selama 60 detik. Berdasarkan dasar teori yang ada, salah satu akibat negatif adanya *clamping* atau penahan adalah tersalurkannya gaya distorsi akibat tegangan sisa ke daerah-daerah yang tidak ditahan. Hal ini terjadi pada penelitian ini. Pemasangan baja penahan selama 120 detik ini mengakibatkan gaya distorsi tersimpan besar di dalam material karena penahanan dilakukan lebih lama. Jadi ketika baja penahan dilepas pada detik ke 120, gaya yang tersimpan ini malah akan mendistorsi kembali bagian *collar* yang sebelumnya tertahan. Tegangan ini juga kemungkinan mendistorsi daerah lain hanya saja tidak teridentifikasi karena pengukuran hanya fokus terhadap bagian *collar*. Bentuk distorsi lain seperti distorsi lengkung dan tekuk pada bagian *swing arm* lain mungkin dapat terjadi.

- Pengukuran *End Piece*

Pada Tabel 4.6 terdapat data sampel *Swing Arm* sebanyak enam buah yang dilas dengan proses otomatis dengan dimensi awal yang berbeda-beda. Sesaat setelah pengelasan, diantara kedua *end piece* dipasangkan baja penahan yang telah disiapkan. Baja penahan ini akan dilepas kembali pada detik ke 120 setelah pengelasan.

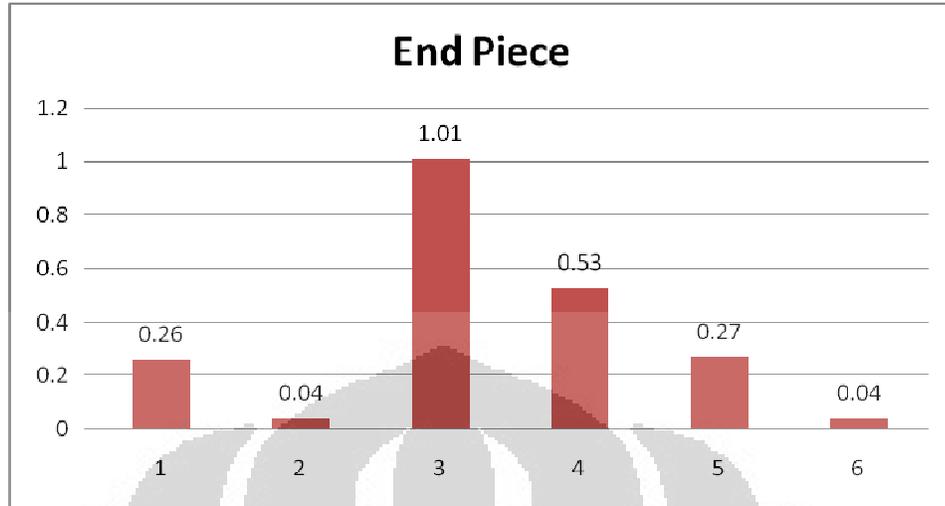
Tabel 4.6. Data distorsi *end piece* dengan baja penahan selama 120 detik (dalam mm)

Sampel	Panjang baja penahan	Ukuran Awal	120 s	300 s	Ukuran Akhir	[Δ Distorsi]
1	174.2	173.82	173.61	173.94	173.94	+ 0.26
2		172.57	174.04	174.24	174.24	+ 0.04
3		168.46	174.62	175.21	175.21	+ 1.01
4		172.37	174.68	174.73	174.73	+ 0.53
5		171.13	173.18	173.93	173.93	+ 0.27
6		171.29	174.47	174.24	174.24	+ 0.04

Pengukuran dimensi dilakukan dengan mengukur panjang jarak antara *end piece* pada setiap sampel. Pengukuran dilakukan pada setiap jangka waktu tertentu setelah pengelasan yaitu 120 detik dan 300 detik. Awalnya, jarak *end piece* ini mengalami peningkatan yang besar dari ukuran awal setelah dilas. Selanjutnya

jarak ini mengalami penurunan sedikit hingga detik ke 300. Berbeda dengan *collar*, baja penahan selama 120 detik ini menghasilkan perubahan jarak *end piece* yang lebih kecil dari baja penahan selama 60 detik saat perubahan dari detik ke 120 hingga detik ke 300. Ukuran pada detik ke 300 ini dianggap sebagai ukuran akhir setelah pengelasan. Dengan adanya baja penahan, penurunan jarak ini lebih jauh sedikit dan nilainya tidak kurang dari 174,2 yang notabene merupakan panjang baja penahan pada *end piece*. Fenomena ini terjadi hampir pada semua sampel, hanya nilai pada sampel pertama dan ke lima saja yang lebih kecil dari panjang baja penahan. Tabel 4.6 juga menyajikan data Δ distorsi yang dihitung menggunakan nilai mutlak selisih jarak *end piece* akhir dengan panjang baja penahan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh adanya baja penahan terhadap dimensi akhir setelah pengelasan.

