



**UNIVERSITAS INDONESIA**

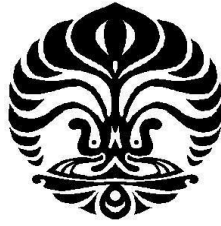
**ANALISIS PENINGKATAN PENETRASI PENGELASAN  
TUNGSTEN INERT GAS (TIG) PADA MATERIAL  
STAINLESS STEEL DENGAN MEMANFAATKAN MEDAN  
ELEKTROMAGNETIK**

**SKRIPSI**

**YOGI ADRIAN**

**0806330541**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PENINGKATAN PENETRASI PENGELASAN  
TUNGSTEN INERT GAS (TIG) PADA MATERIAL  
STAINLESS STEEL DENGAN MEMANFAATKAN MEDAN  
ELEKTROMAGNETIK**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**YOGI ADRIAN**

**0806330541**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JUNI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Yogi Adrian**

**NPM : 0806330541**

**Tanda Tangan :**



**Tanggal : 16 Juli 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Yogi Adrian

NPM : 0806330541

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisis Peningkatan Penetrasi Pengelasan Tungsten  
Inert Gas (TIG) Pada Material Stainless Steel Dengan  
Memanfaatkan Medan Elektromagnetik

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ario Sunar Baskoro, ST, MT, M.Eng



Penguji : Dr. Ir. Gandjar Kiswanto, M.Eng



Penguji : Yudan Whulanza, ST.,MSc.PhD.



Penguji : Jos Istiyanto ST.,MT., PhD



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmatNya, saya mampu menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Sarjana Teknik dibidang Teknik Mesin. Saya sadar bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, sejak awal perkuliahan dan bimbingan, rasanya sangat sulit sekali menyelesaikan ini semua. Seiring dengan selesainya skripsi ini, saya mengucapkan terima kasih sedalam-dalam nya kepada:

1. Orang tua , dan keluarga saya yang telah memberi doa dan dukungannya yang tak pernah habis
2. Dr. Ario Sunar Baskoro, ST, MT, M.Eng, selaku pembimbing utama yang telah merelakan waktu dan pemikirannya untuk memberi ide dan konsep pemikirannya pada skripsi yang berjudul *Analisis Peningkatan Penetrasi Pengelasan Tungsten Inert Gas Pada Material Stainless Steel Dengan Memanfaatkan Medan Elektromagnetik*
3. Agus S, Mas Ismail, Pak Diandono, Pak Suwarsono dan Frisman S, selaku rekan satu bimbingan yang saling membantu dan memberi masukan.
4. Rekan-rekan saya Afif, Andry, Bayu, Derris, Danker, Ferdian, Teguh, Jediel, Sonya, Audy, Jedo, Ario, Ono, Ijul, Gani, Rani, Ade, Dea di Lab Manufaktur DTM
5. Teman –teman seperjuangan saya Departemen Teknik Mesin Angkatan 2008, beruntung menjadi bagian dari kalian
6. Keluarga kedua saya *Tim Robot Universitas Indonesia*, terima kasih atas segalanya. Walaupun ada kata yang lebih bermakna dari terima kasih, mungkin sudah saya berikan

Akhir kata saya berharap Tuhan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penyelesaian skripsi ini. Semoga Skripsi ini dapat membawa manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan Indonesia.

Depok, Juni 2012

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Yogi Adrian  
NPM : 0806330541  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
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 :

### **Analisis Peningkatan Penetrasi Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) Pada Material Stainless Steel Dengan Memanfaatkan Medan Elektromagnetik**

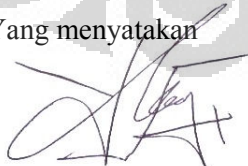
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 16 Juli 2012

Yang menyatakan



Yogi Adrian

## ABSTRAK

Nama : Yogi Adrian  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : **Analisis Peningkatan Penetrasi Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) Pada Material Stainless Steel Dengan Memanfaatkan Medan Elektromagnetik**

*Tungsten Inert Gas (TIG)* adalah proses pengelasan dimana busur nyala listrik ditimbulkan oleh elektroda tungsten dengan benda kerja dan daerah pengelasannya dilindungi oleh gas pelindung. Bentuk busur api dapat dipengaruhi oleh gaya elektromagnetik. Pada penelitian sebelumnya, penggunaan beberapa medan elektromagnetik yang diatur letaknya sedemikian rupa memberikan hasil pengelasan yang berbeda. Dalam studi ini busur las di berikan medan elektromagnetik yang bersumber dari solenoid. Pengelasan dilakukan pada *stainless steel*. Medan elektromagnetik yang dihasilkan menyebabkan busur api terdefleksi. Defleksi ini dikontrol dengan solenoid yang diaktifkan secara bergantian mengelilingi busur las dengan menggunakan mikrokontroler. Hasil penelitian menunjukkan dengan menggunakan solenoid sebagai sumber medan magnet untuk mempengaruhi busur las dapat mempengaruhi hasil pengelasan. Penetrasi yang dihasilkan dengan menggunakan solenoid lebih dalam dibandingkan pengelasan tanpa menggunakan solenoid. Kenaikan efisiensi daya pengelasan mencapai 10,9 %. Berdasarkan grafik perbandingan perubahan kecepatan terdapat kesamaan hasil antara pengelasan dengan kecepatan tinggi menggunakan solenoid dengan pengelasan kecepatan rendah tanpa solenoid.

Kata Kunci:

TIG welding, *stainless steel*, medan elektromagnetik, daya pengelasan, , penetrasi, efisiensi

## ABSTRACT

Name : Yogi Adrian  
Study Program : Teknik Mesin  
Title : **Analysis of Welding Penetration Improvement in Tungsten inert Gas (TIG) of Stainless Steel Using Electromagnetic Field**

Tungsten Inert Gas (TIG) welding is a process which an electric arc generated by the tungsten electrode to the workpiece and the welding area protected by a protective gas. Arc shape can be affected by electromagnetic force. In previous study, the use of some electromagnetic field around the arc has influenced the welding results. In this study electromagnetic fields generated from the solenoids was given to the welding arc. Welding process was conducted on Stainless Steel. The electromagnetic field made the arc becomes deflected. This deflection was controlled by the solenoid by activating it using a microcontroller. The results showed that the use of solenoid as a source of electromagnetic field has influenced the welding arc. Penetration produced by using a solenoid has deeper penetration than welding process without using solenoid. The increase of the welding power efficiency was 10.9%. Furthermore, there are similarities between the results of the welding at high speeds using a solenoid compared with a low speed welding without solenoid.

Keywords:

TIG Welding, stainless steel, electromagnetic field, welding penetration, efficiency



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan .....	3
1.3 Perumusan Masalah .....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
<b>2. PENGELASAN TUNGSTEN INERT GAS.....</b>	<b>6</b>
2.1 Tungsten Inert Gas Welding .....	6
2.2 Las TIG yang dipulsakan .....	7
2.3 Polaritas TIG .....	9
2.4 Fenomena Busur Las.....	10
2.5 Heat Input.....	13
2.6 Baja <i>Stainless Steel</i> .....	14
2.7 Medan Magnet .....	16

2.8	Medan Magnet pada Solenoida.....	19
<b>3.</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>21</b>
3.1	Penggunaan TIG Welding.....	21
3.2	Perancangan Alat Pembangkit Medan Magnet pada Busur las .....	22
3.2.a	Pembangkit medan magnet .....	22
3.2.b	Mikrokontroler .....	23
3.2.c	Solenoid driver .....	24
3.2.d	Skema Solenoid.....	25
3.3	Pengujian.....	26
3.4	Prosedur percobaan .....	27
3.5	Pengukuran.....	27
<b>4.</b>	<b>HASIL DAN ANALISIS .....</b>	<b>29</b>
4.1	Pengelasan tanpa solenoid.....	29
4.1.1	Perubahan Arus .....	29
4.1.2	Perubahan kecepatan pengelasan .....	31
4.2	Pengelasan dengan solenoid.....	33
4.2.1	Perbandingan hasil dengan solenoid dan tanpa solenoid pada perubahan delay .....	34
4.2.2	Persebaran lebar pengelasan .....	42
4.2.3	Perbandingan hasil dengan solenoid dan tanpa solenoid pada perubahan kecepatan pengelasan .....	47
4.3	Analisis Citra.....	58
<b>5.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>56</b>
5.1	Kesimpulan .....	56
5.2	Saran.....	57
	<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>57</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pengelasan TIG .....	6
Gambar 2.2 Skema Pengelasan .....	7
Gambar 2.3 TIG yang dipulsakan .....	8
Gambar 2.4 Distribusi panas pada (a) DCEN, (b) DCEP, (c) AC .....	10
Gambar 2.5 electromagnetic pinch effect (Teknologi Pengelasan 8).....	10
Gambar 2.6 Gaya elektromagnetik pada arus las(Teknologi Pengelasan 9).....	11
Gambar 2.7 Busur api TIG .....	12
Gambar 2.8 Pengaruh lengkungan terhadap arc, pengaruh koneksi (kiri), dan pengaruh benda kerja (kanan) (Teknologi Pengelasan 9) .....	12
Gambar 2.10 kekuatan regangan vs temperatur .....	14
Gambar 2.9 penyerapan energi vs temperatur.....	14
Gambar 2.11 Kumparan solenoida.....	19
Gambar 3.1 Alat TIG welding.....	22
Gambar 3.2 Solenoid.....	22
Gambar 3.3 Board Mikro Kontroler.....	23
Gambar 3.4 relay .....	24
Gambar 3.5 Driver relay.....	25
Gambar 3.6 alat pembangkit medan magnet.....	25
Gambar 3.7 skema pengujian menggunakan solenoid .....	26
Gambar 3.8 weld cap width dan root bead width.....	28
Gambar 3.9 metode pengukuran hasil pengelasan .....	28
Gambar 4.1 Grafik top width perubahan arus .....	30
Gambar 4.2 Grafik bottom width perubahan kecepatan.....	31
Gambar 4.3 Grafik top width perubahan kecepatan.....	32
Gambar 4.4 Grafik bottom width perubahan kecepatan.....	33
Gambar 4.5 Grafik top width penggunaan solenoid 80 A.....	35
Gambar 4.6 Grafik bottom width penggunaan solenoid 80 A.....	35
Gambar 4.7 Grafik top width penggunaan solenoid 90 A.....	38
Gambar 4.8 Grafik bottom width penggunaan solenoid 90 A.....	38
Gambar 4.9 Grafik top width penggunaan solenoid 100 A.....	41

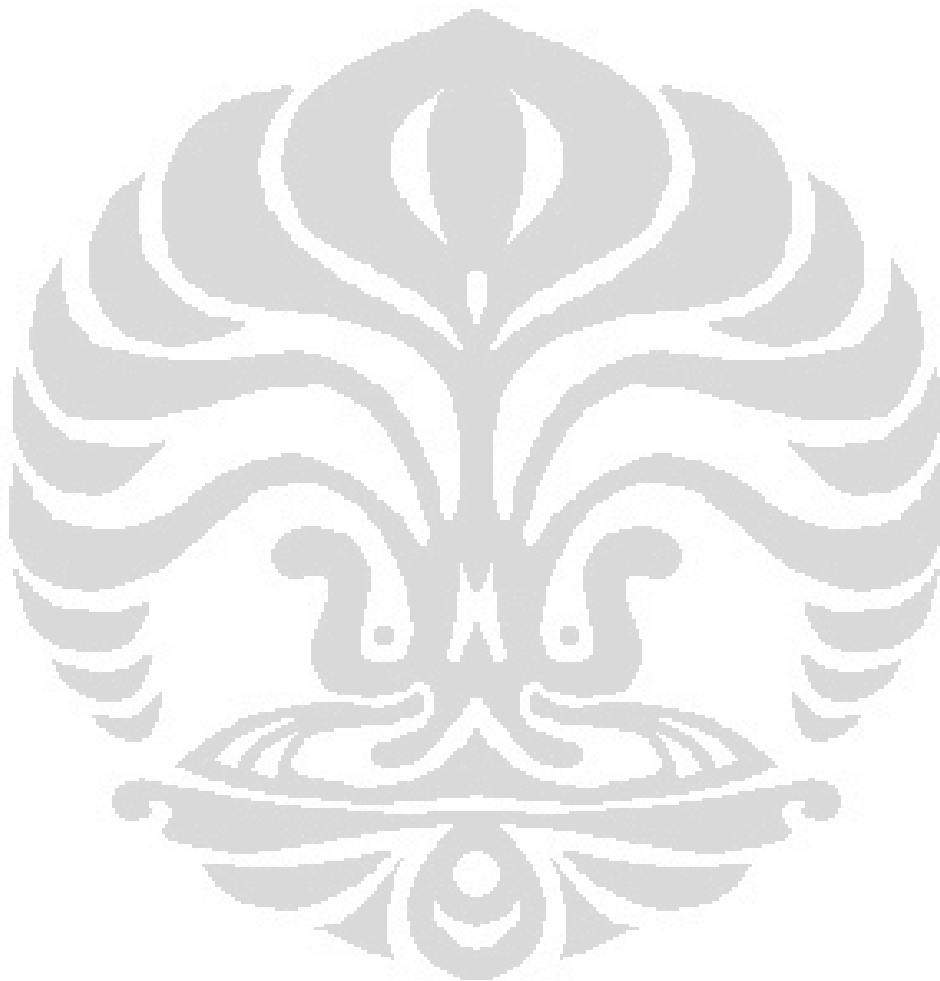
Gambar 4.10 Grafik bottom width penggunaan solenoid 100 A .....	41
Gambar 4.11 Grafik persebaran top width pada arus 80 A .....	42
Gambar 4.12 Grafik persebaran bottom width pada arus 90 A.....	42
Gambar 4.13 Grafik persebaran bottom width pada arus 90 A.....	44
Gambar 4.14 Grafik persebaran bottom width pada arus 90 A.....	44
Gambar 4.15 Grafik persebaran top width pada arus 100 A.....	46
Gambar 4.16 Grafik persebaran bottom width pada arus 100 A.....	46
Gambar 4.17 Grafik top width perbandingan kecepatan 2 mm/s (tanpa solenoid) dengan 3 mm/s (dengan solenoid).....	49
Gambar 4.18 Grafik bottom width perbandingan kecepatan 2 mm/s (tanpa solenoid) dengan 3 mm/s (dengan solenoid).....	49
Gambar 4.19 Grafik top width perbandingan kecepatan 2 mm/s (tanpa solenoid) dengan 4 mm/s (dengan solenoid).....	55
Gambar 4.20 Grafik bottom width perbandingan kecepatan 2 mm/s (tanpa solenoid) dengan 4 mm/s (dengan solenoid).....	55
Gambar 4.21 Grafik top width perbandingan kecepatan 3 mm/s (tanpa solenoid) dengan 4 mm/s (dengan solenoid).....	57
Gambar 4.22 Grafik bottom width perbandingan kecepatan 3 mm/s (tanpa solenoid) dengan 4 mm/s (dengan solenoid).....	57
Gambar 4.23 Penampang makrostruktur I = 80 A .....	58
Gambar 4.24 Penampang makrostruktur I = 80 A, delay = 100 ms.....	58
Gambar 4.25 Penampang makrostruktur I = 80 A, delay = 150 ms.....	59
Gambar 4.26 Penampang makrostruktur I = 80 A, delay = 200 ms.....	59
Gambar 4.27 busur api tanpa menggunakan solenoid.....	60
Gambar 4.28 busur api menggunakan solenoid .....	60

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kandungan unsur pada Stainless steel(Teknologi Pengelasan 65) .....	14
Tabel 2. Sifat fisik Stainless Steel(Teknologi Pengelasan 67).....	15
Tabel 3. Spesifikasi pengelasan.....	21
Tabel 4 Pengujian perubahan Arus.....	26
Tabel 5. Pengujian perubahan kecepatan .....	27
Tabel 6. Tabel Uji T pada manik las bawah pada I= 80 A, delay=150 ms dengan I = 80 A delay, delay=200 ms .....	43
Tabel 7. Tabel uji T pada manik las bawah I= 90 A, delay=150 ms dengan I = 90 A delay, delay=200 ms.....	45
Tabel 8. Uji T pada manik las bawah I= 100 A, delay=100 ms dengan I = 100 A delay, delay=150 ms.....	47

## DAFTAR LAMPIRAN

- A1. Data hasil pengelasan
- A2. Spesifikasi Solenoid
- A3. Rangkaian sistem kontrol
- A4. Program Solenoid



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri manufaktur mempunyai kontribusi besar terhadap pertumbuhan ekonomi Indonesia. Namun masa krisis di tahun 1997 terjadi pergeseran alokasi biaya input. Komponen biaya input seperti listrik dan bahan baku impor mengalami kenaikan. Walaupun sekarang komponen biaya listrik relatif stabil, namun industri manufaktur terus memperbesar kapasitas kerja mereka. Hal ini dapat dilihat dari penggunaan alat-alat produksi berdaya tinggi. Oleh karena itu komponen biaya penggunaan listrik perlu diperhitungkan kembali.

Efisiensi industri menunjukkan kinerja industri dalam mengoptimalkan biaya input yang dikeluarkan untuk menghasilkan output. Semakin efisien suatu industri, maka rasio antara input dan output akan semakin kecil. Rasio antara biaya listrik dan input menunjukkan *share* biaya listrik terhadap keseluruhan biaya input yang digunakan dalam suatu industri. Untuk meningkatkan kinerjanya, industri akan mengoptimalkan biaya listrik yang digunakannya untuk menghasilkan output yang paling maksimal. Semakin tinggi angka rasio tersebut, maka penggunaan listriknya juga semakin besar, sehingga ongkos yang digunakan untuk membayar listrik juga semakin besar [1].

Saat ini pengelasan merupakan teknologi manufaktur dasar yang diperlukan hampir di setiap sektor industri. Kebutuhan industri terhadap pengelasan meningkat setiap tahun. Dengan demikian teknologi proses pengelasan juga dituntut harus mampu melakukan proses penyambungan yang cepat, efisien dan handal. Untuk meningkatkan performa pengelasan tersebut perlu dilakukan serangkaian penelitian untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi.

Pengelasan (*fusion welding*) adalah salah satu proses yang sangat populer di dalam berbagai macam industri. Las Fusi (*fusion welding*) memiliki sambungan las yang kontinu pada benda kerja yang dilas. Beberapa keuntungan dari las fusi adalah

- Efisiensi sambungan (rasio  $\sigma$  las /  $\sigma$  logam induk) tinggi.
- Kekedapan terhadap udara dan air sangat baik.
- Struktur sambungan dapat lebih sederhana.
- Tebal sambungan dapat bervariasi.
- Reduksi penggunaan material dan penghematan tenaga kerja yang digunakan membuat las fusi (*fusion welding*) menjadi ekonomis.

Gas Tungsten Arc Welding atau lebih populer disebut dengan Tungsten Inert Gas (TIG) adalah salah satu jenis pengelasan busur listrik dengan pelindung gas. Sejak pertama kali ditemukan, TIG sudah menjadi bagian penting dalam industri manufaktur. Pengelasan ini banyak diaplikasikan pada baja stainless steel, aluminium, logam reaktif seperti magnesium dan titanium.

TIG adalah proses pengelasan dimana busur nyala listrik ditimbulkan oleh elektroda tungsten dengan benda kerja. Daerah pengelasan dilindungi oleh gas pelindung. Gas pelindung yang biasa digunakan adalah Helium atau Argon.

TIG termasuk dalam kategori elektroda tak dikonsumsi. Dalam las dengan elektroda yang tak dikonsumsi, hampir tidak ada elektroda yang meleleh. Berbeda dengan jenis pengelasan yang lain, elektroda ini bukan sebagai filler, namun sebagai penahan busur

Busur api yang dihasilkan adalah plasma. Keadaan ini terjadi pada saat gas bersuhu tinggi. Hal ini mengakibatkan ion-ion dan elektron gas didalam busur terionisasi dan bergerak bebas. Ion dan elektron tersebut bergerak mengelilingi busur. Penelitian ini mencoba memanipulasi pergerakannya dengan cara diberikan pengaruh medan magnet.

Bentuk busur api dapat dipengaruhi oleh gaya elektromagnet. Oleh karena itu gaya elektromagnet sangat di hindari. Hal ini dikarenakan medan magnet disekitar busur las akan menimbulkan defleksi yang disebut *magnetic arc blow*. Magnetic arc blow terjadi karena ketidaksimetrisan medan magnet



yang terjadi. Akibatnya, busur las tidak terfokus pada objek las dan penetrasi berkurang.

Namun, penggunaan beberapa medan magnet yang diatur letaknya sedemikian rupa memberikan hasil yang berbeda. Penelitian menggunakan empat medan magnet yang dilakukan H.C. Tse, H.C. Man, T.M. Yue [2] menyimpulkan bahwa medan magnet sangat membantu penetrasi pada daya yang tinggi dan kecepatan pengelasan yang rendah dan sebanding dengan bentuk plasma.

Dalam studi kali ini busur las diberikan medan magnet yang bersumber dari solenoid. Solenoid tersebut diaktifkan secara bergantian dan mengelilingi busur. Dengan demikian diharapkan dengan penggunaan daya listrik yang relatif lebih rendah dan dapat menghasilkan penetrasi yang lebih dalam.

## 1.2 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti perilaku busur api pada TIG Welding ketika diberikan pengaruh medan elektomagnetik yang dihasilkan oleh solenoid. Busur api yang terpengaruh medan magnet diharapkan dapat meningkatkan penetrasi lasan namun dengan daya listrik yang relatif lebih rendah.

## 1.3 Perumusan Masalah

Penelitian ini menggunakan pengaruh medan magnet pada pengelasan TIG tanpa bahan tambahan (*Autogenous TIG Welding*) dengan tipe arus DC Elektroda Negatif (DCEN). Medan magnet tersebut dibangkitkan dengan menggunakan empat solenoid dan delapan solenoid yang diletakkan di sekeliling busur dan diaktifkan dengan *delay* waktu tertentu.

## 1.4 Batasan Masalah

- a. Pengelasan dengan metode GTAW atau TIG.
- b. Tipe pengelasan *Direct Current Electrode Negative* (DCEN).

- c. Benda uji SS 304 dengan ketebalan 2 mm dan 3 mm
- d. Menggunakan gas Argon sebagai gas pelindung.
- e. Mengukur lebar manik atas, manik bawah dan penetrasi las dengan menggunakan jangka sorong.
- f. Menggunakan delapan solenoid secara dinamis.
- g. Membahas pengaruh medan magnet terhadap hasil pengelasan pada parameter delay solenoid dan kecepatan pengelasan

### **1.5 Sistematika Penulisan**

Tulisan ini terdiri atas 5 bab, daftar pustaka dan lampiran.

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini terdiri atas latar belakang, tujuan penelitian, perumusan masalah, batasan masalah dan sistematika penulisan.

#### **BAB 2 PENGELASAN TUNGSTEN INERT GAS**

Bab ini menjelaskan teori-teori yang mendasari penelitian ini. Teori dasar ini meliputi TIG welding, karakteristik busur api, karakteristik baja stainless dan medan elektromagnet.

#### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan metode dan tahap tahap yang dilakukan untuk melakukan penelitian ini. Metode ini terdiri dari Studi literatur mengenai pengaruh elektromagnet terhadap busur api pada TIG welding, perancangan alat pembangkit medan magnet. Persiapan Pengujian, Prosedur Pengujian, pengukuran hasil pengelasan, dan hasil pengambilan citra busur api.

#### **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.**

Di sini berisi data hasil pengujian yang telah diukur dan analisis data yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan. Data hasil pengelasan adalah lebar celah atas dan bawah serta kedalaman. Data ini akan disajikan dalam bentuk grafik. Data hasil pengambilan citra yang dianalisis adalah busur api dan penampakan penampang hasil pengelasan makro.

#### **BAB V KESIMPULAN**

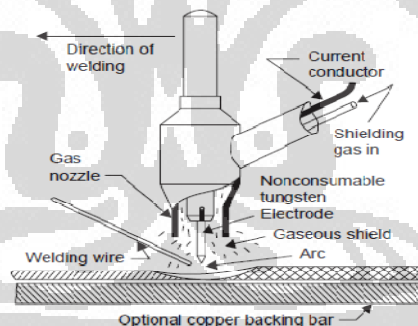
Disini berisi kesimpulan dari keseluruhan penelitian yang dilakukan termasuk hubungan penggunaan elektromagnet terhadap hasil pengelasan yang dilakukan. Daftar Pustaka, berisi beberapa sumber baik dalam bentuk buku maupun dalam bentuk paper serta jurnal yang digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini.



## BAB 2 PENGELASAN TUNGSTEN INERT GAS

### 2.1 Tungsten Inert Gas Welding

TIG adalah proses pengelasan dimana busur nyala listrik ditimbulkan oleh elektroda tungsten dengan benda kerja. Daerah pengelasan dilindungi oleh gas pelindung mulia seperti argon dan helium. Tungsten yang merupakan logam dengan titik lebur yang tinggi atau paduannya umumnya digunakan sebagai elektroda yang non-consumable. Busur listrik terbentuk diantara ujung elektroda dan benda kerja. Bahan pengisi/*filler* (berupa batangan atau kawat) harus ditambahkan ketika deposit logam dibutuhkan. Penambahan logam pengisi yang terpisah mempunyai arti bahwa masukan panas pengelasan dan jumlah logam yang didepositkan dapat dikontrol secara terpisah. Ini secara tidak langsung menguntungkan untuk semua posisi las dan mudah terbentuknya kempuh lasan pada akar las (*root*) [3].



