



**PENGENDALIAN KUALITAS PADA PROSES OTOMASI  
PENGELASAN LURUS SMAW MENGGUNAKAN METODE  
TAGUCHI**

**SKRIPSI**

Oleh:

**Ardy Wahyu Pratama**

151910101083

**PROGRAM STRATA 1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**PENGENDALIAN KUALITAS PADA PROSES OTOMASI  
PENGELASAN LURUS SMAW MENGGUNAKAN METODE  
TAGUCHI**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:  
**Ardy Wahyu Pratama**  
151910101083

**PROGRAM STRATA 1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan baik;
2. Ayanda Bambang Gunardi dan Ibunda Rita Lestari tercinta yang telah memberikan doa, kasih sayang, dan dukungan dan yang tiada henti;
3. Adik tercinta Nindya Meiliana Putri dan Restyas Meidita Salsabila yang telah memberikan semangat dan motivasi;
4. Keluarga besar Mardi Utomo dan keluarga besar Suhono yang telah memberikan dukungan dan motivasi;
5. Guru-guru SDN Ditotrunan 1, SMPN 2 Lumajang, SMKN 1 Lumajang serta dosen-dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membimbing dengan sabar dan memberikan ilmu yang bermanfaat;
6. Tim Riset Material Research Group (MRG) yang telah bersuka dan duka bersama;
7. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

**MOTO**

Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum, sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri.

(terjemahan Surat Al-Ra'd ayat 11)

atau

Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya.

(terjemahan Surat Al-Baqarah ayat 286)

atau

Lebih baik bertempur dan kalah daripada tidak pernah bertempur sama sekali.

(Arthur Hugh Clough)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Ardy Wahyu Pratama

NIM : 151910101083

Menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengendalian Kualitas pada Proses Pengelasan Lurus SMAW menggunakan Metode Taguchi” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggungjawab atas kebenaran isi sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 04 September 2019

Yang Menyatakan,

Ardy Wahyu Pratama

NIM 151910101083

**SKRIPSI**

**PENGENDALIAN KUALITAS PADA PROSES OTOMASI PENGELASAN  
LURUS SMAW MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI**

Oleh

Ardy Wahyu Pratama

NIM 151910101083

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama

: Andi Sanata, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota

: Ir.Dwi Djumhariyanto, M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengendalian Kualitas pada Proses Otomasi Pengelasan Lurus SMAW menggunakan Metode Taguchi” karya Ardy Wahyu Pratama telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Selasa, 27 Agustus 2019

Tempat : Ruang Sidang II, Lantai III Dekanat Fakultas Teknik

Tim Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Andi Sanata, S.T., M.T.  
NIP. 197505022001121001

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.  
NIP. 196008121998021001

Tim Penguji :

Penguji I,

Penguji II,

Robertus Sidartawan, S.T., M.T.  
NIP. 197003101997021001

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.  
NIP. 197002281997021001

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.  
NIP. 196612151995032001

**RINGKASAN**

**PENGENDALIAN KUALITAS PADA PROSES OTOMASI PENGELASAN LURUS SMAW MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI**

Ardy Wahyu Pratama, 151910101083; 2019; 85 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Perkembangan teknologi di sektor industri yang semakin tahun semakin maju tidak lepas dari proses pengelasan dikarenakan pengelasan mempunyai peran penting dalam proses rekayasa dan reparasi logam. Masa sekarang ini proses pengelasan banyak terlibat dalam pembangunan konstruksi dengan logam lebih khususnya dalam rancang bangun yang banyak membutuhkan sambungan las yang secara teknis merupakan metode pembuatan sambungan yang perlu keterampilan khusus yang tinggi bagi seorang welder agar mendapatkan suatu hasil sambungan yang berkualitas baik. Dalam sektor perindustrian atau konstruksi, teknik pengelasan ini digunakan pada industri perkapalan, jembatan, bejana tekan, rel, pipa saluran dan lain sebagainya.

pengelasan (welding) merupakan teknik untuk penyambungan logam dengan mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah bertujuan untuk mendapatkan hasil sambungan yang utuh.

Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) merupakan pengelasan busur listrik dengan menggunakan bahan tambah berupa elektroda berselaput, busur listrik ini yang berfungsi mencairkan logam pengisi (ujung elektroda) dan sebagian logam induk, selaput elektroda akan ikut terbakar dan mencair, serta menghasilkan gas yang berguna sebagai pelindung ujung elektroda, busur listrik dan daerah las dari segala pengaruh udara luar.



Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kombinasi yang paling optimal dari proses fabrikasi produk sambungan las baja karbon rendah dengan variasi parameter kuat arus, kecepatan pengelasan dan jarak busur pengelasan untuk menghasilkan kekuatan tarik yang tertinggi.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Terapan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, universitas Jember. Pada bulan Januari hingga Juli 2019. Penelitian ini mengambil data kekuatan tarik yang dihasilkan dengan metode taguchi berdasarkan matriks orthogonal L9 ( $3^3$ ) dengan pengulangan sebanyak 3 kali untuk tiap kombinasinya.

Nilai persen kontribusi dalam meningkatkan kekuatan tarik yang signifikan dipengaruhi oleh variabel bebas yang diteliti yaitu kuat arus 77,65 %, kecepatan pengelasan 1,43 % dan jarak busur pengelasan 19,75 %. Hasil kombinasi variasi yang optimal adalah pada kuat arus level 2 (75 Ampere), kecepatan pengelasan level 2 (6,5 mm/s) dan jarak busur pengelasan level 1 (2,0 mm).

## SUMMARY

### **QUALITY CONTROL IN SMAW STRAIGHT WELDING AUTOMATION PROCESS WITH TAGUCHI METHOD**

Ardy Wahyu Pratama, 151910101083; 2019; 85 pages; Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Jember.

The development of technology in the industrial sector which is getting more and more advanced cannot be separated from the welding process because welding has an important role in the process of metal engineering and repair. Nowadays the welding process is much involved in the construction of metal construction, especially in the design of buildings that require a lot of welding connections which is technically a method of making connections that require high special skills for a welder in order to get a good quality connection results. In the industrial or construction sector, this welding technique is used in the shipping industry, bridges, pressure vessels, rails, pipelines and etc.

welding (welding) is a technique for connecting the metal by melting some of the parent metal and filler metal with or without metal enhancers aiming to get the result of a complete connection.

Welding SMAW (Shielded Metal Arc Welding) is an electric arc welding using added material in the form of a webbed electrode, this electric arc which functions to melt the filler metal (the electrode tip) and a portion of the parent metal, the electrode membrane will also burn and melt, and produce useful gas as a protector of the electrode tip, electric arc and welding area from all external air influences.

The purpose of this study is to determine the most optimal combination of fabrication processes for low carbon steel welded joints with variations in current

strength parameters, welding speed and arc arc distance to produce the highest tensile strength.

This research was conducted at the Laboratory of Applied Technology, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University. In January to July 2019. This study took the tensile strength data generated by the taguchi method based on L9 orthogonal matrix ( $3^3$ ) with repetition 3 times for each combination.

The percent value of the contribution in increasing the tensile strength is significantly influenced by the independent variables studied namely 77.65% current strength, 1.43% welding speed and 19.75% arc welding distance. The results of the optimal combination of variations are on level 2 current strength (75 Amperes), level 2 welding speed (6.5 mm / s) and level 1 arc welding distance (2.0 mm).

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengendalian Kualitas pada Proses Otomasi Pengelasan Lurus SMAW menggunakan Metode Taguchi”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM. atas kesempatan yang diberikan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini;
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember Hari Arbiantara B., S.T., M.T. atas kesempatan yang diberikan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini;
3. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing Akademik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang selalu memberikan arahan kepada penulis selama kuliah;
4. Bapak Andi Sanata, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Ir.Dwi Djumhariyanto, M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang penuh kesabaran membimbing, memberi arahan, dorongan, motivasi, meluangkan waktu, pikiran, perhatian serta saran kepada penulis sehingga penyusunan skripsi dapat terlaksana dengan baik;
5. Bapak Robertus Sidartawan, S.T., M.T selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyusunan skripsi ini;
6. Bapak Imam Sholahuddin, S.T., M.T selaku Pembina Material Research Group (MRG) yang telah memberikan arahan dan kesempatan untuk menjalankan penelitian;

7. Kedua orangtua penulis, Ayahanda Bambang Gunardi, Ibunda Rita Lestari yang telah memberikan kasih sayang, pengorbanan, dorongan, nasehat serta air mata dalam tangis dan do'a yang setiap langkah mengiringi perjuangan penulis hingga dapat menyelesaikan studi S1;
8. Adik penulis Nindya Meiliana Putri dan Restyas Meidita Salsabila yang memberikan semangat serta pembawa keceriaan di keluarga penulis;
9. Para sahabat: Febriolita Widyaningrum, Fika Nashirotul Millah, Yossi Christianto, Salman Al farisi, Aria Dwi Narendra, Robi Subastian, Indra Setiawan, Anantyo Jantera Pratama, Andi Ahmad Fijai, Agung Kuniawan, Ardiansyah Roufin yang selalu ada dalam suka maupun duka selama penulis di Jember;
10. Teman-Teman Material Research Group (MRG) yang selalu ada dalam suka dan duka selama penelitian;
11. Teman-temanku seperjuangan S1 dan DIII Teknik Mesin 2015 yang telah memberikan motivasi, dukungan serta do'anya;
12. Teman seperjuangan serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam segala hal.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga segala kritik dan saran yang membangun dapat diterima oleh penulis. Harapan penulis supaya skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Jember, 04 September 2019

Penulis

DAFTAR ISI

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                              | i   |
| <b>PERSEMBAHAN</b> .....                                | ii  |
| <b>MOTO</b> .....                                       | iii |
| <b>PERNYATAAN</b> .....                                 | iv  |
| <b>PENGESAHAN</b> .....                                 | vi  |
| <b>RINGKASAN</b> .....                                  | vii |
| <b>SUMMARY</b> .....                                    | ix  |
| <b>PRAKATA</b> .....                                    | x   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                                 | xii |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                              | xv  |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                               | xvi |
| <b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....                         | 1   |
| <b>1.1 Latar Belakang</b> .....                         | 1   |
| <b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....                        | 3   |
| <b>1.3 Batasan Masalah</b> .....                        | 3   |
| <b>1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian</b> .....          | 4   |
| 1.4.1 Tujuan .....                                      | 4   |
| 1.4.2 Manfaat .....                                     | 4   |
| <b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                    | 5   |
| <b>2.1 Pengelasan</b> .....                             | 5   |
| 2.1.1 Definisi Pengelasan.....                          | 5   |
| 2.1.2 Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding)..... | 5   |

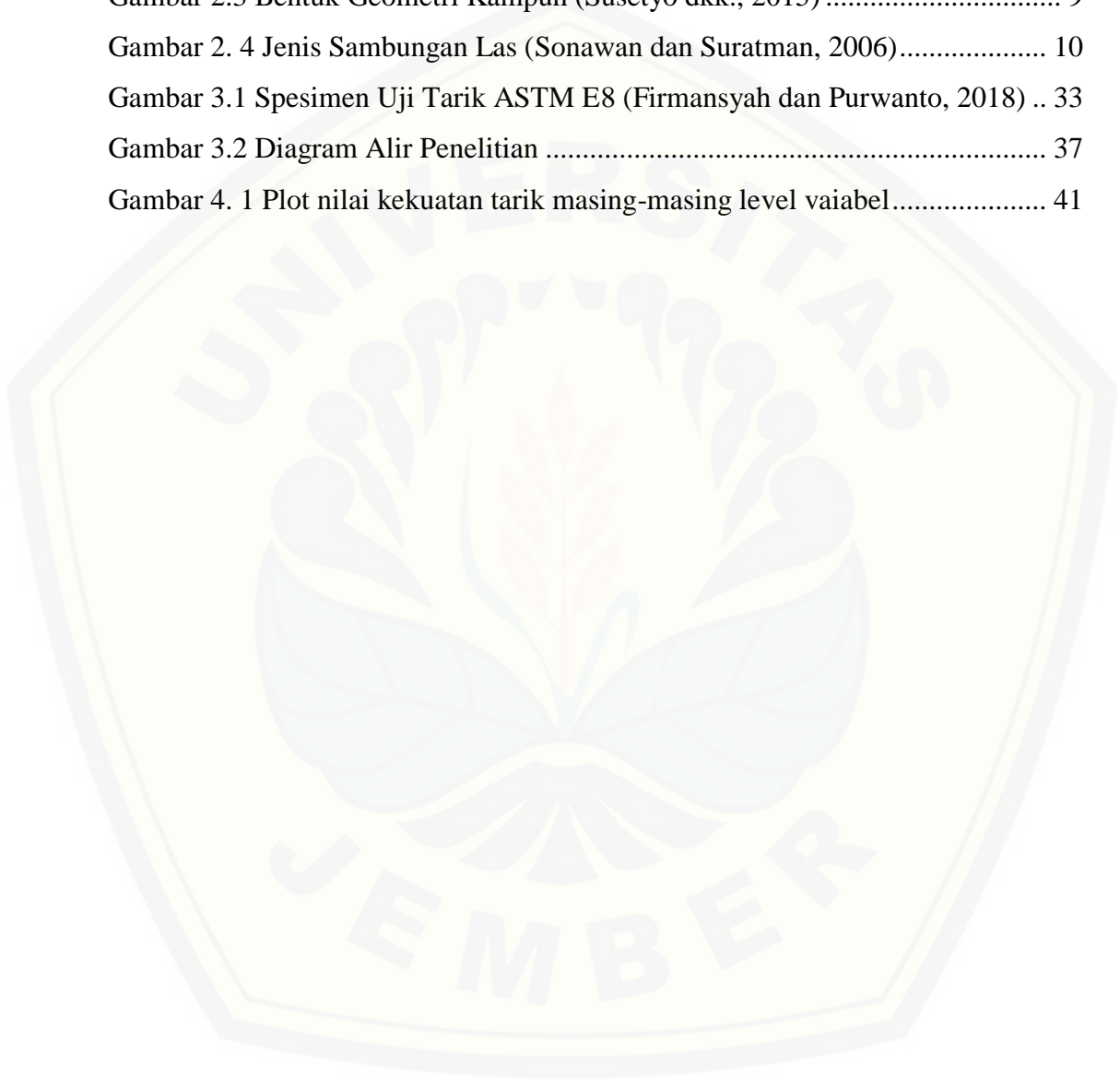
|               |                                          |           |
|---------------|------------------------------------------|-----------|
| 2.1.3         | Elektroda Las .....                      | 7         |
| 2.1.4         | Kampuh Las .....                         | 9         |
| 2.1.5         | Jenis-Jenis Sambungan Las.....           | 10        |
| 2.1.6         | Arus Listrik .....                       | 11        |
| 2.1.7         | Kecepatan Pengelasan.....                | 11        |
| 2.1.8         | Jarak Busur Pengelasan.....              | 12        |
| <b>2.2</b>    | <b>Baja Karbon.....</b>                  | <b>12</b> |
| 2.2.1         | Definisi Baja Karbon.....                | 12        |
| 2.2.2         | Klasifikasi Baja Karbon Rendah.....      | 13        |
| 2.2.3         | Sifat Mampu Las Baja Karbon Rendah ..... | 14        |
| 2.2.4         | Cara Pengelasan Baja Karbon Rendah.....  | 15        |
| <b>2.3</b>    | <b>Pengujian Tarik.....</b>              | <b>15</b> |
| <b>2.4</b>    | <b>Metode Taguchi .....</b>              | <b>16</b> |
| 2.4.1         | Desain Eksperimen.....                   | 17        |
| 2.4.2         | Eksperimen Konfirmasi .....              | 28        |
| <b>2.5</b>    | <b>Hipotesis .....</b>                   | <b>29</b> |
| <b>BAB 3.</b> | <b>METODOLOGI PENELITIAN.....</b>        | <b>30</b> |
| <b>3.1</b>    | <b>Metode Penelitian.....</b>            | <b>30</b> |
| <b>3.2</b>    | <b>Tempat Penelitian.....</b>            | <b>30</b> |
| <b>3.3</b>    | <b>Alat dan Bahan Penelitian .....</b>   | <b>30</b> |
| 3.3.1         | Alat.....                                | 30        |
| 3.3.2         | Bahan.....                               | 30        |
| <b>3.4</b>    | <b>Variabel Penelitian.....</b>          | <b>31</b> |
| 3.4.1         | Variabel Bebas .....                     | 31        |
| 3.4.2         | Variabel Kontrol.....                    | 31        |

|                                |                                                           |           |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.3                          | Variabel Terikat .....                                    | 32        |
| <b>3.5</b>                     | <b>Tahapan Penelitian.....</b>                            | <b>32</b> |
| <b>3.6</b>                     | <b>Pengambilan Data .....</b>                             | <b>33</b> |
| <b>3.7</b>                     | <b>Metode Analisis.....</b>                               | <b>34</b> |
| <b>3.8</b>                     | <b>Diagram Alir Penelitian .....</b>                      | <b>37</b> |
| <b>3.9</b>                     | <b>Jadwal Penelitian .....</b>                            | <b>38</b> |
| <b>BAB 4. PEMBAHASAN .....</b> |                                                           | <b>39</b> |
| <b>4.1</b>                     | <b>Data Hasil Eksperimen .....</b>                        | <b>39</b> |
| <b>4.2</b>                     | <b>Perhitungan S/N Rasio .....</b>                        | <b>40</b> |
| <b>4.3</b>                     | <b>Kombinasi Variasi Optimal.....</b>                     | <b>41</b> |
| <b>4.4</b>                     | <b>Analisa Of Varian, Persen Kotribusi dan Uji F.....</b> | <b>42</b> |
| <b>4.5</b>                     | <b>Prediksi Respon Optimal .....</b>                      | <b>45</b> |
| <b>4.6</b>                     | <b>Eksperimen Konfirmasi.....</b>                         | <b>46</b> |
| <b>4.7</b>                     | <b>Pembahasan .....</b>                                   | <b>47</b> |
| 4.7.1                          | Pengaruh Variabel bebas Terhadap Kekuatan Tarik.....      | 47        |
| <b>BAB 5. PENUTUP.....</b>     |                                                           | <b>50</b> |
| <b>5.1</b>                     | <b>Kesimpulan .....</b>                                   | <b>50</b> |
| <b>5.2</b>                     | <b>Saran.....</b>                                         | <b>50</b> |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>          |                                                           |           |
| <b>LAMPIRAN</b>                |                                                           |           |