Fenomena peningkatan jarak *end piece* pada saat-saat awal setelah pengelasan telah dibahas pada bagian sebelumnya. Berbeda dengan penggunaan baja penahan pada *end piece* selama 60 detik, penggunaan baja penahan selama 120 detik memiliki pengaruh terhadap pengendalian distorsi. Hal ini dapat dilihat dari hasil akhir jarak antar *end piece* yang nilainya lebih mendekati panjang baja penahan yaitu sekitar 174,2 mm. Selain itu hal ini dapat dibuktikan dengan mulai sulitnya pelapasan baja penahan untuk beberapa sampel. Artinya, untuk beberapa sampel tersebut, gaya distorsi pada *end piece* telah menekan baja penahan. Hal ini dikarenakan lebih lamanya penahanan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu selama 120 detik. Jadi, distorsi yang terjadi pada *end piece* akan mendekati dimensi yang diinginkan saat detik ke 120.



Gambar 4.8. Grafik Δ distorsi *end piece* dengan baja penahan selama 120 detik

Pada Gambar 4.8. terdapat grafik Δ distorsi yang terjadi di *end piece* pada setiap sampel. Nilai Δ distorsi ini menunjukkan nilai-nilai yang tidak jauh berbeda pada setiap sampel hanya saja lebih besar dari selisih jarak *collar*. Nilai-nilai tersebut berada dalam rentang 0,04 – 1,01 mm. Nilai Δ distorsi yang paling kecil adalah sampel nomor 2 dan 6, sedangkan yang paling besar sampel nomor 3.

Nilai-nilai Δ distorsi pada *end piece* yang kecil ini membuktikan signifikansi pengaruh pemasangan baja penahan selama 120 detik dalam pengendalian distorsi pada *end piece*.

4.5. Pengaruh Baja Penahan Terhadap Pengendalian Distorsi *Swing Arm* Setelah Pengelasan Robot

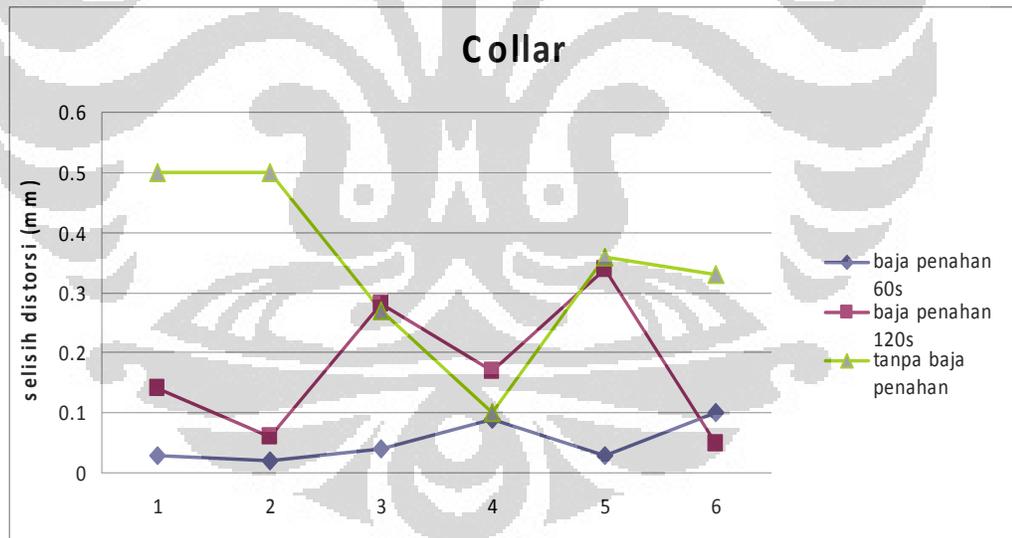
- *Collar*

Pada Tabel 4.7 terdapat perbandingan data-data Δ distorsi pada *collar* setiap sampel antara pengelasan tanpa baja penahan, pemasangan baja penahan selama 60 detik, dan pemasangan baja penahan selama 120 detik.