*Gambar 2.1 Proses Pengelasan TIG*

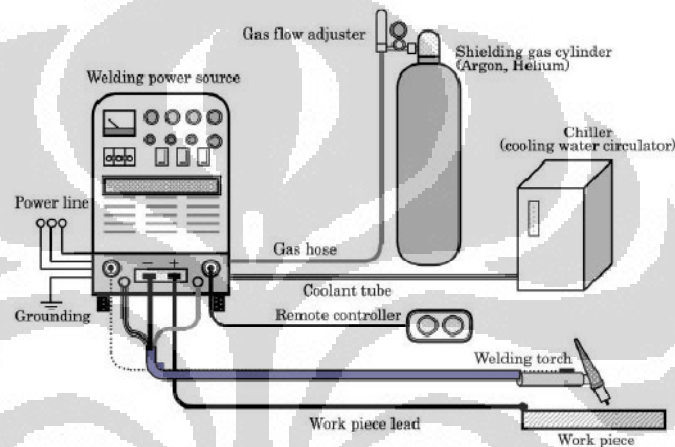
Keuntungan TIG bila dibandingkan dengan proses pengelasan yang lainnya :

- Logam hasil lasan bersih dengan ketangguhan, elongasi dan ketahanan korosi yang baik
- Permukaan lasan bersih karena sedikit oksidasi
- Tidak ada terak yang terbentuk

Keterbatasannya adalah :

- Prosesnya lambat
- Efisiensinya rendah
- Harga gas argon & helium yang relatif mahal

Las TIG dapat digunakan pada hampir seluruh logam seperti baja karbon, baja paduan rendah, baja tahan karat, paduan nikel, paduan tembaga, paduan aluminium, paduan titanium, dan paduan magnesium.



Gambar 2.2 Skema Pengelasan

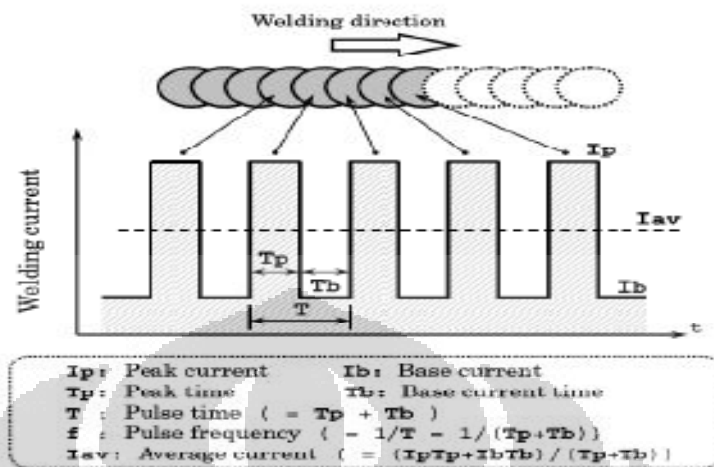
Gambar mengilustrasikan susunan dari peralatan TIG. Perlengkapan Las TIG terdiri dari catu daya, gagang las, kotak kontrol pengendali, Kabel ke benda kerja. Arus searah (DC) umumnya digunakan untuk mengelas baja karbon, baja paduan rendah dan baja tahan karat. Sedangkan arus bolak balik (AC) biasanya digunakan untuk mengelas aluminium, magnesium dan paduannya.

## 2.2 Las TIG yang dipulsakan

Gambar menunjukkan sebuah konsep dari pengelasan dengan busur listrik yang dipulsakan. Banyak keuntungan yang diperoleh dengan mengontrol parameter pulsa seperti sebagai berikut:

- Arus puncak atau *peak current* ( $I_p$ )
- Arus dasar atau *base current* ( $I_b$ )
- Waktu puncak atau *peak time* ( $T_p$ )

- Waktu dasar atau *base time* ( $T_b$ )



Gambar 2.3 TIG yang dipulsakan

(Sumber : Teknologi Pengelasan)

Pengelasan TIG yang dipulsakan diklasifikasikan berdasarkan frekuensi pulsa sebagai berikut :

- Pengelasan dengan frekuensi pulsa rendah, yaitu 0.5-15 Hz
- Pengelasan dengan frekuensi pulsa menengah, yaitu 100-150 Hz
- Pengelasan dengan frekuensi pulsa tinggi, yaitu > 1kHz

Pada pengelasan dengan frekuensi rendah sambungan yang dilas meleleh pada *peak time* dan membeku pada *base time*. Oleh karena itu, metode ini efektif ketika panas yang diberikan pada logam dasar dibatasi. Metode ini digunakan pada pengelasan 'out of position', pengelasan untuk menyambung pelat dengan ketebalan yang berbeda, dan penetrasi untuk kampuh lasan yang berbeda.

Dengan meningkatkan frekuensi pulsa, pengurangan panas yang diberikan menjadi sedikit tetapi kekuncupan dan pemusatan dari busur listrik menjadi lebih kuat. Kekuncupan (*stiffness*) dari busur listrik mengurangi gerakan yang tidak stabil pada busur listrik dengan arus rendah sepanjang garis lasan. Pengelasan dengan frekuensi pulsa yang sedang, menggunakan efek

peningkatan frekuensi pulsa tersebut untuk me-las pelat tipis dengan kecepatan tinggi.

Pengelasan dengan frekuensi pulsa tinggi hanya digunakan untuk penggunaan yang spesifik. Kekuncupan dan pemusatan busur listrik menjadi lebih kuat pada jarak frekuensi yang tinggi, tetapi perlengkapan las menjadi sangat mahal dan kabel las memerlukan penanganan yang lebih hati-hati.

### 2.3 Polaritas TIG

Pada pengelasan dengan busur listrik, polaritas dari elektroda mempengaruhi sifat dari busur listrik dan fenomena pelelehan pada material dasar.

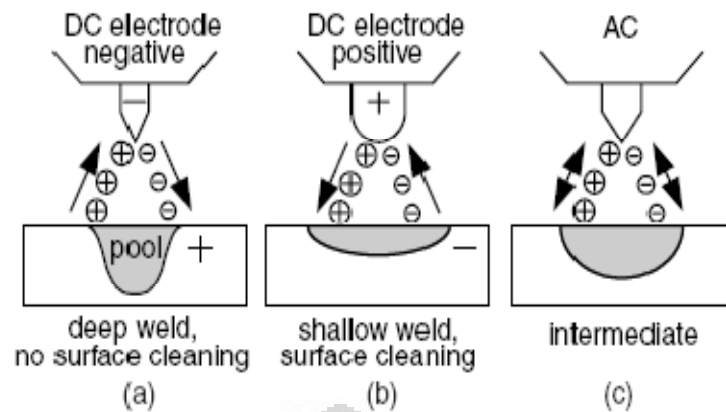
Arus AC maupun DC digunakan dalam pengelasan didasarkan atas beberapa pertimbangan, antara lain jenis logam yang akan di las dan kedalaman penetrasi yang akan dicapai.

Ada 3 macam polaritas yang digunakan dalam pengelasan TIG ini.

- DCEP (*Direct current electrode positive*)
- DCEN (*Direct current electrode negative*)
- AC (*Alternating Current*)

Untuk jenis logam yang permukaannya terbentuk oksid seperti aluminium dan magnesium serta logam nonferro yang lain digunakan arus AC dan DCEP. Kedua jenis arus ini digunakan untuk mengelupas lapisan oksid yang akan terjadi akibat adanya aliran elektron dari benda kerja menuju elektroda pada arus DCEP ataupun pada setengah siklus AC.

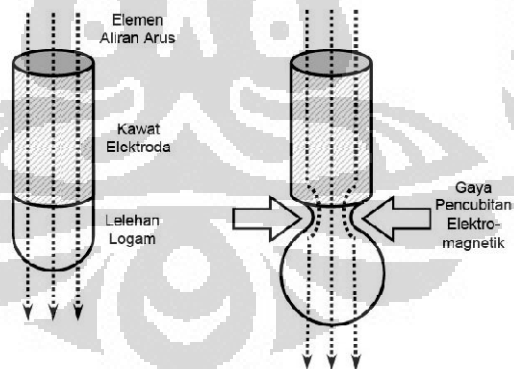
Penggunaan jenis arus juga mempengaruhi kedalaman penetrasi yang akan dibentuk. Pada arus AC, distribusi panas terjadi  $\frac{1}{2}$  untuk benda kerja dan  $\frac{1}{2}$  untuk elektroda. Pada arus DCEP,  $\frac{2}{3}$  panas terjadi pada elektroda dan  $\frac{1}{3}$  sisanya terjadi pada benda kerja. Sebaliknya terjadi pada DCEN yaitu  $\frac{1}{3}$  panas untuk elektroda dan  $\frac{2}{3}$  panas sisanya terjadi pada benda kerja.



Gambar 2.4 Distribusi panas pada (a) DCEN, (b) DCEP, (c) AC

## 2.4 Fenomena Busur Las

Gaya tarik elektromagnetik diinduksi diantara konduktor paralel dimana konduktor membawa arus di arah yang sama. Ketika busur dapat dipertimbangkan sebagai agglomerate halus dan konduktor paralel, gaya tarik menyebabkan luas penampang busur menyusut. Penyusutan ini disebut “efek pencubitan elektromagnetik” (*electromagnetic pinch effect*). Dan gaya yang terjadi disebut sebagai “gaya pencubitan elektromagnetik” (*electromagnetic pinch force*).

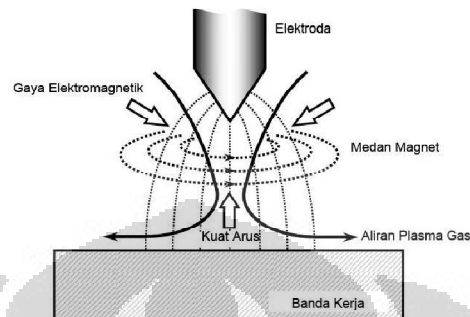


Gambar 2.5 *electromagnetic pinch effect* (Teknologi Pengelasan 8)

Gaya pencubitan elektromagnetik ada di kawat elektroda. Lelehan logam cair di ujung elektroda di jepit (*squeezed*) agar terlepas dari ujung elektroda dengan “gaya pencubitan elektromagnetik”, meskipun demikian pada bagian yang padat tidak mengalami deformasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Busur listrik juga ikut menyusut untuk mereduksi luas



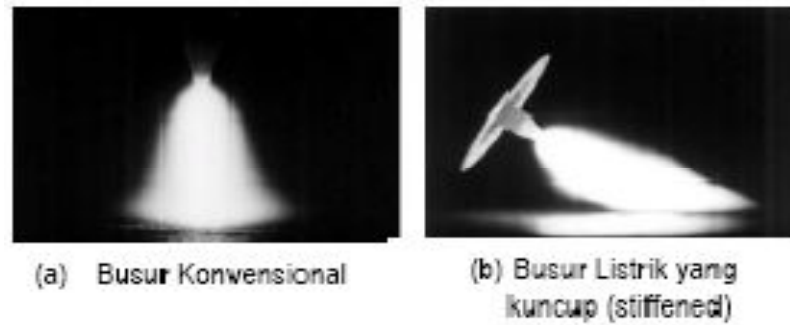
permukaannya yang kemudian menekan kehilangan panas ketika busur mendingin ke temperatur ambient nya. Efek ini dinamakan “efek pencubitan termal” (thermal pinch effect).



Gambar 2.6 Gaya elektromagnetik pada arus las(Teknologi Pengelasan 9)

Pada las busur listrik, medan magnet terbentuk di sekitar busur oleh kuat arus las seperti yang ditunjukkan pada Gambar. Gaya elektromagnetik diinduksi oleh arus las: Arah dari gaya elektromagnetik melintas diantara arus dan medan magnet seperti yang telah dijelaskan pada “Hukum Tangan Kiri Fleming” (*Fleming’s left hand law*). Densitas arus busur melir lebih rendah dari ujung elektroda terhadap benda kerja: Besarnya densitas arus dekat ujung elektroda lebih tinggi dibandingkan dengan yang dekat dengan benda kerja. Oleh karena itu, gaya pencubitan elektromagnetik (*electromagnetic pinch force*) menjadi lebih kuat dekat dengan ujung elektroda.

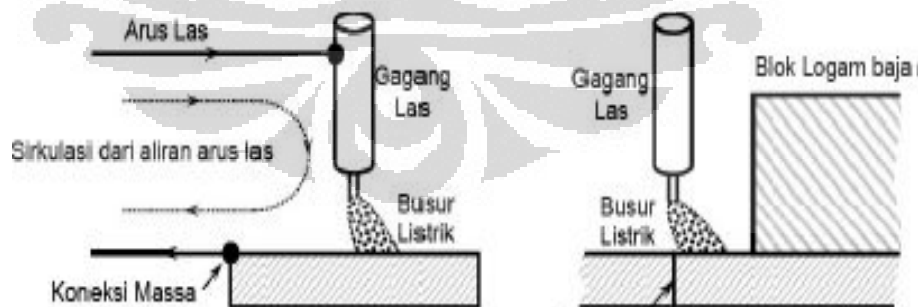
Dalam kolom busur, tekanan busur dekat dengan ujung elektroda bernilai lebih tinggi daripada yang dekat dengan benda kerja. Perbedaan medan magnet dan tekanan di kolom busur membuat bagian dari gas pelindung ditarik ke dalam kolom busur. Induksi aliran gas mengarahkan dari elektroda terhadap benda kerja dan kecepatannya tinggi.



Gambar 2.7 Busur api TIG

Aliran gas induksi disebut juga aliran gas plasma (aliran gas aerodinamik). Kecepatan aliran ini terkadang mencapai 100 m/s (360 km/hr). Aliran gas plasma sangat mempengaruhi perpindahan tetesan lelehan logam cair dan bentuk penetrasi las. Bahkan pada posisi las diatas kepala (overhead), aliran tsb adalah aliran gas plasma yang membuat transfer tetesan logam cair menjadi baik dan lancar menuju kawah lasan (*weld pool*) dalam melawan terhadap gaya gravitasi.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, ketika torch las miring, busur cenderung untuk mengarahkan sepanjang sumbu gagang las (*torch*). Busur listrik tidak selalu berada di jarak terpendek diantara ujung elektroda dan benda kerja. Hal ini dinamakan “*stiffness of arc*”.



Gambar 2.8 Pengaruh lingkungan terhadap arc, pengaruh koneksi (kiri), dan pengaruh benda kerja (kanan) (Teknologi Pengelasan 9)

Busur teralihkan (bergeser) dari arah sesungguhnya akibat adanya gaya asimetris medan magnet. Asimetris medan magnet diinduksi dengan asimetris arus las sirkuit atau medan magnet sisa atau keduanya. Fenomena pengalihan busur disebut dengan arc blow. Contoh khas diilustrasikan pada gambar, Arc blow pada Gambar 2.8 (kiri) disebabkan oleh penempatan koneksi masa benda kerja yang salah. Bentuk sirkuit arus las menyebabkan medan magnet asimetris sepanjang sirkuit. Sebagai medan magnet didalam rangkaian loop lebih kuat dibandingkan diluar, busur ditekan menuju daerah yang lebih lemah, dinamakan, menuju keluar dari rangkaian loop. Arc blow, ditunjukkan pada gambar 2.8 (kanan), terjadi ketika blok besar material magnet ada dekat garis las. Karena permeabilitas blok bernilai lebih tinggi dibandingkan udara, blok tersebut menarik aliran magnet. Asimetris medan magnet terbentuk disekitar busur ketika busur datang mendekati blok logam tersebut, maka busur teralihkan (terdefleksi). Arc blow juga dapat terjadi di tepi benda kerja.

Arc blow cenderung terjadi pada arus searah (DC) las dengan material logam yang mudah termagnetisasi seperti baja feritik. Arc blow jarang terjadi pada pengelasan material non-magnet. Arc blow juga jarang pada las arus bolak balik (AC), ketika polaritas busur berubah bolak balik dengan cepat. Eliminasi dan reduksi arc blow dapat dicapai dengan mengatur rangkaian benda kerja, dengan penanganan benda kerja (kabel-kabel), dan dengan demagnetizing benda kerja.

## 2.5 Heat Input

Efisiensi energi dalam pengelasan dapat dilihat dari berkurangnya penggunaan input kalor (*heat input*) yang dibutuhkan namun hasil yang digunakan hampir serupa dengan penggunaan energi (*heat input*) yang lebih besar. Nilai *heat input* dihitung dengan persamaan 2.3 :

$$H = \frac{60EI}{1000s} \quad (2.1)$$

dimana H adalah nilai *heat input* ( kJ/mm), E adalah *voltage* (volt), s adalah kecepatan pengelasan (mm/min) dan I adalah Arus listrik (Ampere)

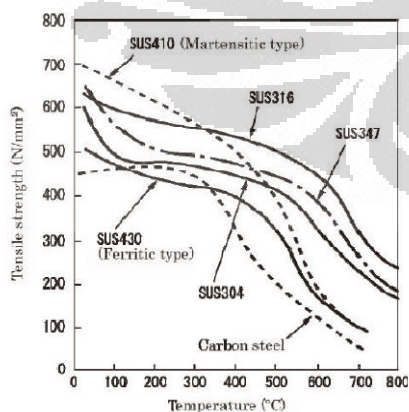
## 2.6 Baja *Stainless Steel*

Baja *stainless* merupakan baja paduan tinggi yang mengandung 12% Cr atau lebih. Baja ini diklasifikasikan kedalam dua tipe, yaitu baja *stainless* tipe Cr yang mengandung paduan hanya Cr saja, dan baja *stainless* tipe Cr-Ni yang mengandung unsur Cr dan Ni.

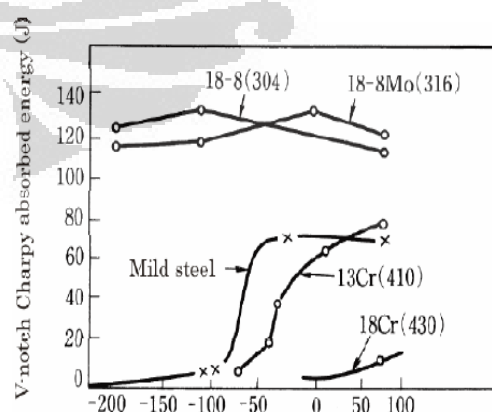
Tabel 1. Kandungan unsur pada *Stainless steel* (Teknologi Pengelasan 65)

Classification		Steel	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
Cr type	Martensitic type	SUS410	0.15 max.	1.00 max.	1.00 max.	0.040 max.	0.030 max.	—	11.50~13.50	—
	Ferritic type	SUS430	0.12 max.	0.75 max.	1.00 max.	0.040 max.	0.030 max.	—	16.00~18.00	—
Cr-Ni type	Austenitic type	SUS304	0.08 max.	1.00 max.	2.00 max.	0.045 max.	0.030 max.	8.50~10.50	18.00~20.00	—
		SUS316	0.08 max.	1.00 max.	2.00 max.	0.045 max.	0.030 max.	10.00~14.00	16.00~18.00	2.00~3.00
	Dual phase (duplex) type	SUS329J1	0.08 max.	1.00 max.	1.50 max.	0.040 max.	0.030 max.	3.00~6.00	23.00~28.00	1.00~3.00

Baja *stainless* banyak digunakan untuk berbagai penggunaan aplikasi tahan karat. Material ini juga banyak digunakan untuk aplikasi yang memanfaatkan sifat mekaniknya. Gambar 2.10 menunjukkan hubungan antara kekuatan regangan dengan temperature untuk beberapa macam baja *stainless* dan gambar 2.9 menunjukkan hubungan antara penyerapan energi dan temperatur. Meskipun baja *stainless* dengan struktur menunjukkan kekuatan yang paling tinggi pada temperatur ruangan, baja *stainless* austenit memiliki kekuatan yang paling tinggi pada temperatur tinggi.



Gambar 2.10 kekuatan regangan vs temperatur



Gambar 2.9 penyerapan energi vs temperatur

Pada penyerapan energi, tipe austenit tidak memiliki fenomena transisi *ductile-brittle* pada temperatur *cyrogenic* (temperatur yang sangat rendah) tetapi memiliki ketahanan impak yang baik pada suhu ruangan. Karena sifatnya, baja stainless austenit banyak digunakan pada aplikasi pada lingkungan dengan temperatur rendah, seperti vessel pada LNG (*liquid natural gas*), pancaran nitrogen dan lain-lain dan juga pada temperatur yang tinggi, seperti pengayaan nuklir, pengolahan minyak bumi dan lain-lain.

Tabel 2. Sifat fisik Stainless Steel (Sumber :Teknologi Pengelasan)

Steel	Physical properties						
	Specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )	Electrical resistivity (μΩ · m)	Magnetism	Specific heat (cal/g°C) (0 to 100°C)	Mean coefficient of linear expansion (10 <sup>-6</sup> /°C) (0 to 100°C)	Heat conductivity (10 <sup>3</sup> cal/cm/sec°C) (100°C)	Melting temperature range (°C)
Carbon steel	7.86	0.15	Present	0.12	11.4	11.2	1490-1520
SUS410	7.75	0.57	Present	0.11	9.9	5.95	1480-1530
SUS430	7.70	0.60	Present	0.11	10.4	6.24	1480-1510
SUS304	7.93	0.72	Absent	0.12	17.3	3.89	1400-1450
SUS316	7.98	0.74	Absent	0.12	16.0	3.89	1370-1400

Karena sifatnya yang berbeda dari baja karbon, maka masalah-masalah yang harus diperhatikan dalam proses pengelasan adalah sebagai berikut:

- Distorsi yang besar dan regangan (pemuaihan logam dasar) biasanya mudah terinisiasi dalam pengelasan karena koefisien ekspansi termal dari baja stainless austenit adalah sekitar 1.5 kali lebih besar dari baja karbon dan konduktivitas termalnya sekitar tiga kali lebih besar daripada baja karbon.
- Elektroda dengan penampakan terbakar biasanya terjadi pada kondisi arus yang diberikan dalam proses pengelasan dengan menggunakan SMAW (*shielded metal arc welding*) dalam keadaan arus berlebih karena resistensi listrik baja *stainless* sekitar empat kali lebih besar pada baja *stainless* tipe Cr dan lima kali lebih besar pada baja karbon tipe Cr-Ni dari baja karbon.

- Pada pengelasan dalam posisi vertikal dengan metode SMAW, biasanya logam lasan akan menggantung (lelehan yang mengeras ketika akan menetes dari daerah lasan) karena perbedaan temperatur leleh dari baja stainless austenit yaitu sekitar 1000C lebih rendah dari baja karbon.
- Ketika proses penyambungan dua material yang berbeda dilakukan dengan menggunakan material magnetik seperti baja karbon, baja karbon bisa jadi meleleh secara berlebihan hasil dari aliran busur magnetik karena baja stainless austenit tidak memiliki sifat magnetis.

## 2.7 Medan Magnet

Setiap magnet memiliki kutub magnet yang saling berlawanan, yaitu kutub utara (U) dan kutub selatan (S), yang keduanya memiliki daya untuk menarik sekeping besi atau semacamnya. Sama halnya dengan muatan listrik, kutub yang senama saling tolak-menolak dan kutub yang berlawanan saling tarik-menarik. Daerah di antara kutub utara dan kutub selatan disebut medan magnet. Medan magnet memiliki daya untuk menarik sekeping logam atau semacamnya. Medan magnet tersusun dari garis-garis yang keluar dari kutub utara menuju kutub selatan, yang disebut garis-garis gaya magnet (ggm). Dengan demikian arah medan magnet juga dari kutub utara ke kutub selatan. Semakin kuat kemagnetan, semakin banyak jumlah garis gaya magnetnya. Jumlah garis gaya magnet yang keluar dari kutub utara suatu magnet disebut fluks magnet (*magnetic flux*), yang dinyatakan dengan simbol  $\Phi$  (phi). Satuan internasional untuk fluks magnet adalah *Weber* (Wb). Satu Weber sama dengan  $10^8$  garis gaya magnet. Satuan cgs untuk fluks magnet adalah *Maxwell*. Satu *Maxwell* sama dengan  $10^{-8}$  *Weber*.

Kerapatan fluks magnet (*magnetic flux density*) adalah fluks magnet per satuan luas pada bidang yang tegak lurus dengan fluks magnet tersebut.

Kerapatan fluks magnet sering disebut juga dengan induksi magnet (*magnetic induction*). Kerapatan fluks magnet dapat dinyatakan dengan:

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad (2.2)$$

$B$  = kerapatan fluks magnet dalam Weber/m<sup>2</sup> (Wb/ m<sup>2</sup>) atau Tesla (T)

$\Phi$  = fluks magnet dalam Weber (Wb)

$A$  = luas penampang dalam meter persegi (m<sup>2</sup>)

Dalam satuan cgs, kerapatan fluks magnet dinyatakan dengan Maxwell/cm<sup>2</sup> atau gauss. Dengan menggunakan metode konversi didapatkan 1 Maxwell/cm<sup>2</sup> = 10<sup>-6</sup> Wb/m<sup>2</sup>.