**DAFTAR GAMBAR**

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Las Busur dengan Elektroda Terbungkus (Suharno, 2008) .....   | 6  |
| Gambar 2. 2 Elektroda Terbungkus (Syahrani dkk., 2013) .....             | 8  |
| Gambar 2.3 Bentuk Geometri Kampuh (Susetyo dkk., 2015) .....             | 9  |
| Gambar 2. 4 Jenis Sambungan Las (Sonawan dan Suratman, 2006).....        | 10 |
| Gambar 3.1 Spesimen Uji Tarik ASTM E8 (Firmansyah dan Purwanto, 2018) .. | 33 |
| Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian .....                                 | 37 |
| Gambar 4. 1 Plot nilai kekuatan tarik masing-masing level variabel.....  | 41 |



**DAFTAR TABEL**

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Spesifikasi Arus menurut Diameter Elektroda (Syahrani dkk., 2013)....                               | 7  |
| Tabel 2.2 Klasifikasi Baja Karbon (Vlack, 1981).....                                                          | 13 |
| Tabel 2.3 Penggolongan Baja Karbon Rendah menurut Nilai Kekuatan Tariknya dan Aplikasinya (Vlack, 1981) ..... | 14 |
| Tabel 2.4 Klasifikasi Baja menurut Tingkat deoksidasi (Wirjosumarto dan Okumura, 1994). .....                 | 15 |
| Tabel 2.5 Kombinasi Perlakuan Desain Faktorial $3^3$ (Sudjana, 1989).....                                     | 19 |
| Tabel 2.6 Matriks Orthogonal $L9(3^3)$ .....                                                                  | 20 |
| Tabel 3.1 Variabel Bebas .....                                                                                | 31 |
| Tabel 3.2 Variabel Terikat .....                                                                              | 32 |
| Tabel 3.3 Kode Sampel.....                                                                                    | 33 |
| Tabel 3.4 Hasil Analisis Varian dan Kontribusi Parameter Berpengaruh .....                                    | 35 |
| Tabel 3.5 Data Hasil Pengujian Tarik Sambungan Las Baja Karbon Rendah.....                                    | 34 |
| Tabel 3.6 Jadwal Penelitian.....                                                                              | 38 |
| Tabel 4.1 Data Hasil Eksperimen.....                                                                          | 39 |
| Tabel 4.2 Data rasio S/N .....                                                                                | 40 |
| Tabel 4.3 Respon rata-rata kekuatan tarik untuk setiap variabel bebas yang di teliti .....                    | 41 |
| Tabel 4.4 Variasi Kombinasi optimal sampel produk sambungan las baja karbon rendah.....                       | 42 |
| Tabel 4.5 Hasil ANOVA variabel bebas produk sambungan las baja karbon rendah.....                             | 43 |
| Tabel 4.6 Kondisi hipotesa $H_0$ .....                                                                        | 44 |
| Tabel 4.7 Persen kontribusi tiap variabel bebas.....                                                          | 45 |
| Tabel 4.8 Hasil kekuatan tarik eksperimen konfirmasi.....                                                     | 47 |
| Tabel 4.9 Persen kontribusi tiap faktor kendali .....                                                         | 48 |

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di sektor industri yang semakin tahun semakin maju tidak lepas dari proses pengelasan dikarenakan pengelasan mempunyai peran penting dalam proses rekayasa dan reparasi logam. Masa sekarang ini proses pengelasan banyak terlibat dalam pembangunan konstruksi dengan logam lebih khususnya dalam rancang bangun yang banyak membutuhkan sambungan las yang secara teknis merupakan metode pembuatan sambungan yang perlu keterampilan khusus yang tinggi bagi seorang welder agar mendapatkan suatu hasil sambungan yang berkualitas baik. Dalam sektor perindustrian atau konstruksi, teknik pengelasan ini digunakan pada industri perkapalan, jembatan, bejana tekan, rel, pipa saluran dan lain sebagainya (Huda dkk., 2013).

Definisi pengelasan (welding) merupakan teknik untuk penyambungan logam dengan mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah bertujuan untuk mendapatkan hasil sambungan yang utuh (Mohruni dan Kembaren, 2013). Las busur listrik merupakan suatu metode pengelasan dengan menggunakan busur listrik sebagai sumber pemanas dengan prinsip ketika arus listrik padat dan tegangan cukup rendah dialirkan pada dua buah logam bersifat konduktor maka akan dihasilkan loncatan elektroda yang menimbulkan efek panas dengan suhu mencapai 5000 °C sehingga dua buah logam tersebut akan mencair (Suharno, 2008).

Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) merupakan pengelasan busur listrik dengan menggunakan bahan tambah berupa elektroda berselaput, busur listrik ini yang berfungsi mencairkan logam pengisi (ujung elektroda) dan sebagian logam induk, selaput elektroda akan ikut terbakar dan mencair, serta menghasilkan gas yang berguna sebagai pelindung ujung elektroda, busur listrik dan daerah las dari segala pengaruh udara luar (Mohruni dan Kembaren, 2013).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, menurut Putri (2010) yang melakukan pengujian tarik pada spesimen sambungan las baja karbon rendah dengan menggunakan parameter besar arus 70 A, 80 A, 90 A, 100 A, 110 A dan jarak pengelasan 1 mm dan 2 mm dan hasil kekuatan tarik tertinggi terdapat pada pengujian dengan arus 110 ampere dengan jarak kampuh 1 mm sebesar 507,33 N/mm<sup>2</sup>. Dapat di simpulkan bahwa semakin besar kuat arus pada pengelasan semakin maksimum juga kekuatan tarik yang didapatkan dan semakin besar jarak pengelasan semakin kecil pula nilai kekuatan tariknya. Pada penelitian (Olawale dkk., 2012) juga menganalisa pengaruh kuat arus terhadap kekuatan tarik pada baja karbon rendah dengan menggunakan arus 100 A, 120 A, 140 A dan hasil kekuatan tarik masing-masing adalah 581.89 MPa, 666.7 MPa, 742.5 MPa. Hasil tersebut membuktikan bahwa semakin besar kuat arus semakin besar pula nilai kekuatannya.

Menurut penelitian Mohruni dan Kembaren (2013), semakin besar nilai kecepatan pengelasannya semakin rendah nilai kekuatan tarik hasil sambungan lasnya. Dimana variasi parameter kecepatan yang dipakai antara 0,13 cm/s sampai 0,35 cm/s. Disimpulkan bahwa kecepatan pengelasan dan besar kuat arus yang dipakai berpengaruh pada nilai kekuatan tarik dimana kecepatan semakin rendah menghasilkan kekuatan tarik yang semakin besar. Sementara ketika kecepatan yang digunakan medium, nilai kekuatan tariknya terlihat semakin besar pada arus yang terendah. (Chen dkk., 2019) melakukan penelitian menggunakan parameter kecepatan pengelasan pada spesimen pertama yaitu 1.55 mm/s dan 1.60 mm/s serta spesimen kedua 1.5 mm/s dan 1.94 mm/s dihasilkan nilai kekuatannya masing-masing pada spesimen pertama 672 MPa dan 667 MPa serta spesimen kedua 569 MPa dan 562 MPa. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan semakin rendah kecepatan pengelasan semakin besar nilai kekuatan tarik yang di hasilkan.

Dalam penelitian ini penulis melakukan pengujian serta menganalisa terkait pengaruh variasi parameter kuat arus, kecepatan, dan jarak busur pengelasan terhadap hasil kekuatan tarik sambungan las. Penelitian ini menggunakan bahan baja karbon rendah dengan variasi parameter kuat arus, kecepatan dan jarak busur pengelasan menggunakan las SMAW yang akan

dianalisa kekuatan tarik dari sambungan las menggunakan Metode Taguchi untuk menentukan variasi parameter yang optimal.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan beberapa pokok masalah untuk menentukan variasi yang optimal pada proses pengelasan dari parameter-parameter yang telah ditentukan terhadap hasil kekuatan tarik dari produk sambungan las baja karbon rendah. Sehingga, Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi parameter kuat arus (A), kecepatan pengelasan (mm/s) dan jarak pengelasan (mm) terhadap kekuatan tarik produk sambungan las baja karbon rendah menggunakan sistem otomasi ?
2. Bagaimana menentukan parameter yang optimal pada proses sistem otomasi pengelasan baja karbon rendah dengan menggunakan metode taguchi ?

### **1.3 Batasan Masalah**

Pada topik bahasan yang sudah ditentukan, maka perlu adanya batasan masalah agar penelitian ini tidak keluar dari bidang penjurusan yang telah dipilih serta tidak timbul masalah baru. Adapun batasan masalah yang ditentukan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Penelitian ini menggunakan material baja karbon rendah AISI 1020 untuk proses pengelasannya.
2. Penelitian ini menggunakan pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding).
3. Penelitian ini menganalisa pengaruh variasi parameter kuat arus, kecepatan dan jarak busur pengelasan terhadap kekuatan tarik produk sambungan las baja karbon rendah menggunakan sistem otomasi.
4. Metode analisis yang digunakan adalah matrik orthogonal pada metode taguchi.

## 1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

### 1.4.1 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh parameter kuat arus (A), kecepatan pengelasan (mm/s) dan jarak pengelasan (mm) terhadap kekuatan tarik produk sambungan las baja karbon rendah menggunakan sistem otomasi.
2. Mengetahui parameter yang optimal pada proses sistem otomasi pengelasan baja karbon rendah.

### 1.4.2 Manfaat

Manfaat yang di peroleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui pengaruh parameter kuat arus (A), kecepatan pengelasan (mm/s) dan jarak pengelasan (mm) terhadap kekuatan tarik produk sambungan las baja karbon rendah menggunakan sistem otomasi.
2. Dapat mengetahui parameter yang optimal pada proses sistem otomasi pengelasan baja karbon rendah.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengelasan

#### 2.1.1 Definisi Pengelasan

Pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah suatu perlakuan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan cair. Dengan arti lain, las merupakan proses penyambungan di beberapa bagian tempat batang logam induk dengan menggunakan sumber panas (Syahrani dkk., 2013).

Mengelas adalah suatu aktifitas memberi perlakuan panas atau menekan dua bagian benda logam atau lebih guna menyatukan kedua benda logam atau lebih itu menjadi suatu benda yang utuh. Proses penyambungan sendiri dapat atau tanpa menggunakan material tambahan berupa *filler metal* yang sama atau beda titik cair maupun strukturnya (Syahrani dkk., 2013).

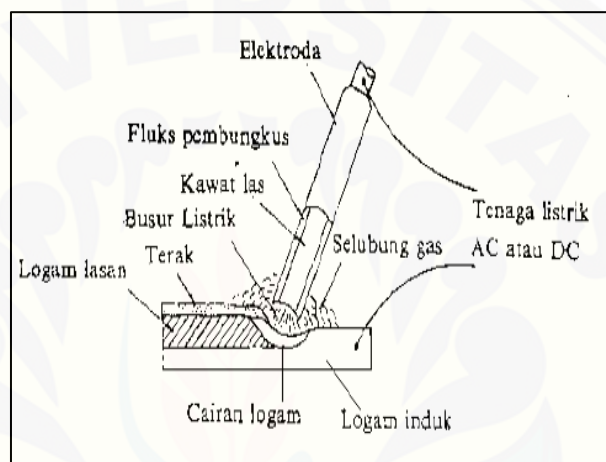
Pengelasan dapat diartikan sebuah metode penyambungan dua buah logam atau lebih sampai mencapai titik temu rekristalisasi logam, dan biasanya proses pengelasan ini dapat menggunakan bahan tambah atau tidak. Proses pengelasan ini menggunakan sumber panas untuk dapat mencairkan antara logam induk dan logam penambah yang akan di sambung (Syahrani dkk., 2013).

Proses pengelasan bukan hanya untuk memanaskan dan menyambung dua benda logam akan tetapi membuat logam tersebut menjadi utuh dengan memberikan bahan elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mendapatkan hasil kekuatan dan kualitas las sesuai yang kita inginkan (Syahrani dkk., 2013).

#### 2.1.2 Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) merupakan metode las busur listrik terbungkus dimana sumber panas hasil dari busur listrik antara ujung elektroda dengan logam yang akan dilas. Elektroda berfungsi sebagai logam pengisi dan

juga sebagai penghantar arus listrik yang dialirkan ke busur. Kawat ini terbungkus di dalam fluks. Biasanya arus listrik yang dipakai antara 10-500 Ampere dengan potensial 10-50 V. Terjadinya oksidasi dapat dicegah dengan cara bahan elektroda dilindungi dengan fluks atau slag yang ketika proses pengelasan akan ikut mencair, tetapi hubungan berat jenisnya lebih ringan daripada logam yang dicairkan, maka cairan fluks akan mengapung dipermukaan logam, sekaligus terisolasi logam untuk mengoksidasi dengan udara luar ketika membeku (Suharno, 2008).



**Gambar 2.1 Las Busur dengan Elektroda Terbungkus (Suharno, 2008)**

Proses pemindahan logam elektroda terjadi ketika ujung elektroda mulai mencair dan membentuk butir-butir yang dihasilkan oleh arus busur listrik. Apabila arus listrik yang digunakan besar maka butiran logam cair menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar (Santoso, 2006).

Pola pemindahan logam cair sangat berpengaruh terhadap sifat mampu las dari logam. Sifat mampu las akan tinggi apabila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda selama pengelasan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi (Santoso, 2006).

Keuntungan dari proses pengelasan SMAW adalah mempunyai fleksibilitas maksimum dan dapat digunakan pada pengelasan dengan berbagai



macam logam, dengan semua posisi pengelasan. Proses pengelasan SMAW ini diaplikasikan pada perawatan dan perbaikan, industri otomotif pengerjaan konstruksi, dan lain sebagainya (Suharno, 2008).

### 2.1.3 Elektroda Las

#### a. Definisi Elektroda Las

Proses Pengelasan Menggunakan las listrik memerlukan kawat las yang terbuat dari material logam yang dilapisi dari beberapa campuran kimia. Elektroda merupakan bagian ujung (yang kontak langsung dengan benda kerja) rangkaian yang menghantarkan arus listrik sebagai sumber panas (Syahrani dkk., 2013).

