

## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Statistik

#### 4.1.1 Anova

Penelitian ini menggunakan 2 faktor yaitu faktor arus dengan 4 level faktor ( 74A, 84A, 94A, dan 104A ) dan faktor waktu dengan 4 level faktor ( 1,5s, 2s, 2,5s, dan 3s ). Sehingga metode pengolahan data yang sesuai dengan penelitian ini adalah menggunakan *Two Way Anova ( Analysis of Varians )*, dikarenakan terdapat dua faktor yaitu arus dan waktu yang mempengaruhi kekuatan geser.

#### 4.1.2 Pengumpulan Data

Data yang diambil untuk pengujian *Two Way ANOVA* adalah data kekuatan geser yang dihasilkan berdasarkan kombinasi dari dua faktor yang berbeda yaitu arus dan waktu pengelasan dengan 3 kali replikasi. Data kekuatan geser sendiri didapatkan dari pembagian gaya geser dengan luas daerah lasan.

##### a. Data Hasil Pengujian Gaya geser

Dari hasil pengujian geser didapatkan nilai gaya geser (N) dari 3 pengulangan pengelasan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Gaya geser

Arus Pengelasan (A)	Waktu Pengelasan (s)	Gaya Geser (N)			Gaya Geser Rata-Rata (N)
74	1,5	4304	4196	3378	3959
	2	4607	3660	4282	4183
	2,5	4915	4558	4921	4798
	3	4959	5175	4705	4946
84	1,5	4964	5706	4775	5148
	2	5749	6003	4986	5579
	2,5	6187	6252	6061	6167
	3	6691	6821	6593	6702
94	1,5	7990	7465	7050	7502
	2	7689	7580	7827	7699
	2,5	7930	7914	8980	8275
	3	8022	8623	8611	8419
104	1,5	8845	8324	8325	8498
	2	8222	9208	8828	8753
	2,5	10447	9321	9548	9772
	3	11100	10456	10130	10562

## b. Data Hasil Pengukuran Luas Daerah Lasan

Dari hasil pengujian foto makro, didapatkan nilai luas daerah lasan dengan menggunakan *software* yaitu *autodesk inventor*. Hasil pengukuran luas daerah lasan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.2 Data Hasil Pengukuran Luas Daerah Lasan

Arus Pengelasan (A)	Waktu Pengelasan (s)	Luas Daerah Lasan (mm <sup>2</sup> )			Rata-Rata
74	1,5	9,26	9,50	7,89	8,88
	2	10,32	7,68	10,05	9,35
	2,5	10,81	10,69	10,42	10,64
	3	11,09	10,99	10,66	10,91
84	1,5	11,38	11,69	11,40	11,49
	2	12,40	12,04	11,95	12,13
	2,5	12,75	12,79	12,42	12,65
	3	13,04	12,46	12,48	12,66
94	1,5	14,69	14,49	14,34	14,50
	2	14,34	14,77	15,08	14,73
	2,5	14,85	14,70	16,63	15,39
	3	15,84	14,59	16,61	15,68
104	1,5	15,69	15,85	16,05	15,87
	2	15,76	16,89	15,98	16,21
	2,5	17,80	17,01	17,47	17,42
	3	18,88	17,85	18,82	18,52

Data dari tabel 4.1 dan 4.2 digunakan untuk perhitungan kekuatan geser. Contoh perhitungan kekuatan geser sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \tau_{rata-rata} &= \frac{V}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} \\
 &= 4304 / 9,26 \\
 &= 464,6343 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

### c. Data Hasil Perhitungan Kekuatan Geser

Berdasarkan perhitungan seperti contoh di atas didapatkan hasil kekuatan geser yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.3 Data Hasil Perhitungan Kekuatan Geser

Arus Pengelasan (A)	Waktu Pengelasan (s)	Kekuatan Geser (N/mm <sup>2</sup> )			Rata-Rata
74	1,5	464,63	441,68	428,13	444,81
	2	446,48	476,49	425,98	449,65
	2,5	454,50	426,56	472,07	451,04
	3	447,32	470,69	441,50	453,17
84	1,5	436,32	488,01	418,84	447,72
	2	463,49	498,55	417,26	459,77
	2,5	485,29	488,86	488,19	487,45
	3	513,16	547,41	528,44	529,67
94	1,5	544,08	515,08	491,75	516,97
	2	536,32	513,19	518,86	522,79
	2,5	534,14	538,33	540,11	537,53
	3	506,38	590,89	518,29	538,52
104	1,5	563,76	525,02	518,60	535,80
	2	521,60	545,03	552,43	539,69
	2,5	587,02	548,12	546,61	560,58
	3	587,81	585,70	538,29	570,60

#### 4.1.3 Pengolahan Data

Pada penelitian ini pengolahan data *two-way* ANOVA dengan perhitungan menggunakan *software* statistik.

#### 4.1.4 Uji Asumsi

##### a. Pengujian Kenormalan

Uji kenormalan pada ANOVA dilakukan dengan cara menguji residualnya. Berikut merupakan langkah-langkah *software* untuk memunculkan residual.

1. Membuka *software*



2. Deskripsikan variabel eksperimen di *variable view* dan deskripsikan level faktor dalam *Value*
3. Isikan data dalam data view
4. Pilih *Analyze- General Linear Model – Univariate*. Masukkan variabel terikat pada *Dependent variable* dan variabel faktor pada *Fixed factor(s)*. lalu pilih *save*, pada kolom *residual* centang *unstandardize*.
5. Selanjutnya pada *data view* software akan muncul kolom baru dengan nama kolom RES\_1, ini merupakan residual ANOVA.
6. Pilih *Analyze*, pilih *Descriptive Statistics*, kemudian pilih *Explore*.
7. Masukkan RES\_1 pada *Dependent List*, masukan variabel faktor pada *Factor list* kemudian klik *Plots* kemudian centang *Normality Plots with Test*. Klik *Continue* lalu OK.