Permeabilitas (*permeability*) adalah kemampuan suatu benda untuk dilewati garis gaya magnet. Permeabilitas dinyatakan dengan simbol  $\mu$  (mu). Benda yang mudah dilewati garis gaya magnet disebut memiliki permeabilitas tinggi. Permeabilitas udara dan ruang hampa dianggap sama dengan satu. Untuk benda-benda yang lain, besarnya permeabilitas ditentukan dengan perbandingan terhadap udara atau ruang hampa, didapatkan permeabilitas relatif (*relative permeability*). Nilai permeabilitas untuk udara adalah  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  atau  $1,26 \times 10^{-6}$ . Untuk menghitung  $\mu$ , nilai permeabilitas relatif  $\mu_r$  harus dikalikan dengan permeabilitas udara  $\mu_0$ , sebagaimana rumus di bawah ini

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0 \quad (2.3)$$

$\mu$  = permeabilitas suatu benda

$\mu_r$  = permeabilitas relatif

$\mu_0$  = permeabilitas udara

Ditinjau dari permeabilitas relatifnya, benda-benda dikelompokkan dalam tiga kelompok, yaitu :

1. Benda-benda ferromagnetik, yang memiliki permeabilitas jauh lebih besar dari 1. Benda-benda yang memiliki permeabilitas tinggi bila terletak di dalam medan magnet, garis-garis gaya magnet cenderung lewat pada benda tersebut. Dengan demikian benda-benda ferromagnetik mudah ditarik oleh magnet dan mudah dibuat magnet buatan. Yang tergolong benda ini antara lain besi, baja, nikel, cobalt, logam paduan seperti alnico dan permalloy. Kutub magnet, inti transformator dan bagian-bagian yang berhubungan dengan kemagnetan dibuat dari bahan ferromagnetik
2. Benda-benda paramagnetik, yang memiliki permeabilitas sedikit lebih besar dari 1. Benda-benda yang tergolong pada jenis ini tidak begitu kuat ditarik magnet dan bila terletak di dalam medan magnet, fluks yang mengalir di dalamnya sama dengan fluks magnet yang mengalir di dalam udara biasa. Yang tergolong benda ini antara lain aluminium, khrom, mangan dan platinum.
3. Benda-benda diamagnetik, yang memiliki permeabilitas kurang dari 1. Benda-benda yang tergolong jenis ini sukar ditarik magnet dan bila terletak di dalam medan magnet cenderung dihindari oleh garis-garis gaya magnet. Yang tergolong benda ini antara lain bismuth, antimoni, tembaga, seng, merkuri, emas dan perak.

Arus listrik yang mengalir di dalam konduktor menimbulkan medan magnet di sekitar konduktor tersebut. Kuat medan magnet tergantung pada besar arus yang mengalir pada konduktor tersebut. Semakin besar arusnya, semakin kuat medan magnetnya.

Untuk menentukan hubungan antara arus yang mengalir di dalam konduktor dengan arah medan magnet, digunakan kaidah tangan kanan (*right-hand rule*). Kaidah tangan kanan dapat diperagakan seolah-olah telapak tangan kanan memegang konduktor berarus dengan ibu jari yang ditegakkan menunjukkan arah arus.

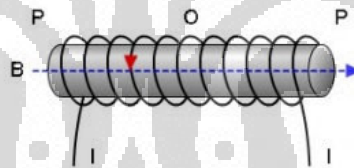


Semakin besar arus yang mengalir, semakin kuat medan magnetnya. Bila inti kumparan diisi dengan bahan ferromagnetik, kerapatan fluks semakin besar. Arah medan magnet ditentukan dengan kaidah tangan kanan (*right-hand rule*). Kaidah tangan kanan dapat diperagakan seolah-olah telapak tangan kanan memegang kumparan. Bila arus pada kumparan searah dengan jari-jari yang memegang kumparan itu, maka arah ibu jari yang diluruskan menunjukkan arah medan magnet pada inti kumparan.

Semakin besar arus yang mengalir di dalam suatu kumparan, semakin besar kuat medannya. Begitu juga semakin banyak lilitan kawatnya, semakin banyak dihasilkan garis gaya magnet.

## 2.8 Medan Magnet pada Solenoida

Sebuah kawat dibentuk seperti spiral yang selanjutnya disebut kumparan, apabila dialiri arus listrik maka akan berfungsi seperti magnet batang. Kumparan ini disebut dengan solenoida.



Gambar 2.11 Kumparan solenoida

Besarnya medan magnet disumbu pusat (titik O) Solenoida dapat dihitung

$$B = \frac{\mu_0 I N}{L} \quad (2.4)$$

$B_0$  = medan magnet pada pusat solenoida dalam tesla ( T )

$\mu_0$  = permeabilitas ruang hampa =  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Wb/amp. M

I = kuat arus listrik dalam ampere ( A )

N = jumlah lilitan dalam solenoida

L = panjang solenoida dalam meter ( m )

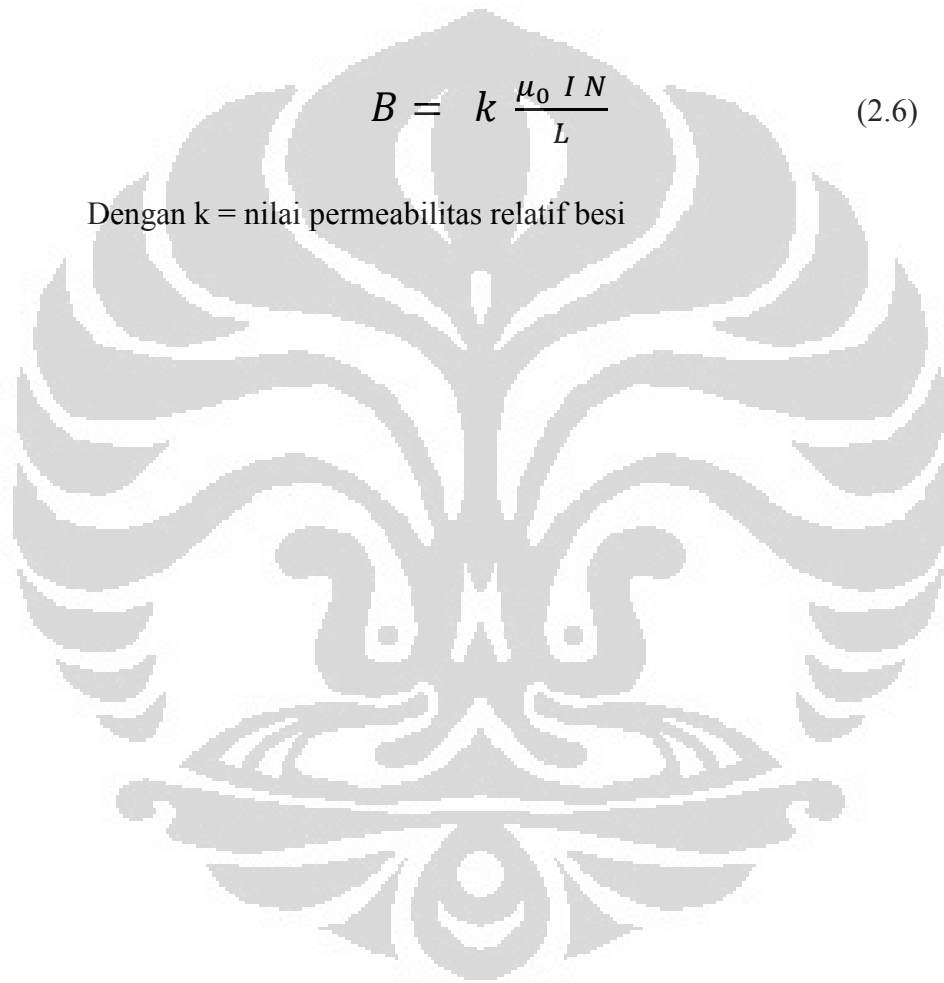
Dengan arah medan magnet ditentukan dengan kaidah tangan kanan. Arah arus menentukan arah medan magnet pada Solenoida. Besarnya medan magnet di ujung Solenoida dapat dihitung:

$$B = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 I N}{L} \quad (2.5)$$

Penambahan inti besi pada solenoid dapat memperbesar medan magnet. Nilai perbesaran ini bergantung pada permeabilitas relatif besi.

$$B = k \frac{\mu_0 I N}{L} \quad (2.6)$$

Dengan  $k$  = nilai permeabilitas relatif besi



## **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Penggunaan TIG Welding**

Pada kegiatan ini dilakukan kajian teoritik maupun kajian penelitian sebelumnya untuk mendapatkan informasi seperti spesifikasi pengelasan TIG yang akan digunakan, efek magnetik pada pengelasan, pengontrolan busur las dan pemrosesan citra.

Instrumen utama yang dibutuhkan adalah alat Tungsten Inert Gas welding. Oleh karena itu ditetapkan spesifikasi pengelasan yang akan dilakukan.

Berikut adalah data spesifikasi pengelasan:

*Tabel 3. Spesifikasi pengelasan*

Mesin Las	ITP 222 Inverter Tungsten Inert Gas Welding
Polaritas	DCEN
Gas Pelindung	Argon 8-10 Liter/menit
Elektroda	EWP 2,4 mm diameter
Benda Kerja	SS 304 ( 2mm x 300 mm x 100mm)
Arus	80-90 A
Kecepatan Pengelasan	2 – 4 mm/s
Jarak ujung elektroda dengan Benda Kerja	2 -3 mm
Frekuensi	Tanpa frekuensi



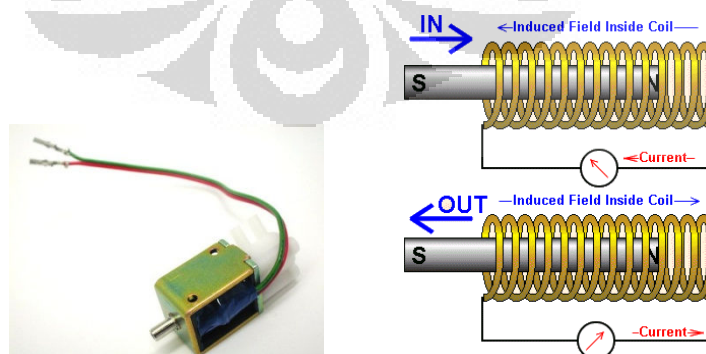
Gambar 3.1 Alat TIG welding

### 3.2 Perancangan Alat Pembangkit Medan Magnet pada Busur las

Pengaruh medan magnet solenoid pada busur las akan diamati dalam kondisi dinamis. Hasil tersebut akan dibandingkan dengan tanpa menggunakan medan magnet. Sebuah alat dimana solenoid akan ditempelkan di sekitar torch agar medan magnet yang dihasilkan dapat mempengaruhi pergerakan busur api.

#### 3.2.a Pembangkit medan magnet

Untuk membangkitkan medan magnet disekitar busur las, digunakan solenoid. Solenoid adalah sebuah kumparan yang terdiri dari banyak lilitan. Jika kumparan ini diberikan arus, maka akan menghasilkan medan magnet disekitarnya sesuai teori “kaidah tangan kanan”. Solenoid diletakkan disekeliling busur las.



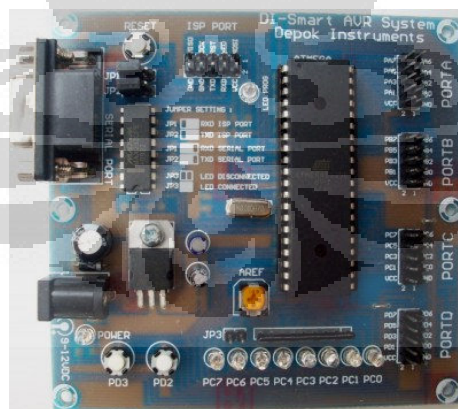
Gambar 3.2 Solenoid

Penempatannya dilakukan dengan plat aluminium 3 mm dan dipasang solenoid membentuk segi delapan sama sisi. Kemudian plat ini dipasangkan ke torch. Ketinggian solenoid terhadap ujung elektroda bisa diatur dengan menggeser penjepit ke atas dan kebawah.

### 3.2.b Mikrokontroler

Untuk mengatur pergerakan busur, kita perlu mengatur kapan solenoid akan menyala atau mati. Kapan menyala atau mati tergantung kapan kita memberi arus atau menghentikan arus pada solenoid itu sendiri. Untuk itu digunakan relay untuk pemutus dan penyambung arus secara cepat. Untuk men trigger relay dengan selang waktu tertentu digunakan *micro controller*. Dari sini bisa diatur juga jumlah solenoid yang aktif. Ketika akan menggunakan 4 solenoid, yang lainnya dimatikan dengan tidak memberi sinyal.

Pada penelitian kali ini digunakan mikro kontroler ATMEGA 16 dengan menggunakan XTAL 11.0592MHz. Mikro kontroler ini juga dilengkapi rangkaian regulator 5V dan dioda pengaman dengan konektor DC yang mudah dihubungkan dengan Adaptor-DC serta rangkaian antarmuka (*interface*) Max232 sehingga dapat langsung dihubungkan pada PORT SERIAL / COM PORT komputer.



Gambar 3.3 Board Mikro Kontroler

Software yang digunakan adalah Codevision AVR dengan bahasa pemrograman C. Berikut adalah contoh Algoritma untuk mengaktifkan solenoid bergantian dengan delay tertentu :

1. Menampilkan header ATMEGA 16

2. Menampilkan header delay
3. Mengatur PORT B sebagai output
4. Mengatur output PORT B dengan bilangan biner
5. Mengatur waktu menggunakan delay

Untuk mengubah waktu pengaktifan solenoid bisa dilakukan dengan mengubah nilai waktu pada sintaks `delay_ms()`.

### 3.2.c Solenoid driver

Perbedaan kebutuhan beda potensial antara mikro kontroler dengan solenoid mengharuskan kita untuk membuat driver solenoid. Solenoid bekerja pada tegangan 12 volt, namun mikrokontroler hanya bekerja pada tegangan 5 volt. Oleh karena itu dibutuhkan driver dari relay.



Gambar 3.4 relay

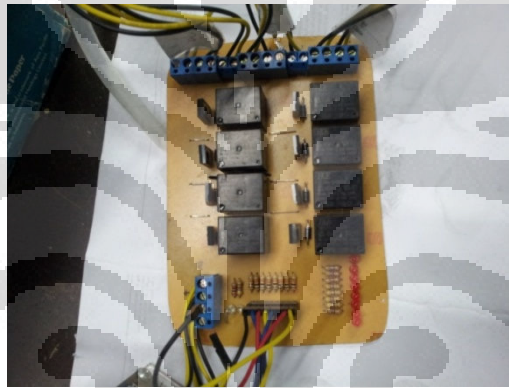
Relay adalah saklar elektronik yang dapat membuka atau menutup rangkaian dengan menggunakan kontrol dari rangkaian elektronik lain. Sebuah relay tersusun atas kumparan, pegas, saklar (terhubung pada pegas) dan 2 kotak elektronik normally close dan normally open.

- a. *Normally closed* (NC) : saklar terhubung dengan kontak ini saat relay tidak aktif atau dapat dikatakan saklar dalam kondisi terbuka.
- b. *Normally open* (NO) : saklar terhubung dengan kontak ini saat relay aktif atau dapat dikatakan saklar dalam kondisi tertutup.

Berdasarkan pada prinsip dasar cara kerjanya, relay dapat bekerja karena adanya medan magnet yang digunakan untuk menggerakkan saklar. Saat

kumparan diberikan trigger tegangan sebesar tegangan kerja relay maka akan timbul medan magnet pada kumparan karena adanya arus yang mengalir pada lilitan kawat. Kumparan yang bersifat sebagai elektromagnet ini kemudian akan menarik saklar dari kontak NC ke kontak NO. Jika tegangan pada kumparan dimatikan maka medan magnet pada kumparan akan hilang sehingga pegas akan menarik saklar ke kontak NC.

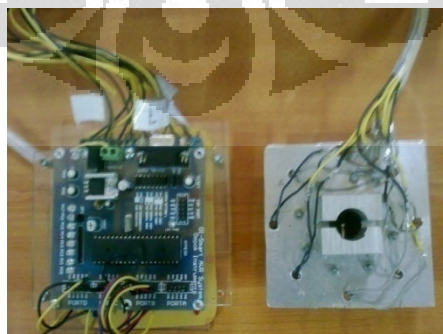
Pada driver ini trigger berasal dari mikro kontroler sebesar 5 volt dan sumber tegangan untuk solenoid sebesar 12 volt. Settingan awal adalah NO dan ketika mikrokontroler memberi nilai '1' maka saklar bergeser dari NO ke NC, sehingga solenoid aktif. Sebaliknya, ketika memberi nilai '0' maka solenoid tidak aktif.



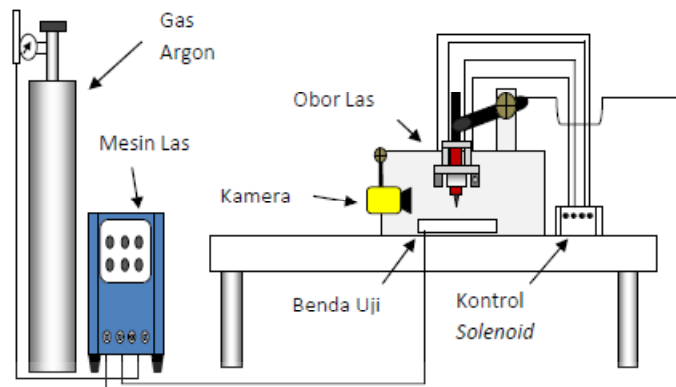
*Gambar 3.5 Driver relay*

### **3.2.d Skema Solenoid**

Berikut adalah skema solenoid alat yang digunakan pada pengelasan



*Gambar 3.6 alat pembangkit medan magnet*



Gambar 3.7 skema pengujian menggunakan solenoid

### 3.3 Pengujian

Berikut adalah tabel pengujian yang akan dilakukan

Pengujian pada perubahan nilai delay

Tabel 4 Pengujian perubahan Arus

No	Arus (Ampere)	Delay (milisecon)
1	80	-
		100
		150
		200
2	90	-
		100
		150
		200
3	100	-
		100
		150
		200



Tabel 5. Pengujian perubahan kecepatan

No	Arus (Ampere)	Delay (ms)	Kecepatan (mm/s)
1	90	100	2
			3
			4
		150	2
			3
			4
		200	2
			3
			4

### 3.4 Prosedur percobaan

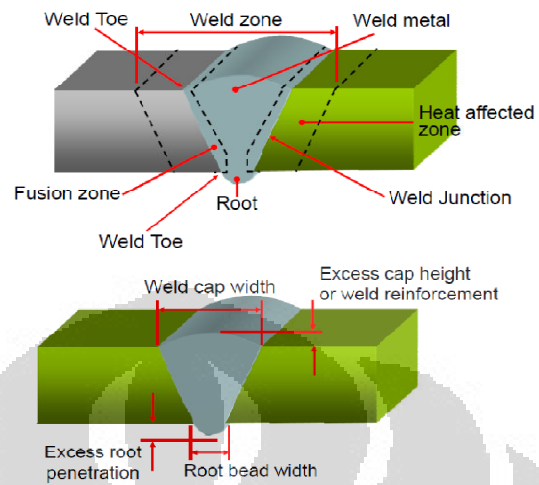
1. Melakukan setting terhadap parameter pengelasan dan kecepatan pengelasan
2. Memasang selenoid pada torch
3. Meletakkan benda kerja pada meja las dan diatur ketinggian  $\pm 3$ mm terhadap elektroda
4. Menyalakan mikrokontroler yang telah terhubung dengan solenoid
5. Membuka katup gas Argon
6. Menyalakan inverter kemudian mengatur flowrate gas Argon 8-10 L/min
7. Menyalakan penggerak torch sampai panjang pengelasan 7-8 cm
8. Mematikan inverter kemudian menutup tabung gas.
9. Mematikan penggerak torch dan mematikan mikrokontroler.
10. Tunggu sampai benda kerja cukup dingin kemudian dipindahkan dari meja las menggunakan penjepit besi.

### 3.5 Pengukuran

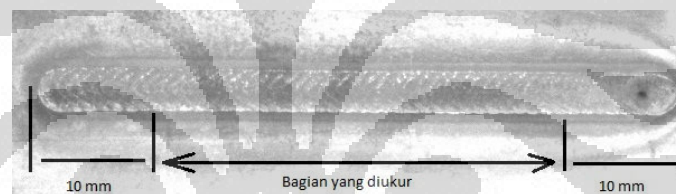
Pengukuran hasil las dilakukan pada manik las. Perhitungan lebar manik dan kedalaman merupakan hal yang sangat penting karena dapat memberi gambaran pengaruh parameter pengukuran pada hasil las.

Pengukuran hasil las dapat dilakukan dengan cara memahami pengertian bagian-bagian manik las. Pengukuran lebar manik atas dilakukan dengan

menghitung panjang *weld cap width*, manik bawah dengan menghitung panjang *root bead width*.



Gambar 3.8 *weld cap width* dan *root bead width*



Gambar 3.9 metode pengukuran hasil pengelasan

Sampel diukur  $\pm 10$  mm dari ujung bead. Hal ini bertujuan agar data pengukuran yang didapatkan stabil.

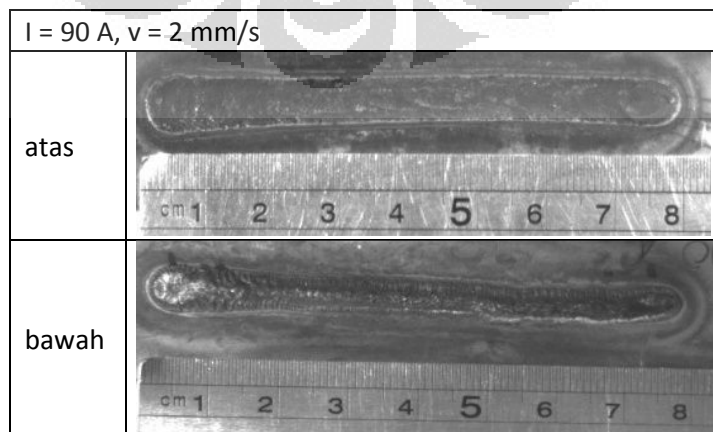
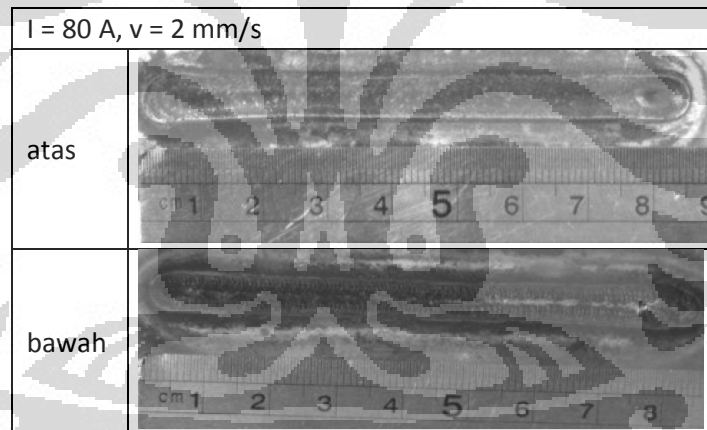
## BAB 4 HASIL DAN ANALISIS

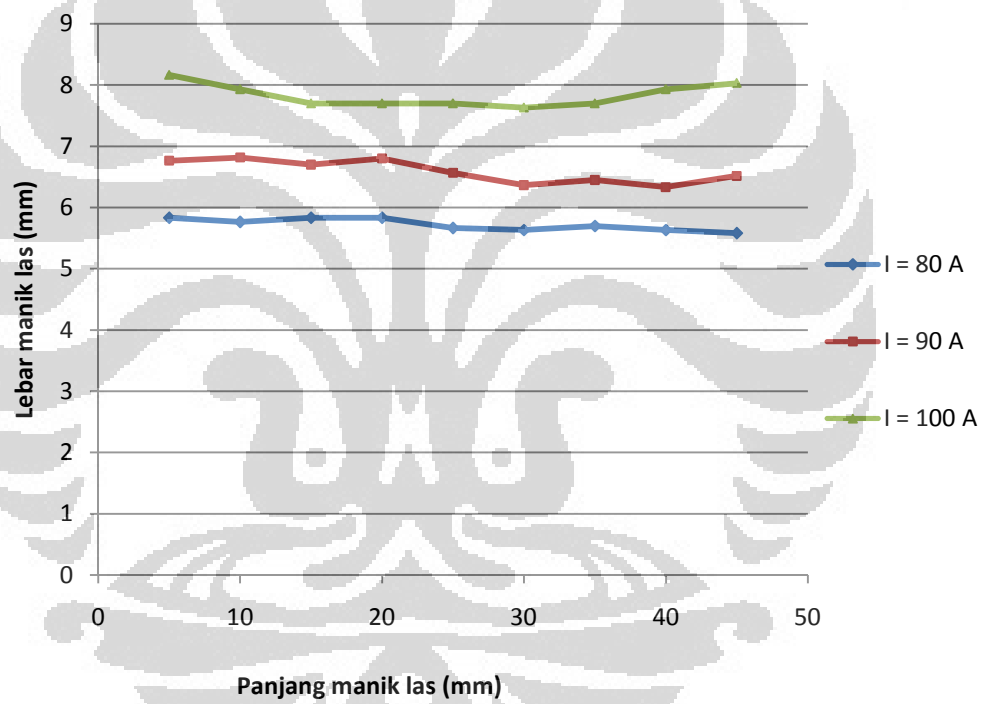
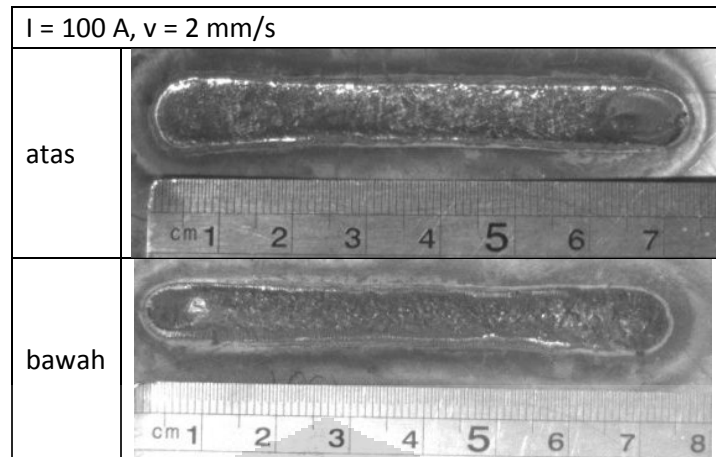
### 4.1 Pengelasan tanpa solenoid

Pada hasil pengelasan ini data yang diambil adalah ukuran hasil pengelasan top width dan bottom width. Pengelasan ini dilakukan tanpa menggunakan pembangkit medan magnet solenoid. Alat ini sengaja tidak dipasang untuk mendapatkan data ukuran referensi pengelasan tanpa pengaruh medan magnet.