Dalam pengelasan dengan elektroda terbungkus *fluks* dapat memegang peran yang penting dengan alasan sebagai berikut :

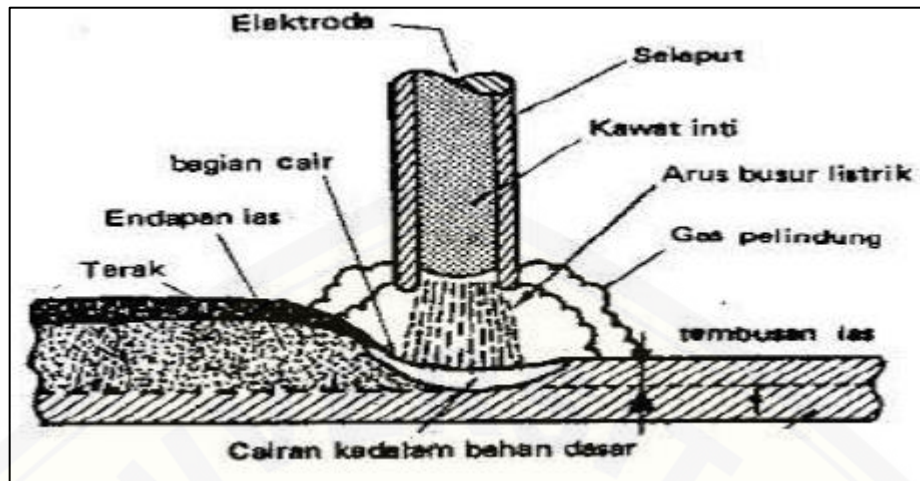
1. Pemantap busur dan menyebabkan pemindahan butir-butir cairan logam lancar.
2. Sumber gas dapat melindungi logam cair dari udara liar yang ada pada ruangan.
3. Menjadi pengatur penggunaan.

*Fluks* terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan rasio perbandingan yang tertentu. Bahan yang digunakan dalam pembuatan *fluks* biasanya dapat di golongkan dalam bahan yang dapat memantapkan busur seperti oksida-oksida logam, karbonat, silikat, fluoride, zat organik, baja paduan, dan serbuk besi (Syahrani dkk., 2013).

Berdasarkan diameter elektroda dapat ditentukan arus dari mesin seperti tabel berikut :

Tabel 2.1 Spesifikasi Arus menurut Diameter Elektroda (Syahrani dkk., 2013)

| Diameter Elektroda |        | Kuat Arus      |
|--------------------|--------|----------------|
| 1/16 inchi         | 1,5 mm | 20-40 Ampere   |
| 5/64 inchi         | 2,0 mm | 30-60 Ampere   |
| 3/32 inchi         | 2,5 mm | 40-80 Ampere   |
| 1/8 inchi          | 3,2 mm | 70-120 Ampere  |
| 5/32 inchi         | 4,0 mm | 120-170 Ampere |
| 3/16 inchi         | 4,8 mm | 140-240 Ampere |



Gambar 2. 2 Elektroda Terbungkus (Syahrani dkk., 2013)

#### b. Pengkodean Elektroda Las

Berdasarkan peraturan American Welding Society (AWS), Spesifikasi kawat las terbungkus untuk mild steel di atur dalam AWS A5.1

Sebagai contoh kawat las tipe E6013, cara membaca adalah :

1. Huruf E menunjukkan Elektroda tersebut digunakan untuk pengelasan SMAW.
2. E60xx dua digit pertama menunjukkan kekuatan tarik dalam ksi (kilopound-square-inch)
3. Exx1x digit ketiga menunjukkan posisi pengelasan.  
Angka 1 untuk semua posisi.  
Angka 2 untuk posisi flat dan horizontal.  
Angka 3 untuk posisi flat.
4. Exxx3 digit keempat menunjukkan jenis selubung, arus dan polaritas.  
Angka 0 berarti elektroda las selulosa natrium tinggi (DC+)  
Angka 1 berarti elektroda las selulosa kalium tinggi (AC atau DC+)  
Angka 2 berarti Elektroda las natrium titania tinggi (AC atau DC ±)  
Angka 3 berarti Elektroda las kalium titania tinggi (AC atau DC ±)  
Angka 4 berarti Elektroda las titania, serbuk besi (AC atau DC ±)  
Angka 5 berarti Elektroda las natrium hydrogen rendah (DC +)

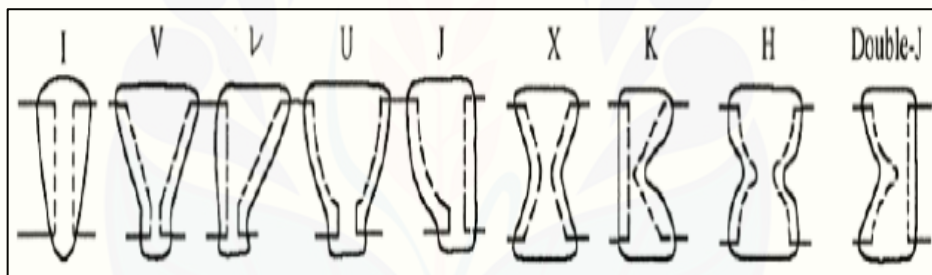
Angka 6 berarti Elektroda las kalium hydrogen rendah (AC atau DC +)

Angka 7 berarti Elektroda las serbuk besi, oksida besi (AC atau DC  $\pm$ )

Angka 8 berarti Elektroda las serbuk besi, hydrogen rendah (AC atau DC+)

#### 2.1.4 Kampuh Las

Kampuh las merupakan Alur pengelasan dinyatakan dengan sepasang ujung logam yang akan disambung padan proses pengelasan. Dalam perancangan bentuk kampuh las ini harus diperhatikan agar pengelasan dapat efisien secara ekonomis dan dapat meminimalisir adanya jumlah endapan tanpa menghasilkan cacat pengelasan. Untuk dapat mengubah jenis kampuh las yang digunakan harus memperhatikan ketebalan dari logam yang akan disambung dan harus sesuai dengan penambahan ketebalannya (Susetyo dkk., 2015).

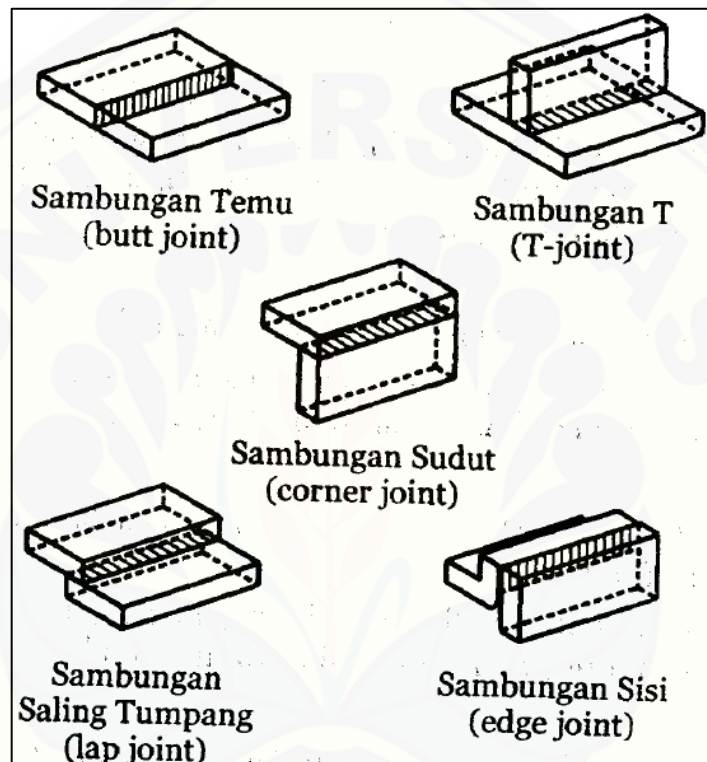


**Gambar 2.3 Bentuk Geometri Kampuh (Susetyo dkk., 2015)**

Kampuh las dapat dipersiapkan dengan proses pemessinan atau proses pemotongan yang lainnya. Metode pemotongan yang dipakai biasanya : pemotongan gas, pemotongan plasma, pemotongan laser, dsb. Yang paling umum menggunakan pemotongan gas atau plasma, jika kampuh yang dipersiapkan menggunakan pemotongan gas atau plasma maka serpihan-serpihan kotoran pada permukaan harus dihilangkan, karena permukaan las akan kasar dan menyebabkan cacat las, maka hal tersebut harus diperbaiki menggunakan penggeridaan atau yang lainnya(Susetyo dkk., 2015).

### 2.1.5 Jenis-Jenis Sambungan Las

Penyambungan pada pengelasan ini sangat penting guna untuk meneruskan beban atau tegangan pada bagian-bagian yang disambung. Di karenakan meneruskan beban, maka sambungan ini juga akan menerima beban. Oleh karenanya, bagian yang lemah akan kekuatan sama dengan bagian yang disambung (Sonawan dan Suratman, 2006).



Gambar 2. 4 Jenis Sambungan Las (Sonawan dan Suratman, 2006)

Proses penyambungan dua logam membutuhkan berbagai jenis sambungan. Pada sambungan inilah akan logam penambah akan ditambahkan, sehingga dua logam yang dilas akan menyatu utuh. Jenis-jenis sambungan yang dimaksud sebagai berikut :

1. Sambungan Temu (*Butt-Joint*)
2. Sambungan T (*Tee Joint*)
3. Sambungan Sudut (*Corner Joint*)
4. Sambungan Saling Tumpang (*Lap Joint*)

## 5. Sambungan Sisi (Edge Joint)

Pemilihan sambungan las yang dipakai tergantung pada ketebelan logam las yang akan disambung. Dalam pengelasan ada yang disebut pelat tipis dan tebal. Dimana dikatakan pelat tipis apabila ketebalan kurang dari 1 inc dan pelat dikatakan tebal apabila lebih dari 1 inc. dalam pemilihan sambungan kemungkinan terdapat lebih dari dua sambungan yang memenuhi kriteria maka akan di pilih kembali dari pelat logam yang ada (Sonawan dan Suratman, 2006).

### 2.1.6 Arus Listrik

Penentuan besarnya arus yang digunakan pada pengelasan tergantung pada diameter elektroda, tebal logam yang akan dilas, jenis elektroda, geometri sambungan, dan posisi pengelasan. Daerah las yang memiliki kapasitas panas yang tinggi diperlukan juga besar arus yang tinggi (Syahrani dkk., 2013).

Arus pengelasan adalah salah satu parameter yang digunakan pada pengelasan yang dapat mempengaruhi penembusan dan kecepatan proses pencairan dari logam induk. Semakin tinggi arus yang digunakan maka semakin besar penembusan dan kecepatan pencairannya. Besar arus pada pengelasan penting untuk diperhatikan karena dapat mempengaruhi hasil las apabila arus yang digunakan terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda sangat sulit untuk mengalir dan busur listrik juga akan tidak stabil. Arus terlalu rendah juga tidak cukup untuk melelehkan logam induk, yang akan menghasilkan bentuk rigi-rigi kecil pada hasil las dan permukaan las akan tidak merata serta penembusan busur kurang dalam. Sebaliknya, ketika arus las yang digunakan terlalu besar akan berakibat pada hasil manik yang melebar, busur las kecil, penetrasi dan penguatan matriks las tinggi (Syahrani dkk., 2013).

### 2.1.7 Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan dari jenis elektroda, diameter inti elektroda, logam yang dilas, geometri sambungan, dan lain-lain. Hubungan antara kecepatan las dengan tegangan las hampir tidak ada dan berbanding lurus dengan arus las karena pengelasan yang cepat dibutuhkan besar arus yang relative tinggi. Apabila

besar arus dan tegangan ditetapkan, sedangkan kecepatan las dinaikkan maka deposit persatuan panjang akan turun tetapi pada kecepatan tertentu kenaikan kecepatan ini dapat mempengaruhi besar penembusan las (Suharno, 2008).

#### 2.1.8 Jarak Busur Pengelasan

Jarak Busur ( $L$ ) yang normal adalah kurang lebih sama dengan diameter ( $D$ ) dari elektroda.

- a. Apabila jarak busur yang sama dengan diameter elektroda maka cairan elektroda akan mengalir dan mengendap dengan baik serta menghasilkan lasan dengan rigi-rigi halus, tembusan las baik, logam induk dengan logam pengisi akan menyatu dengan sempurna.
- b. Apabila jarak busur terlalu besar dalam arti jarak busur lebih dari diameter elektroda maka akan timbul bentuk bola carian elektroda pada beberapa daerah las, rigi-rigi las kasar, tembusan las dangkal.
- c. Apabila jarak busur terlalu pendek akan sukar untuk mengendalikannya dan akan terjadi pembekuan ujung elektroda yang terlalu cepat pada bagian pengelasan, rigi-rigi tidak merata, tembusan las tidak baik (Suratman, 2001).

## 2.2 Baja Karbon

### 2.2.1 Definisi Baja Karbon

Baja Karbon adalah suatu paduan besi dan karbon dengan memiliki sedikit campuran Si, Mn, P, S. Sifat dari baja karbon ini tergantung pada kadar volume karbon yang dipakai, maka dari itu pengelompokan baja ini berdasarkan kadar karbonnya. Baja karbon rendah adalah baja yang mempunyai kadar karbon kurang dari 0,30 %, baja karbon sedang memiliki kandungan karbon sekitar 0,30 % sampai 0,25 % dan baja karbon tinggi berisi karbon antara 0,45 % sampai 1,70 % (Suharno, 2008).

Meningkatnya kekuatan dan kekerasan dipengaruhi oleh tingkat kadar karbon yang semakin tinggi akan tetapi penambahan panjangnya menurun. Klasifikasi baja karbon dapat dilihat pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.2 Klasifikasi Baja Karbon (Vlack, 1981)

| Jenis              | Kadar Karbon (%) | Kekuatan luluh (Kg/mm <sup>2</sup> ) | Kekuatan tarik (Kg/mm <sup>2</sup> ) | Penggunaan                           |
|--------------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Baja Karbon Rendah | 0.08             | 18-28                                | 32-36                                | Pelat tipis                          |
|                    | 0.08-0.12        | 20-29                                | 36-42                                | Batang kawat                         |
|                    | 0.12-0.20        | 22-30                                | 38-48                                |                                      |
| Baja Karbon Sedang | 0.20-0.30        | 24-36                                | 44-55                                | Konstruksi Umum                      |
| Baja Karbon Tinggi | 0.30-0.40        | 30-46                                | 50-60                                | Alat-alat mesin                      |
|                    | 0.40-0.50        | 34-46                                | 58-70                                | Perkakas, Rel, Pegas dan kawat piano |
|                    | 0.50-0.80        | 36-47                                | 65-100                               |                                      |

### 2.2.2 Klasifikasi Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah adalah jenis baja paduan yang mempunyai kadar karbon paling kecil yaitu kurang dari 0,3 %. Baja karbon rendah juga disebut baja lunak sering digunakan pada pengaplikasian dalam industri konstruksi umum, penggolongan baja konstruksi distandarkan menurut nilai kekuatan tariknya (Suharno, 2008). Pengelompokan baja menurut tingkat deoksidasi bisa dilihat pada tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.3 Penggolongan Baja Karbon Rendah menurut Nilai Kekuatan Tariknya dan Aplikasinya (Vlack, 1981)

| <i>AISI or ASTM Number</i>             | <i>Tensile Strength (MPa)</i> | <i>Yield Strength (MPa)</i> | <i>Ductility (%)</i> | <i>Typical Applications</i>                       |
|----------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------------------------------|
| <i>Plain Low-Carbon Steels</i>         |                               |                             |                      |                                                   |
| 1010                                   | 325                           | 180                         | 28                   | <i>Automobile panels, nails, and wire</i>         |
| 1020                                   | 380                           | 205                         | 25                   | <i>Pipe, structural and sheet steel</i>           |
| A36                                    | 400                           | 220                         | 23                   | <i>Structural (Bridges and buildings)</i>         |
| A516 Grade 70                          | 485                           | 260                         | 21                   | <i>Low Temperature Pressure Vessels</i>           |
| <i>High-Strength, Low Alloy Steels</i> |                               |                             |                      |                                                   |
| A440                                   | 435                           | 290                         | 21                   | <i>Structure that are bolted or riveted</i>       |
| A633 Grade E                           | 520                           | 380                         | 23                   | <i>Structure used at low ambient temperatures</i> |
| A656 Grade 1                           | 655                           | 552                         | 15                   | <i>Trucks Frames and rall way cars</i>            |

### 2.2.3 Sifat Mampu Las Baja Karbon Rendah

Mampu dari baja karbon rendah dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kekuatan tarik dan kepekaan terhadap retak las. Nilai kekuatan tarik dari baja karbon rendah dapat dinaikkan dengan mengurangi kadar karbon C dan menambahkan kadar mangan Mn. Ketika rasio perbandingan Mn dan C dinaikkan akan berpengaruh pada turunnya suhu transisi dari kekuatan materialnya.