Tabel 4.7. Data perbandingan Δ distorsi *collar* setiap variabel (dalam mm)

Sampel	[Δ Distorsi]		
	baja penahan 60s	baja penahan 120s	tanpa baja penahan
1	0.03	0.14	0.5
2	0.02	0.06	0.5
3	0.04	0.28	0.27
4	0.09	0.17	0.1
5	0.03	0.34	0.36
6	0.1	0.05	0.33

Berdasarkan Tabel 4.7, dapat dikatakan pada hampir semua sampel urutan Δ distorsi pada *collar* dari yang terkecil adalah pemasangan baja penahan 60 detik, diikuti oleh pemasangan baja penahan selama 120 detik, dan Δ distorsi paling besar adalah tanpa baja penahan. Perbedaan terjadi hanya pada sampel ke enam.

**Gambar 4.9.** Grafik perbandingan Δ distorsi *collar* setiap variabel

Berdasarkan Gambar 4.9 di atas dapat dilihat perbedaan yang jelas yang menunjukkan Δ distorsi antara ke tiga variabel. Pengelasan tanpa baja penahan terlihat memiliki grafik yang turun naik dan memiliki rentang nilai terbesar. Pengelasan dengan pemasangan baja penahan selama 120 detik juga memiliki

grafik yang turun naik tetapi memiliki rentang nilai yang lebih kecil. Pengelasan dengan pemasangan baja penahan selama 60 detik memiliki grafik yang paling baik. Hal ini dapat dilihat dengan kestabilan grafik dan rentang nilai yang sangat kecil.

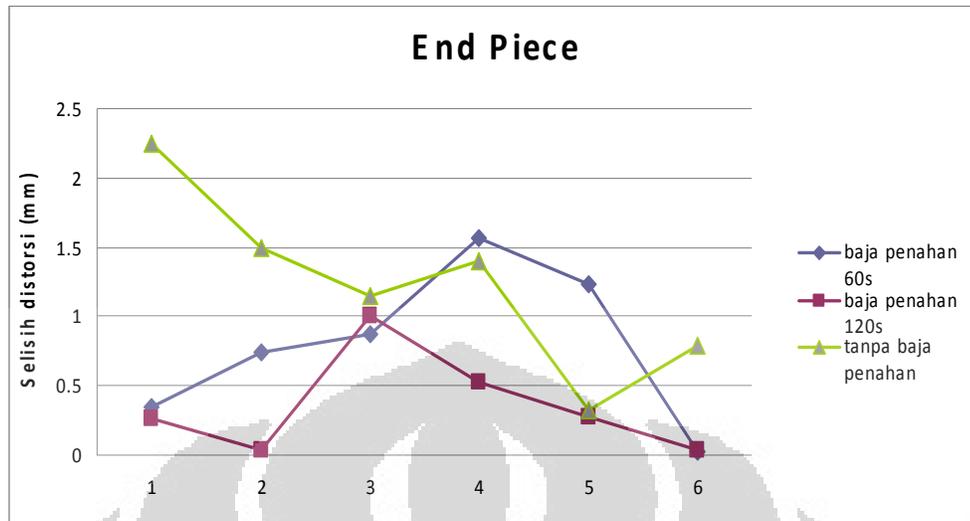
- *End Piece*

Pada Tabel 4.8 terdapat perbandingan data-data Δ distorsi pada *end piece* setiap sampel antara pengelasan tanpa baja penahan, pemasangan baja penahan selama 60 detik, dan pemasangan baja penahan selama 120 detik.

Tabel 4.8. Data perbandingan Δ distorsi *end piece* setiap variabel (dalam mm)

Sampel	[Δ Distorsi]		
	baja penahan 60s	baja penahan 120s	tanpa baja penahan
1	0.35	0.26	2.25
2	0.74	0.04	1.5
3	0.87	1.01	1.15
4	1.57	0.53	1.4
5	1.23	0.27	0.32
6	0.02	0.04	0.79

Nilai-nilai jarak *end piece* pada ketiga variabel ini tidak sestabil grafik baja penahan selama 60 detik sebelumnya. Maksudnya tidak ada satu variabel yang jelas-jelas paling stabil diantara yang lain. Secara umum, urutan Δ distorsi pada *end piece* dari yang terkecil adalah pemasangan baja penahan 120 detik, diikuti oleh pemasangan baja penahan selama 60 detik, dan Δ distorsi paling besar adalah tanpa baja penahan. Perbedaan terjadi hanya pada sampel ke tiga dan ke enam. Berdasarkan grafik, pengelasan tanpa baja penahan memiliki grafik dengan rentang variasi nilai paling besar.