#### 4.1.1 Perubahan Arus

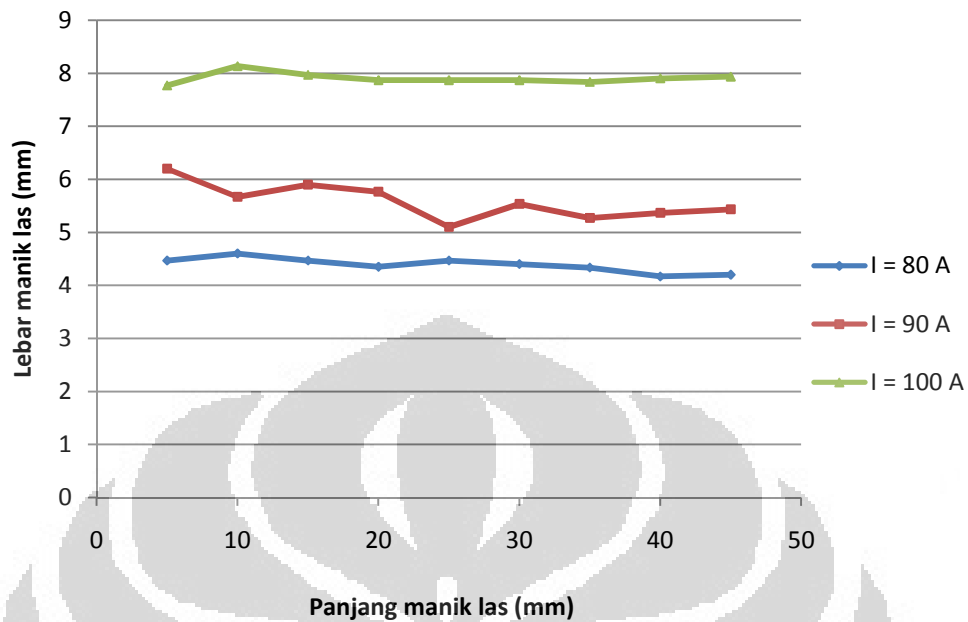
Dari data yang didapatkan kita, dan di tampilkan pada grafik kita bisa membandingkan perubahan ukuran top width dan bottom width dengan kenaikan arus pengelasan.





Gambar 4.1 Grafik top width perubahan arus

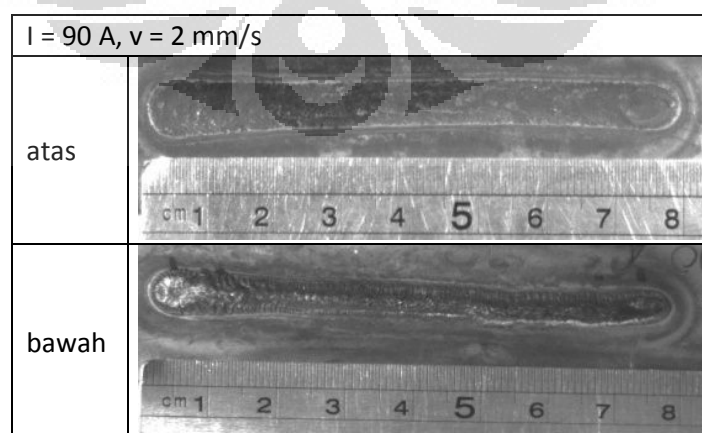
Gambar 4.2 Grafik bottom width perubahan kecepatan

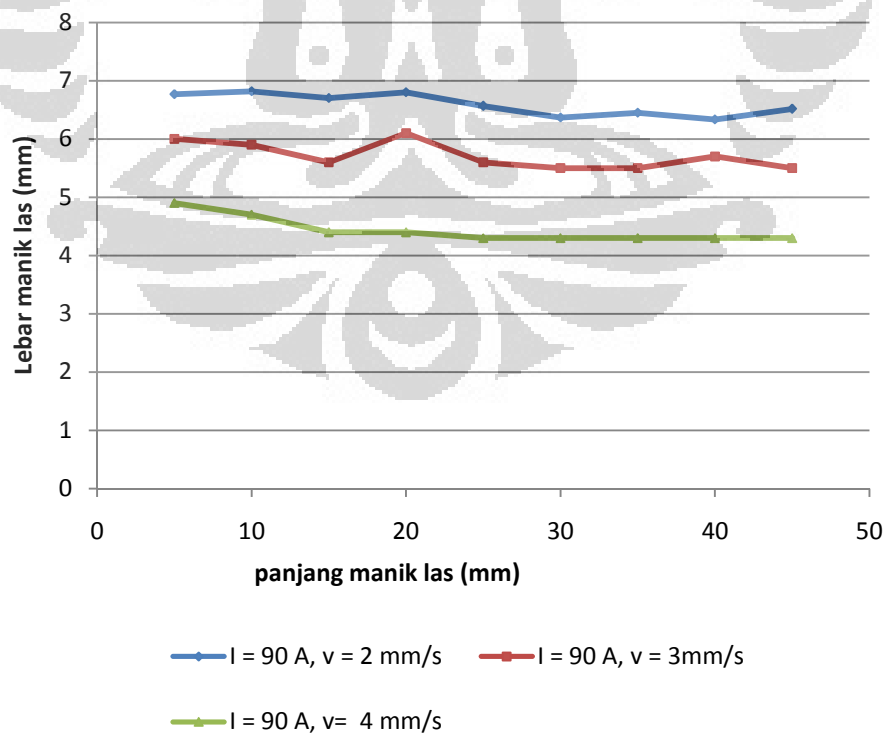
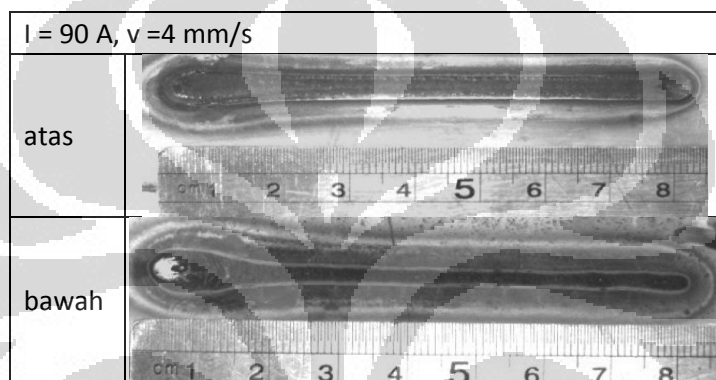
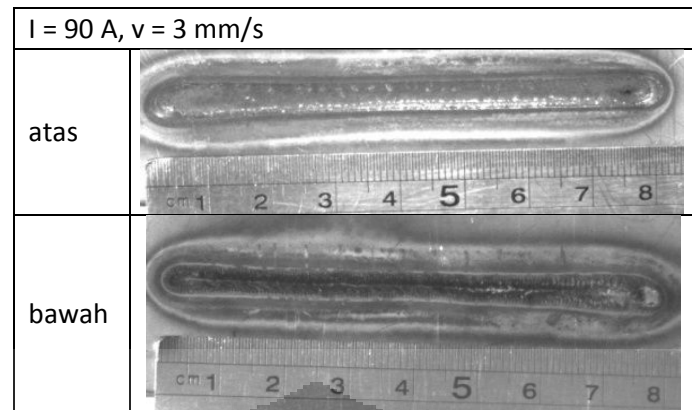


Dari sini dapat dilihat bahwa pengelasan dengan arus 100 A menghasilkan lebar bead terbesar, diikuti 90 A dan 80 A. Ini terjadi karena heat input yang diberikan berbanding lurus dengan arus pengelasan. Oleh karena itu arus 100 A menghasilkan lebar bead yang tinggi karena daya yang diberikan semakin besar dan panas yang diterima juga semakin besar.

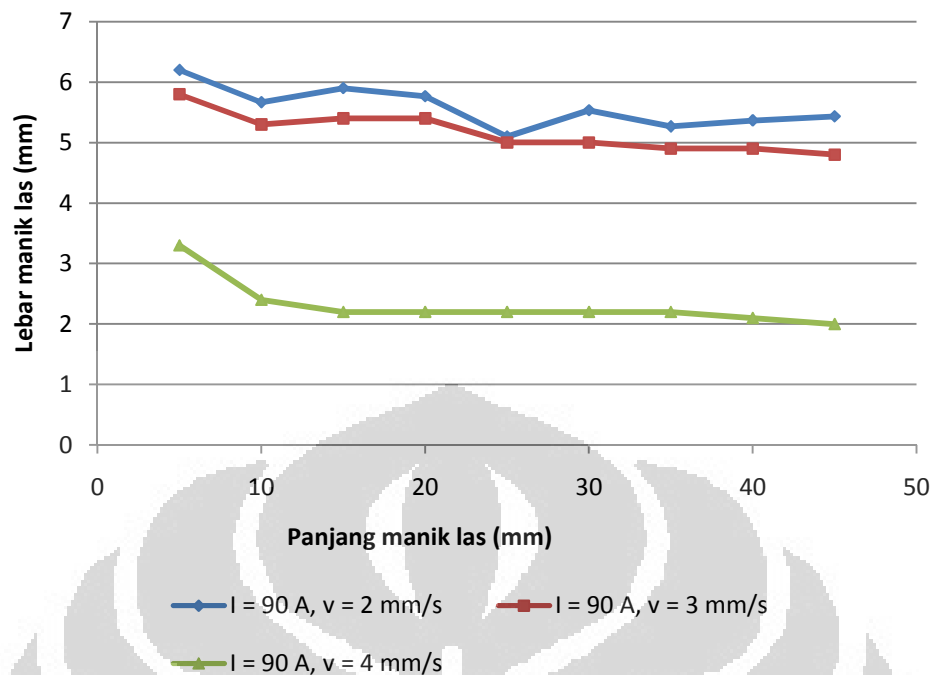
#### 4.1.2 Perubahan kecepatan pengelasan

Perubahan kecepatan pengelasan ini dilakukan pada  $I = 90$  A tanpa solenoid.





Gambar 4.3 Grafik top width perubahan kecepatan



Gambar 4.4 Grafik bottom width perubahan kecepatan

Nilai lebar bead terbesar terdapat pada kecepatan yang paling rendah yaitu pada  $I = 90$  A dan  $v = 2$  mm/s. Rata-rata lebar yang didapat mencapai 6,7 mm pada top width dan 6,5 mm pada bottom width. Sedangkan lebar bead terkecil terjadi pada  $I = 90$  A dan  $v = 4$  mm/s. Ini terjadi karena heat input berbanding terbalik dengan kecepatan pengelasan. Semakin besar kecepatan heat input semakin kecil karena waktu penyaluran panas dari elektroda lebih singkat.

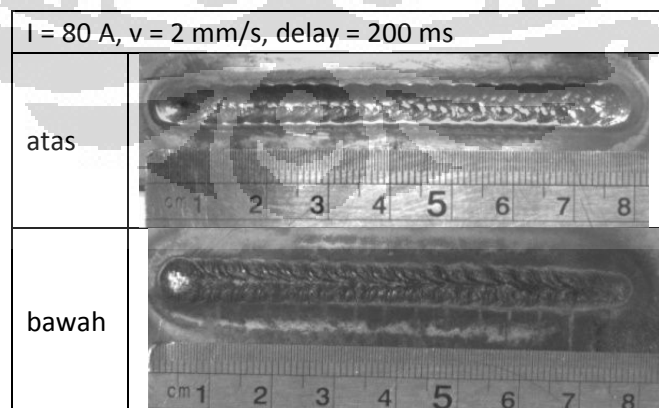
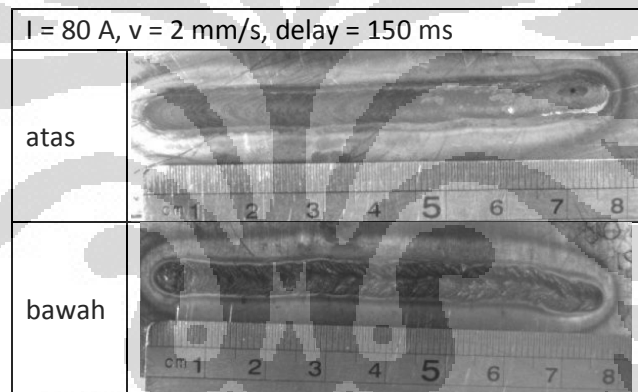
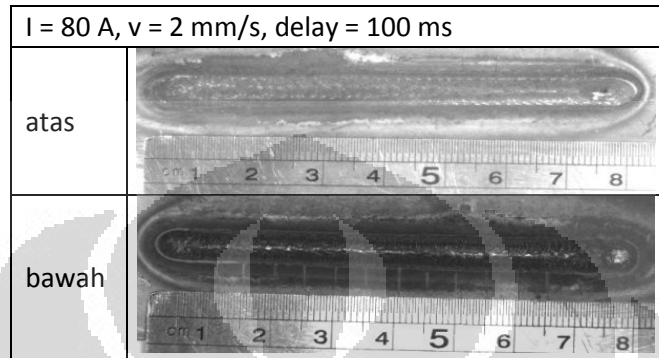
#### 4.2 Pengelasan dengan solenoid

Pada pengelasan kali ini solenoid diaktifkan ketika akan dilakukan pengujian. Ada dua macam pengujian yang akan dilakukan. Pertama pengujian penggunaan medan magnet dengan variasi arus. Ini dilakukan untuk melihat dampak terhadap kenaikan arus. Kedua pengujian dilakukan pada variasi kecepatan. Hasil Pengujian dengan solenoid akan dibandingkan dengan tanpa solenoid pada setiap kenaikan 1 mm/s.

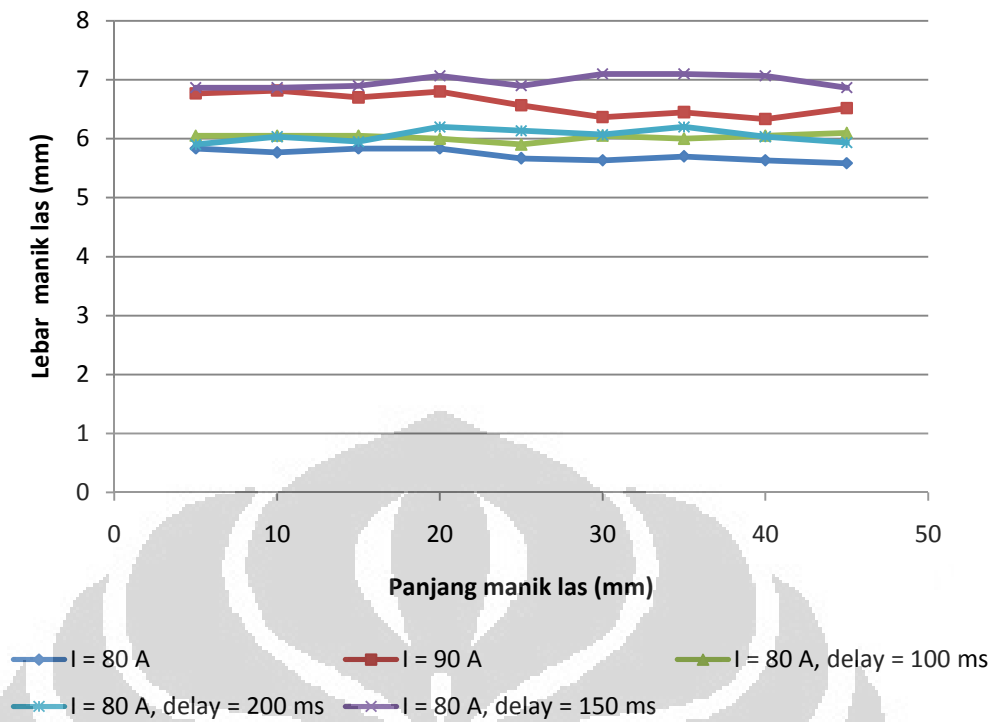
#### 4.2.1 Perbandingan hasil dengan solenoid dan tanpa solenoid pada perubahan delay

##### a. Solenoid 80 A

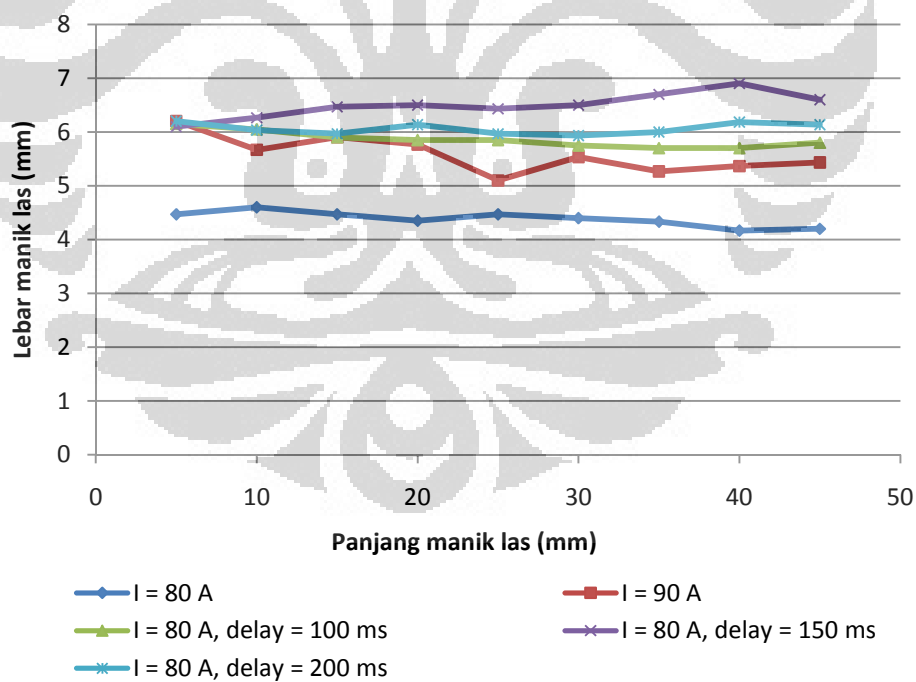
Grafik dengan solenoid 80 A dibandingkan dengan tanpa solenoid 80 A dan 90 A







Gambar 4.5 Grafik top width penggunaan solenoid 80 A



Gambar 4.6 Grafik bottom width penggunaan solenoid 80 A

Dari foto hasil pengelasan kita bisa melihat perbedaan delay solenoid yang digunakan. Pada delay 100 ms tampak bead sedikit bergelombang, ini

disebabkan oleh pengaruh busur api yang terdefleksi ke berbagai arah. Pada delay 150 tampak sama, alur bergelombang sedikit lebih besar. Pada delay 200 ms alur gelombang pada pinggir jalur hasil pengelasan tampak jelas sekali. Ini terjadi pada bead atas dan bawah.

Dari grafik diatas, perubahan yang terjadi terhadap hasil pengelasan menggunakan solenoid mulai terlihat. Grafik lebar bead baik dari top width maupun bottom width berada di atas grafik tanpa solenoid. Bahkan grafik I= 80 A, delay 150 ms, mulai menyentuh grafik lebar I = 90 A tanpa solenoid. Pada panjang bead atas yang ke-15 cm grafik solenoid 150 ms berada diatas grafik I = 90 A. Lebar bead atas cenderung lebih stabil.

Pada grafik manik bawah pengelasan dengan I = 80 A menggunakan solenoid, mayoritas berada di atas. Beberapa titik bersinggungan. Pada panjang manik las ke 40 mm lebar nya berhimpitan dengan titik penggunaan solenoid dengan delay 100 ms dan 200 ms.