Baja karbon rendah memiliki nilai kepekaan retak las yang relatif rendah dibandingkan dengan baja karbon lainnya, tetapi pada baja karbon ini mudah terjadi retak las pada pengelasan dengan logam pelat tebal atau didalam baja tersebut terdapat kadar belerang bebas yang tinggi (Suharno, 2008)



Tabel 2.4 Klasifikasi Baja menurut Tingkat deoksidasi (Wirjosumarto dan Okumura, 1994).

| Kelas Baja    | Tingkat deoksidasi | Jenis Baja         | Komposisi Kimia (%) |          |           | Cara Deoksidasi           | Pemisahan      | Rongga halus     |
|---------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------|-----------|---------------------------|----------------|------------------|
|               |                    |                    | C                   | Si       | Mn        |                           |                |                  |
| Baja Rim      | Rendah             | Baja karbon rendah | 30.3                | 30.01    | 0.25-0.45 | Fe-Mn<br>Fe-Mn            | Banyak         | Banyak           |
| Baja semi kil | Sedang             | Baja Karbon        | 31.0                | 0.01-0.1 | 0.45-0.8  | Fe-Si(dalam tungku)       | Sedikit        | Sedikit          |
| Baja kil      | Tinggi             | Baja Karbon Khusus | 31.5                | 30.10    | 30.3      | Fe-Si,<br>Al(dalam ladle) | Sedikit sekali | Hampir tidak ada |

#### 2.2.4 Cara Pengelasan Baja Karbon Rendah

Berbagai macam proses pengelasan dapat digunakan pada baja karbon rendah dan akan memperoleh hasil yang sangat baik apabila proses persiapan maksimal dan syarat-syarat terpenuhi. Kenyataannya baja karbon rendah ini merupakan jenis baja yang mudah dilas. Retak las biasanya terjadi pada pengelasan dengan pelat tebal dan dapat dihindari dengan memperhatikan proses pemanasan mula atau dengan menghindari elektroda hydrogen rendah (Suharno, 2008).

### 2.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah salah satu metode uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui besar kekuatan bahan terhadap gaya tarik yang dilakukan. Dengan menarik suatu bahan sampai patah maka akan didapatkan hasil seberapa kuat bahan tersebut bereaksi jika dikenai gaya tarik dan mengetahui sejauh mana benda tersebut mengalami pertambahan panjang. Penarikan gaya terhadap beban akan berdampak pada perubahan bentuk (deformasi) bahan tersebut. Terjadinya deformasi pada bahan karena adanya pergeseran butiran

kristal logam yang diakibatkan melemahnya gaya elektromagnetik pada setiap atom logam sehingga membuat ikatan terlepas ketika terjadi penarikan oleh gaya maksimum (Nugroho dan Setiawan, 2018).

Rumus tegangan tarik adalah sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Keterangan :

- $\sigma$  = tegangan tarik (kg/mm<sup>2</sup>)  
 F = beban (kg)  
 A<sub>0</sub> = luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Rumus Regangan adalah sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Keterangan :

- L = panjang spesimen setelah patah (mm)  
 L<sub>0</sub> = panjang spesimen mula-mula (mm)

#### 2.4 Metode Taguchi

Menurut Taguchi, yang dinamakan kualitas merupakan suatu proses menghasilkan produk yang memenuhi standard dan mempunyai kaitan dengan umur suatu produk. Kualitas menurut taguchi diklarifikasikan menjadi 2, yaitu Kualitas Rancangan adalah variasi tingkat kualitas yang telah di tentukan. Sedangkan kualitas kecocokan adalah suatu produk dimana baik atau tidaknya sudah ditentukan oleh syarat yang dibuat sebelumnya.

Rekayasa Kualitas merupakan proses pengukuran yang dilakukan selama proses perancangan produk. Metode rekayasa ini diklarifikasikan menjadi 2 macam, yaitu :

##### 1. Rekayasa Kualitas secara *Off-Process*

Rekayasa ini juga berfungsi sebagai pengendalian, dimana perancangan eksperimennya digunakan untuk mengidentifikasi sumber dari setiap variasi

parameter dan menentukan proses yang paling optimal. Metode ini di bagi menjadi 3 tahap, yaitu :

a. Perancangan Konsep

Gagasan yang dilakukan pada tahap ini dengan cara mengamati hasil produk dari proses sebelumnya.

b. Perancangan Parameter

Tahapan ini berguna untuk merancang level dari parameter-parameter yang berpengaruh terhadap hasil produk sehingga dapat memperkecil tingkat persentase kegagalan produk.

c. Perancangan Toleransi

Tahapan ini berfungsi untuk menyeimbangkan biaya dan mutu produk. Tahapan ini dilakukan menggunakan *Orthogonal Array*, fungsi kerugian dan ANOVA (*Analysis Of Varians*).

2. Rekayasa Kualitas secara *On-Process*

Dalam rekayasa ini bertujuan untuk memperkecil biaya produksi, mencegah kerusakan mesin serta meningkatkan kualitas produk secara langsung. Rekayasa ini sering disebut sebagai pengawasan.

2.4.1 Desain Eksperimen

Desain eksperimen merupakan evaluasi terhadap parameter-parameter yang mempengaruhi hasil dari produksi sehingga dapat mengurangi tingkat kegagalan. Tujuan dari desain eksperimen adalah mengurangi tingkat kegagalan pada produk atau proses dari parameter-parameter yang berpengaruh.

Metode taguchi juga dapat diartikan suatu metode pengendalian kualitas yang bertujuan untuk mengurangi biaya produksi dengan proses yang optimal. Filosofi taguchi sendiri dibagi menjadi 3 konsep, diantaranya :

- a. Produk merupakan tujuan akhir dalam proses perancangan.
- b. Produk harus kokoh terhadap faktor yang tidak dapat di kontrol.
- c. Pengukuran kerugian harus secara menyeluruh.

Kelebihan dan kekurangan yang dimiliki dari metode taguchi, diantaranya :

- a. Efektif digunakan pada penelitian yang memiliki banyak variasi.

- b. Hasil produk tetap kokoh terhadap faktor yang tidak terkontrol
- c. Menghasilkan kesimpulan yang optimal dari faktor-faktor yang di kontrol
- d. Sedangkan kekurangan metode taguchi ini adalah struktur perancangan yang kompleks.

Tahapan rancangan pada metode taguchi ada 3, yaitu :

#### A. Tahap Perencanaan

Tahapan ini merupakan tahapan yang terpenting dalam pendekatan menggunakan metode taguchi. Dimana tahapan-tahapannya sebagai berikut :

##### 1. Perumusan Masalah

Penentuan masalah pokok pada penelitian yang akan dilakukan.

##### 2. Tujuan Eksperimen

Penentuan sebab-akibat dari masalah utama yang telah ditentukan.

##### 3. Penentuan Variabel Tak Bebas (Variabel Respon)

Variabel ini adalah Tujuan akhir dari penelitian ini. Dimana variabel respon pada penelitian ini adalah nilai kekuatan dari produk sambungan las baja karbon rendah dan karakteristik kualitas yang dipakai adalah semakin tinggi nilai kekuatan tariknya, itulah yang paling baik atau optimal.

##### 4. Identifikasi Faktor-Faktor (Variabel Bebas)

Penentuan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil kekuatan tarik produk sambungan las baja karbon rendah karena tidak semua faktor berpengaruh terhadapnya.

##### 5. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Nilai yang dapat di kontrol disebut faktor kontrol. Sedangkan faktor gangguan adalah semua faktor-faktor yang tak terduga atau tidak dapat di kontrol.

##### 6. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Tahapan ini untuk menentukan jumlah level dan nilai yang digunakan untuk diteliti. Semakin banyak jumlahnya maka semakin baik hasil yang didapatkan.

### 7. Perhitungan Derajat Kebebasan

Tujuan dari tahap ini adalah untuk menentukan minimum eksperimen yang harus dilakukan dalam menganalisa faktor yang sudah ditentukan. Rumus derajat kebebasan adalah sebagai berikut :

$$DK = c (b - 1)$$

Keterangan :

- DK = Derajat Kebebasan
- b = Banyak level yang diteliti
- c = Banyak faktor yang diteliti

### 8. Desain Faktorial $3^3$

Dalam penelitian apabila mempunyai 3 faktor yaitu faktor A, B, C dengan masing-masing terdapat 3 level angka, maka kita berada dalam desain eksperimen factorial  $3^3$ . Berikut adalah tabel sel-sel kombinasi untuk desain factorial  $3^3$ :

Tabel 2.5 Kombinasi Perlakuan Desain Faktorial  $3^3$  (Sudjana, 1989)

| Faktor A | Faktor B | Faktor C      |               |               |
|----------|----------|---------------|---------------|---------------|
|          |          | 0             | 1             | 2             |
| 0        | 0        | $a_0 b_0 c_0$ | $a_0 b_0 c_1$ | $a_0 b_0 c_2$ |
|          | 1        | $a_0 b_1 c_0$ | $a_0 b_1 c_1$ | $a_0 b_1 c_2$ |
|          | 2        | $a_0 b_2 c_0$ | $a_0 b_2 c_1$ | $a_0 b_2 c_2$ |
| 1        | 0        | $a_1 b_0 c_0$ | $a_1 b_0 c_1$ | $a_1 b_0 c_2$ |
|          | 1        | $a_1 b_1 c_0$ | $a_1 b_1 c_1$ | $a_1 b_1 c_2$ |
|          | 2        | $a_1 b_2 c_0$ | $a_1 b_2 c_1$ | $a_1 b_2 c_2$ |
| 2        | 0        | $a_2 b_0 c_0$ | $a_2 b_0 c_1$ | $a_2 b_0 c_2$ |
|          | 1        | $a_2 b_1 c_0$ | $a_2 b_1 c_1$ | $a_2 b_1 c_2$ |
|          | 2        | $a_2 b_2 c_0$ | $a_2 b_2 c_1$ | $a_2 b_2 c_2$ |

Dalam tabel di atas, sel pertama untuk faktor A, sel kedua untuk Faktor B, sel ketiga untuk faktor C masing-masing mempunyai 3 level. Untuk sel faktor C terdapat  $a_2 b_1 c_0$  menunjukkan interaksi antara level tertinggi faktor A dengan level menengah faktor B dan level rendah faktor C.

### 9. Pemilihan Matriks Orthogonal

Penentuan matriks ini berdasarkan jumlah level, faktor dan jumlah baris dari eksperimen yang akan dilakukan serta berpengaruh terhadap nilai dari derajat kebebasan.

$$L_a(b^c)$$

Keterangan :

- L = Rancangan bujur sangkar latin
- a = Banyaknya baris eksperimen yang akan diteliti
- b = Banyaknya variasi level dari faktor yang diteliti
- c = Banyaknya faktor yang akan diteliti

Tabel 2.6 Matriks Orthogonal L9(3<sup>3</sup>)

| Eksperimen | Faktor |   |   |
|------------|--------|---|---|
|            | A      | B | C |
| 1          | 1      | 1 | 1 |
| 2          | 1      | 2 | 2 |
| 3          | 1      | 3 | 3 |
| 4          | 2      | 1 | 2 |
| 5          | 2      | 2 | 3 |
| 6          | 2      | 3 | 1 |
| 7          | 3      | 1 | 3 |
| 8          | 3      | 2 | 1 |
| 9          | 3      | 3 | 2 |

Pada tabel diatas terdiri dari 3 faktor (A, B dan C) dan 3 level (1, 2 dan 3) dimana kombinasi eksperimennya berjumlah 9 baris.

#### B. Tahap Ekperimen

Pada tahap ini dibagi menjadi 2, yaitu :

##### 1. Jumlah Replikasi

Replikasi merupakan proses pengulangan eksperimen untuk mendapatkan ketelitian yang tinggi dan mengurangi kesalahan dalam eksperimen. Pada

penelitian ini akan dilakukan replikasi atau pengulangan sebanyak 3 kali pada setiap variasinya.

## 2. Randomisasi

Randomisasi merupakan penentuan faktor-faktor yang tidak dapat dikontrol yang dapat mempengaruhi hasil eksperimen. Selain faktor yang dapat dikontrol ada juga faktor-faktor yang tidak dapat dikontrol seperti cuaca, kerusakan alat bantu dll. Hal tersebut akan mempengaruhi hasil dari variabel respon yang sedang diamati. Faktor-faktor yang tidak dapat dikontrol tersebut diperkecil dengan menyebarkan pengaruh selama eksperimen melalui randomisasi urutan percobaan. Hal ini bertujuan untuk :

- a. Meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit percobaan.
- b. Memberikan kesempatan yang sama pada setiap unit percobaan untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama.
- c. Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas (independen) satu sama lain.

Jika pengulangan dengan tujuan yang memungkinkan dilakukannya uji signifikan, maka pengacakan bertujuan untuk memberikan validasi terhadap uji signifikan tersebut dengan menghilangkan sifat bias.

## C. Tahap Analisa

Tahap dimana dilakukan pengambilan dan pengolahan data sesuai dengan eksperimen yang telah dilakukan. Tahapan analisa ini diantaranya :

### 1. Analisis Varian Taguchi

Analisis varian adalah teknik analisa secara statistik dengan menguraikan seluruh variasi yang diteliti sehingga dapat membantu dalam mengidentifikasi kontribusi dari tiap faktor. Analisis varian dua arah adalah data eksperimen yang diperoleh dari dua faktor atau lebih menggunakan matrik orthogonal dengan cara menghitung jumlah kuadrat pada masing-masing kolom.

#### a. Jumlah Kuadrat Faktor A ( $SS_A$ )

$$SS_A = \left[ \sum_{i=1}^{KA} \left( \frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$$

Keterangan :

|          |                                              |
|----------|----------------------------------------------|
| $SS_A$   | = Jumlah Kuadrat Faktor A (Kuat Arus)        |
| $A_i$    | = Level ke i dari faktor A                   |
| $K_A$    | = Jumlah level faktor A                      |
| $n_{Ai}$ | = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor A |
| $T$      | = Jumlah data keseluruhan                    |
| $N$      | = Jumlah total eksperimen                    |

b. Jumlah Kuadrat Faktor B ( $SS_B$ )

$$SS_B = \left[ \sum_{i=1}^{K_B} \left( \frac{B_i^2}{n_{Bi}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$$

Keterangan :

|          |                                                  |
|----------|--------------------------------------------------|
| $SS_B$   | = Jumlah Kuadrat Faktor B (Kecepatan Pengelasan) |
| $B_i$    | = Level ke i dari faktor B                       |
| $K_B$    | = Jumlah level faktor B                          |
| $n_{Bi}$ | = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor B     |
| $N$      | = Jumlah total eksperimen                        |

c. Jumlah Kuadrat Faktor C ( $SS_C$ )

$$SS_C = \left[ \sum_{i=1}^{K_C} \left( \frac{C_i^2}{n_{Ci}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$$

Keterangan :

|          |                                                    |
|----------|----------------------------------------------------|
| $SS_C$   | = Jumlah Kuadrat Faktor C (Jarak Busur Pengelasan) |
| $C_i$    | = Level ke i dari faktor C                         |
| $K_C$    | = Jumlah level faktor C                            |
| $n_{Ci}$ | = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor C       |
| $T$      | = Jumlah data keseluruhan                          |
| $N$      | = Jumlah total eksperimen                          |



## d. Rata-rata Kuadrat Faktor A

$$MS_A = \frac{SS_A}{DK_A}$$

Keterangan :

- $MS_A$  = Rata-rata kuadrat faktor A  
 $SS_A$  = Jumlah kuadrat faktor A  
 $DK_A$  = Derajat Kebebasan faktor A

## e. Rata-rata Kuadrat Faktor B

$$MS_B = \frac{SS_B}{DK_B}$$

Keterangan :

- $MS_B$  = Rata-rata kuadrat faktor B  
 $SS_B$  = Jumlah kuadrat faktor B  
 $DK_B$  = Derajat Kebebasan faktor B

## f. Rata-rata Kuadrat Faktor C

$$MS_C = \frac{SS_C}{DK_C}$$

Keterangan :

- $MS_C$  = Rata-rata kuadrat faktor C  
 $SS_C$  = Jumlah kuadrat faktor C  
 $DK_C$  = Derajat Kebebasan faktor C

g. Jumlah Kuadrat Total ( $SS_T$ )

$$SS_T = \sum_{i=1}^N Y_i^2$$

Keterangan :

- $SS_T$  = Jumlah kuadrat total  
 $N$  = Jumlah total eksperimen  
 $Y$  = Rata-rata data yang diperoleh dari eksperimen ke i

h. Jumlah kuadrat karena rata-rata ( $SS_m$ )

$$SS_m = N \cdot Y'^2$$

Keterangan :

- $SS_m$  = Jumlah kuadrat karena rata-rata  
 $N$  = Jumlah total eksperimen  
 $Y'$  = rata-rata total dari seluruh eksperimen

i. Jumlah Kuadrat Error ( $SS_e$ )

$$SS_{\text{faktor}} = SS_A + SS_B + SS_C$$

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}}$$

Keterangan :

- $SS_{\text{faktor}}$  = Jumlah kuadrat seluruh faktor  
 $SS_e$  = Jumlah kuadrat error

## 2. Uji Hipotesa F

Uji hipotesa F bertujuan untuk membuktikan seberapa besar pengaruh dari parameter yang telah ditentukan. Dimana pada analisis varian tidak dijelaskan. Uji hipotesa F membuktikan dengan cara membandingkan variansi dari tiap faktor dan variansi error.

$$F_{\text{sumber}} = \frac{\text{Variansi karena perlakuan} + \text{Variansi karena error}}{\text{variansi karena error}}$$

Nilai  $F_{\text{sumber}}$  yang diperoleh dibandingkan dengan nilai  $F_{\text{tabel}}$  pada harga  $\alpha$  tertentu dengan derajat kebebasan  $[(k-1).(N-k)]$ . Dimana  $k$  adalah jumlah level dari faktor sedangkan  $N$  adalah jumlah total eksperimen.