Tabel 4.4 *Test of Normality* untuk Faktor Arus

Tests of Normality							
	ARUS	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for KEKUATAN	74	,170	12	,200*	,928	12	,363
	84	,189	12	,200*	,951	12	,645
	94	,205	12	,173	,933	12	,415
	104	,206	12	,168	,926	12	,338

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Tabel 4.5 *Test of Normality* untuk Faktor Waktu

Tests of Normality							
	WAKTU	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for KEKUATAN	1,5	,199	12	,200*	,909	12	,210
	2	,104	12	,200*	,991	12	1,000
	2,5	,235	12	,065	,931	12	,395
	3	,155	12	,200*	,933	12	,415

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

$H_0$  : residual data berdistribusi normal

$H_1$  : residual data tidak berdistribusi normal

$H_0$  diterima apabila *Sig.* di kolom *Kolmogorov-Smirnov*  $> 0,05$  dan ditolak apabila *Sig.* di kolom *Kolmogorov-Smirnov*  $< 0,05$ . Karena pada semua table terlihat bahwa nilai *Sig.* di kolom *Kolmogorov-Smirnov*  $> 0,05$  maka dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  diterima, sehingga residual data berdistribusi normal

#### b. Pengujian Homogenitas

Uji *homogenitas* bertujuan untuk mencari tahu apakah dari beberapa kelompok data penelitian memiliki sifat *homogenitas* atau tidak. Berikut ini adalah langkah-langkah untuk melakukan uji homogenitas dengan *software software* :

1. Klik *analyze* >> *General Linear Model* >> *Univariate* >> masukan Kekuatan Geser ke *Dependent List*. Masukan Arus dan Waktu ke *Fixed factor(s)*.
2. Klik *plots* >> masukan Arus pada horizontal axis >> Waktu pada *separate lines*
3. Klik *Option* >> Arus, Waktu, Arus\*Waktu >> centang *homogeneity test*.

Tabel 4.6 *LEvene's Test of Equality of Error*

Levene's Test of Equality of Error Variances <sup>a</sup>			
Dependent Variable: Residual for KEKUATAN			
F	df1	df2	Sig.
1,983	15	32	,051
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a. Design: Intercept + WAKTU + ARUS + WAKTU * ARUS			

$H_0$  : data bervariasi homogen

$H_1$  : data tidak bervariasi homogen

$H_0$  diterima karena *Sig.* dari tes homogenitas bernilai  $0,051 \geq 0,05$ . Jadi data bervariasi homogen

#### 4.1.5 Uji Two Way Anova

Berikut adalah langkah-langkah penggunaan software untuk *Two-way ANOVA*.

1. Klik *analyze* >> *General Linear Model* >> *Univariate* kekuatan geser ke *Dependent List*. Masukan arus dan waktu ke *Fixed factor(s)*.
2. Pada Kotak dialog *Option* masukan Arus, Waktu, dan Interaksi arus\*waktu pada kolom *Display means for* >> Klik *continue*
3. klik *OK*.

Tabel 4.7 *Tests of Between-Subjects Effects*

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: KEKUATAN					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	91920,993 <sup>a</sup>	15	6128,066	9,703	,000
Intercept	12137680,271	1	12137680,271	19218,961	,000
ARUS	76361,762	3	25453,921	40,304	,000
WAKTU	9791,448	3	3263,816	5,168	,005
ARUS * WAKTU	5767,783	9	640,865	1,015	,449
Error	20209,509	32	631,547		
Total	12249810,773	48			
Corrected Total	112130,502	47			

a. R Squared = ,820 (Adjusted R Squared = ,735)

Hipotesis pengujian :

a. Untuk Faktor Arus

$H_0$  : Tidak ada perbedaan rata-rata antara kekuatan geser berdasarkan faktor arus secara signifikan.

$H_1$  : terdapat perbedaan rata-rata antara kekuatan geser berdasarkan faktor arus secara signifikan.

$H_0$  ditolak karena nilai sig jenis arus  $0.000 < 0.05$  sehingga terdapat perbedaan rata-rata kekuatan geser dengan faktor arus secara signifikan.

b. Untuk Faktor Waktu

$H_0$  : Tidak ada perbedaan rata-rata antara kekuatan geser berdasarkan faktor waktu secara signifikan.

$H_1$  : Ada perbedaan rata-rata antara kekuatan geser berdasarkan faktor waktu secara signifikan.

$H_0$  ditolak karena nilai sig waktu  $0.005 < 0.05$  sehingga terdapat perbedaan rata-rata kekuatan geser dengan faktor waktu secara signifikan.

c. Untuk Faktor Interaksi Antara Arus dan Waktu dengan Kekuatan Geser

$H_0$  : Tidak ada perbedaan rata-rata antara kekuatan geser berdasarkan interaksi faktor arus dan faktor waktu secara signifikan.