Dari sini dapat dihitung perbedaan daya yang digunakan. Penggunaan solenoid pada arus 80 A membutuhkan daya listrik sebagai berikut:

- Daya penggunaan solenoid  
 $I = 0,375 \text{ A}, V = 12 \text{ Volt}$   
 Maka daya yang dipakai  
 $P = 12 \text{ V} \cdot 0,375 \text{ A} = 4,5 \text{ Watt}$
- Daya penggunaan Pengelasan  
 $I = 80 \text{ A}, V = 30 \text{ Volt}$   
 $P = 30 \text{ V} \cdot 80 \text{ A} = 2400 \text{ Watt}$   
 Maka total daya yang digunakan adalah 2404,5 Watt  
 Pengelasan tanpa solenoid membutuhkan daya :
- $I = 90 \text{ A}, V = 30 \text{ volt}$

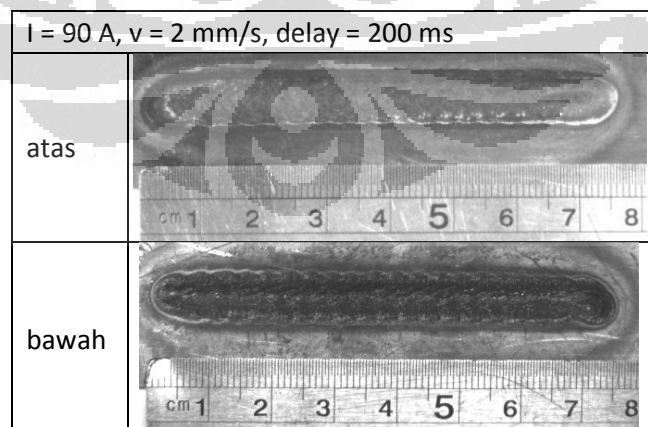
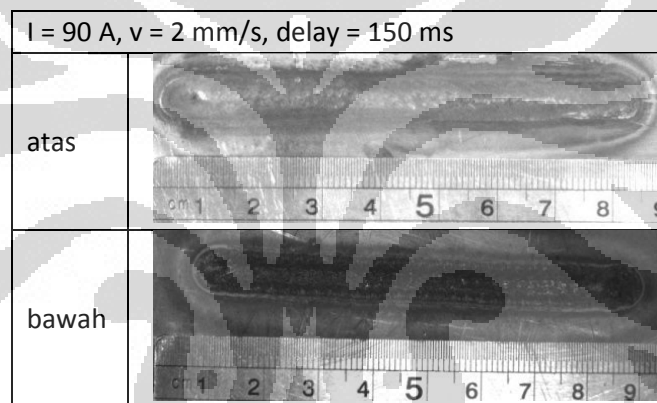
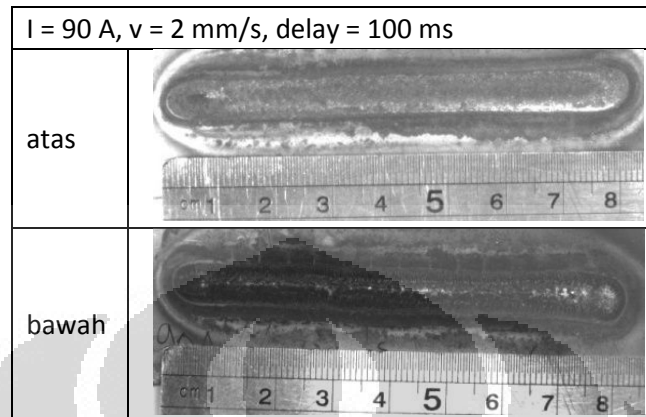
Maka daya yang dibutuhkan =  $90 \text{ A} \cdot 30 \text{ V} = 2700 \text{ watt}$

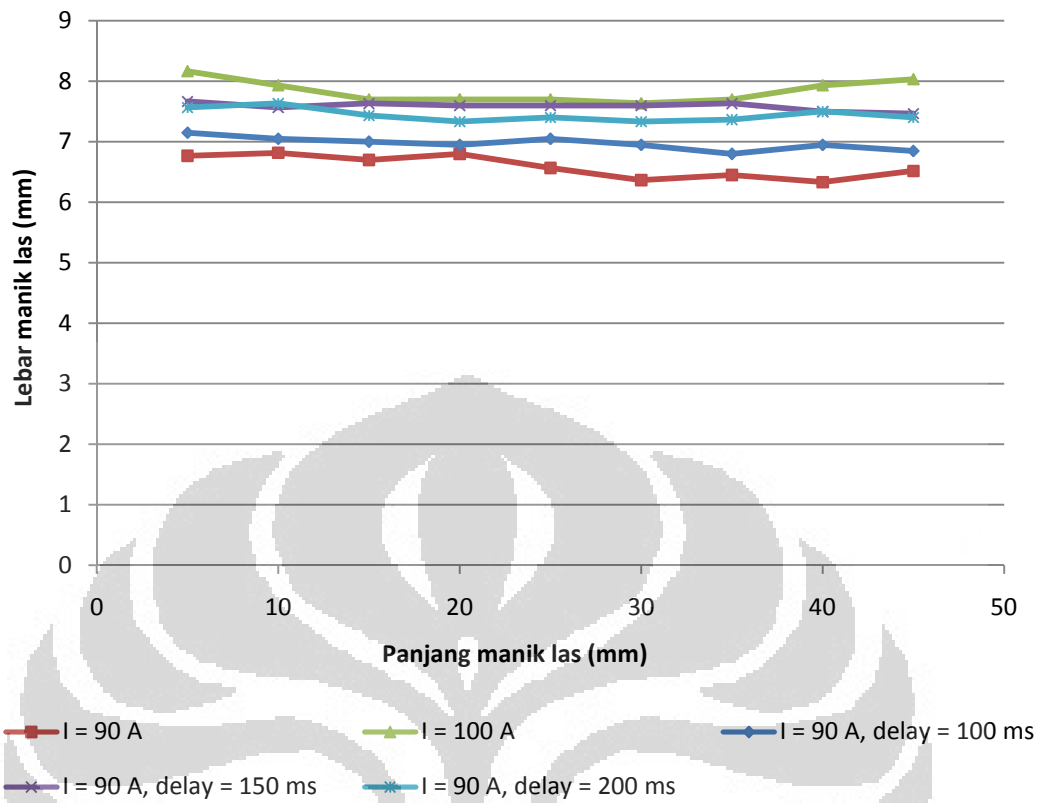
Efisiensi daya pengelasan :  $\frac{2700-2404,5}{2700} \cdot 100 \% = 10,9 \%$

Telah terjadi efisiensi daya minimal sebesar 10,9 %

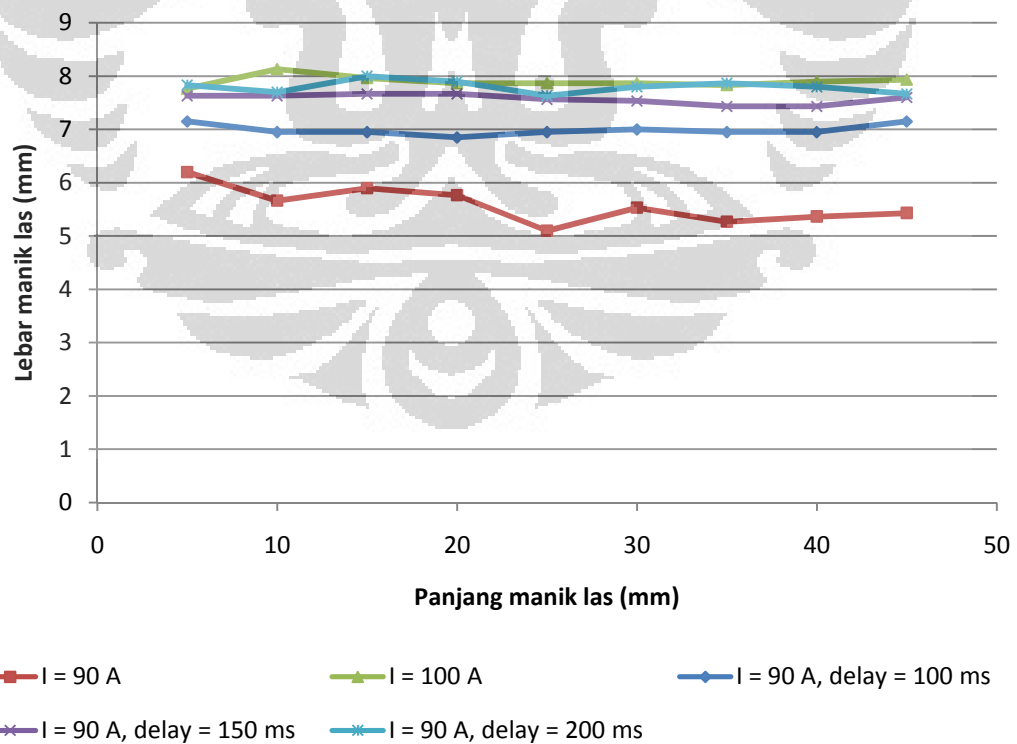
**b. Solenoid 90 A**

Grafik dengan solenoid 90 A dibandingkan dengan tanpa solenoid 90 A dan 100 A





Gambar 4.7 Grafik top width penggunaan solenoid 90 A



Gambar 4.8 Grafik bottom width penggunaan solenoid 90 A

Kecenderungan bertambahnya lebar bead juga terlihat pada grafik  $I = 90$  A dengan solenoid. Berdasarkan grafik lebar bead pada penggunaan solenoid juga relatif stabil dibandingkan pengelasan tanpa solenoid. Dari grafik kita bisa melihat kembali adanya peningkatan lebar bead, baik top width maupun bottom width. Kali ini penggunaan delay sebesar 200 ms memberi lebar yang besar dibanding yang lain pada arus yang sama.

Pada grafik manik bawah dengan arus 90 A menggunakan solenoid, lebar jalur berada disekitar lebar pada pengelasan dengan arus 100 A tanpa menggunakan solenoid. Berdasarkan grafik pengelasan dengan arus 90 A pada delay solenoid 200 ms mampu menyamai pengelasan dengan arus 100 A tanpa solenoid. Dari kesamaan ini dapat dilihat keefisienan dalam pengelasan. Penggunaan solenoid pada arus 80 A membutuhkan daya listrik sebagai berikut:

- Daya penggunaan solenoid  
 $I = 0,375$  A,  $V = 12$  Volt  
 Maka daya yang dipakai  
 $P = 12$  V .  $0,375$  A = 4,5 Watt
- Daya penggunaan Pengelasan  
 $I = 80$  A,  $V = 30$  Volt  
 $P = 30$  V .  $80$  A = 2400 Watt

Maka total daya yang digunakan adalah 2404,5 Watt

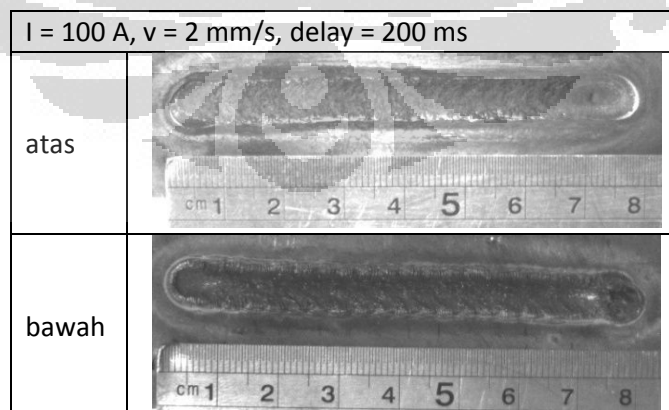
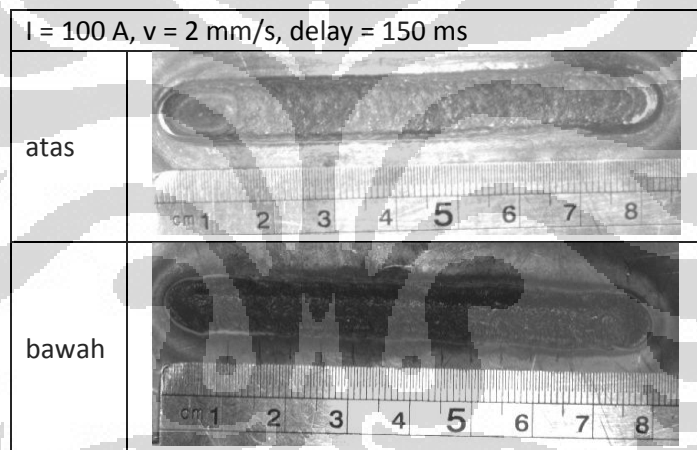
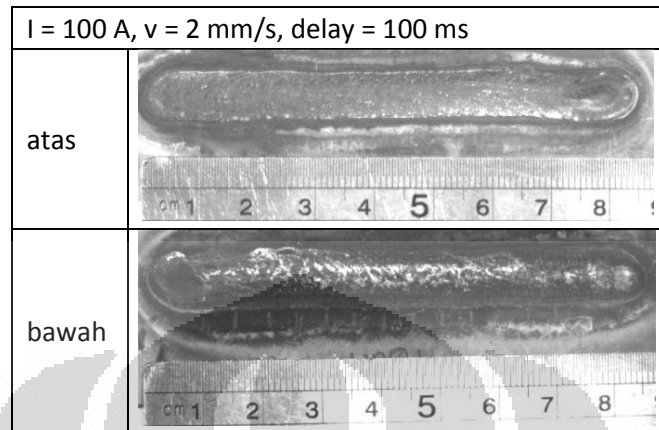
Pengelasan tanpa solenoid membutuhkan daya :

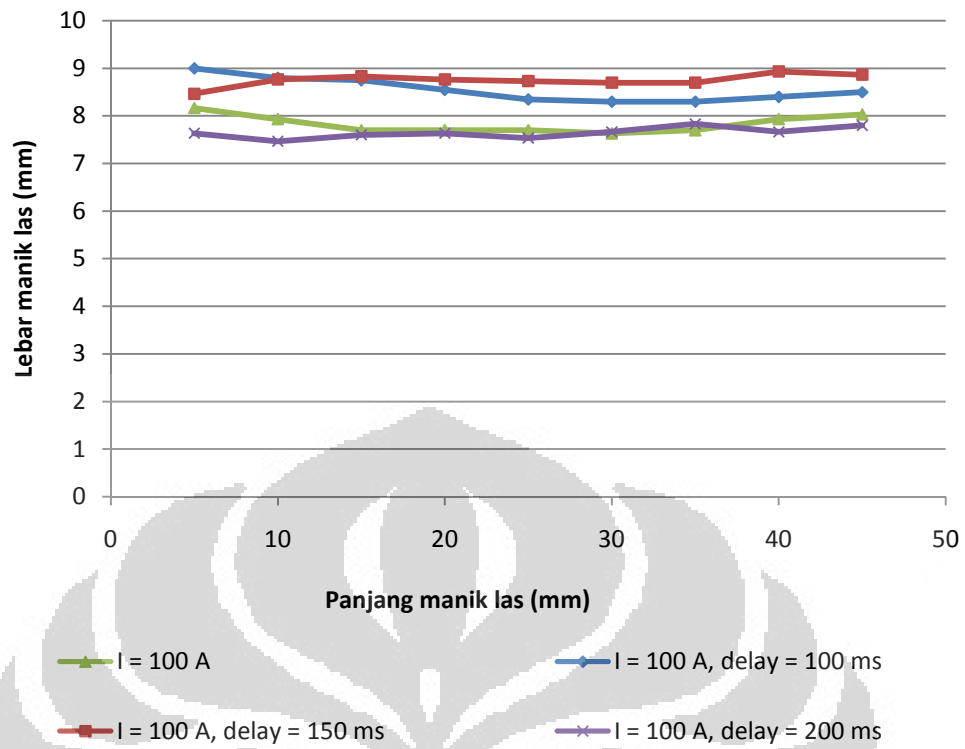
- $I = 90$  A,  $V = 30$  volt  
 Maka daya yang dibutuhkan =  $90$  A .  $30$  V = 2700 watt

Efisiensi daya pengelasan :  $\frac{2700-2404,5}{2700} \cdot 100\% = 10,9\%$

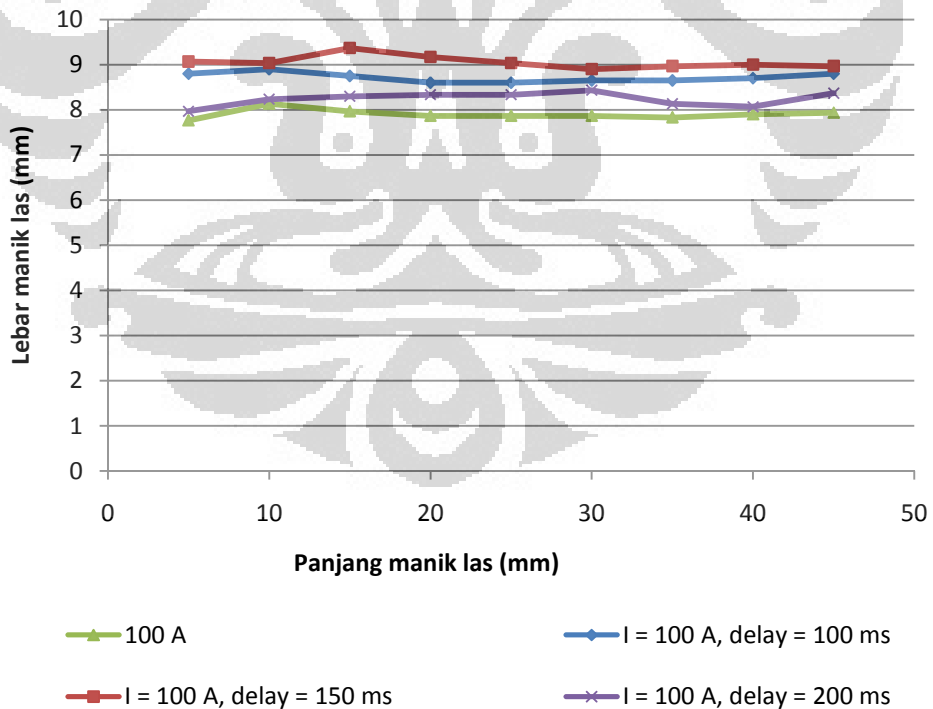
**c. Solenoid 100 A**

Grafik solenoid 100 A dibandingkan dengan tanpa solenoid 100 A





Gambar 4.9 Grafik top width penggunaan solenoid 100 A



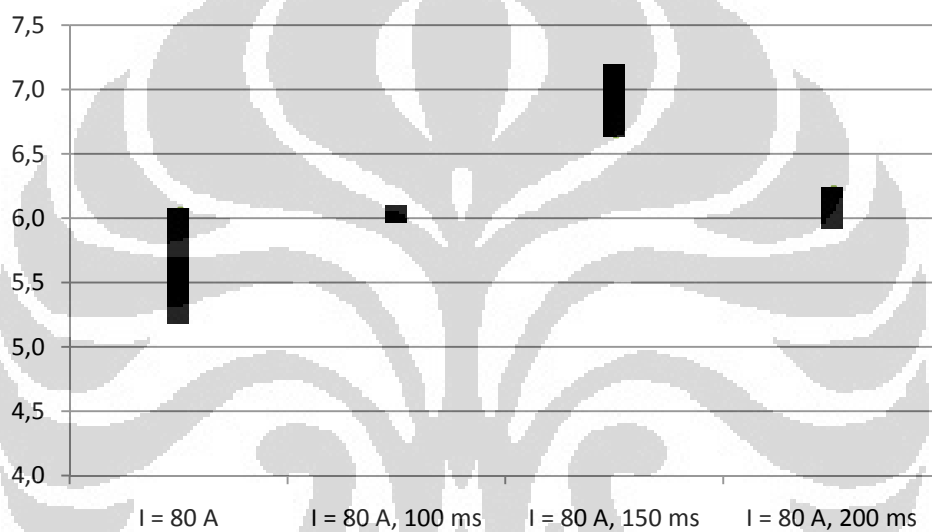
Gambar 4.10 Grafik bottom width penggunaan solenoid 100 A

Grafik ini membandingkan lebar bead pada  $I = 100$  A dengan solenoid dan tanpa solenoid. Pada grafik juga dapat dilihat kecenderungan penggunaan solenoid terhadap peningkatan lebar bead. Lebar meningkat terutama pada  $I = 100$  A dan delay 150 ms.

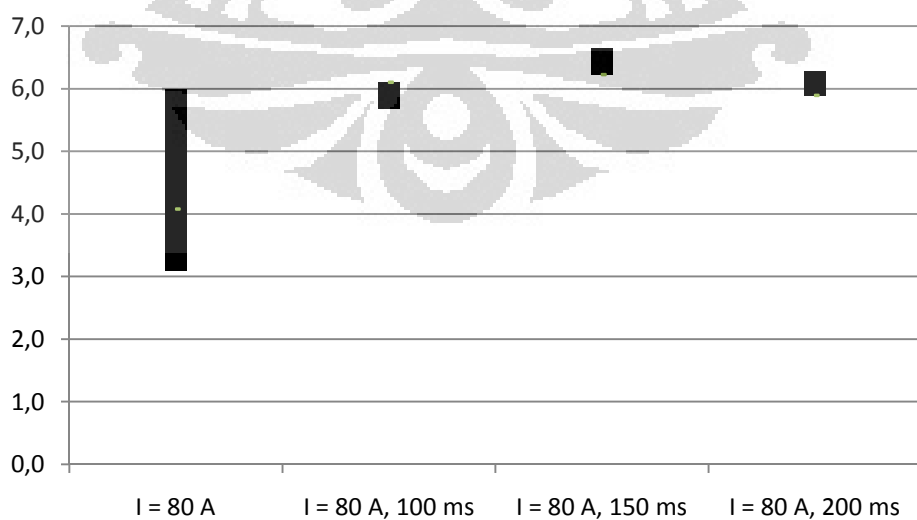
#### 4.2.2 Persebaran lebar pengelasan

Data hasil pengelasan yang didapatkan sangat bervariasi. Hasil yang ditampilkan adalah rata-rata dari top width dan bottom width.

##### a Persebaran lebar 80 A



Gambar 4.11 Grafik persebaran top width pada arus 80 A



Gambar 4.12 Grafik persebaran bottom width pada arus 90 A



Dari gambar diatas kita melihat persebaran data pengelasan pada arus 80 A. Pada saat penggunaan solenoid top width memiliki range nilai sangat besar yaitu 5,2 – 6,08 mm. Sedangkan dengan penggunaan solenoid range nilai relatif kecil. Salah satunya pada saat delay 100 ms, range nilai 5,9 – 6,1 mm.

Pada grafik bottom width, persebaran data lebar tanpa penggunaan solenoid sangat besar yaitu 3,08 – 5,9 mm. Penggunaan solenoid memberi lebar lebih besar dengan persebaran lebih kecil. Dengan demikian penggunaan solenoid persebaran lebarnya lebih kecil.

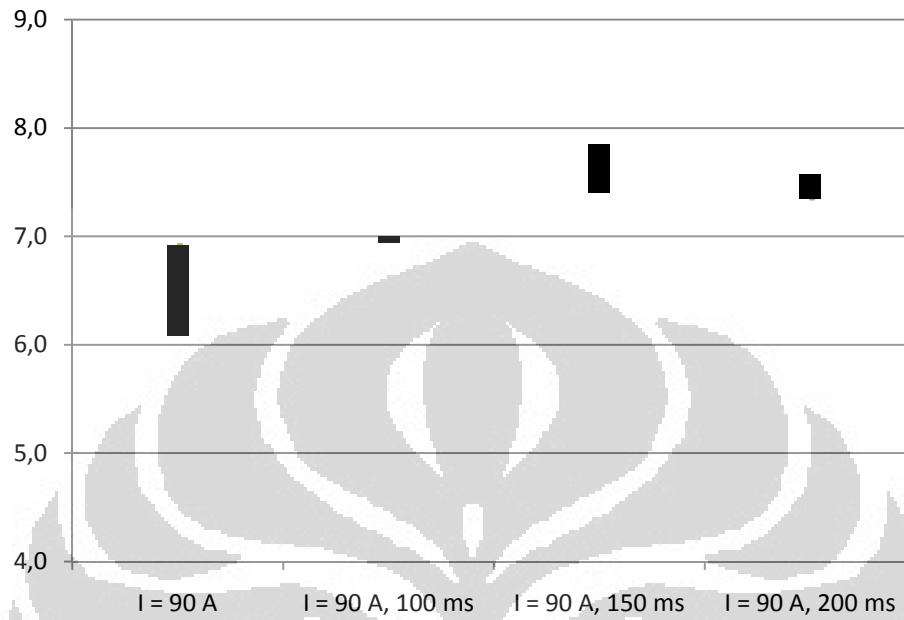
Untuk melihat signifikansi pada sample hasil pengelasan maka dilakukan uji T pada manik las bawah pada  $I = 80$  A, delay=150 ms dengan  $I = 80$  A delay, delay=200 ms. Diasumsikan kedua nya sama dengan  $\alpha = 0,05$

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	6,061111111	6,496296
Variance	0,078910256	0,135755
Observations	27	27
Pooled Variance	0,107332621	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	52	
t Stat	-4,880621393	
P(T<=t) one-tail	0,00000522	
t Critical one-tail	1,674689154	
P(T<=t) two-tail	0,0000104	
t Critical two-tail	2,006646761	

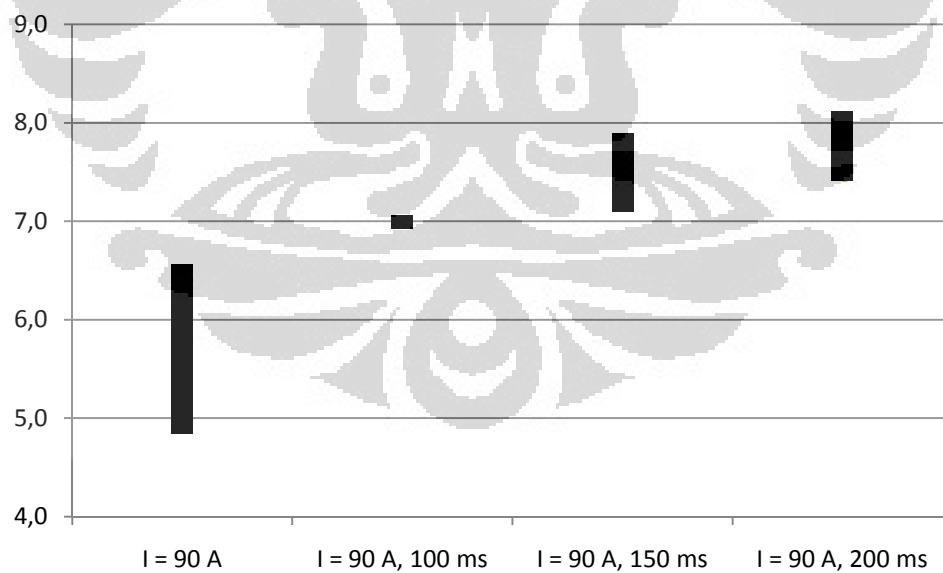
Tabel 6. Tabel Uji T pada manik las bawah pada  $I = 80$  A, delay=150 ms dengan  $I = 80$  A delay, delay=200 ms

Nilai P lebih kecil dari nilai  $\alpha$ , dengan demikian ditolak asumsi awal, maka nilai hasil pengujian antara  $I = 80$  A, delay=150 ms dengan  $I = 80$  A delay, delay=200 ms tidak sama.

### b Persebaran lebar 90 A



Gambar 4.13 Grafik persebaran bottom width pada arus 90 A



Gambar 4.14 Grafik persebaran bottom width pada arus 90 A

Persebaran relatif tidak berbeda pada arus 80 A. Tampak persebaran lebar terbesar masih terjadi pada pengelasan tanpa solenoid. Sebaran terkecil terjadi pada delay 100 ms.