$H_0$  : Tidak ada pengaruh dari variasi penelitian yang digunakan ( $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i$ ).

$H_1$  : Ada pengaruh dari variasi penelitian yang digunakan, setidaknya ada  $\mu_i$  yang tidak sama.

Disaat  $F_{\text{hitung}}$  lebih kecil dari  $F_{\text{sumber}}$  maka  $H_0$  diterima (tidak ada pengaruh dari variasi penelitian yang dilakukan). Sedangkan, apabila terjadi kebalikannya maka  $H_0$  ditolak (ada pengaruh dari variasi penelitian yang dilakukan).

### 3. Rasio S/N

Rasio S/N digunakan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kekurangan kontribusi pada suatu respon serta mengetahui faktor level mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen. Tipe karakteristik kualitas pada rasio S/N sebagai berikut :

#### a. Smaller is Better (Semakin kecil Semakin baik)

Memiliki batas nilai 0 dan tidak negatif serta nilai yang mendekati 0 adalah yang terbaik. Contohnya pada kekasaran permukaan, keausan alat dan jumlah cacat.

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right)$$

Keterangan :

$n$  = Jumlah pengulangan atau replikasi

$r$  = Jumlah data

$Y_i$  = Data variabel respon

#### b. Nominal is the best (tertuju pada nilai tertentu)

Nilai yang terbaik diambil dari nilai yang mendekati rentang target. contohnya pada voltage

$$S/N = -10 \log V_e$$

$$S/N = -10 \log \left( \frac{V_m - V_e}{n V_e} \right)$$

#### c. Larger is better (Semakin besar Semakin baik)

Nilai yang diinginkan adalah nilai yang semakin besar. Contohnya pada kekuatan mekanis dari suatu spesimen.

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right)$$

Keterangan :

$n$  = Jumlah pengulangan atau replikasi

$r$  = Jumlah data

$Y_i$  = Data variabel respon

#### 4. Interpretasi hasil eksperimen

Interpretasi yang dilakukan untuk menganalisa hasil eksperimen menggunakan analisis varians. Interpretasi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

##### a. Persen Kontribusi

Porsi tiap-tiap faktor terhadap total variansi yang diteliti yang merupakan fungsi dari jumlah kuadrat (SS) dari masing-masing faktor yang signifikan. Alat ini digunakan untuk mengindikasikan seberapa besar pengaruh dari tiap faktor. Jika persentase kontribusi residual (<15%) maka tidak ada faktor kendali yang terabaikan, sedangkan jika persentase kontribusi residual (>15%) maka terdapat faktor kendali yang berpengaruh terabaikan sehingga residual terlalu besar (Soejanto, 2009).

$$\rho_A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \quad SS'_A = SS_A - MS_e(DK_A)$$

$$\rho_B = \frac{SS'_B}{SS_T} \times 100\% \quad SS'_B = SS_B - MS_e(DK_B)$$

$$\rho_C = \frac{SS'_C}{SS_T} \times 100\% \quad SS'_C = SS_C - MS_e(DK_C)$$

Keterangan :

$\rho$  = Persen kontribusi

$\rho_A$  = Persen kontribusi pada faktor A

$\rho_B$  = Persen kontribusi pada faktor B

$\rho_C$  = Persen kontribusi pada faktor C

$SS_A$  = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor A

$SS_B$  = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor B

$SS_C$  = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor C

$SS'_A$  = Jumlah kuadrat sesungguhnya pada faktor A

$SS'_B$  = Jumlah kuadrat sesungguhnya pada faktor B

$SS'_C$  = Jumlah kuadrat sesungguhnya pada faktor C

b. Interval Kepercayaan (CI)

Pada metode taguchi, Interval kepercayaan dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Interval Kepercayaan untuk Level Faktor ( $CI_1$ )

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;V_e} MS_e}{n}}$$

$$\mu_{ik} = \bar{i}_k \pm CI_1$$

$$\bar{i}_k - CI_1 \leq \mu_{ik} \leq \bar{i}_k + CI_1$$

Keterangan :

|                    |                                             |
|--------------------|---------------------------------------------|
| $F_{\alpha;1;V_e}$ | = Rasio F                                   |
| $\alpha$           | = Resiko                                    |
| $V_1$              | = 1                                         |
| $V_e$              | = Derajat kebebasan error                   |
| $MS_e$             | = Rata-rata kuadrat error                   |
| $n$                | = Jumlah yang diuji pada kondisi tertentu   |
| $\mu_{Ak}$         | = Dugaan rata-rata faktor i pada level ke k |
| $\bar{i}_k$        | = Rata-rata faktor i pada level k           |
| $k$                | = Level faktor (1,2...)                     |

2. Interval Kepercayaan pada Kondisi Perlakuan yang diprediksi ( $CI_2$ )

$$CI_2 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;V_e} MS_e}{n_{eff}}}$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + (\text{Jumlah DK yang berhubungan dengan faktor } i)}$$

Keterangan :

|           |                              |
|-----------|------------------------------|
| $N$       | = Jumlah total eksperimen    |
| $n_{eff}$ | = Jumlah pengulangan efektif |

### 3. Interval Kepercayaan untuk Memprediksi Eksperimen Konfirmasi ( $CI_3$ )

Interval kepercayaan ini digunakan untuk pembuktian dari level faktor optimal yang sudah didapatkan.

$$CI_3 = \sqrt{F_{\alpha;1;V_e} MS_e \left[ \left( \frac{1}{n_{\text{eff}}} \right) + \left( \frac{1}{r} \right) \right]}$$

Keterangan :

- r = Jumlah sampel pada percobaan konfirmasi dan  $r \neq 0$   
 $V_2$  = Derajat bebas varian kesalahan *pooling*

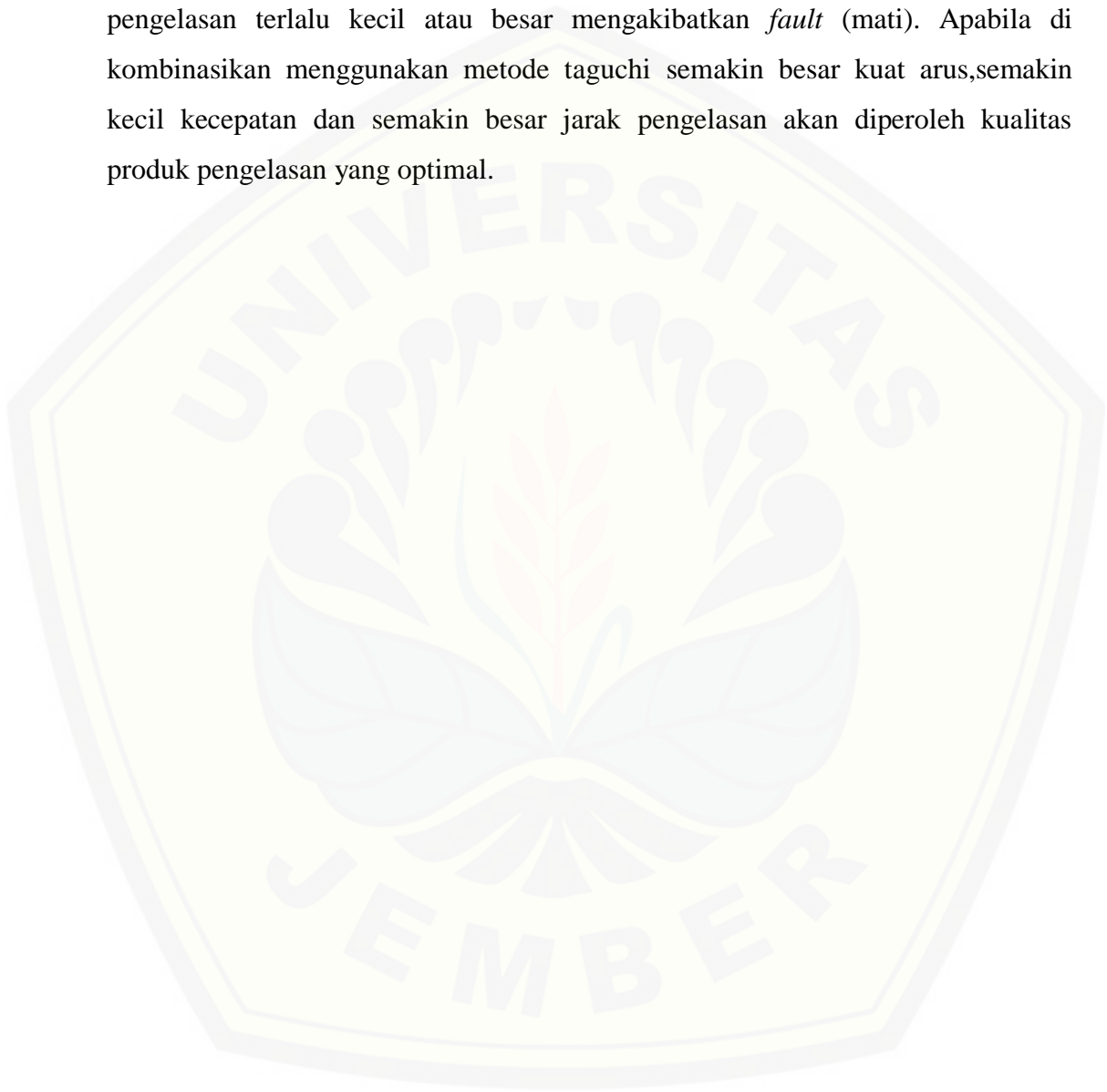
#### 2.4.2 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen ini dilakukan dengan melakukan pengujian menggunakan kombinasi parameter hasil dengan ukuran sampel lebih besar dari eksperimen sebelumnya. Tujuan dari eksperimen konfirmasi untuk melakukan validasi terhadap hasil kesimpulan yang diperoleh dari tahap analisa data. Eksperimen konfirmasi juga bertujuan melakukan pengujian kombinasi faktor dan level yang digunakan pada penelitian. Langkah-langkah eksperimen konfirmasi sebagai berikut :

- Menghasilkan kombinasi yang optimal dari level parameter yang telah diuji dan terjadi interaksi yang signifikan.
- Menentukan level parameter yang terjadi tidak signifikan.
- Menghitung perkiraan rata-rata dan deviasi standart dari level parameter dan interaksi yang signifikan.
- Menentukan ukuran sampel untuk eksperimen konfirmasi.
- Menghitung nilai interval kepercayaan.
- Menghitung interval kepercayaan disekitar estimasi nilai rata-rata.
- Melakukan pengujian.
- Membandingkan hasil rata-rata eksperimen konfirmasi dengan hasil rata-rata eksperimen yang sebenarnya.
- Menentukan kesimpulan.

## 2.5 Hipotesis

Semakin besar kuat arus, semakin kecil kecepatan dan semakin besar jarak pengelasan maka akan menyebabkan luas kampuh terisi penuh apabila luas kampuh terisi penuh maka nilai kekuatan tarik meningkat, tetapi apabila jarak pengelasan terlalu kecil atau besar mengakibatkan *fault* (mati). Apabila di kombinasikan menggunakan metode taguchi semakin besar kuat arus, semakin kecil kecepatan dan semakin besar jarak pengelasan akan diperoleh kualitas produk pengelasan yang optimal.



## **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu metode percobaan untuk menghasilkan dan menganalisis nilai kekuatan tarik yang paling optimal pada produk sambungan las baja karbon rendah dengan variasi parameter kuat arus, kecepatan, dan jarak busur pengelasan menggunakan metode taguchi.

### **3.2 Tempat Penelitian**

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Jember.

### **3.3 Alat dan Bahan Penelitian**

#### **3.3.1 Alat**

- a. Mesin Otomasi Pengelasan
- b. Peralatan Pengelasan
- c. Palu las
- d. Engkol T
- e. Engkol Pass 7/8
- f. Mesin Uji Tarik
- g. Peralatan Safety
- h. Gerinda Tangan
- i. Jangka Sorong Digital
- j. Penggaris

#### **3.3.2 Bahan**

- a. Baja Karbon Rendah AISI 1020
- b. Elektroda E6013



### 3.4 Variabel Penelitian

#### 3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang sudah di tentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah variasi kuat arus, kecepatan pengelasan, dan jarak busur pengelasan yang di gunakan dalam menganalisa nilai kekuatan tarik yang optimal pada produk sambungan las baja karbon rendah. Variabel tersebut ditentukan dari beberapa jurnal, buku, penelitian terdahulu serta survei lapangan.

Pada penelitian sebelumnya (Mohruni dan Kembaren, 2013) dimana menggunakan variasi parameter kuat arus 80-100 Ampere dan kecepatan pengelasan 0.15 cm/s, 0.25 cm/s, 0.35 cm/s serta (Chen dkk., 2019) menggunakan variasi parameter kecepatan pengelasan pada benda kerja pertama 1.55 mm/s dan 1.60 mm/s, pada benda kerja kedua 1.50 mm/s dan 1.94 mm/s. dapat disimpulkan bahwa *trend* nya adalah semakin besar kuat arus semakin besar nilai kekuatan tarik namun kecepatan pengelasan semakin kecil akan semakin besar nilai kekuatan tariknya. Parameter jarak busur pengelasan pada penelitian ini diambil berdasarkan referensi buku (Soejanto, 2009) bahwa hasil pengelasan dikatakan sempurna jika jarak busur yang digunakan mendekati diameter elektroda yang di pakai. Dimana peneliti menggunakan diameter elektroda 2.0 mm. Dari kesimpulan di atas peneliti dapat menentukan variasi parameter sebagai berikut :

Tabel 3.1 Variabel Bebas

| Kode | Variabel Bebas         | Level 1  | Level 2  | Level 3  |
|------|------------------------|----------|----------|----------|
| A    | Kuat Arus              | 70 A     | 75 A     | 80 A     |
| B    | Kecepatan Pengelasan   | 5,5 mm/s | 6,5 mm/s | 7,5 mm/s |
| C    | Jarak Busur Pengelasan | 2,0 mm   | 2,5 mm   | 3,0 mm   |

#### 3.4.2 Variabel Kontrol

Variabel tetap merupakan variabel yang tidak divariasikan oleh peneliti, variabel tetap dalam penelitian ini adalah besar *voltage*, jenis elektroda, material yang digunakan, jenis alur, dan bentuk kampuh.

Tabel 3.2 Variabel Kontrol

| No | Variabel Tetap          | Kondisi                         |
|----|-------------------------|---------------------------------|
| 1  | Voltage                 | 100 Volt                        |
| 2  | Jenis Elektroda         | Tipe E6013                      |
| 3  | Material yang digunakan | Baja Karbon Rendah<br>AISI 1020 |
| 4  | Jenis Alur              | Alur Lurus                      |
| 5  | Bentuk Kampuh           | Kampuh V                        |

### 3.4.3 Variabel Terikat

Pada penelitian ini variabel terikat merupakan tujuan akhir atau output yang di cari. Variabel Terikat yang digunakan pada penelitian ini adalah kekuatan tarik produk sambungan las baja karbon rendah.