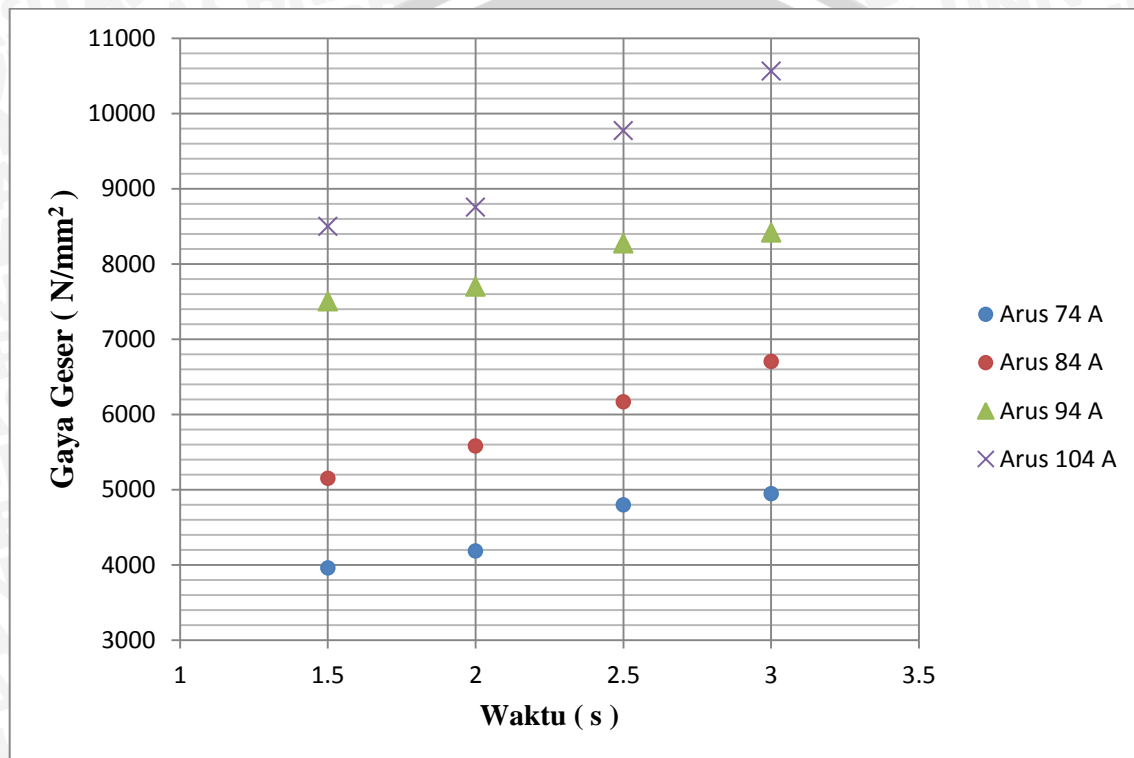
$H_1$  : Ada perbedaan rata-rata antara kekuatan geser berdasarkan interaksi faktor arus dan faktor waktu secara signifikan.



$H_0$  diterima karena nilai sig interaksi  $0.449 > 0.05$  sehingga tidak terdapat perbedaan rata-rata kekuatan geser dengan interaksi antara faktor arus dan faktor waktu secara signifikan.

## 4.2 Analisis Grafik

### 1. Hubungan Waktu Pengelasan dan Arus Pengelasan terhadap Gaya Geser

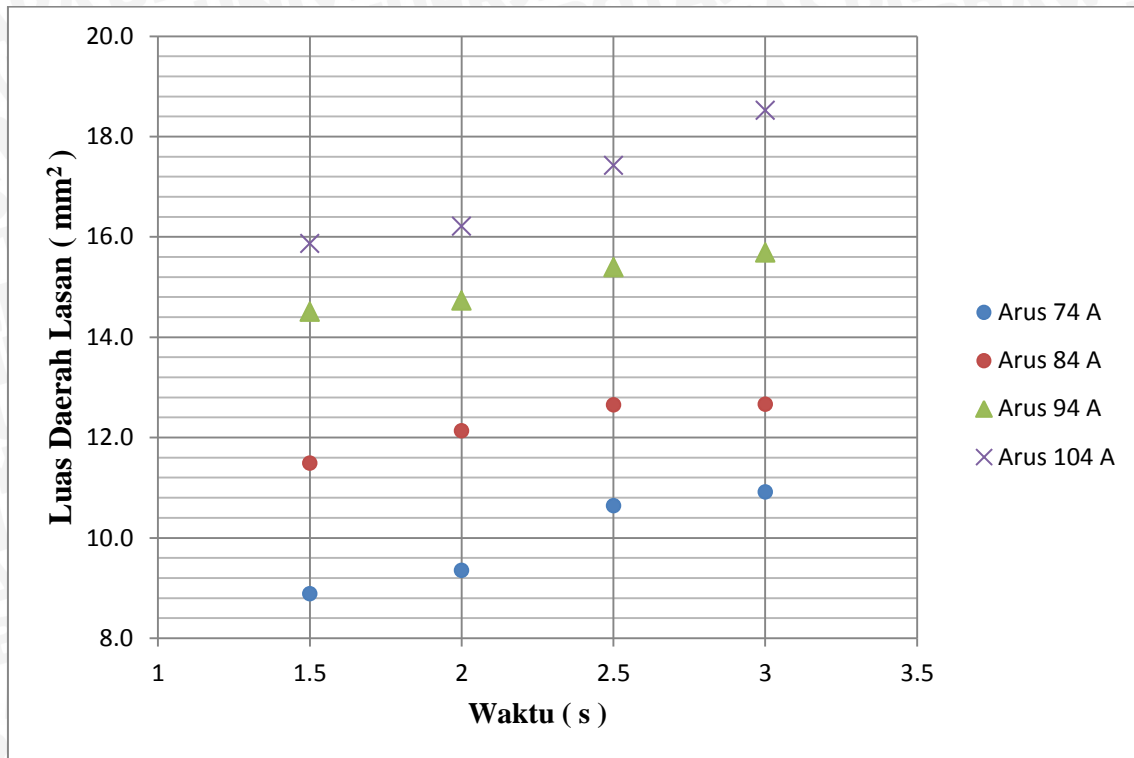


Gambar 4.1 Grafik Hubungan Waktu Pengelasan dan Arus Pengelasan terhadap Gaya Geser

Dari grafik di atas dapat dilihat pada masing – masing variasi arus pengelasan bahwa semakin lama waktu pengelasan maka nilai gaya geser akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena pada saat pengelasan nilai *heat input* akan semakin besar sedangkan pendinginan menggunakan suhu ruang yang tergolong cepat menghasilkan struktur martensit yang kekerasannya tinggi. Sehingga semakin tinggi nilai kekesaran maka nilai gaya gesernya juga akan semakin tinggi.

Nilai gaya geser tertinggi sebesar 10562 N pada arus pengelasan 104 A dengan waktu pengelasan 3 detik, sedangkan gaya geser terendah sebesar 3959 N pada arus pengelasan 74 A dengan waktu pengelasan 1,5 detik.