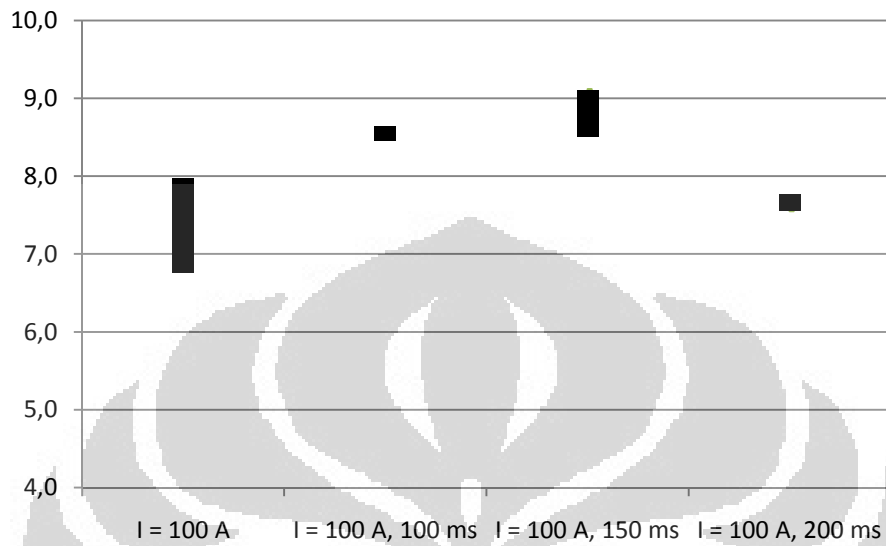
Untuk uji signifikansi digunakan uji T manik las bawah pada  $I = 90$  A, delay=150 ms dengan  $I = 90$  A delay, delay=200 ms. Diasumsikan kedua nya sama dengan  $\alpha = 0,05$

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	7,574074074	7,8
Variance	0,158917379	0,17692308
Observations	27	27
Pooled Variance	0,167920228	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	52	
t Stat	-2,025729476	
P(T<=t) one-tail	0,023969061	
t Critical one-tail	1,674689154	
P(T<=t) two-tail	0,047938121	
t Critical two-tail	2,006646761	

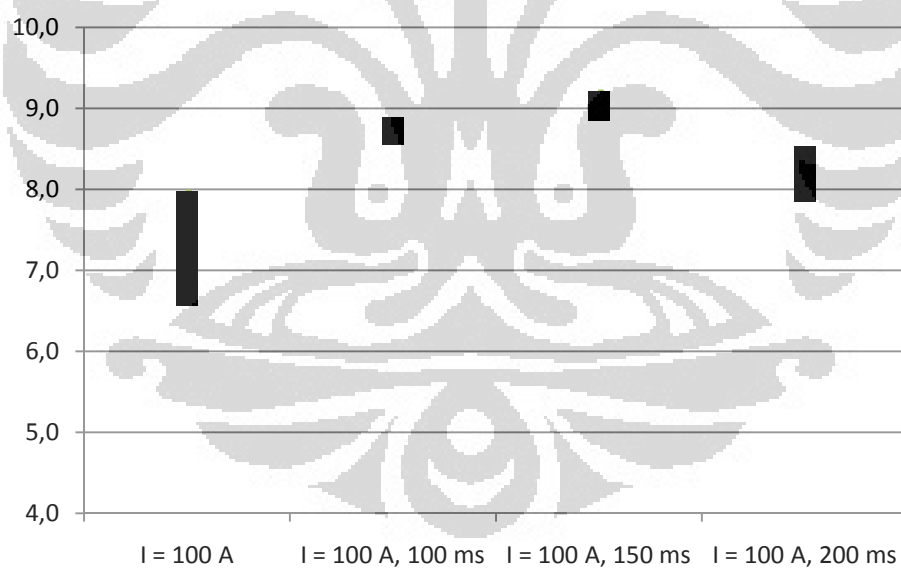
Tabel 7. Tabel uji T pada manik las bawah  $I = 90$  A, delay=150 ms dengan  $I = 90$  A delay, delay=200 ms

Nilai P lebih kecil dari nilai  $\alpha$ , dengan demikian ditolak asumsi awal, maka nilai hasil pengujian antara  $I = 90$  A, delay=150 ms dengan  $I = 90$  A delay, delay=200 ms tidak sama.

### c Persebaran lebar 100 A



Gambar 4.15 Grafik persebaran top width pada arus 100 A



Gambar 4.16 Grafik persebaran bottom width pada arus 100 A

Pada lebar top width pengelasan dengan delay solenoid 200 ms tampak turun. Persebaran lebarnya berada didalam range persebaran tanpa solenoid. Sedangkan yang lain masih di atas. Dengan demikian penggunaan solenoid pada pengelasan juga berdampak pada persebaran data pengelasan. Terbukti

berdasarkan grafik, rata-rata lebar pengelasan baik top width maupun bottom width cenderung naik.

Untuk uji signifikansi digunakan uji T manik las bawah pada  $I = 100$  A,  $\text{delay} = 100$  ms dengan  $I = 100$  A  $\text{delay} = 150$  ms. Diasumsikan kedua nya sama dengan  $\alpha = 0,05$ .

	Variable 1	Variable 2
Mean	8,716666667	9,055556
Variance	0,052058824	0,080256
Observations	18	27
Pooled Variance	0,069108527	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	43	
t Stat	-4,23646272	
P(T<=t) one-tail	0,000058802	
t Critical one-tail	1,681070704	
P(T<=t) two-tail	0,000117605	
t Critical two-tail	2,016692173	

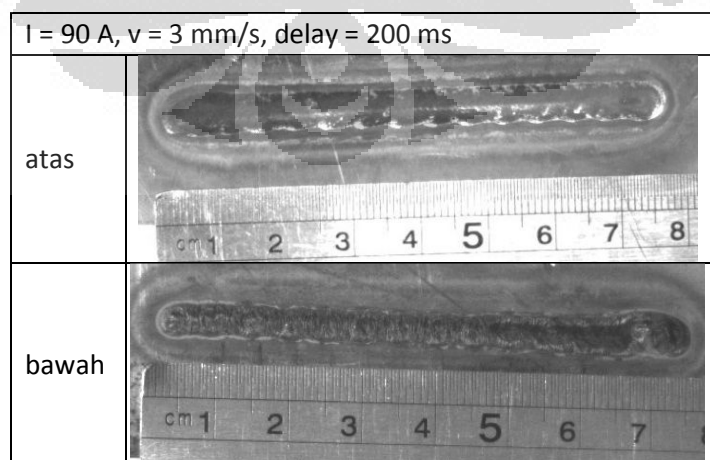
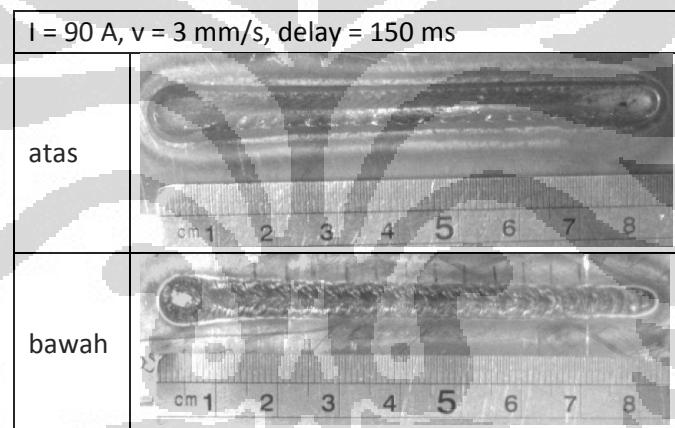
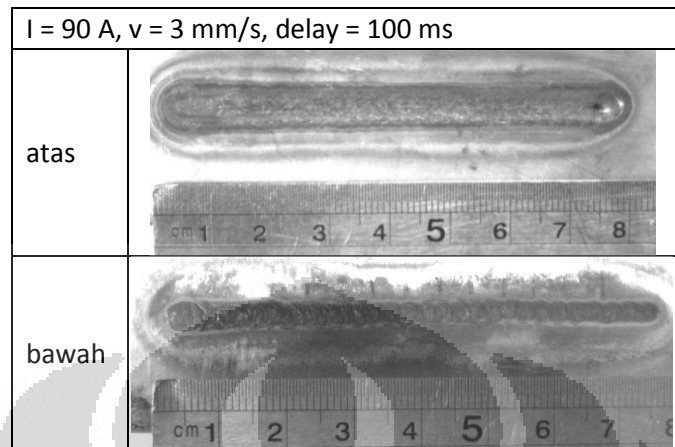
Tabel 8. Uji T pada manik las bawah  $I = 100$  A,  $\text{delay} = 100$  ms dengan  $I = 100$  A  $\text{delay} = 150$  ms

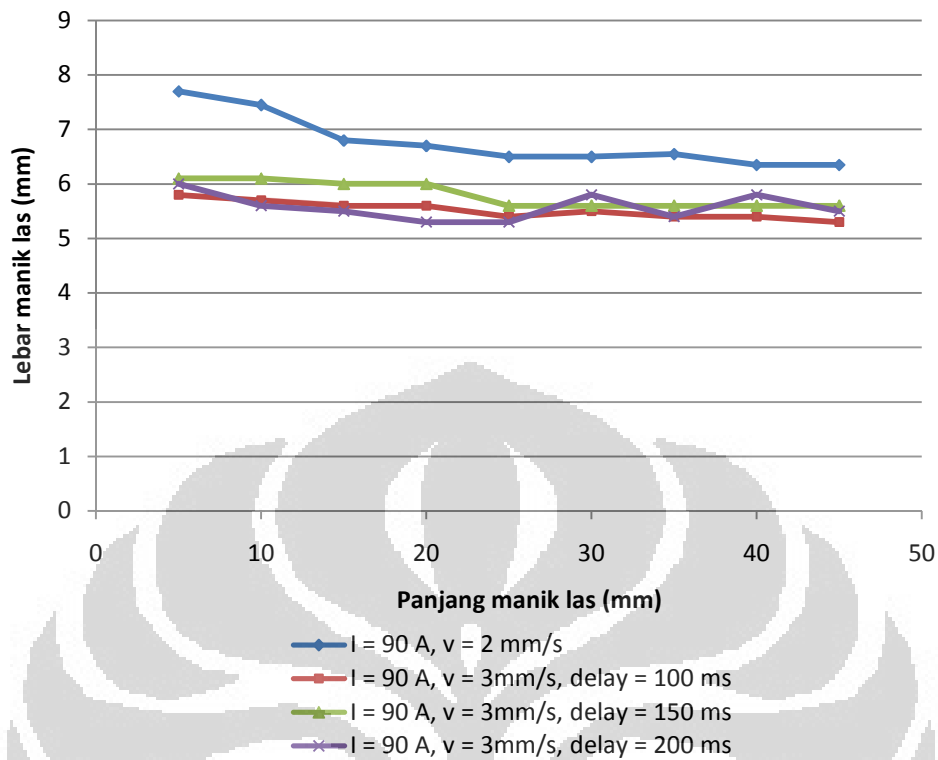
Nilai P lebih kecil dari nilai  $\alpha$ , dengan demikian ditolak asumsi awal, maka nilai hasil pengujian antara  $I = 100$  A,  $\text{delay} = 150$  ms dengan  $I = 100$  A  $\text{delay} = 200$  ms tidak sama.

#### 4.2.3 Perbandingan hasil dengan solenoid dan tanpa solenoid pada perubahan kecepatan pengelasan

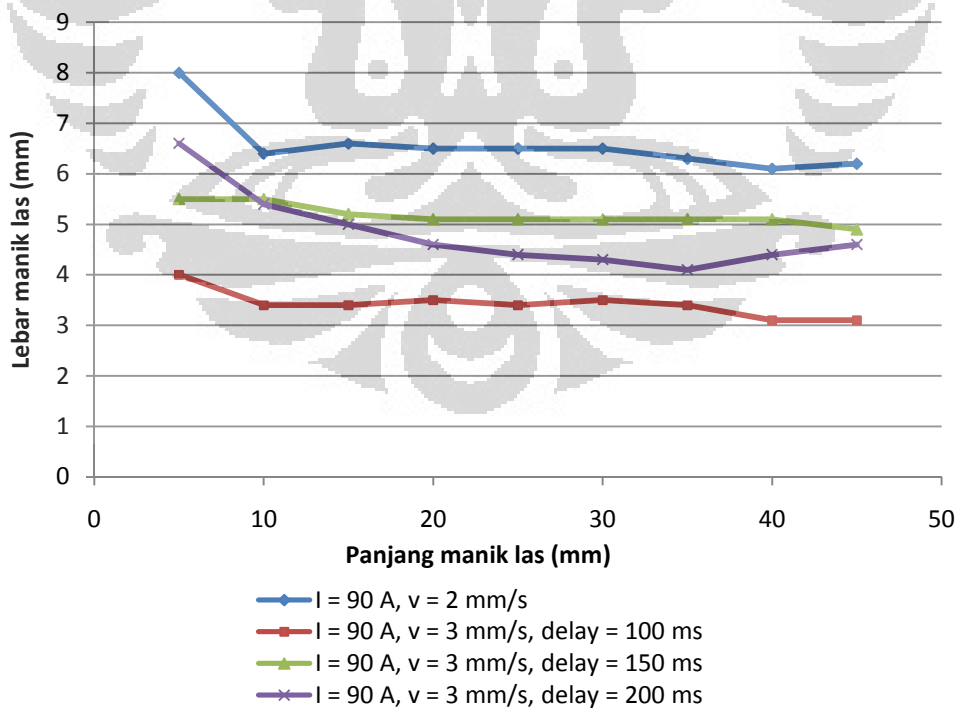
Disini akan dilihat pengaruh penggunaan solenoid terhadap perubahan penambahan kecepatan. Tujuan perbandingan ini adalah dengan penambahan kecepatan pengelasan pada penggunaan solenoid apakah mampu menyamai hasil pengelasan tanpa solenoid dengan kecepatan yang lebih rendah.

a. *Perbandingan kecepatan 2 mm/s (tanpa solenoid) dengan 3 mm/s (dengan solenoid)*





Gambar 4.17 Grafik top width perbandingan kecepatan 2 mm/s (tanpa solenoid) dengan 3 mm/s (dengan solenoid)

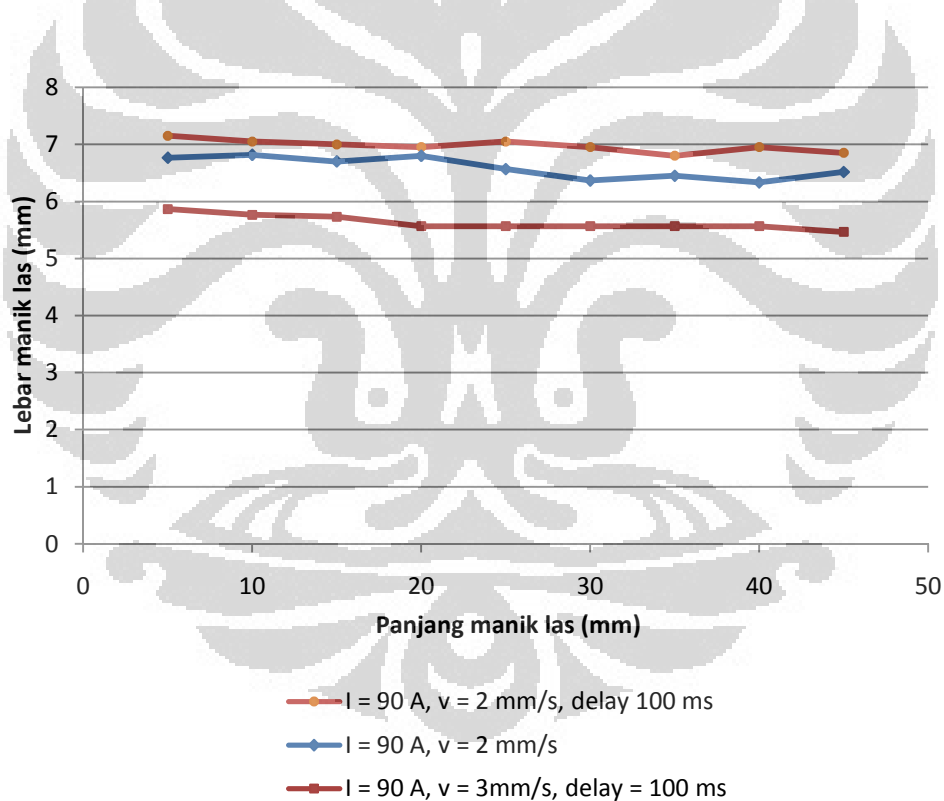


Gambar 4.18 Grafik bottom width perbandingan kecepatan 2 mm/s (tanpa solenoid) dengan 3 mm/s (dengan solenoid)

Berdasarkan foto, penambahan delay solenoid dan meningkatnya kecepatan mengakibatkan bentuk alur bergelombang. Dan perubahan lebar sangat signifikan.

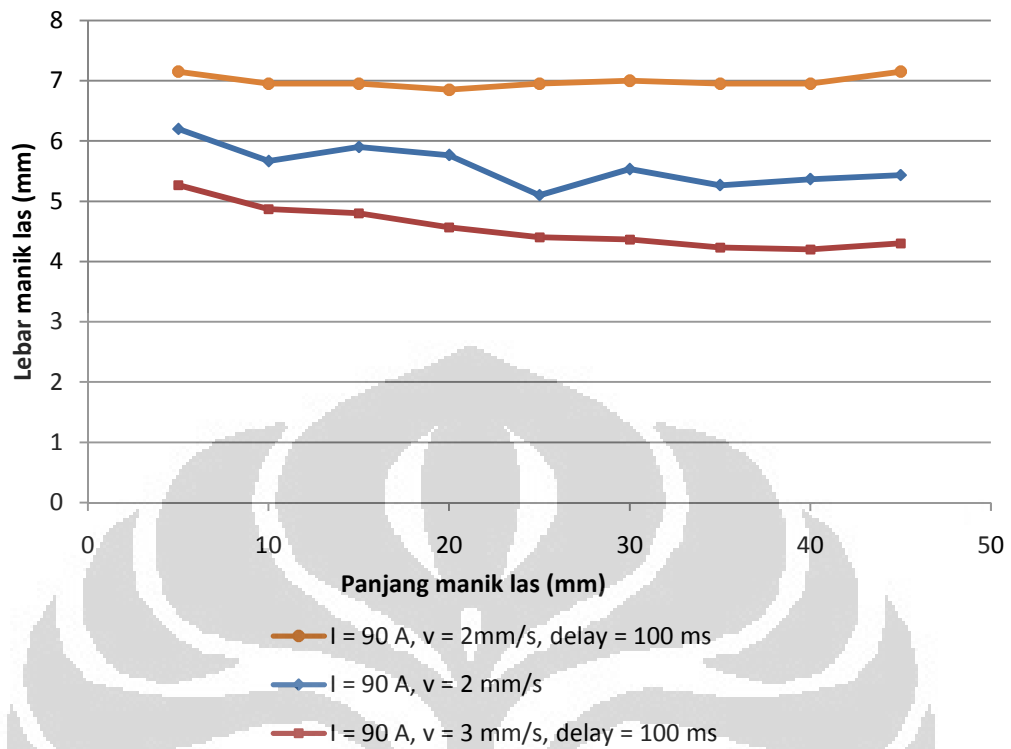
Pada grafik ini dapat dilihat perbandingan antar dua kecepatan pengelasan berbeda. Lebar bead pada kecepatan  $v = 2$  mm/s masih jauh lebih besar dibandingkan dengan  $v = 3$  mm/s walaupun solenoid telah diaktifkan. Pada grafik ini tidak terlihat satu pun titik yang melampaui lebar pada  $I = 90$  A,  $v = 2$  mm/s.

Berikut adalah perbandingan lebar pengelasan pada perubahan kecepatan dengan menggunakan solenoid dan pengelasan tanpa menggunakan solenoid

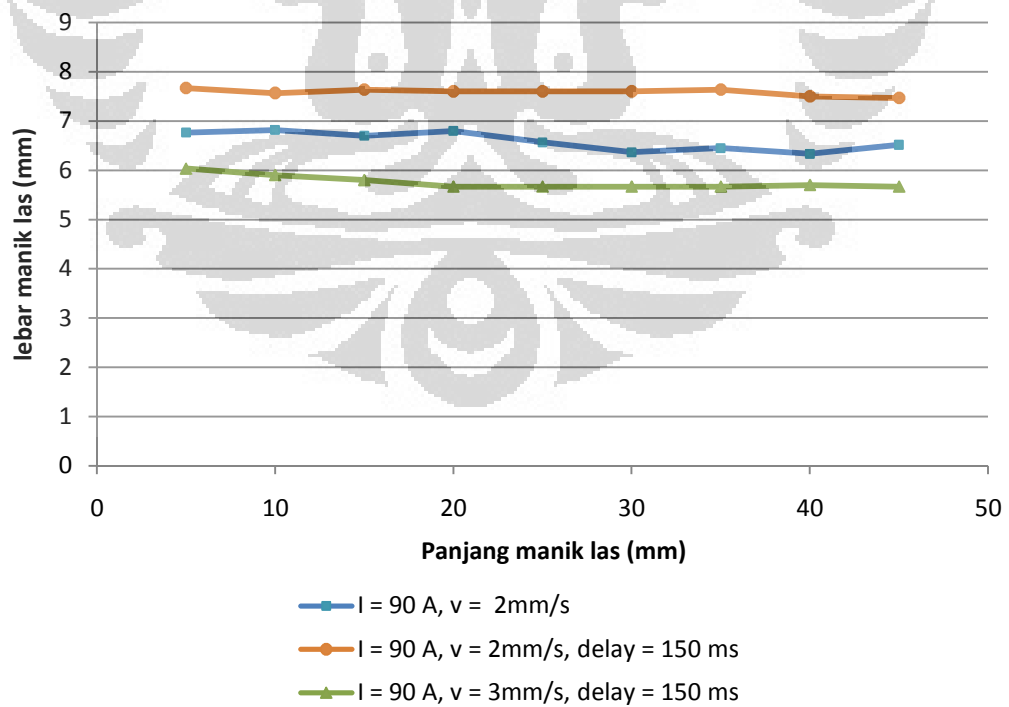


Gambar 4.18a. Grafik manik las atas pada perbandingan kecepatan pada delay solenoid 100 ms

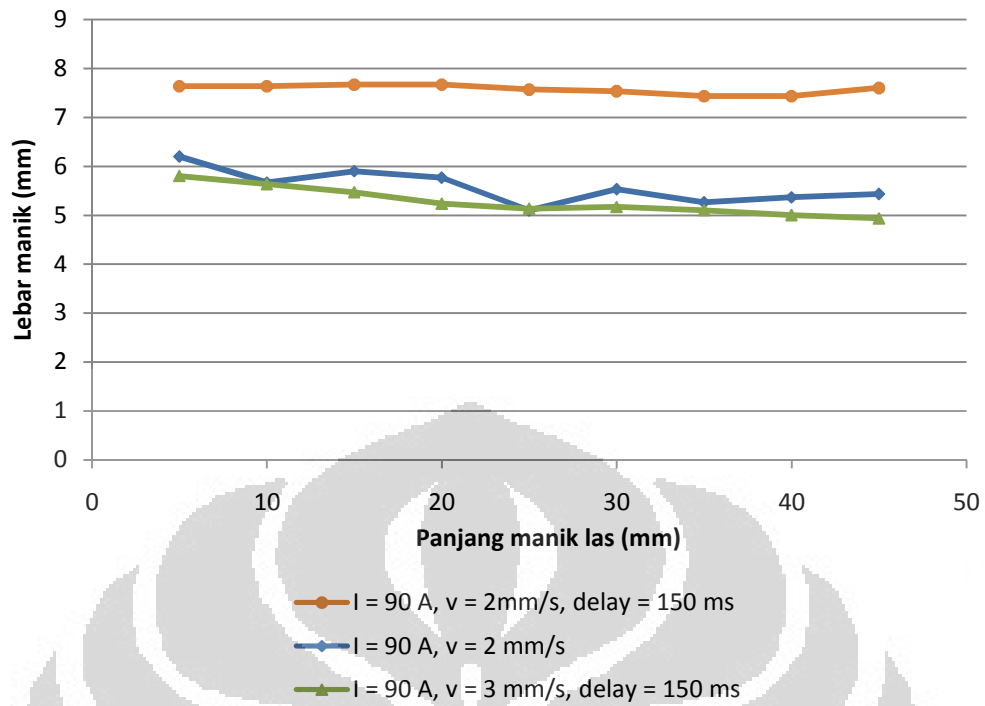




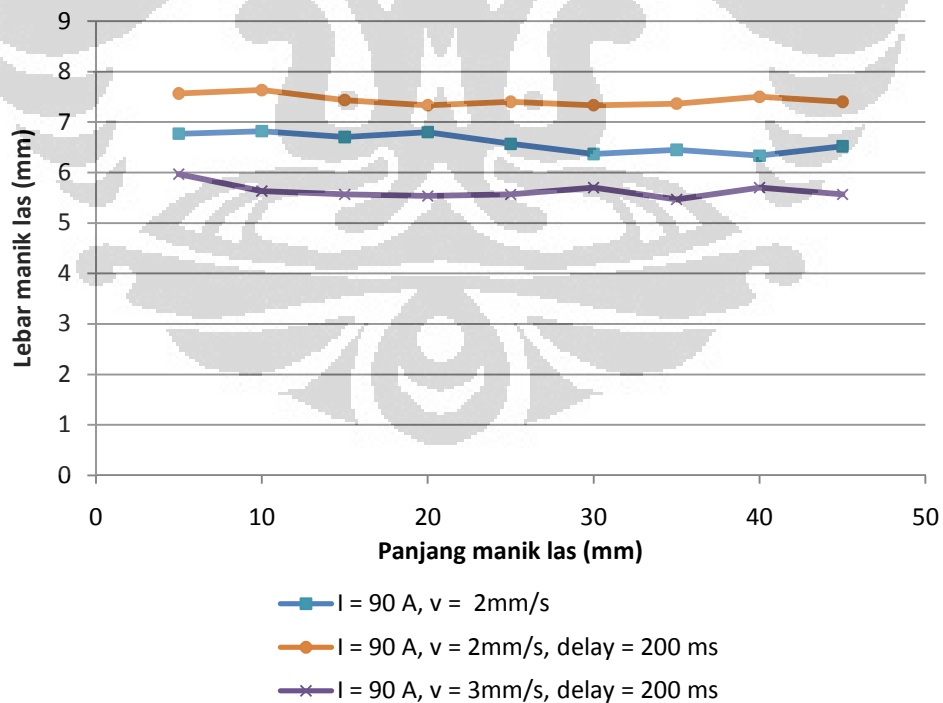
Gambar 4.18.b. Grafik manik las bawah pada perbandingan kecepatan pada delay solenoid 100 ms