## 3.5 Tahapan Penelitian

Tahapan Penelitian pada sambungan las baja karbon rendah :

1. Persiapan bahan yang akan digunakan pada pengelasan seperti material baja karbon rendah, elektroda.
2. Proses pemotongan baja karbon rendah sesuai dimensi awal.
3. Pemberian kampuh V pada pelat baja karbon rendah yang sudah di potong.
4. Persiapan mesin otomasi pengelasan dengan setting parameter yang akan digunakan dan peletakan spesimen baja karbon rendah yang sudah di potong ke meja surface mesin otomasi pengelasan.
5. Dilakukan proses pengelasan pada baja karbon rendah sesuai dengan variasi parameter yang ditetapkan.
6. Dilakukan proses fabrikasi pada spesimen yang sudah di las sesuai dengan standart dimensi spesimen uji tarik ASTM E8.
7. Dilakukan Pengujian tarik pada spesimen yang sudah di fabrikasi sesuai dimensi ASTM E8.
8. Melakukan pengambilan data, metode pengambilan dan kombinasi level sesuai dengan rancangan pada *Orthogonal Array* (OA) Taguchi.

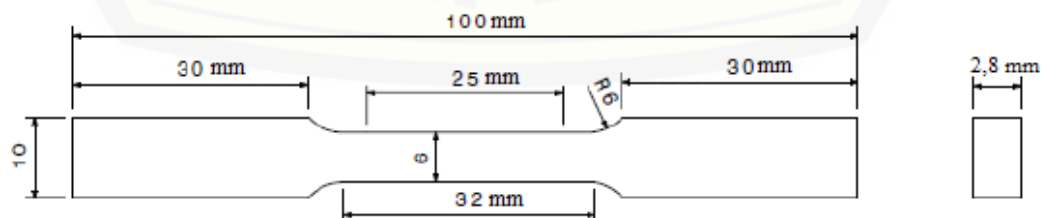
9. Pengambilan data dilakukan dengan 3 kali replikasi pada setiap level variasi.
10. Melakukan Analisis Varian Taguchi guna menghasilkan kombinasi parameter yang optimal.
11. Melakukan Eksperimen Konfirmasi terhadap hasil kombinasi parameter yang optimal.

Tabel 3.3 Kode Sampel

| No | Variabel Bebas |                             |                             |
|----|----------------|-----------------------------|-----------------------------|
|    | Kuat Arus (A)  | Kecepatan Pengelasan (mm/s) | Jarak Busur Pengelasan (mm) |
| 1  | 70             | 5,5                         | 2,0                         |
| 2  | 70             | 6,5                         | 2,5                         |
| 3  | 70             | 7,5                         | 3,0                         |
| 4  | 75             | 5,5                         | 2,5                         |
| 5  | 75             | 6,5                         | 3,0                         |
| 6  | 75             | 7,5                         | 2,0                         |
| 7  | 80             | 5,5                         | 3,0                         |
| 8  | 80             | 6,5                         | 2,0                         |
| 9  | 80             | 7,5                         | 2,5                         |

### 3.6 Pengambilan Data

Data sampel kekuatan tarik diambil dari produk sambungan las karbon baja rendah yang berukuran 100 mm x 10 mm x 2.5 mm menggunakan *Tensile Strenght Machine*. Setiap variasi dilakukan 3 kali replikasi.



Gambar 3.1 Spesimen Uji Tarik ASTM E8 (Firmansyah dan Purwanto, 2018)

Tabel 3.4 Data Hasil Pengujian Tarik Sambungan Las Baja Karbon Rendah

| No                | Variabel Bebas |   |   | Replikasi      | Hasil Uji Tarik | Rata-rata |
|-------------------|----------------|---|---|----------------|-----------------|-----------|
|                   | A              | B | C |                |                 |           |
| 1                 | 1              | 1 | 1 | I<br>II<br>III |                 |           |
| 2                 | 1              | 2 | 2 | I<br>II<br>III |                 |           |
| 3                 | 1              | 3 | 3 | I<br>II<br>III |                 |           |
| 4                 | 2              | 1 | 2 | I<br>II<br>III |                 |           |
| 5                 | 2              | 2 | 3 | I<br>II<br>III |                 |           |
| 6                 | 2              | 3 | 1 | I<br>II<br>III |                 |           |
| 7                 | 3              | 1 | 3 | I<br>II<br>III |                 |           |
| 8                 | 3              | 2 | 1 | I<br>II<br>III |                 |           |
| 9                 | 3              | 3 | 2 | I<br>II<br>III |                 |           |
| Rata – Rata Total |                |   |   |                |                 |           |

### 3.7 Metode Analisis

Penelitian ini menggunakan beberapa metode, diantaranya :

#### 1. Studi Literatur

Penelitian sebelumnya dan riset pendahuluan digunakan sebagai standard produk lolos atau reject. Lolos atau reject-nya ditentukan dari kekuatan tarik yang dihasilkan.

## 2. Pengambilan Data

Data diambil dari orthogonal array L9 ( $3^3$ ) yang sudah dibuat.

## 3. Menganalisa data yang diperoleh menggunakan perhitungan :

- a. Kekuatan Tarik
- b. Rasio S/N
- c. ANOVA (Analysis of Varians)
- d. Uji F

## 4. Interpretasi Hasil Eksperimen

- a. Porsen Kontribusi
- b. Interval Kepercayaan

## 5. Eksperimen Konfirmasi

Tabel 3. 5 Hasil Analisis Varian dan Kontribusi Parameter Berpengaruh

| Sumber Variasi         | Df                                 | SS                                                                                          | MS                         | $F_{hitung}$        |
|------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------|
| Kuat Arus              | $Df_A = kA - 1$                    | $SS_A = \left[ \sum_{i=1}^{KA} \left( \frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$ | $MS_A = \frac{SS_A}{DK_A}$ | $\frac{MS_A}{MS_E}$ |
| Kecepatan Pengelasan   | $Df_B = kB - 1$                    | $SS_B = \left[ \sum_{i=1}^{KB} \left( \frac{B_i^2}{n_{Bi}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$ | $MS_B = \frac{SS_B}{DK_B}$ | $\frac{MS_B}{MS_E}$ |
| Jarak Busur Pengelasan | $Df_C = kC - 1$                    | $SS_C = \left[ \sum_{i=1}^{KC} \left( \frac{C_i^2}{n_{Ci}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$ | $MS_C = \frac{SS_C}{DK_C}$ | $\frac{MS_C}{MS_E}$ |
| Residual               | $Df_E = df_T - df_A - df_B - df_C$ | $SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C$                                                          | $MS_E = \frac{SS_E}{DK_E}$ |                     |
| Total                  | $Df_T = N - 1$                     | $SS_T = \sum_{i=1}^N Y_i^2$                                                                 | $MS_T = \frac{SS_T}{DK_T}$ |                     |

Nilai  $F_{hitung}$  yang lebih besar daripada  $F_{tabel}$  menunjukkan bahwa faktor-faktor yang digunakan memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik

produk sambungan las baja karbon rendah. Dimana pada penelitian ini menggunakan taraf signifikansi  $\alpha$  sebesar 5%. Hipotesa awal ( $H_0$ ) dan Hipotesa alternatif ( $H_1$ ) yang digunakan sebagai uji hipotesis menggunakan distribusi F :

Parameter proses pengelasan baja karbon rendah

a. Parameter Kuat Arus

$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$  (Tidak ada pengaruh dari tiap level kuat arus yang digunakan).

$H_1 : \alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3$  (Ada pengaruh dari tiap level kuat arus yang digunakan, setidaknya ada  $\mu_i$  yang tidak sama).

b. Parameter Kecepatan Pengelasan

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$  (Tidak ada pengaruh dari tiap level kecepatan pengelasan yang digunakan).

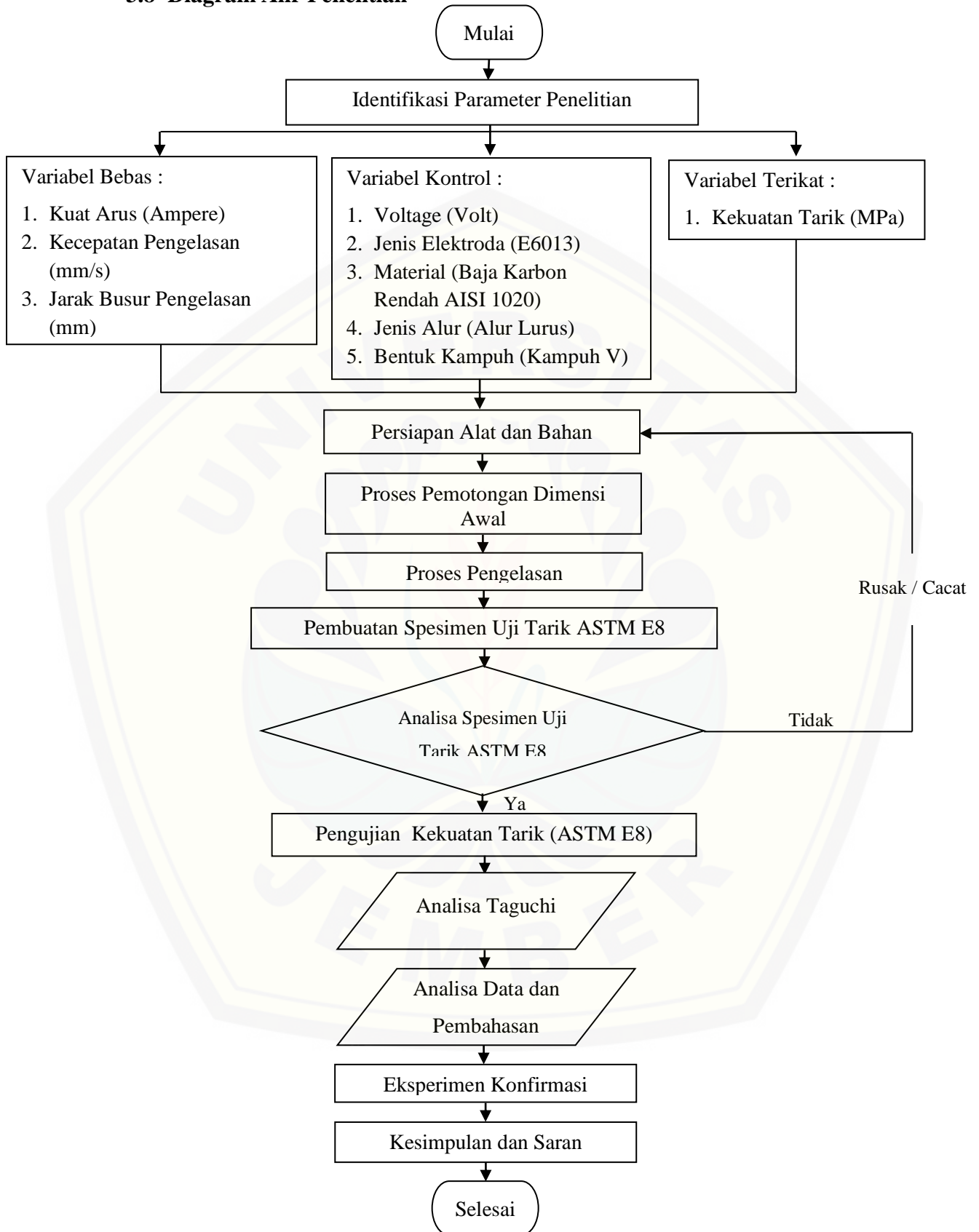
$H_1 : \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$  (Ada pengaruh dari tiap level kecepatan pengelasan yang digunakan, setidaknya ada  $\mu_i$  yang tidak sama).

c. Parameter Jarak Busur Pengelasan

$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3$  (Tidak ada pengaruh dari tiap level jarak busur pengelasan yang digunakan).

$H_1 : \gamma_1 \neq \gamma_2 \neq \gamma_3$  (Ada pengaruh dari tiap level jarak busur pengelasan yang digunakan, setidaknya ada  $\mu_i$  yang tidak sama).

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

### 3.9 Jadwal Penelitian

Tabel 3.6 Jadwal Penelitian

| No | Kegiatan                                   | Januari |   |   |   | Februari |   |   |   | Maret |   |   |   | April |   |   |   | Mei |   |   |   | Juni |   |   |   |
|----|--------------------------------------------|---------|---|---|---|----------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-----|---|---|---|------|---|---|---|
|    |                                            | 1       | 2 | 3 | 4 | 1        | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1   | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 |
| 1  | Studi Literatur                            | ■       | ■ | ■ | ■ |          |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |
| 2  | Pra- riset Otomasi Pengelasan Lurus        | ■       | ■ | ■ | ■ | ■        | ■ | ■ | ■ |       |   |   |   |       |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |
| 3  | Pembuatan proposal                         |         |   |   |   | ■        | ■ | ■ | ■ | ■     | ■ | ■ | ■ |       |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |
| 4  | Pembuatan Sambungan Las Baja Karbon Rendah |         |   |   |   |          |   |   |   |       |   |   |   | ■     | ■ | ■ | ■ |     |   |   |   |      |   |   |   |
| 5  | Pengujian Tarik                            |         |   |   |   |          |   |   |   |       |   |   |   | ■     | ■ | ■ | ■ |     |   |   |   |      |   |   |   |
| 6  | Pengolahan Data                            |         |   |   |   |          |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   | ■   | ■ | ■ | ■ |      |   |   |   |
| 7  | Dokumentasi                                | ■       | ■ | ■ | ■ | ■        | ■ | ■ | ■ | ■     | ■ | ■ | ■ | ■     | ■ | ■ | ■ | ■   | ■ | ■ | ■ |      |   |   |   |
| 8  | Laporan                                    |         |   |   |   |          |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |     |   |   |   | ■    | ■ | ■ | ■ |



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan hasil analisa menggunakan metode taguchi mengenai pengendalian kualitas pada proses otomasi pengelasan lurus SMAW baja karbon rendah adalah :

- a. Kontribusi pengaruh tiap variabel bebas terhadap nilai kekuatan tarik produk sambungan las baja karbon rendah adalah kuat arus sebesar 77,65 %, kecepatan pengelasan sebesar 1,43 % dan jarak busur pengelasan sebesar 19,75 %.
- b. Kombinasi variabel paling optimal yang didapatkan adalah kuat arus level 2 (75 Ampere), kecepatan pengelasan level 2 (6,5 mm/s) dan jarak busur pengelasan level 1 (2,0 mm)

### 5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya sebelum di lakukan proses pengelasan pada sambungan baja karbon lebih baik di lakukan preheating pada elektroda dan plat lebih dahulu untuk menjaga suhu kelembaban agar tidak terjadinya mati atau lengket pada manik las, dan agar menggunakan alat bantu pembentukan spesimen pengujian tarik yang lebih mempunyai tingkat kepresisian yang tinggi.