## 2. Hubungan Waktu Pengelasan dan Arus Pengelasan terhadap Luas daerah Lasan



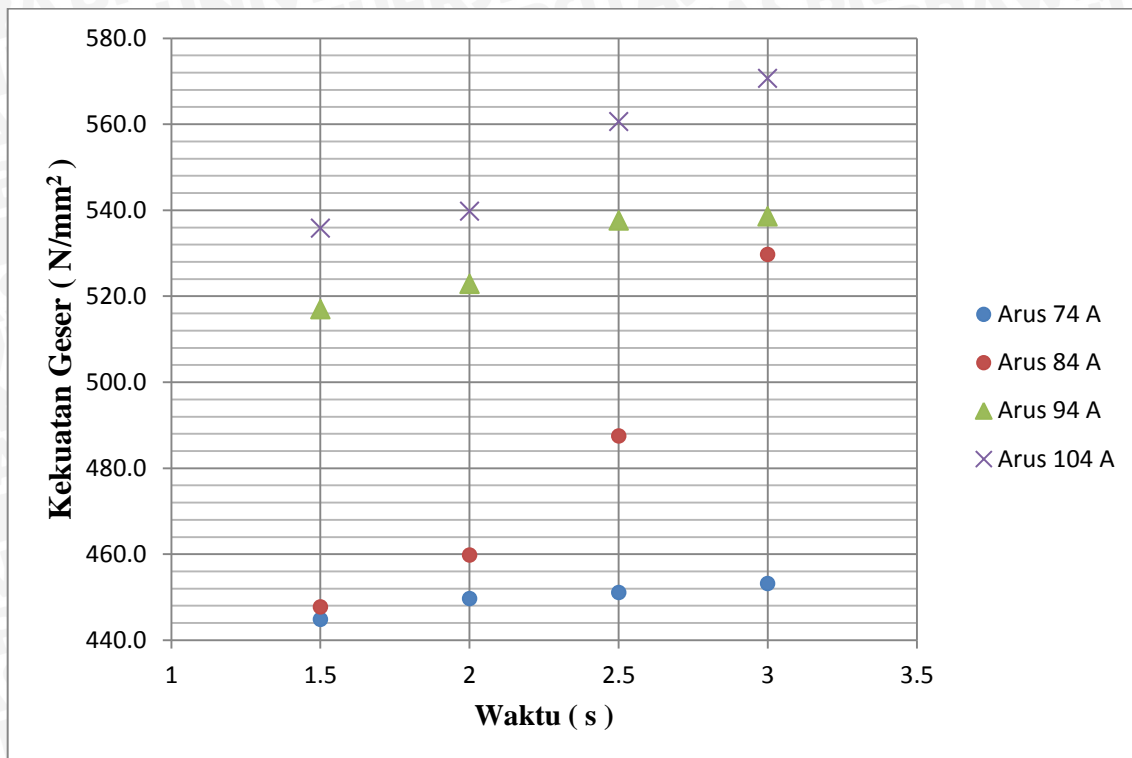
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Waktu Pengelasan dan Arus Pengelasan terhadap Luas daerah Lasan

Dari grafik di atas dapat dilihat penambahan waktu pengelasan yang dilakukan menyebabkan pembesaran rata-rata dari las daerah hasil las titik. Peningkatan ini disebabkan karena semakin lama waktu pengelasan yang dilakukan maka akan semakin banyak pula *heat input* yang ada sehingga akan meningkatkan pula kemampuan untuk meleburkan logam yang akan mencair menjadi daerah las.

Sehingga bagian logam yang melebur dan berdifusi juga akan semakin banyak. Hal tersebut dapat dilihat bahwa luas daerah las yang terbesar ada pada arus pengelasan 104 A dengan waktu pengelasan 3 detik yaitu  $18,52 \text{ mm}^2$ . Dan luas daerah las yang terkecil ada pada arus pengelasan 74 A dengan waktu pengelasan 1,5 detik yaitu  $8,88 \text{ mm}^2$



### 3 Hubungan Waktu Pengelasan dan Arus Pengelasan terhadap Kekuatan Geser



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Waktu Pengelasan dan Arus Pengelasan terhadap Kekuatan Geser

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa jika semakin lama waktu pengelasan dengan arus pengelasan yang sama maka kekuatan gesernya semakin meningkat. Hal tersebut dikarenakan semakin lama waktu dan arus pengelasan maka *heat input* yang masuk juga akan semakin besar sehingga akan menyebabkan perubahan struktur dan butiran pada daerah las sehingga membuat daerah tersebut mempunyai kekerasan yang tinggi. Kekerasan yang tinggi tersebut juga dipengaruhi dari pendinginan suhu ruang, sehingga membuat nilai gaya geser dan luas daerah las meningkat dan akhirnya akan menyebabkan nilai kekuatan geser juga akan meningkat.

Pada arus 84 A untuk setiap pertambahan waktu terjadi peningkatan kekuatan geser yang signifikan dibanding dengan variasi arus yang lainnya. Hal tersebut disebabkan pada variasi arus tersebut didapat luas daerah lasan yang peningkatannya tidak terlalu besar tetapi untuk gaya gesernya ada peningkatan yang besar. Sehingga dengan gaya geser sebagai pembilang dengan peningkatan yang besar dan luas daerah lasan sebagai penyebut dengan peningkatan yang kecil didapat nilai kekuatan geser yang naik secara drastis pada gambar 4.3 untuk setiap pertambahan waktu.

Nilai kekuatan geser tertinggi terdapat pada arus pengelasan 104 A dengan waktu pengelasan 3 detik yaitu  $570,60 \text{ N/mm}^2$ . Dan nilai kekuatan geser terendah terapat pada arus pengelasan 74 A dengan waktu pengelasan 1,5 detik yaitu  $444,81 \text{ N/mm}^2$ .