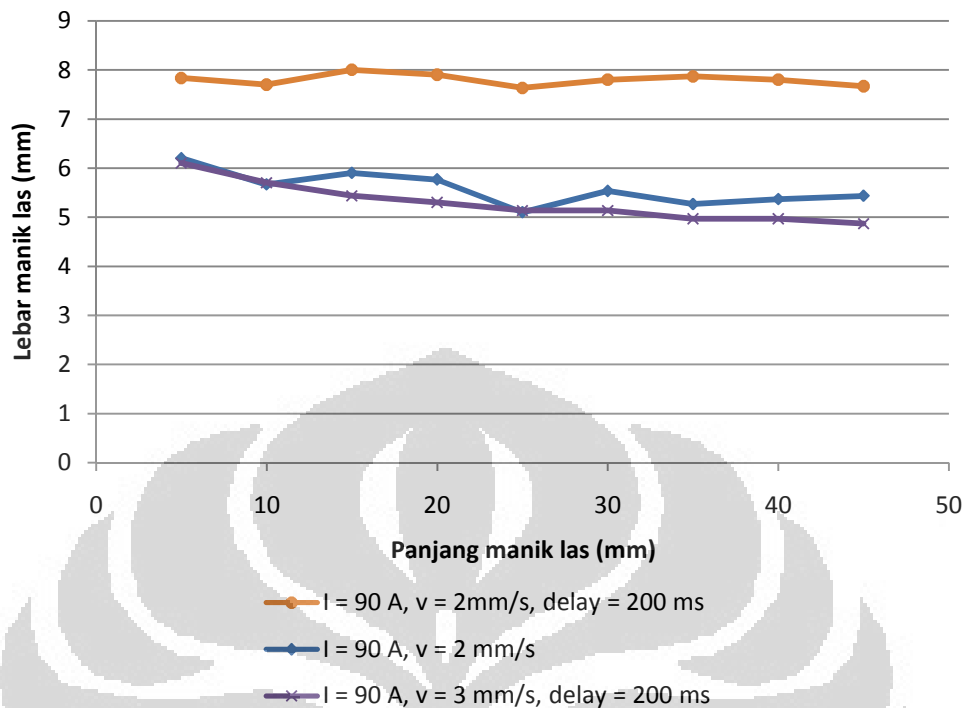
Gambar 4.18.c. Grafik manik las atas pada perbandingan kecepatan pada delay solenoid 150 ms



Gambar 4.18.d. Grafik manik las bawah pada perbandingan kecepatan pada delay solenoid 150 ms



Gambar 4.18.e. Grafik manik las atas pada perbandingan kecepatan pada delay solenoid 200 ms



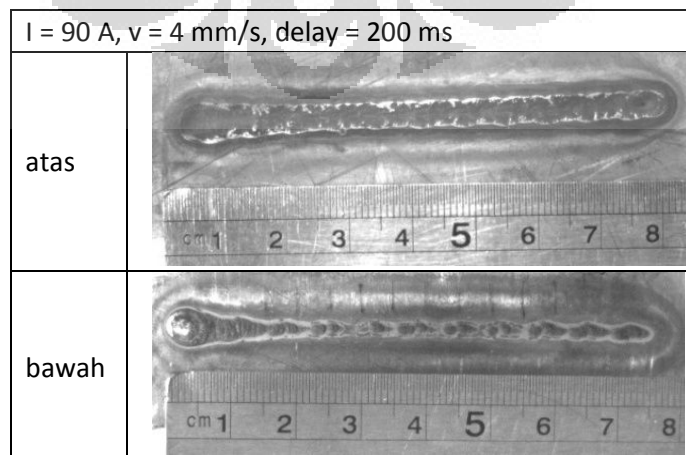
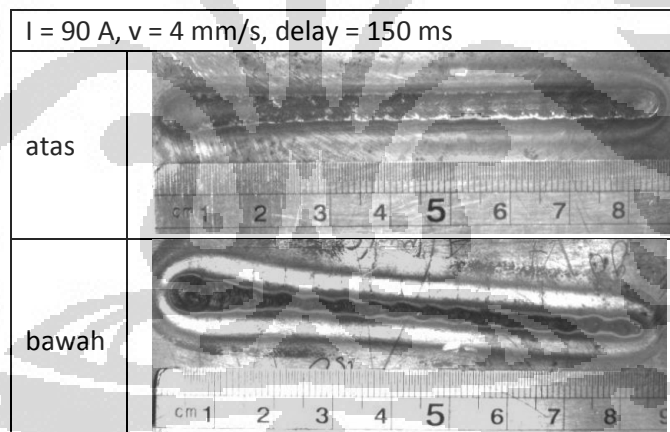
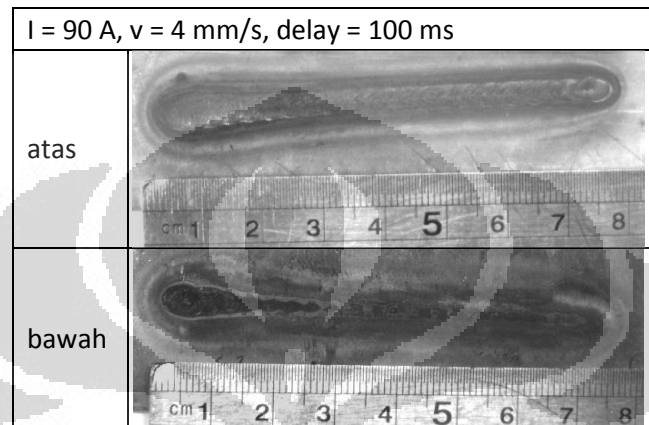
Gambar 4.18.f. Grafik manik las bawah pada perbandingan kecepatan pada delay solenoid 150 ms

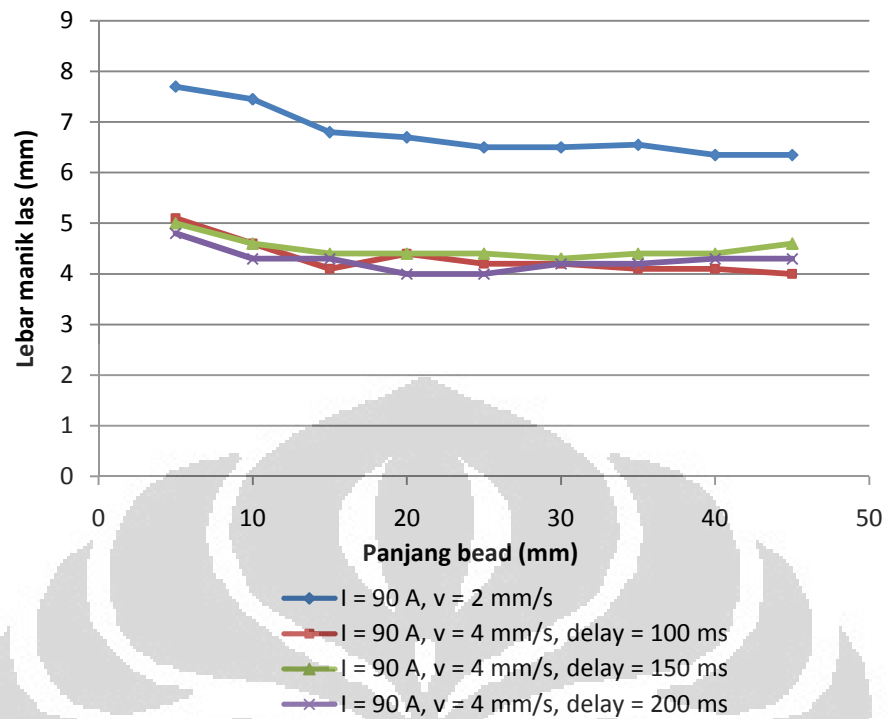
Dari grafik-grafik diatas bisa disimpulkan adanya perubahan lebar ketika diberikan solenoid. Disini diberikan dilakukan pengelasan dengan dua jenis kecepatan yaitu 2 mm/s dan 3 mm/s. Pada grafik penggunaan solenoid dengan delay 150 ms, kecepatan 3mm/s mampu menyentuh grafik pengelasan tanpa solenoid dengan kecepatan 2 mm/s di beberapa titik. Pada pengujian lainnya tidak terjadi.

Namun grafik pengelasan dengan kecepatan 2 mm/s tanpa solenoid berada diantara range pengelasan penggunaan solenoid dengan kecepatan 2 mm/s dan 3 mm/s. Dilihat dari kecenderungan grafik perubahan kecepatan tanpa solenoid pada pembahasan sebelumnya, semakin besar kecepatan, maka semakin turun grafiknya. Dari kecenderungan ini dapat dikaitkan pada grafik perubahan kecepatan dengan solenoid ini. Ada perbedaan jarak antara pengelasan pada kecepatan 2 mm/s menggunakan solenoid dengan pengelasan pada kecepatan 2 mm/s tanpa solenoid. Ini mengindikasikan pada arus yang sama menyebabkan adanya perbedaan lebar yang dihasilkan. Jika dikaitkan pada persamaan heat input , pada arus dan tegangan yang tidak berubah, maka yang berubah adalah

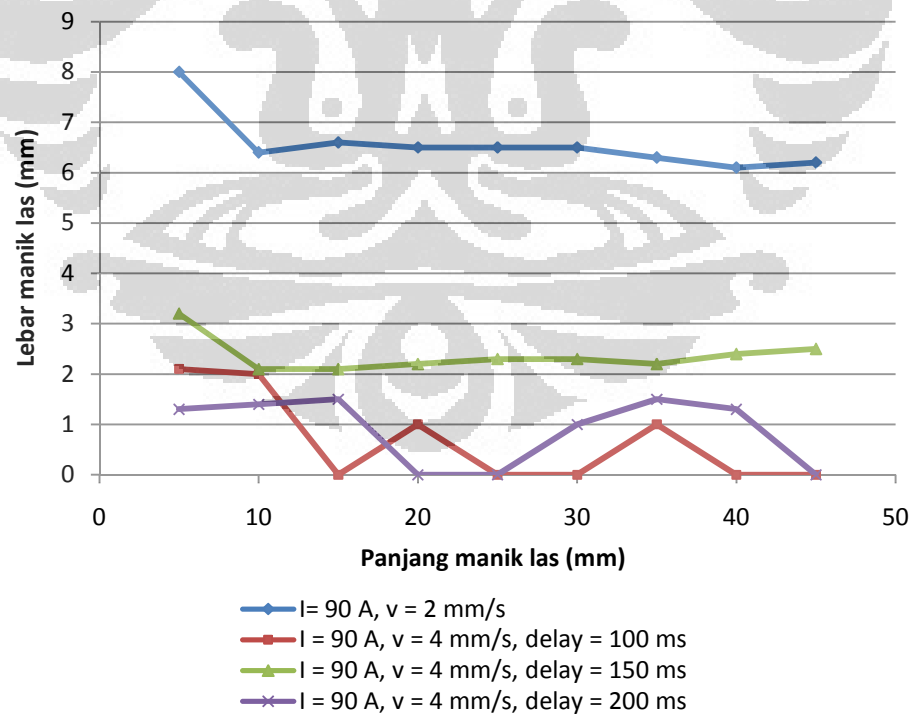
kecepatan pengelasan. Untuk mencapai hasil yang sama dengan pengelasan tanpa solenoid, dilakukan kenaikan kecepatan pada penggunaan solenoid. Dapat disimpulkan adanya efisiensi kecepatan pada penggunaan solenoid.

***b. Perbandingan kecepatan 2 mm/s (tanpa solenoid) dengan 4 mm/s (dengan solenoid)***





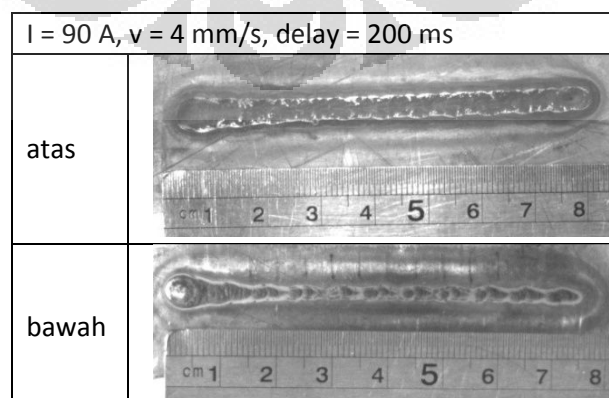
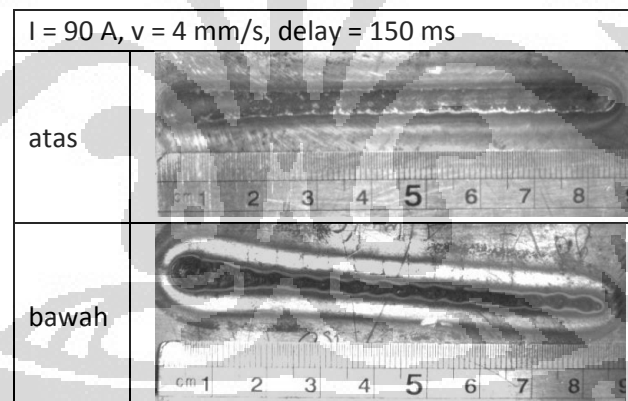
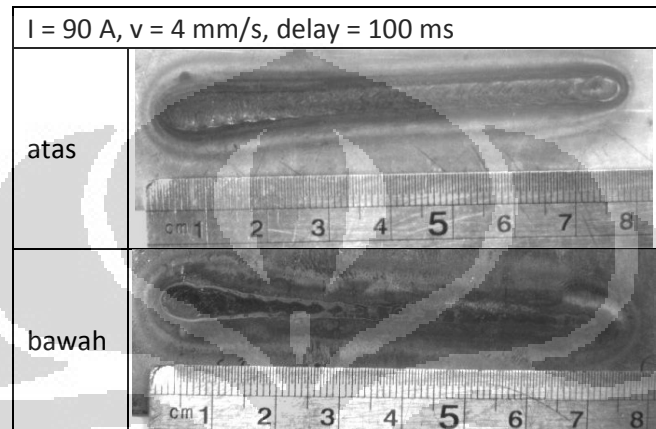
Gambar 4.19 Grafik top width perbandingan kecepatan 2 mm/s (tanpa solenoid) dengan 4 mm/s (dengan solenoid)

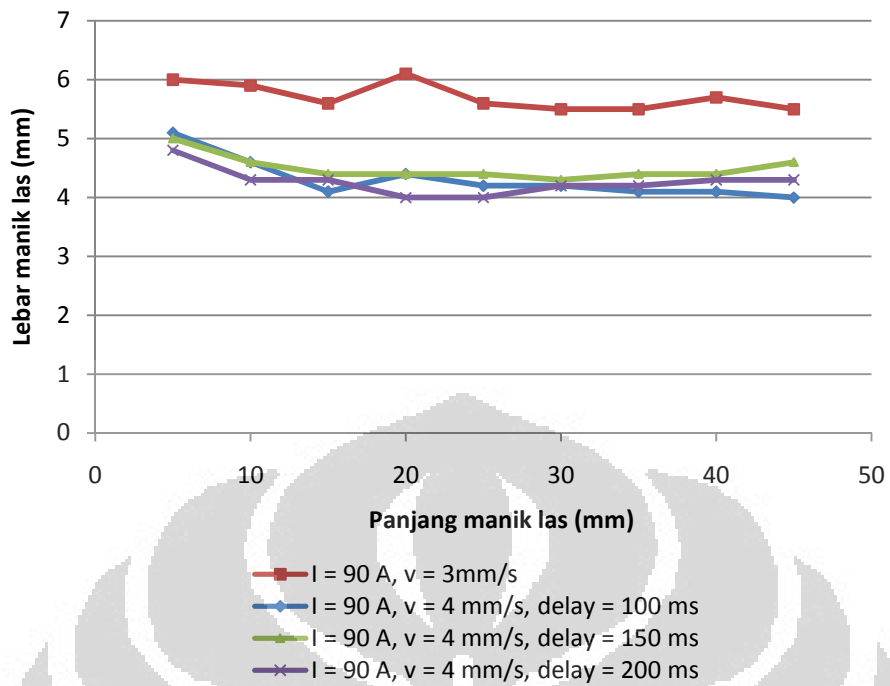


Gambar 4.20 Grafik bottom width perbandingan kecepatan 2 mm/s (tanpa solenoid) dengan 4 mm/s (dengan solenoid)

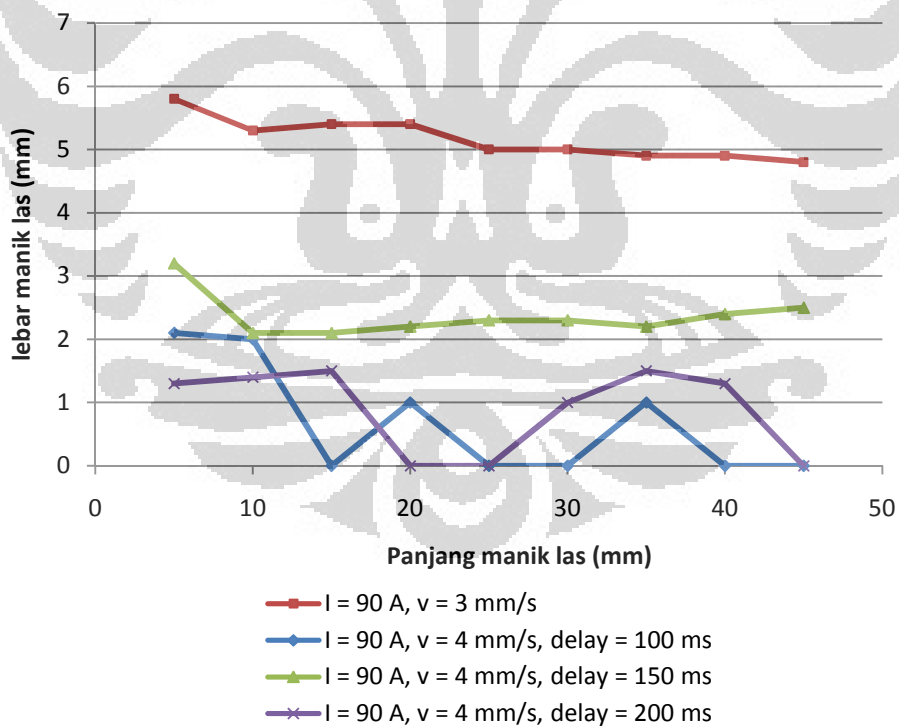
Perbedaan nilai lebar sudah sangat jauh disini. Disini bisa dilihat adanya hasil pengelasan yang tidak tembus. Itu terlihat dari lebar bead sebesar 0 mm. Pada delay 150 ms, pengelasan masih mampu menembus plat.

**c. Perbandingan kecepatan 3 mm/s (tanpa solenoid) dengan 4 mm/s (dengan solenoid)**





Gambar 4.21 Grafik top width perbandingan kecepatan 3 mm/s (tanpa solenoid) dengan 4 mm/s (dengan solenoid)

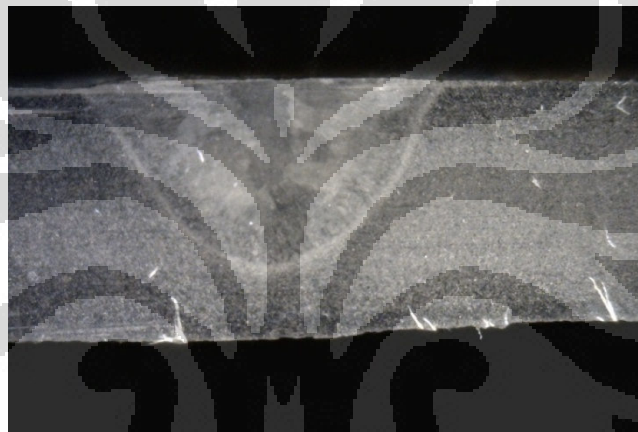


Gambar 4.22 Grafik bottom width perbandingan kecepatan 3 mm/s (tanpa solenoid) dengan 4 mm/s (dengan solenoid)

Pada grafik ini sama seperti grafik sebelumnya dimana tak ada peningkatan lebar bead apabila dilakukan penambahan kecepatan pengelasan pada penggunaan solenoid. Pengelasan yang dilakukan bahkan tidak mampu menembus plat stainless steel. Ini terlihat dari lebar bottom width sebesar 0 mm. Hanya penggunaan solenoid dengan delay 150 ms yang masih mampu menembus plat stainless steel.

### 4.3 Analisis Citra

Untuk melihat lebih jelas penetrasi dari hasil pengelasan dapat dianalisis dari penampang makrostruktur. Besarnya penetrasi bisa dilihat dari gambar berikut :

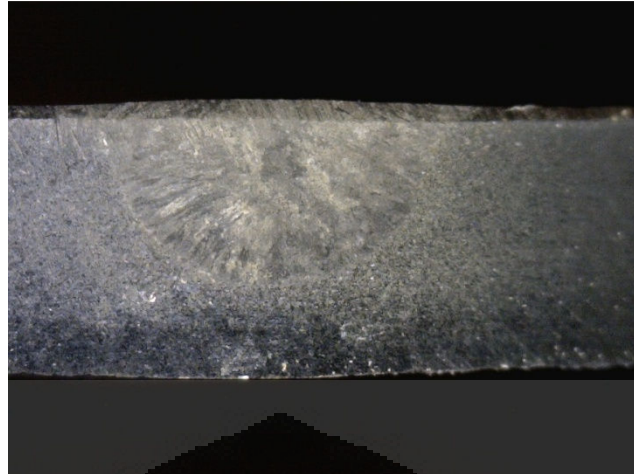


*Gambar 4.23 Penampang makrostruktur  $I = 80 A$*

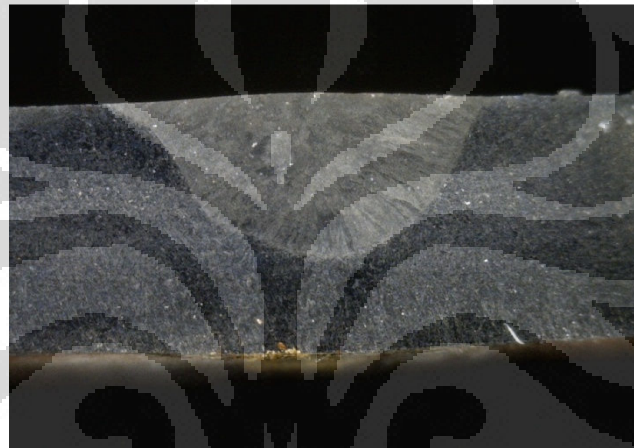


*Gambar 4.24 Penampang makrostruktur  $I = 80 A$ , delay = 100 ms*





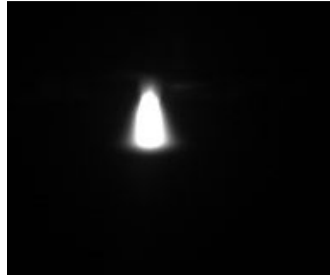
*Gambar 4.25 Penampang makrostruktur  $I = 80 A$ , delay = 150 ms*



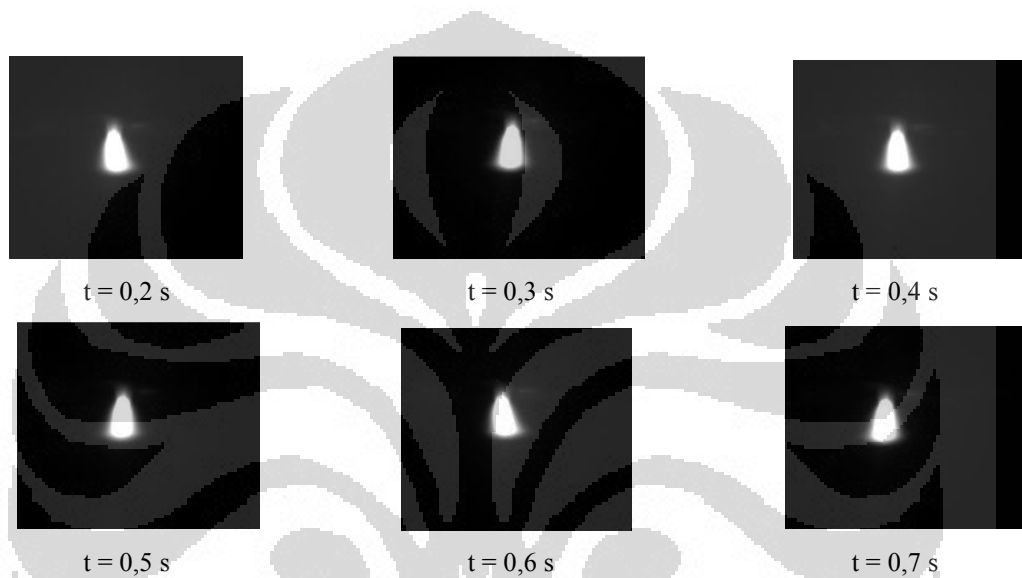
*Gambar 4.26 Penampang makrostruktur  $I = 80 A$ , delay = 200 ms*

Pada struktur makro penampang benda kerja tanpa solenoid, area yang terkena efek pelelehan logam tampak curam sedikit berbentuk elips kebawah. Pada struktur makro dengan solenoid 100 ms terlihat penetrasi nya tidak terlalu dalam dibanding yang lainnya. Namun dari bentuk penetrasi yang terjadi berbentuk setengah lingkaran. Hal ini juga terjadi pada pengelasan menggunakan solenoid dengan delay 150 ms dan 200 ms. Kedua tampak memiliki penetrasi yang cukup dalam dan berbentuk setengah lingkaran. Hal ini mungkin disebabkan oleh pengaruh busur yang terdefleksi oleh medan magnet.