LAMPIRAN

Lampiran 01 Data Hasil Kekuatan Tarik produk sambungan las baja karbon rendah

| Komb.                  | Variabel Bebas         |                         |                         | Kekuatan Tarik (Mpa) |        |        | Rata-rata |
|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|--------|--------|-----------|
|                        | I <sub>pengelasa</sub> | V <sub>pengelasan</sub> | L <sub>pengelasan</sub> | I                    | II     | III    |           |
| 1                      | 70 A                   | 5,5 mm/s                | 2,0 mm                  | 270.35               | 283.98 | 272.74 | 275.69    |
| 2                      | 70 A                   | 6,5 mm/s                | 2,5 mm                  | 251.79               | 259.32 | 247.48 | 252.86    |
| 3                      | 70 A                   | 7,5 mm/s                | 3,0 mm                  | 210.42               | 215.97 | 208.27 | 211.55    |
| 4                      | 75 A                   | 5,5 mm/s                | 2,5 mm                  | 357.52               | 351.17 | 342.21 | 350.30    |
| 5                      | 75 A                   | 6,5 mm/s                | 3,0 mm                  | 331.2                | 329.58 | 331.8  | 330.86    |
| 6                      | 75 A                   | 7,5 mm/s                | 2,0 mm                  | 377.67               | 373.43 | 374.51 | 375.20    |
| 7                      | 80 A                   | 5,5 mm/s                | 3,0 mm                  | 291.04               | 281.74 | 284.52 | 285.77    |
| 8                      | 80 A                   | 6,5 mm/s                | 2,0 mm                  | 334.65               | 339.11 | 336.85 | 336.87    |
| 9                      | 80 A                   | 7,5 mm/s                | 2,5 mm                  | 284.71               | 289.76 | 293.58 | 289.35    |
| <b>Rata-rata total</b> |                        |                         |                         |                      |        |        | 300.94    |

Lampiran 02 Data S/N Rasio Setiap kombinasi

| Kombinasi      | Hasil Data Kekuatan Tarik Sampel |                  |                  |           |
|----------------|----------------------------------|------------------|------------------|-----------|
|                | Kekuatan Tarik 1                 | Kekuatan Tarik 2 | Kekuatan Tarik 3 | S/N Rasio |
| 1              | 270.35                           | 283.98           | 272.74           | 48.80842  |
| 2              | 251.79                           | 259.32           | 247.48           | 48.057717 |
| 3              | 210.42                           | 215.97           | 208.27           | 46.508397 |
| 4              | 357.52                           | 351.17           | 342.21           | 50.888803 |
| 5              | 331.2                            | 329.58           | 331.8            | 50.392885 |
| 6              | 377.67                           | 373.43           | 374.51           | 51.485334 |
| 7              | 291.04                           | 281.74           | 284.52           | 49.120231 |
| 8              | 334.65                           | 339.11           | 336.85           | 50.549247 |
| 9              | 284.71                           | 289.76           | 293.58           | 49.22847  |
| <b>Maximal</b> |                                  |                  |                  | 51.485334 |
| <b>Minimal</b> |                                  |                  |                  | 46.508397 |

$$S/N = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2}\right)$$

a. Kombinasi 1

$$S/N = -10\log\left\{\frac{1}{3}\left[\left(\frac{1}{270,35^2}\right) + \left(\frac{1}{283,98^2}\right) + \left(\frac{1}{272,74^2}\right)\right]\right\}$$

$$S/N = 48,80842$$

b. Kombinasi 2

$$S/N = -10\log\left\{\frac{1}{3}\left[\left(\frac{1}{251,79^2}\right) + \left(\frac{1}{259,32^2}\right) + \left(\frac{1}{247,48^2}\right)\right]\right\}$$

$$S/N = 48,057717$$

c. Kombinasi 3

$$S/N = -10\log\left\{\frac{1}{3}\left[\left(\frac{1}{210,42^2}\right) + \left(\frac{1}{215,97^2}\right) + \left(\frac{1}{208,97^2}\right)\right]\right\}$$

$$S/N = 46,508397$$

d. Kombinasi 4

$$S/N = -10\log\left\{\frac{1}{3}\left[\left(\frac{1}{357,52^2}\right) + \left(\frac{1}{351,17^2}\right) + \left(\frac{1}{342,21^2}\right)\right]\right\}$$

$$S/N = 50,888803$$

e. Kombinasi 5

$$S/N = -10\log\left\{\frac{1}{3}\left[\left(\frac{1}{331,2^2}\right) + \left(\frac{1}{329,58^2}\right) + \left(\frac{1}{331,8^2}\right)\right]\right\}$$

$$S/N = 50,392885$$

f. Kombinasi 6

$$S/N = -10\log\left\{\frac{1}{3}\left[\left(\frac{1}{377,67^2}\right) + \left(\frac{1}{373,43^2}\right) + \left(\frac{1}{374,51^2}\right)\right]\right\}$$

$$S/N = 51,485334$$

g. Kombinasi 7

$$S/N = -10\log\left\{\frac{1}{3}\left[\left(\frac{1}{291,04^2}\right) + \left(\frac{1}{281,74^2}\right) + \left(\frac{1}{284,52^2}\right)\right]\right\}$$

$$S/N = 49,120231$$

h. Kombinasi 8

$$S/N = -10\log\left\{\frac{1}{3}\left[\left(\frac{1}{334,65^2}\right) + \left(\frac{1}{339,11^2}\right) + \left(\frac{1}{336,85^2}\right)\right]\right\}$$

$$S/N = 50.549247$$

i. Kombinasi 9

$$S/N = -10 \log \left\{ \frac{1}{3} \left[ \left( \frac{1}{284.71^2} \right) + \left( \frac{1}{289.76^2} \right) + \left( \frac{1}{293.58^2} \right) \right] \right\}$$

$$S/N = 49.22847$$

### Lampiran 03 Kombinasi Variasi Optimal

| Simbol                 | Variabel Bebas         | Rata-rata |         |         | Selisih |
|------------------------|------------------------|-----------|---------|---------|---------|
|                        |                        | Level 1   | Level 2 | Level 3 |         |
| A                      | Kuat Arus              | 246,70    | 352,12  | 303,99  | 105,42  |
| B                      | Kecepatan Pengelasan   | 303,91    | 306,86  | 292,03  | 14,83   |
| C                      | Jarak Busur Pengelasan | 329,25    | 297,50  | 276,06  | 53,19   |
| <b>Rata-rata Total</b> |                        | 300,925   |         |         |         |

### Lampiran 04 Kombinasi Variasi Optimal Versi MiniTab

| Response Table for Means |           |                      |                        |
|--------------------------|-----------|----------------------|------------------------|
| Level                    | Kuat Arus | Kecepatan Pengelasan | Jarak Busur Pengelasan |
| 1                        | 246.7     | 303.9                | 329.3                  |
| 2                        | 352.1     | 306.9                | 297.5                  |
| 3                        | 304.0     | 292.0                | 276.1                  |
| Delta                    | 105.4     | 14.8                 | 53.2                   |
| Rank                     | 1         | 3                    | 2                      |

### Lampiran 05 Hasil Perhitungan ANOVA Produk Sambungan Las Baja Karbon Rendah

| Sumber Variasi         | DK | SS       | MS       | F <sub>Hitung</sub> | P <sub>Value</sub> |
|------------------------|----|----------|----------|---------------------|--------------------|
| Kuat Arus              | 2  | 16711,7  | 8355,86  | 269,6               | 0,004              |
| Kecepatan Pengelasan   | 2  | 369,78   | 184,89   | 5,97                | 0,144              |
| Jarak Busur Pengelasan | 2  | 4297,57  | 2148,785 | 69,33               | 0,014              |
| Residual               | 2  | 62,00    | 30,99    |                     |                    |
| Total                  | 8  | 21441,08 |          |                     |                    |

**Lampiran 06 Hasil Perhitungan ANOVA Produk Sambungan Las Baja Karbon Rendah Versi MiniTab**

| Analysis of Variance for Means |    |         |         |         |        |       |
|--------------------------------|----|---------|---------|---------|--------|-------|
| Source                         | DF | Seq SS  | Adj SS  | Adj MS  | F      | P     |
| Kuat Arus                      | 2  | 16711.7 | 16711.7 | 8355.87 | 269.60 | 0.004 |
| Kecepatan Pengelasan           | 2  | 369.8   | 369.8   | 184.89  | 5.97   | 0.144 |
| Jarak Busur Pengelasan         | 2  | 4297.6  | 4297.6  | 2148.79 | 69.33  | 0.014 |
| Residual Error                 | 2  | 62.0    | 62.0    | 30.99   |        |       |
| Total                          | 8  | 21441.1 |         |         |        |       |

**Lampiran 07 Persen Kontribusi Variabel Bebas Produk Sambungan Las Baja Karbon Rendah**

| Simbol | Faktor Kendali                                     | SS'      | $\rho$  |
|--------|----------------------------------------------------|----------|---------|
| A      | Kuat Arus ( $I_{\text{pengelasan}}$ )              | 16649,72 | 77,65 % |
| B      | Kecepatan Pengelasan ( $V_{\text{pengelasan}}$ )   | 307,80   | 1,43 %  |
| C      | Jarak Busur Pengelasan ( $L_{\text{pengelasan}}$ ) | 4235,59  | 19,75 % |
| R      | Residual                                           |          | 1,17 %  |
| Total  |                                                    |          | 100%    |

Lampiran 08 Tabel F statistik  $\alpha = 0,05$

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

| df untuk penyebut (N2) | df untuk pembilang (N1) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                        | 1                       | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    |
| 1                      | 161                     | 199   | 216   | 225   | 230   | 234   | 237   | 239   | 241   | 242   | 243   | 244   | 245   | 245   | 246   |
| 2                      | 18.51                   | 19.00 | 19.16 | 19.25 | 19.30 | 19.33 | 19.35 | 19.37 | 19.38 | 19.40 | 19.40 | 19.41 | 19.42 | 19.42 | 19.43 |
| 3                      | 10.13                   | 9.55  | 9.28  | 9.12  | 9.01  | 8.94  | 8.89  | 8.85  | 8.81  | 8.79  | 8.76  | 8.74  | 8.73  | 8.71  | 8.70  |
| 4                      | 7.71                    | 6.94  | 6.59  | 6.39  | 6.26  | 6.16  | 6.09  | 6.04  | 6.00  | 5.96  | 5.94  | 5.91  | 5.89  | 5.87  | 5.86  |
| 5                      | 6.61                    | 5.79  | 5.41  | 5.19  | 5.05  | 4.95  | 4.88  | 4.82  | 4.77  | 4.74  | 4.70  | 4.68  | 4.66  | 4.64  | 4.62  |
| 6                      | 5.99                    | 5.14  | 4.76  | 4.53  | 4.39  | 4.28  | 4.21  | 4.15  | 4.10  | 4.06  | 4.03  | 4.00  | 3.98  | 3.96  | 3.94  |
| 7                      | 5.59                    | 4.74  | 4.35  | 4.12  | 3.97  | 3.87  | 3.79  | 3.73  | 3.68  | 3.64  | 3.60  | 3.57  | 3.55  | 3.53  | 3.51  |
| 8                      | 5.32                    | 4.46  | 4.07  | 3.84  | 3.69  | 3.58  | 3.50  | 3.44  | 3.39  | 3.35  | 3.31  | 3.28  | 3.26  | 3.24  | 3.22  |
| 9                      | 5.12                    | 4.26  | 3.86  | 3.63  | 3.48  | 3.37  | 3.29  | 3.23  | 3.18  | 3.14  | 3.10  | 3.07  | 3.05  | 3.03  | 3.01  |
| 10                     | 4.96                    | 4.10  | 3.71  | 3.48  | 3.33  | 3.22  | 3.14  | 3.07  | 3.02  | 2.98  | 2.94  | 2.91  | 2.89  | 2.86  | 2.85  |
| 11                     | 4.84                    | 3.98  | 3.59  | 3.36  | 3.20  | 3.09  | 3.01  | 2.95  | 2.90  | 2.85  | 2.82  | 2.79  | 2.76  | 2.74  | 2.72  |
| 12                     | 4.75                    | 3.89  | 3.49  | 3.26  | 3.11  | 3.00  | 2.91  | 2.85  | 2.80  | 2.75  | 2.72  | 2.69  | 2.66  | 2.64  | 2.62  |
| 13                     | 4.67                    | 3.81  | 3.41  | 3.18  | 3.03  | 2.92  | 2.83  | 2.77  | 2.71  | 2.67  | 2.63  | 2.60  | 2.58  | 2.55  | 2.53  |
| 14                     | 4.60                    | 3.74  | 3.34  | 3.11  | 2.96  | 2.85  | 2.76  | 2.70  | 2.65  | 2.60  | 2.57  | 2.53  | 2.51  | 2.48  | 2.46  |
| 15                     | 4.54                    | 3.68  | 3.29  | 3.06  | 2.90  | 2.79  | 2.71  | 2.64  | 2.59  | 2.54  | 2.51  | 2.48  | 2.45  | 2.42  | 2.40  |
| 16                     | 4.49                    | 3.63  | 3.24  | 3.01  | 2.85  | 2.74  | 2.66  | 2.59  | 2.54  | 2.49  | 2.46  | 2.42  | 2.40  | 2.37  | 2.35  |
| 17                     | 4.45                    | 3.59  | 3.20  | 2.96  | 2.81  | 2.70  | 2.61  | 2.55  | 2.49  | 2.45  | 2.41  | 2.38  | 2.35  | 2.33  | 2.31  |
| 18                     | 4.41                    | 3.55  | 3.16  | 2.93  | 2.77  | 2.66  | 2.58  | 2.51  | 2.46  | 2.41  | 2.37  | 2.34  | 2.31  | 2.29  | 2.27  |
| 19                     | 4.38                    | 3.52  | 3.13  | 2.90  | 2.74  | 2.63  | 2.54  | 2.48  | 2.42  | 2.38  | 2.34  | 2.31  | 2.28  | 2.26  | 2.23  |
| 20                     | 4.35                    | 3.49  | 3.10  | 2.87  | 2.71  | 2.60  | 2.51  | 2.45  | 2.39  | 2.35  | 2.31  | 2.28  | 2.25  | 2.22  | 2.20  |
| 21                     | 4.32                    | 3.47  | 3.07  | 2.84  | 2.68  | 2.57  | 2.49  | 2.42  | 2.37  | 2.32  | 2.28  | 2.25  | 2.22  | 2.20  | 2.18  |
| 22                     | 4.30                    | 3.44  | 3.05  | 2.82  | 2.66  | 2.55  | 2.46  | 2.40  | 2.34  | 2.30  | 2.26  | 2.23  | 2.20  | 2.17  | 2.15  |
| 23                     | 4.28                    | 3.42  | 3.03  | 2.80  | 2.64  | 2.53  | 2.44  | 2.37  | 2.32  | 2.27  | 2.24  | 2.20  | 2.18  | 2.15  | 2.13  |
| 24                     | 4.26                    | 3.40  | 3.01  | 2.78  | 2.62  | 2.51  | 2.42  | 2.36  | 2.30  | 2.25  | 2.22  | 2.18  | 2.15  | 2.13  | 2.11  |
| 25                     | 4.24                    | 3.39  | 2.99  | 2.76  | 2.60  | 2.49  | 2.40  | 2.34  | 2.28  | 2.24  | 2.20  | 2.16  | 2.14  | 2.11  | 2.09  |
| 26                     | 4.23                    | 3.37  | 2.98  | 2.74  | 2.59  | 2.47  | 2.39  | 2.32  | 2.27  | 2.22  | 2.18  | 2.15  | 2.12  | 2.09  | 2.07  |
| 27                     | 4.21                    | 3.35  | 2.96  | 2.73  | 2.57  | 2.46  | 2.37  | 2.31  | 2.25  | 2.20  | 2.17  | 2.13  | 2.10  | 2.08  | 2.06  |
| 28                     | 4.20                    | 3.34  | 2.95  | 2.71  | 2.56  | 2.45  | 2.36  | 2.29  | 2.24  | 2.19  | 2.15  | 2.12  | 2.09  | 2.06  | 2.04  |
| 29                     | 4.18                    | 3.33  | 2.93  | 2.70  | 2.55  | 2.43  | 2.35  | 2.28  | 2.22  | 2.18  | 2.14  | 2.10  | 2.08  | 2.05  | 2.03  |
| 30                     | 4.17                    | 3.32  | 2.92  | 2.69  | 2.53  | 2.42  | 2.33  | 2.27  | 2.21  | 2.16  | 2.13  | 2.09  | 2.06  | 2.04  | 2.01  |
| 31                     | 4.16                    | 3.30  | 2.91  | 2.68  | 2.52  | 2.41  | 2.32  | 2.25  | 2.20  | 2.15  | 2.11  | 2.08  | 2.05  | 2.03  | 2.00  |
| 32                     | 4.15                    | 3.29  | 2.90  | 2.67  | 2.51  | 2.40  | 2.31  | 2.24  | 2.19  | 2.14  | 2.10  | 2.07  | 2.04  | 2.01  | 1.99  |
| 33                     | 4.14                    | 3.28  | 2.89  | 2.66  | 2.50  | 2.39  | 2.30  | 2.23  | 2.18  | 2.13  | 2.09  | 2.06  | 2.03  | 2.00  | 1.98  |
| 34                     | 4.13                    | 3.28  | 2.88  | 2.65  | 2.49  | 2.38  | 2.29  | 2.23  | 2.17  | 2.12  | 2.08  | 2.05  | 2.02  | 1.99  | 1.97  |
| 35                     | 4.12                    | 3.27  | 2.87  | 2.64  | 2.49  | 2.37  | 2.29  | 2.22  | 2.16  | 2.11  | 2.07  | 2.04  | 2.01  | 1.99  | 1.96  |
| 36                     | 4.11                    | 3.26  | 2.87  | 2.63  | 2.48  | 2.36  | 2.28  | 2.21  | 2.15  | 2.11  | 2.07  | 2.03  | 2.00  | 1.98  | 1.95  |
| 37                     | 4.11                    | 3.25  | 2.86  | 2.63  | 2.47  | 2.36  | 2.27  | 2.20  | 2.14  | 2.10  | 2.06  | 2.02  | 2.00  | 1.97  | 1.95  |
| 38                     | 4.10                    | 3.24  | 2.85  | 2.62  | 2.46  | 2.35  | 2.26  | 2.19  | 2.14  | 2.09  | 2.05  | 2.02  | 1.99  | 1.96  | 1.94  |
| 39                     | 4.09                    | 3.24  | 2.85  | 2.61  | 2.46  | 2.34  | 2.26  | 2.19  | 2.13  | 2.08  | 2.04  | 2.01  | 1.98  | 1.95  | 1.93  |
| 40                     | 4.08                    | 3.23  | 2.84  | 2.61  | 2.45  | 2.34  | 2.25  | 2.18  | 2.12  | 2.08  | 2.04  | 2.00  | 1.97  | 1.95  | 1.92  |
| 41                     | 4.08                    | 3.23  | 2.83  | 2.60  | 2.44  | 2.33  | 2.24  | 2.17  | 2.12  | 2.07  | 2.03  | 2.00  | 1.97  | 1.94  | 1.92  |
| 42                     | 4.07                    | 3.22  | 2.83  | 2.59  | 2.44  | 2.32  | 2.24  | 2.17  | 2.11  | 2.06  | 2.03  | 1.99  | 1.96  | 1.94  | 1.91  |
| 43                     | 4.07                    | 3.21  | 2.82  | 2.59  | 2.43  | 2.32  | 2.23  | 2.16  | 2.11  | 2.06  | 2.02  | 1.99  | 1.96  | 1.93  | 1.91  |
| 44                     | 4.06                    | 3.21  | 2.82  | 2.58  | 2.43  | 2.31  | 2.23  | 2.16  | 2.10  | 2.05  | 2.01  | 1.98  | 1.95  | 1.92  | 1.90  |
| 45                     | 4.06                    | 3.20  | 2.81  | 2.58  | 2.42  | 2.31  | 2.22  | 2.15  | 2.10  | 2.05  | 2.01  | 1.97  | 1.94  | 1.92  | 1.89  |