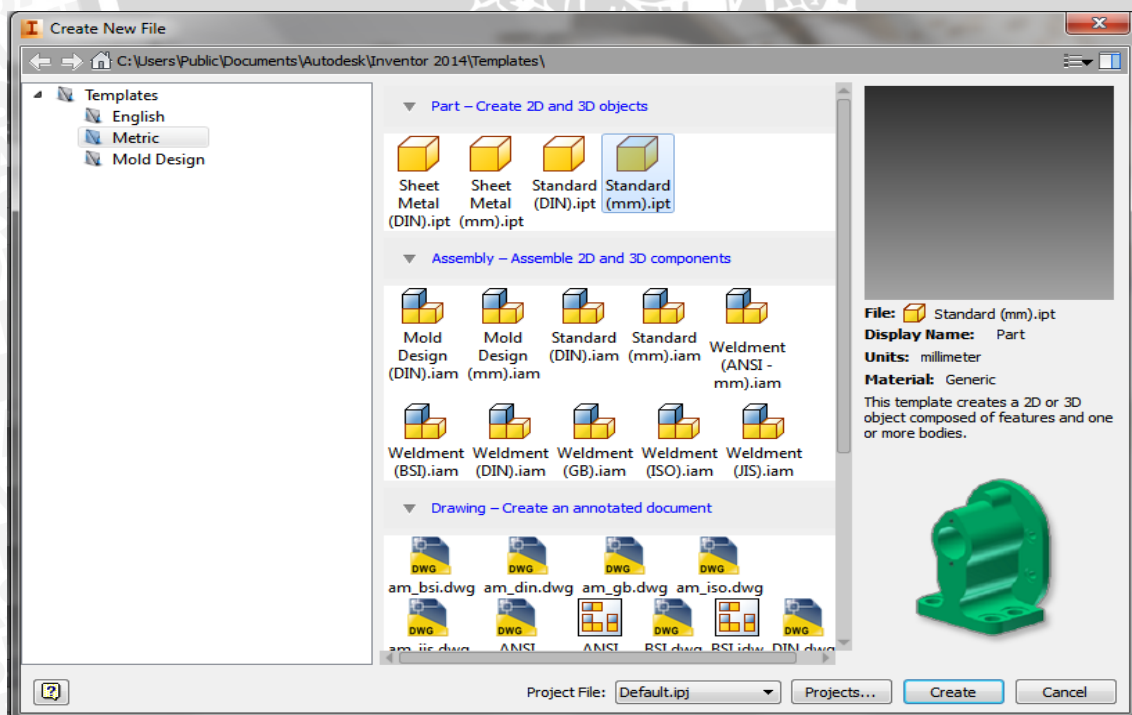
### 4.3 Analisis Foto Makro

Foto makro diambil setelah spesimen dilakukan pengujian geser, karena luas permukaan yang ingin diketahui adalah yang bagian dalam sambungan. Secara keseluruhan penambahan arus dan waktu pengelasan yang dilakukan menyebabkan pembesaran rata-rata ukuran dari luasan daerah hasil lasan.

Peningkatan tersebut disebabkan karena semakin lama waktu dan arus pengelasan yang dipakai maka semakin banyak *heat input* yang masuk sehingga semakin besar kemampuan untuk meleburkan logam yang akan berdifusi. Hal itu menyebabkan bagian dalam logam yang melebur dan berdifusi semakin banyak..

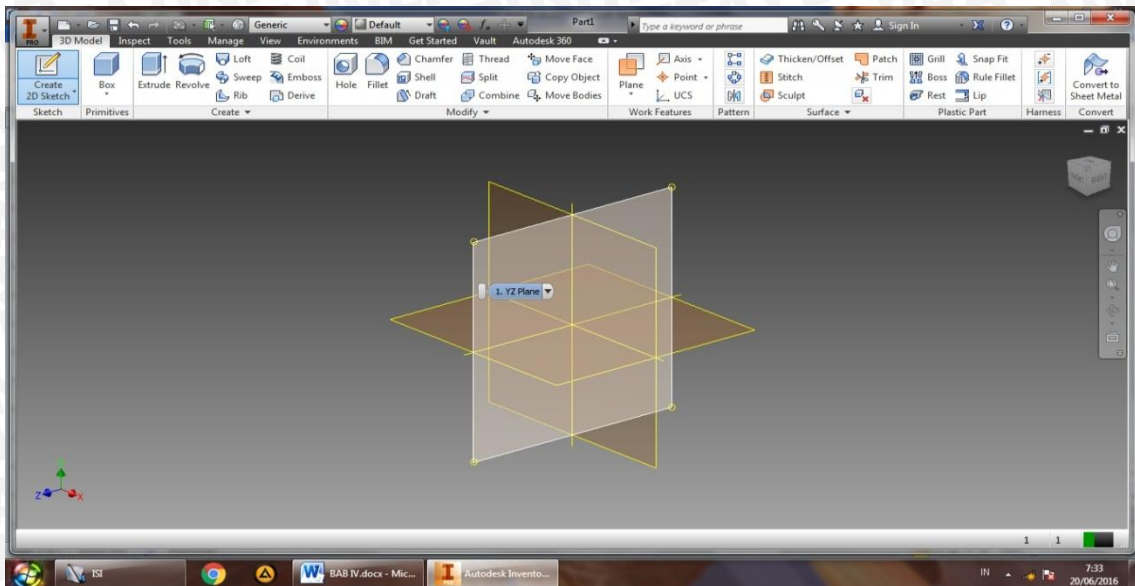
Untuk mengetahui luas permukaan daerah lasan dalam penelitian ini digunakan software yaitu *autodesk inventor*. Adapun langkah-langkahnya bisa dilihat keterangan di bawah ini :

- Buka *Autodesk Inventor*, pilih *new* selanjutnya pilih *metric* dan pilih *standart* (mm).ipt klik *create*