Gambar 4.10. Grafik perbandingan Δ distorsi *end piece* setiap variabel

Berdasarkan Gambar 4.10 di atas dapat dilihat perbedaan yang jelas yang menunjukkan Δ distorsi antara ke tiga variabel. Dalam standar yang ditentukan, terdapat toleransi penyimpangan jarak *end piece* yaitu sebesar 1 mm. Berdasarkan grafik di atas, pengelasan dengan baja penahan selama 120 detik memiliki garis grafik yang paling baik. Grafik ini memiliki rentang nilai yang paling kecil dan semua nilainya berada di bawah batas toleransi. Pengelasan dengan baja penahan selama 60 detik memiliki grafik dengan rentang nilai yang lebih besar dari baja penahan 120 detik. Tapi hanya dua nilai yang berada di atas batas toleransi. Sedangkan pengelasan tanpa baja penahan memiliki grafik dengan rentang nilai paling besar. Hampir semua nilainya berada di atas batas toleransi.

BAB 5

KESIMPULAN

1. Distorsi terbesar terjadi pada pengelasan *swing arm* tahap tiga (pengelasan robot semi otomatis), yaitu pada bagian *collar* sebesar kurang lebih 2,5 mm sedangkan pada bagian *end piece* sebesar kurang lebih 2 mm.
2. Pemasangan baja penahan pada bagian *collar* setelah pengelasan tahap tiga (pengelasan robot semi otomatis) lebih efektif dilakukan selama 60 detik dibandingkan dengan 120 detik karena menurunkan distorsi dari rata-rata 3 mm menjadi rata-rata 0,05 mm.
3. Pemasangan baja penahan pada bagian *collar* setelah pengelasan tahap tiga (pengelasan robot semi otomatis) lebih efektif dilakukan selama 120 detik dibandingkan dengan 60 detik karena menurunkan distorsi dari rata-rata 2 mm menjadi rata-rata 0,4 mm.
4. Pemasangan baja penahan pada pengelasan *swing arm* khususnya pada pengelasan tahap tiga (pengelasan robot semi otomatis) cukup efektif mengendalikan distorsi angular. Oleh karena itu hasil penelitian ini dapat dijadikan salah satu pertimbangan sebagai metode pengendalian distorsi pada pengelasan *swing arm*.

DAFTAR REFERENSI

1. Mashubuci, K., *Analysis of Welded Structures*. Pergamon Press, 1980.
2. Anggono, J dan Alimin, R. *Pengaruh besar heat input panas pengelasan SMAW terhadap distorsi angular sambungan T baja lunak SS400*. Jurnal Pengelasan : 1999.
3. Vel Murugan, V and Gunaraj, V. *Effect of process parameters on angular distorsion of Gas Metal Arc Welded structural steel plates*. Journal : 2005.
4. Tsai, C.L, Park, S.C, Cheng, W.T. *Welding distorsion of thin plate panel structure*. Welding Journal : 1999.
5. Scnenk, T, Richardson, I.M, Kraska, M, Ohnimus, S. A. *Study on influence of clamping on welding distorsion*. Welding Journal : 2008
6. Long, H, Gery, D, Carlier, B, Maropoulos, P.G. *Prediction of welding distorsion in butt joint of thin plates*. Welding Journal : 2009.
7. Watanabe, M. and Satoh, K. *Effect of welding condition on the shrinkage and distorsion in welded structures*. Welding Journal : 1961
8. *Welding Technology. Welding Handbook*. Eight edition volume 1. American Welding Society : 1987, chapter 7
9. Cheng, C.M, Chou, C.P, Lee, I.K, Lin, H.Y. *Distorsion analysis of single V-groove butt welding on heat treatable aluminium alloys*. Welding Journal.
10. Callister, W.D. *Materials science and engineering an introduction*. Sixth edition. John Wiley and sons, Inc : 2004.
11. Anis, Muhammad. *Diktat kuliah teknologi pengelasan logam*. Departemen Metalurgi dan Material UI. 1991.
12. ASM International. *Handbook of residual stress and deformation of steel*. 2002.
13. Laboratorium metalografi dan perlakuan panas. *Modul praktikum metalografi dan perlakuan panas*. Departemen Metalurgi dan Material UI. 2009.
14. Kihara, H. *Welding data book*. Japan Welding Association. 1954.
15. Roeren, Schwenk, dan Rethmeier. *Welding journal. Different approaches to model clamping condition within a weld simulation*. 2006.
16. Dydo, J, Castner, H. *Guidelines for control of distorsion in thin ship structures*. Navy joining centre. Ohio. 1999.