Untuk melihat sifat busur yang terdefleksi ketika diberi medan magnet disekitar busur las dapat dilihat dengan menggunakan citra.



*Gambar 4.27 busur api tanpa menggunakan solenoid*



*Gambar 4.28 busur api menggunakan solenoid*

Gambar hasil citra busur las ini diambil dengan menggunakan kamera CCD. Gambar diambil setiap 100 ms. Dari gambar tersebut dapat dilihat terdefleksi ke kiri dan ke kanan secara dua dimensi. Hal ini disebabkan oleh dorongan yang berasal dari medan magnet. Besar defleksi yang terjadi masih belum konstan. Hal ini mungkin disebabkan perbedaan medan magnet yang dihasilkan solenoid. Busur yang bergerak ke arah depan dan belakang tidak dapat terlihat jelas karena kamera dipasang dari arah samping las. Oleh karena itu penampakan busur hanya terlihat secara dua dimensi.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

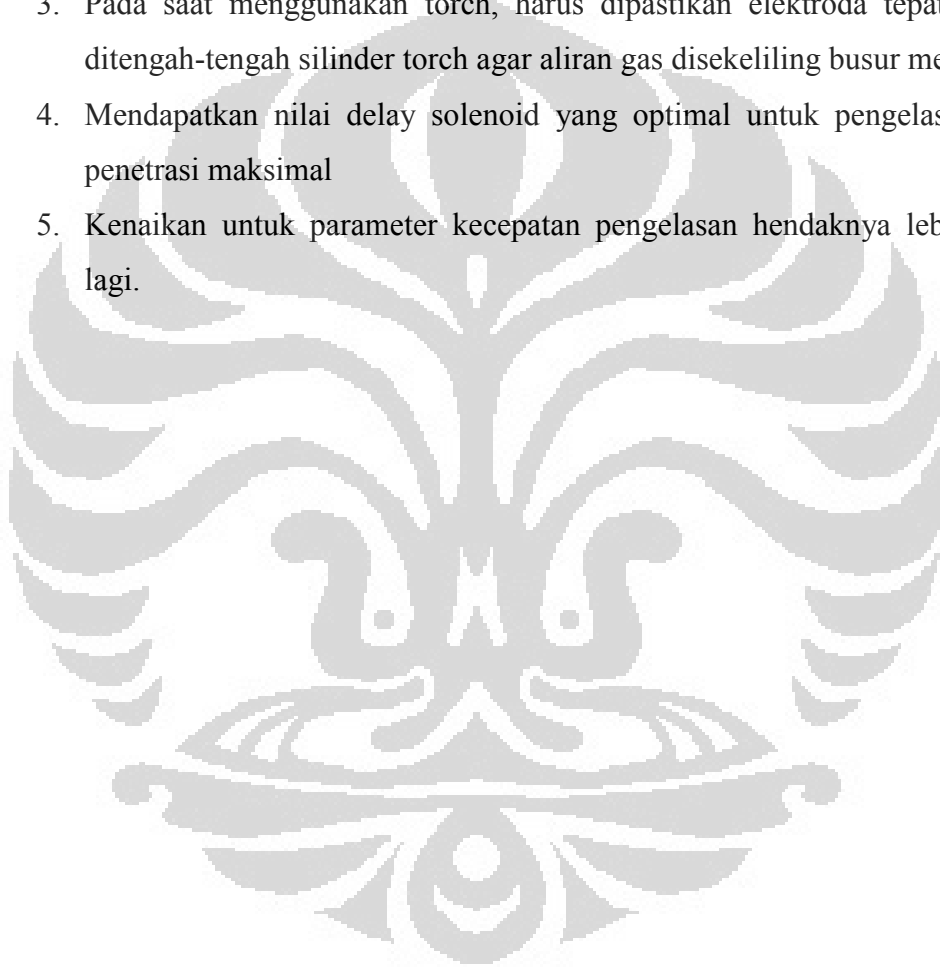
Dari hasil kegiatan penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Arus pengelasan berbanding lurus dengan penetrasi yang dihasilkan
- Kecepatan pengelasan berbanding terbalik dengan penetrasi yang dihasilkan
- Berdasarkan penelitian yang dilakukan, penggunaan medan magnet yang bersumber dari solenoid dapat mempengaruhi hasil pengelasan.
- Busur api terdefleksi akibat adanya medan magnet, medan magnet cenderung mendorong busur api.
- Pada penggunaan solenoid, lebar bead yang dihasilkan lebih besar dibandingkan tanpa penggunaan solenoid pada arus pengelasan yang sama. penetrasi pengelasan mampu menghemat arus hingga 10 Ampere
- Penggunaan solenoid pada pengelasan dengan delay 150 ms menghasilkan penetrasi yang lebih baik dibandingkan dengan delay 100 ms dan 200 ms.
- Aplikasi medan magnet dari solenoid ini tidak memberi hasil yang bagus pada variasi kecepatan. Perubahan kecepatan setiap 1 mm/s tidak memberi perubahan yang lebih baik. Terbukti bahwa perbandingan grafik top width dan bottom width antara tanpa solenoid dengan penggunaan solenoid yang diberi kecepatan tinggi tidak menunjukkan kesamaan lebar. Ini mungkin disebabkan berkurangnya heat input secara drastis pada pengelasan.
- Berdasarkan grafik top width dan bottom width, lebar jalur pengelasan cenderung lebih stabil ketika menggunakan solenoid.
- Dari penampang makro terlihat penggunaan solenoid membuat bentuk penetrasi seperti lebih lebar

## 5.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian ini perlu :

1. Penggunaan solenoid sangat beresiko terkena panas yang tinggi. Untuk itu perlu penggunaan solenoid yang tahan terhadap panas atau penggunaan pendingin untuk mencegah kerusakan solenoid
2. Diukur besar magnet disekitar busur api sehingga defleksi bisa diatur besarnya
3. Pada saat menggunakan torch, harus dipastikan elektroda tepat berada ditengah-tengah silinder torch agar aliran gas disekeliling busur merata.
4. Mendapatkan nilai delay solenoid yang optimal untuk pengelasan agar penetrasi maksimal
5. Kenaikan untuk parameter kecepatan pengelasan hendaknya lebih kecil lagi.



## DAFTAR REFERENSI

1. Wibowo, Tri.2009. *Potret Industri Manufaktur Indonesia Sebelum dan Pasca Krisis*, Jakarta
2. H.C. Tse, H.C. Man, T.M. Yue. 1999. *Effect of magnetic field on plasma control during CO2 laser welding*. Elsevier Optics & Laser Technology
3. Winarto. 2010. *Teknologi Pengelasan untuk enjiner las muda*, Japan Welding Society
4. Ario Sunar Baskoro, Tuparjono, Erwanto. 2011 *Peningkatan Efisiensi Sistem Pengelasan TUNGSTEN INERT GAS (TIG) dengan Pemanfaatan Medan Elektromagnetik*. Riset Pasca Sarjana UI
5. Ario Sunar Baskoro, Tuparjono, Erwanto, Winarto.2011. *Effects of Electromagnetic Field on the Welding Penetration During Tungsten Inert Gas (TIG) Welding*.AWFJournal
6. Fenggui Lu et al. 2006. *Numerical simulation on interaction between TIG welding arc and weld pool*, Computational Material Science
7. G.B.Serdyuk.1960.*The calculation of aWelding Arc In a Transverse Magnetic Field*.Automatic Welding
8. Nomura K et al.,2010 *Influence of magnet configurations on magnetic controlled TIG arc welding*, Transactions of JWRI, Vol.39
9. Paulo J. Modenesi et al. 2000. TIG welding with single-component fuxes, Journal of Materials Processing Technology
10. [www.millerwelds.com/resources/TIGhandbook/pdf/TIGBook](http://www.millerwelds.com/resources/TIGhandbook/pdf/TIGBook)

A 1. Data pengelasan

	80 A			90 A			100 A	
	atas	bawah		atas	bawah		atas	bawah
1	6	6,3	1	7,7	8	1	7,8	8,7
	5,6	6,1		7,45	6,4		7,6	8,7
	5,9	6		6,8	6,6		7,5	8
	6,1	5,85		6,7	6,5		7,6	8
	5,9	5,7		6,5	6,5		7,5	8
	5,9	5,9		6,5	6,5		7,6	8
	5,9	6		6,55	6,3		7,4	8
	6	5,9		6,35	6,1		7,9	8,4
	5,85	6,1		6,35	6,2		8	8,4
2	5,5	2,6	2	5,9	5,1	2	8,5	7,2
	5,4	3,3		6,2	5		8,3	7,6
	5,3	3		6,3	5		7,7	7,4
	5,3	3,1		6,2	4,9		7,7	7,5
	5	3,5		6,2	4,8		7,8	7,5
	5	3,2		6,1	4,9		7,8	7,7
	5,1	3,1		6	4,5		8	7,6
	5	3		5,85	4,8		8	7,4
	5	3		6	4,6		8	7,5
3	6	4,5	3	6,7	5,5	3	8,2	7,4
	6,3	4,4		6,8	5,6		7,9	8,1
	6,3	4,4		7	6,1		7,9	8,5
	6,1	4,1		7,5	5,9		7,8	8,1
	6,1	4,2		7	4		7,8	8,1
	6	4,1		6,5	5,2		7,5	7,9
	6,1	3,9		6,8	5		7,7	7,9
	5,9	3,6		6,8	5,2		7,9	7,9
	5,9	3,5		7,2	5,5		8,1	7,9

90 A	3 mm/s
atas	bawah
6	5,8
5,9	5,3
5,6	5,4
6,1	5,4
5,6	5
5,5	5
5,5	4,9
5,7	4,9
5,5	4,8

80 A	100 ms
atas	bawah
6,1	6,3
6,1	6,1
6,2	6
6,1	6,1
6	6,1
6	6
6	6
6,1	6
6,3	5,9

80 A	150
atas	bawah
7,1	6,1
7,1	6,7
7,1	6,7
7,3	6,7
7,3	6,6
7,3	6,7
7,3	6,8
7,3	6,8
7	6,7

90 A	4 mm/s
atas	bawah
4,9	3,3
4,7	2,4
4,4	2,2
4,4	2,2
4,3	2,2
4,3	2,2
4,3	2,2
4,3	2,2
4,3	2,1
4,3	2

80 A	100 ms
atas	bawah
6,05	6,15
6,05	6,05
6,05	5,9
6	5,85
5,9	5,85
6,05	5,75
6	5,7
6,05	5,7
6,1	5,8

80 A	150
atas	bawah
6,3	5,6
6,4	5,5
6,5	5,9
6,7	6,3
6,4	6,2
7	6,4
7	6,5
6,9	7,1
6,5	6,5

80 A	100 ms
atas	bawah
6	6
6	6
5,9	5,8
5,9	5,6
5,8	5,6
6,1	5,5
6	5,4
6	5,4
5,9	5,7

80 A	150
atas	bawah
7,2	6,6
7,1	6,6
7,1	6,8
7,2	6,5
7	6,5
7	6,4
7	6,8
7	6,8
7,1	6,6

80 A	200
atas	bawah
5,8	6
6	5,9
5,8	5,6
6,1	6
5,9	6
6	5,6
6	6
5,9	6,5
5,8	6,5

80 A	200
atas	bawah
5,9	6,5
5,9	6,3
5,85	6,3
6	6,4
6	6,4
6,1	6,2
6	6
6,1	6,35
6	6,1

90 A	100 ms
atas	bawah
7,2	7,3
7	6,9
7	6,9
7	7
7	7
6,9	7,1
6,9	7
7	7
7	7,3

90 A	150
atas	bawah
7,9	8,1
7,7	8,1
7,9	7,9
7,9	7,8
7,9	7,8
8	8
8	8
7,7	7,7
7,6	7,6

80 A	200
atas	bawah
6	6,1
6,2	5,9
6,2	6
6,5	6
6,5	5,5
6,1	6
6,6	6
6,1	5,7
6	5,8

90 A	100 ms
atas	bawah
7,15	7,15
7,05	6,95
7	6,95
6,95	6,85
7,05	6,95
6,95	7
6,8	6,95
6,95	6,95
6,85	7,15

90 A	150
atas	bawah
7,9	7,9
7,6	7,9
7,6	7,9
7,5	7,9
7,4	7,6
7,4	7,7
7,4	7,4
7,4	7,5
7,4	7,9

90 A	100 ms
atas	bawah
7,1	7
7,1	7
7	7
6,9	6,7
7,1	6,9
7	6,9
6,7	6,9
6,9	6,9
6,7	7

90 A	150
atas	bawah
7,2	6,9
7,4	6,9
7,4	7,2
7,4	7,3
7,5	7,3
7,4	6,9
7,5	6,9
7,4	7,1
7,4	7,3

90 A	200
atas	bawah
7,8	8,4
7,8	7,6
7,7	8,9
7,5	8,4
7,4	7,6
7,4	8,2
7,3	7,9
7,6	8,3
7,6	7,8



90 A	200
atas	bawah
7,5	7,7
7,5	8,1
7,5	7,7
7,2	8,1
7,4	7,9
7,2	7,6
7,4	8,3
7,7	7,9
7,3	7,5

100 A	100 ms
atas	bawah
9	8,4
8,9	8,7
8,8	8,6
8,8	8,4
8,4	8,4
8,4	8,6
8,4	8,6
8,5	8,6
8,6	8,6

100 A	150 ms
atas	bawah
8,5	9,1
8,5	9
8,5	9,4
8,4	9,2
8,4	8,8
8,5	8,7
8,5	8,5
8,7	8,5
8,6	8,4

90 A	200
atas	bawah
7,4	7,4
7,6	7,4
7,1	7,4
7,3	7,2
7,4	7,4
7,4	7,6
7,4	7,4
7,2	7,2
7,3	7,7

100 A	100 ms
atas	bawah
9	8,8
8,8	8,9
8,75	8,75
8,55	8,6
8,35	8,6
8,3	8,65
8,3	8,65
8,4	8,7
8,5	8,8

100 A	150 ms
atas	bawah
8,9	9,2
8,9	9,2
9,3	9,4
9,1	9,2
9,1	9,2
8,9	9,1
9	9,4
9,4	9,1
9,4	9,1

100 A	100 ms
atas	bawah
9	9,2
8,7	9,1
8,7	8,9
8,3	8,8
8,3	8,8
8,2	8,7
8,2	8,7
8,3	8,8
8,4	9

100 A	150
atas	bawah
8	8,9
8,9	8,9
8,7	9,3
8,8	9,1
8,7	9,1
8,7	8,9
8,6	9
8,7	9,4
8,6	9,4

100 A	200
atas	bawah
7,6	7,9
7,5	7,9
7,8	7,9
7,8	7,9
7,8	7,8
7,8	7,9
8	7,6
7,6	7,7
8	8

100 A	200
atas	bawah
7,7	8
7,4	8,4
7,2	8,4
7,3	8,5
7,3	8,5
7,7	8,8
7,8	8,3
7,8	8
7,8	8,3

90 A	200 ms
atas	bawah
6	6,6
5,6	5,4
5,5	5
5,3	4,6
5,3	4,4
5,8	4,3
5,4	4,1
5,8	4,4
5,5	4,6

90 A	200 ms
atas	bawah
4,8	1,3
4,3	1,4
4,3	1,5
4	0
4	0
4,2	1
4,2	1,5
4,3	1,3
4,3	0

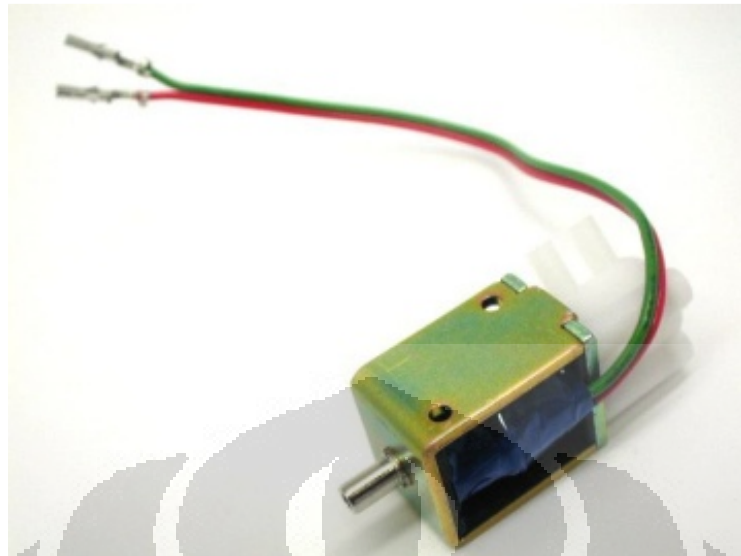
90 A	100 ms
atas	bawah
5,8	4
5,7	3,4
5,6	3,4
5,6	3,5
5,4	3,4
5,5	3,5
5,4	3,4
5,4	3,1
5,3	3,1

90 A	100 ms
atas	bawah
5,1	2,1
4,6	2
4,1	0
4,4	1
4,2	0
4,2	0
4,1	1
4,1	0
4	0

90 A	150 ms
atas	bawah
6,1	5,5
6,1	5,5
6	5,2
6	5,1
5,6	5,1
5,6	5,1
5,6	5,1
5,6	5,1
5,6	4,9

90 A	150 ms
atas	bawah
5	3,2
4,6	2,1
4,4	2,1
4,4	2,2
4,4	2,3
4,3	2,3
4,4	2,2
4,4	2,4
4,6	2,5

## A2 SPESIFIKASI SOLENOID



### Specifications

Working Voltage: DC 6.0 DC12V

External size: 15\*13\*20mm

Application: Blood Pressure Monitor, Slimming Waistband, etc.

Item no. : AJK-F0502 (open)

Voltage rating: DC 6.0v / DC 12.0v

Current rating: 60ma / 45ma

DC impedance: 100ohm + / -10% / 270ohm + / -10% (room temperature 25c)

Consumed power: 0.36w / 0.54w

Working pressure: <350mmhg

Tightness: <3mmhg / min

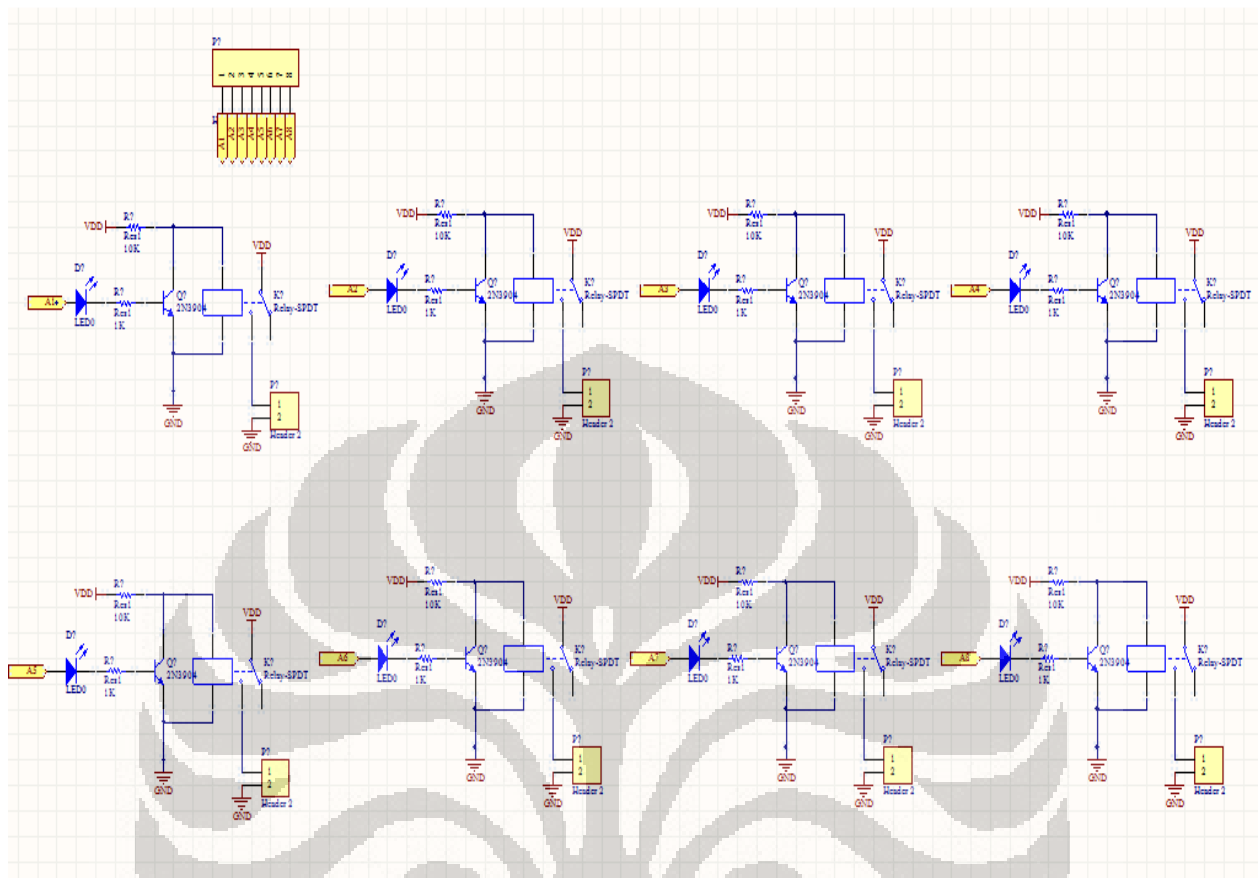
Exhaust time: <4s (fall from 300mmhg to 15mmhg in 100cc capacity)

Pipe diameter: 3mm

External size: 15\*13\*20mm

Application: Blood Pressure Monitor, Slimming Waistband, etc.

### A3. RANGKAIAN KONTROL SEOLENOID



## A4. Program Solenoid

Program

```
/******
```

```
This program was produced by the  
CodeWizardAVR V2.03.4 Standard  
Automatic Program Generator  
© Copyright 1998-2008 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.  
http://www.hpinfotech.com
```

```
Project :  
Version :  
Date : 08/05/2012  
Author :  
Company :  
Comments:
```

```
Chip type : ATmega16  
Program type : Application  
Clock frequency : 11,059200 MHz  
Memory model : Small  
External RAM size : 0  
Data Stack size : 256
```

```
*****/
```

```
#include <mega16.h>  
#include <delay.h>
```

```
// Declare your global variables here
```

```
void main(void)  
{  
// Declare your local variables here
```

```
// Input/Output Ports initialization  
// Port A initialization  
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In  
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T  
PORTA=0x00;  
DDRA=0x00;
```

```
// Port B initialization  
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In  
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T  
PORTB=0x00;  
DDRB=0xff;
```

```
// Port C initialization  
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In  
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
```

```

PORTC=0x00;
DDRC=0x00;

// Port D initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 1 Stopped
// Mode: Normal top=FFFFh
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer 1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 2 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

```

```

// External Interrupt(s) initialization
// INTO: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x00;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

while (1)
{

//   untuk delay 150 ms   8 Solenoid

PORTB = 0b00000001;
delay_ms(150);
PORTB = 0b00000010;
delay_ms(150);
PORTB = 0b00000100;
delay_ms(150);
PORTB = 0b00001000;
delay_ms(150);
PORTB = 0b00010000;
delay_ms(150);
PORTB = 0b00100000;
delay_ms(150);
PORTB = 0b01000000;
delay_ms(150);
PORTB = 0b10000000;
delay_ms(150);

};
}

```