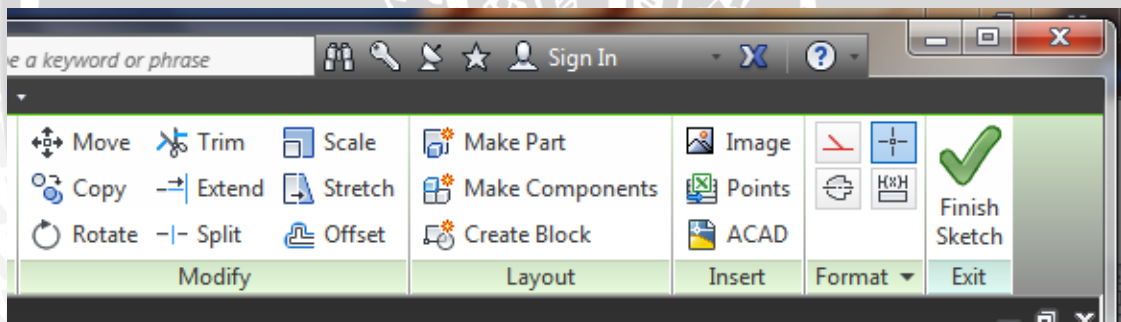




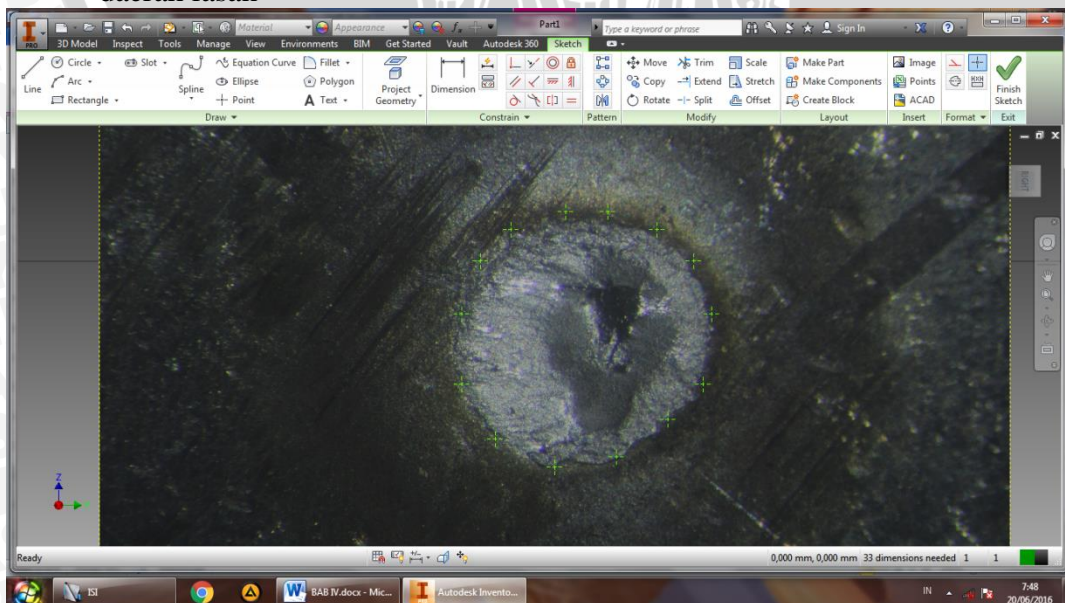
- Pilih *Create 2D Sketch* lalu pilih bidang yang ingin digunakan untuk menaruh gambar.



- Pada menu *insert* pilih *image*

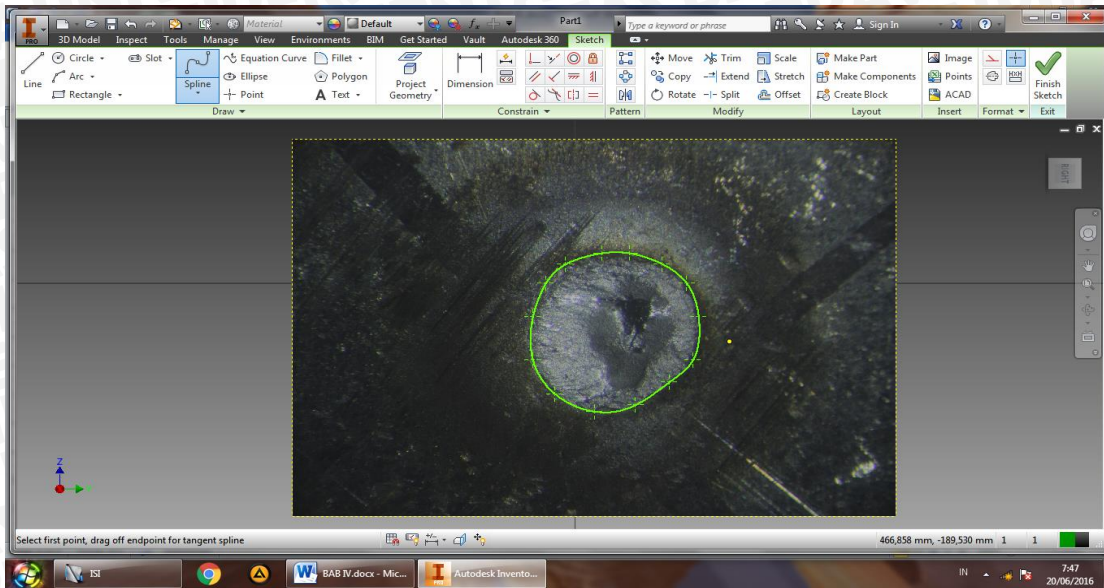


- Pilih gambar dan letakkan pada bidang, lalu klik point sampai memutar pada daerah lasan

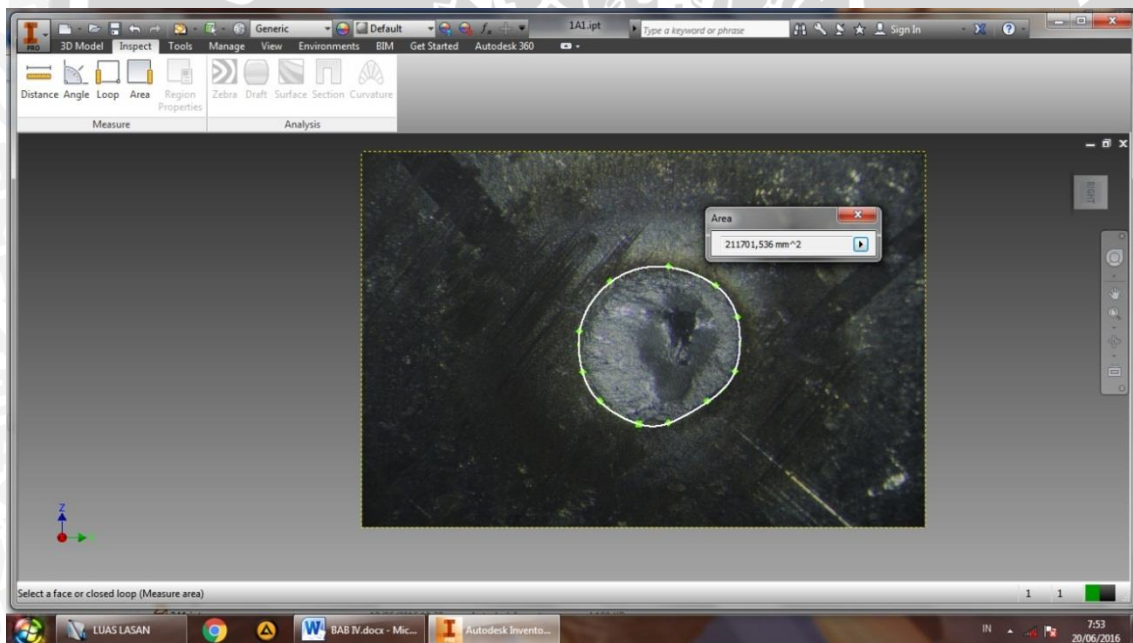




- Sambungkan *point-point* tadi menggunakan *spline-interpolation*



- Langkah terakhir pilih menu inspect klik area, saat kursor menyentuh garis spline tadi luasan daerah didalam area tadi akan muncul.

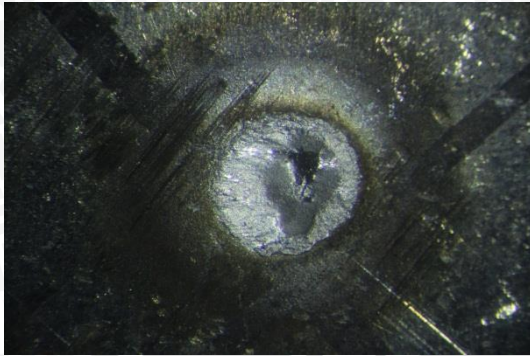




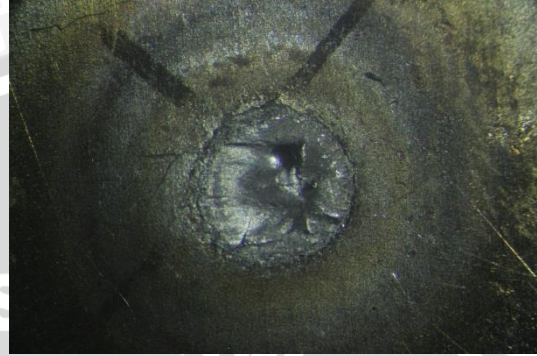
Berikut adalah sampel foto struktur makro dari pengelasan titik pada waktu pengelasan terendah dan tertinggi pada masing-masing arus pengelasan.

1. Arus pengelasan 74 Ampere

Waktu pengelasan 1,5 detik

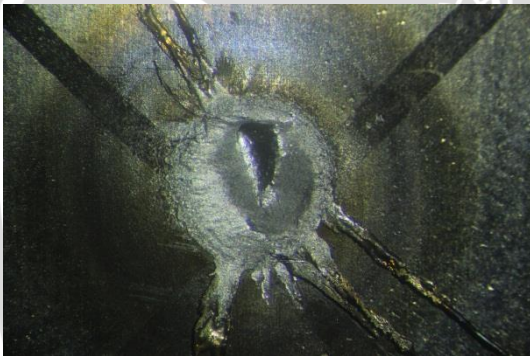


Waktu pengelasan 3 detik

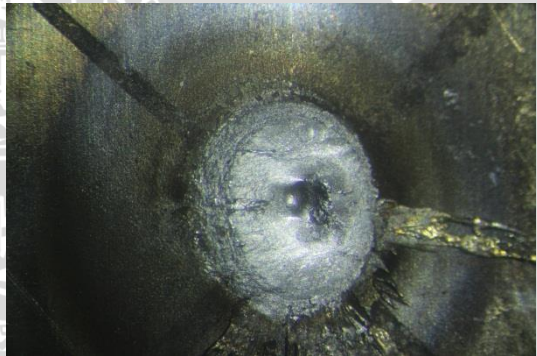


2. Arus pengelasan 84 Ampere

Waktu pengelasan 1,5 detik

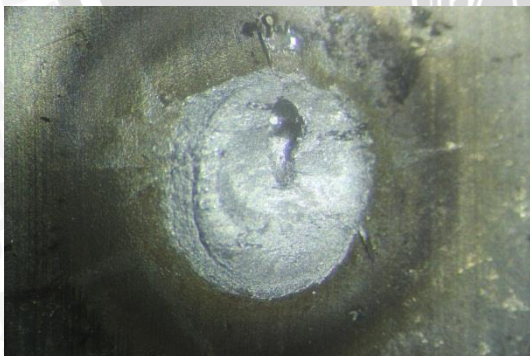


Waktu pengelasan 3 detik

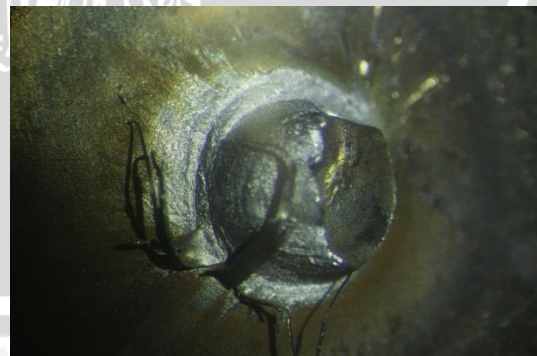


3. Arus pengelasan 94 Ampere

Waktu pengelasan 1,5 detik



Waktu pengelasan 3 detik



## 4. Arus pengelasan 104 Ampere

Waktu pengelasan 1,5 detik



Waktu pengelasan 3 detik



Dari gambar di atas dapat dilihat ada beberapa perbedaan pada tiap variasi arus. Yang membuat perbedaan tersebut adalah adanya variasi penambahan arus pada waktu yang konstan akan menyebabkan energi yang masuk semakin besar dan akan memperbesar volume logam yang panas dan akhirnya menyatu setelah ditekan. Pada variasi penambahan waktu pada arus yang tetap akan menyebabkan temperatur pengelasan yang semakin meningkat dan mencapai temperatur pengelasan. Pengaruh arus dan waktu pengelasan bisa dijelaskan sesuai dengan rumus di bawah ini :

$$\begin{aligned} W &= Q \times V \\ &= I \times t \times I \times R \\ &= I^2 \times R \times t \end{aligned}$$

Dengan W : energi ( joule )

Q : besar muatan ( coloumb )

V : beda ptensial ( V )

I : arus ( ampere )

R : hambatan ( ohm )

t : waktu ( s )

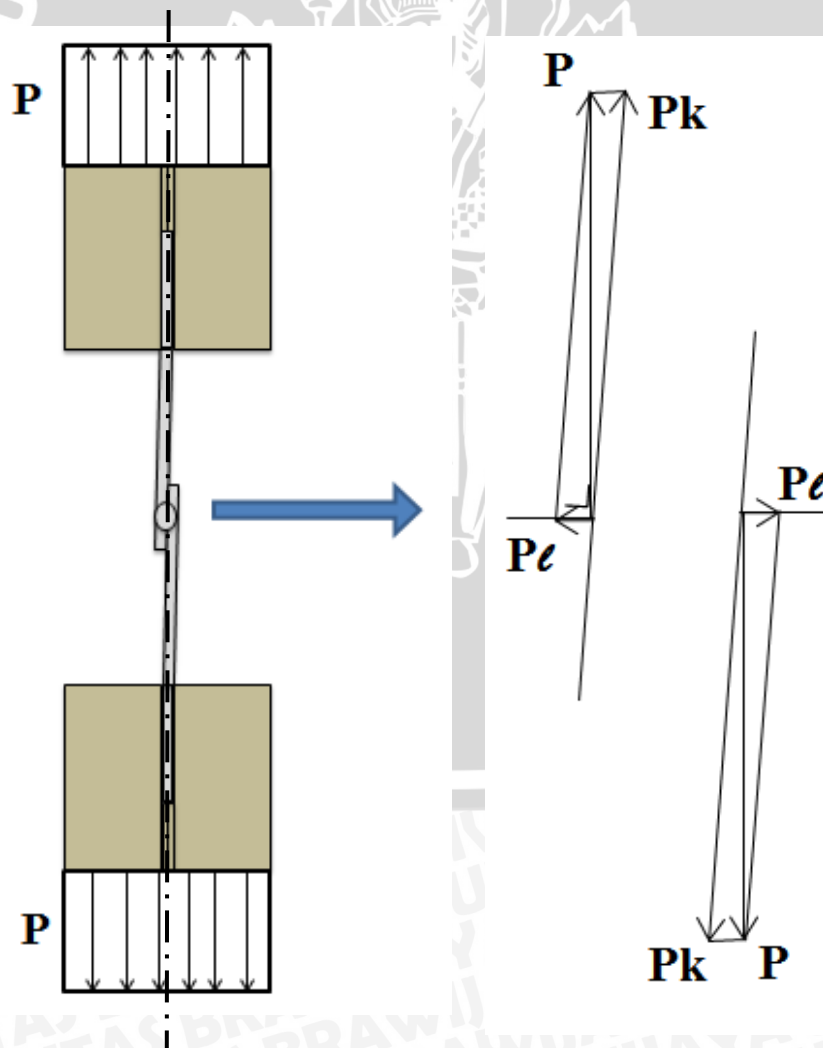
Tampak pada hasil foto di atas hampir semua hasil lasan terlihat jelas pada spesimen arus 74, 84, dan 94 A, hal tersebut karena sambungan benar-benar terputus pada hasil lasannya. Dikarenakan kekuatan geser hasil lasan lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan geser logam inti, sehingga yang terputus adalah hasil lasannya. Hal berbeda terjadi pada arus pengelasan 104 A, semua hasil lasannya tidak bisa terlihat pada bagian dalam karena yang terputus bukan hasil lasannya tetapi pada daerah batas antara HAZ dan logam



lasan. Hal tersebut dikarenakan dengan arus yang tinggi akan meningkatkan *heat input* sehingga gaya geser dan logam cair yang menyatu akan semakin besar, dan menyebabkan kekuatan gesernya semakin membesar.

Besarnya kekuatan geser hasil lasan tersebut lebih tinggi dibanding daerah HAZnya karena pada daerah HAZ mempunyai sifat getas, hal tersebut yang membuat sambungan terputus pada batas HAZ dan logam lasan. Tetapi perhitungan luas lasan tetap bisa dilakukan dengan melihat bagian luar, karena masih terlihat batas lasannya.

Saat sambungan terputus di daerah HAZ juga terjadi sobekan, dan hasil sobekan akan menempel pada spesimen pasangannya. Hal tersebut dikarenakan spesimen diuji geser tidak pada kondisi simetris tetapi ditarik pada cekam yang simetris. Ada gaya yang menyebabkan spesimen melengkung. Uraian gaya-gaya yang terjadi pada spesimen saat ditarik ada gaya  $P$  aksi pada cekam mesin *universal testing machine*,  $P_k$  dan  $P_l$  pada gaya reaksi spesimen. Berikut adalah analisa gaya sehingga sambungan bisa terputus / sobek pada batas HAZ dan logam lasan



Untuk daerah luasan lasan pada gambar bisa terlihat secara jelas ada perbedaan yang signifikan antara waktu tercepat dan terlama pada masing-masing arus. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.8 Perbandingan sampel luas daerah lasan pada masing-masing arus pengelasan

Arus Pengelasan (A)	Luas Daerah Hasil Pengelasan (mm <sup>2</sup> )	
	Waktu 1,5 detik	Waktu 3 detik
74	8,88	10,91
84	11,49	12,66
94	14,50	15,68
104	15,87	18,52