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

| df untuk penyebut (N2) | df untuk pembilang (N1) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                        | 1                       | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| 46                     | 4.05                    | 3.20 | 2.81 | 2.57 | 2.42 | 2.30 | 2.22 | 2.15 | 2.09 | 2.04 | 2.00 | 1.97 | 1.94 | 1.91 | 1.89 |
| 47                     | 4.05                    | 3.20 | 2.80 | 2.57 | 2.41 | 2.30 | 2.21 | 2.14 | 2.09 | 2.04 | 2.00 | 1.96 | 1.93 | 1.91 | 1.88 |
| 48                     | 4.04                    | 3.19 | 2.80 | 2.57 | 2.41 | 2.29 | 2.21 | 2.14 | 2.08 | 2.03 | 1.99 | 1.96 | 1.93 | 1.90 | 1.88 |
| 49                     | 4.04                    | 3.19 | 2.79 | 2.56 | 2.40 | 2.29 | 2.20 | 2.13 | 2.08 | 2.03 | 1.99 | 1.96 | 1.93 | 1.90 | 1.88 |
| 50                     | 4.03                    | 3.18 | 2.79 | 2.56 | 2.40 | 2.29 | 2.20 | 2.13 | 2.07 | 2.03 | 1.99 | 1.95 | 1.92 | 1.89 | 1.87 |
| 51                     | 4.03                    | 3.18 | 2.79 | 2.55 | 2.40 | 2.28 | 2.20 | 2.13 | 2.07 | 2.02 | 1.98 | 1.95 | 1.92 | 1.89 | 1.87 |
| 52                     | 4.03                    | 3.18 | 2.78 | 2.55 | 2.39 | 2.28 | 2.19 | 2.12 | 2.07 | 2.02 | 1.98 | 1.94 | 1.91 | 1.89 | 1.86 |
| 53                     | 4.02                    | 3.17 | 2.78 | 2.55 | 2.39 | 2.28 | 2.19 | 2.12 | 2.06 | 2.01 | 1.97 | 1.94 | 1.91 | 1.88 | 1.86 |
| 54                     | 4.02                    | 3.17 | 2.78 | 2.54 | 2.39 | 2.27 | 2.18 | 2.12 | 2.06 | 2.01 | 1.97 | 1.94 | 1.91 | 1.88 | 1.86 |
| 55                     | 4.02                    | 3.16 | 2.77 | 2.54 | 2.38 | 2.27 | 2.18 | 2.11 | 2.06 | 2.01 | 1.97 | 1.93 | 1.90 | 1.88 | 1.85 |
| 56                     | 4.01                    | 3.16 | 2.77 | 2.54 | 2.38 | 2.27 | 2.18 | 2.11 | 2.05 | 2.00 | 1.96 | 1.93 | 1.90 | 1.87 | 1.85 |
| 57                     | 4.01                    | 3.16 | 2.77 | 2.53 | 2.38 | 2.26 | 2.18 | 2.11 | 2.05 | 2.00 | 1.96 | 1.93 | 1.90 | 1.87 | 1.85 |
| 58                     | 4.01                    | 3.16 | 2.76 | 2.53 | 2.37 | 2.26 | 2.17 | 2.10 | 2.05 | 2.00 | 1.96 | 1.92 | 1.89 | 1.87 | 1.84 |
| 59                     | 4.00                    | 3.15 | 2.76 | 2.53 | 2.37 | 2.26 | 2.17 | 2.10 | 2.04 | 2.00 | 1.96 | 1.92 | 1.89 | 1.86 | 1.84 |
| 60                     | 4.00                    | 3.15 | 2.76 | 2.53 | 2.37 | 2.25 | 2.17 | 2.10 | 2.04 | 1.99 | 1.95 | 1.92 | 1.89 | 1.86 | 1.84 |
| 61                     | 4.00                    | 3.15 | 2.76 | 2.52 | 2.37 | 2.25 | 2.16 | 2.09 | 2.04 | 1.99 | 1.95 | 1.91 | 1.88 | 1.86 | 1.83 |
| 62                     | 4.00                    | 3.15 | 2.75 | 2.52 | 2.36 | 2.25 | 2.16 | 2.09 | 2.03 | 1.99 | 1.95 | 1.91 | 1.88 | 1.85 | 1.83 |
| 63                     | 3.99                    | 3.14 | 2.75 | 2.52 | 2.36 | 2.25 | 2.16 | 2.09 | 2.03 | 1.98 | 1.94 | 1.91 | 1.88 | 1.85 | 1.83 |
| 64                     | 3.99                    | 3.14 | 2.75 | 2.52 | 2.36 | 2.24 | 2.16 | 2.09 | 2.03 | 1.98 | 1.94 | 1.91 | 1.88 | 1.85 | 1.83 |
| 65                     | 3.99                    | 3.14 | 2.75 | 2.51 | 2.36 | 2.24 | 2.15 | 2.08 | 2.03 | 1.98 | 1.94 | 1.90 | 1.87 | 1.85 | 1.82 |
| 66                     | 3.99                    | 3.14 | 2.74 | 2.51 | 2.35 | 2.24 | 2.15 | 2.08 | 2.03 | 1.98 | 1.94 | 1.90 | 1.87 | 1.84 | 1.82 |
| 67                     | 3.98                    | 3.13 | 2.74 | 2.51 | 2.35 | 2.24 | 2.15 | 2.08 | 2.02 | 1.98 | 1.93 | 1.90 | 1.87 | 1.84 | 1.82 |
| 68                     | 3.98                    | 3.13 | 2.74 | 2.51 | 2.35 | 2.24 | 2.15 | 2.08 | 2.02 | 1.97 | 1.93 | 1.90 | 1.87 | 1.84 | 1.82 |
| 69                     | 3.98                    | 3.13 | 2.74 | 2.50 | 2.35 | 2.23 | 2.15 | 2.08 | 2.02 | 1.97 | 1.93 | 1.90 | 1.86 | 1.84 | 1.81 |
| 70                     | 3.98                    | 3.13 | 2.74 | 2.50 | 2.35 | 2.23 | 2.14 | 2.07 | 2.02 | 1.97 | 1.93 | 1.89 | 1.86 | 1.84 | 1.81 |
| 71                     | 3.98                    | 3.13 | 2.73 | 2.50 | 2.34 | 2.23 | 2.14 | 2.07 | 2.01 | 1.97 | 1.93 | 1.89 | 1.86 | 1.83 | 1.81 |
| 72                     | 3.97                    | 3.12 | 2.73 | 2.50 | 2.34 | 2.23 | 2.14 | 2.07 | 2.01 | 1.96 | 1.92 | 1.89 | 1.86 | 1.83 | 1.81 |
| 73                     | 3.97                    | 3.12 | 2.73 | 2.50 | 2.34 | 2.23 | 2.14 | 2.07 | 2.01 | 1.96 | 1.92 | 1.89 | 1.86 | 1.83 | 1.81 |
| 74                     | 3.97                    | 3.12 | 2.73 | 2.50 | 2.34 | 2.22 | 2.14 | 2.07 | 2.01 | 1.96 | 1.92 | 1.89 | 1.85 | 1.83 | 1.80 |
| 75                     | 3.97                    | 3.12 | 2.73 | 2.49 | 2.34 | 2.22 | 2.13 | 2.06 | 2.01 | 1.96 | 1.92 | 1.88 | 1.85 | 1.83 | 1.80 |
| 76                     | 3.97                    | 3.12 | 2.72 | 2.49 | 2.33 | 2.22 | 2.13 | 2.06 | 2.01 | 1.96 | 1.92 | 1.88 | 1.85 | 1.82 | 1.80 |
| 77                     | 3.97                    | 3.12 | 2.72 | 2.49 | 2.33 | 2.22 | 2.13 | 2.06 | 2.00 | 1.96 | 1.92 | 1.88 | 1.85 | 1.82 | 1.80 |
| 78                     | 3.96                    | 3.11 | 2.72 | 2.49 | 2.33 | 2.22 | 2.13 | 2.06 | 2.00 | 1.95 | 1.91 | 1.88 | 1.85 | 1.82 | 1.80 |
| 79                     | 3.96                    | 3.11 | 2.72 | 2.49 | 2.33 | 2.22 | 2.13 | 2.06 | 2.00 | 1.95 | 1.91 | 1.88 | 1.85 | 1.82 | 1.79 |
| 80                     | 3.96                    | 3.11 | 2.72 | 2.49 | 2.33 | 2.21 | 2.13 | 2.06 | 2.00 | 1.95 | 1.91 | 1.88 | 1.84 | 1.82 | 1.79 |
| 81                     | 3.96                    | 3.11 | 2.72 | 2.48 | 2.33 | 2.21 | 2.12 | 2.05 | 2.00 | 1.95 | 1.91 | 1.87 | 1.84 | 1.82 | 1.79 |
| 82                     | 3.96                    | 3.11 | 2.72 | 2.48 | 2.33 | 2.21 | 2.12 | 2.05 | 2.00 | 1.95 | 1.91 | 1.87 | 1.84 | 1.81 | 1.79 |
| 83                     | 3.96                    | 3.11 | 2.71 | 2.48 | 2.32 | 2.21 | 2.12 | 2.05 | 1.99 | 1.95 | 1.91 | 1.87 | 1.84 | 1.81 | 1.79 |
| 84                     | 3.95                    | 3.11 | 2.71 | 2.48 | 2.32 | 2.21 | 2.12 | 2.05 | 1.99 | 1.95 | 1.90 | 1.87 | 1.84 | 1.81 | 1.79 |
| 85                     | 3.95                    | 3.10 | 2.71 | 2.48 | 2.32 | 2.21 | 2.12 | 2.05 | 1.99 | 1.94 | 1.90 | 1.87 | 1.84 | 1.81 | 1.79 |
| 86                     | 3.95                    | 3.10 | 2.71 | 2.48 | 2.32 | 2.21 | 2.12 | 2.05 | 1.99 | 1.94 | 1.90 | 1.87 | 1.84 | 1.81 | 1.78 |
| 87                     | 3.95                    | 3.10 | 2.71 | 2.48 | 2.32 | 2.20 | 2.12 | 2.05 | 1.99 | 1.94 | 1.90 | 1.87 | 1.83 | 1.81 | 1.78 |
| 88                     | 3.95                    | 3.10 | 2.71 | 2.48 | 2.32 | 2.20 | 2.12 | 2.05 | 1.99 | 1.94 | 1.90 | 1.86 | 1.83 | 1.81 | 1.78 |
| 89                     | 3.95                    | 3.10 | 2.71 | 2.47 | 2.32 | 2.20 | 2.11 | 2.04 | 1.99 | 1.94 | 1.90 | 1.86 | 1.83 | 1.80 | 1.78 |
| 90                     | 3.95                    | 3.10 | 2.71 | 2.47 | 2.32 | 2.20 | 2.11 | 2.04 | 1.99 | 1.94 | 1.90 | 1.86 | 1.83 | 1.80 | 1.78 |

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

| df untuk penyebut (N2) | df untuk pembilang (N1) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                        | 1                       | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| 91                     | 3.95                    | 3.10 | 2.70 | 2.47 | 2.31 | 2.20 | 2.11 | 2.04 | 1.98 | 1.94 | 1.90 | 1.86 | 1.83 | 1.80 | 1.78 |
| 92                     | 3.94                    | 3.10 | 2.70 | 2.47 | 2.31 | 2.20 | 2.11 | 2.04 | 1.98 | 1.94 | 1.89 | 1.86 | 1.83 | 1.80 | 1.78 |
| 93                     | 3.94                    | 3.09 | 2.70 | 2.47 | 2.31 | 2.20 | 2.11 | 2.04 | 1.98 | 1.93 | 1.89 | 1.86 | 1.83 | 1.80 | 1.78 |
| 94                     | 3.94                    | 3.09 | 2.70 | 2.47 | 2.31 | 2.20 | 2.11 | 2.04 | 1.98 | 1.93 | 1.89 | 1.86 | 1.83 | 1.80 | 1.77 |
| 95                     | 3.94                    | 3.09 | 2.70 | 2.47 | 2.31 | 2.20 | 2.11 | 2.04 | 1.98 | 1.93 | 1.89 | 1.86 | 1.82 | 1.80 | 1.77 |
| 96                     | 3.94                    | 3.09 | 2.70 | 2.47 | 2.31 | 2.19 | 2.11 | 2.04 | 1.98 | 1.93 | 1.89 | 1.85 | 1.82 | 1.80 | 1.77 |
| 97                     | 3.94                    | 3.09 | 2.70 | 2.47 | 2.31 | 2.19 | 2.11 | 2.04 | 1.98 | 1.93 | 1.89 | 1.85 | 1.82 | 1.80 | 1.77 |
| 98                     | 3.94                    | 3.09 | 2.70 | 2.46 | 2.31 | 2.19 | 2.10 | 2.03 | 1.98 | 1.93 | 1.89 | 1.85 | 1.82 | 1.79 | 1.77 |
| 99                     | 3.94                    | 3.09 | 2.70 | 2.46 | 2.31 | 2.19 | 2.10 | 2.03 | 1.98 | 1.93 | 1.89 | 1.85 | 1.82 | 1.79 | 1.77 |
| 100                    | 3.94                    | 3.09 | 2.70 | 2.46 | 2.31 | 2.19 | 2.10 | 2.03 | 1.97 | 1.93 | 1.89 | 1.85 | 1.82 | 1.79 | 1.77 |
| 101                    | 3.94                    | 3.09 | 2.69 | 2.46 | 2.30 | 2.19 | 2.10 | 2.03 | 1.97 | 1.93 | 1.88 | 1.85 | 1.82 | 1.79 | 1.77 |
| 102                    | 3.93                    | 3.09 | 2.69 | 2.46 | 2.30 | 2.19 | 2.10 | 2.03 | 1.97 | 1.92 | 1.88 | 1.85 | 1.82 | 1.79 | 1.77 |
| 103                    | 3.93                    | 3.08 | 2.69 | 2.46 | 2.30 | 2.19 | 2.10 | 2.03 | 1.97 | 1.92 | 1.88 | 1.85 | 1.82 | 1.79 | 1.76 |
| 104                    | 3.93                    | 3.08 | 2.69 | 2.46 | 2.30 | 2.19 | 2.10 | 2.03 | 1.97 | 1.92 | 1.88 | 1.85 | 1.82 | 1.79 | 1.76 |
| 105                    | 3.93                    | 3.08 | 2.69 | 2.46 | 2.30 | 2.19 | 2.10 | 2.03 | 1.97 | 1.92 | 1.88 | 1.85 | 1.81 | 1.79 | 1.76 |
| 106                    | 3.93                    | 3.08 | 2.69 | 2.46 | 2.30 | 2.19 | 2.10 | 2.03 | 1.97 | 1.92 | 1.88 | 1.84 | 1.81 | 1.79 | 1.76 |
| 107                    | 3.93                    | 3.08 | 2.69 | 2.46 | 2.30 | 2.18 | 2.10 | 2.03 | 1.97 | 1.92 | 1.88 | 1.84 | 1.81 | 1.79 | 1.76 |
| 108                    | 3.93                    | 3.08 | 2.69 | 2.46 | 2.30 | 2.18 | 2.10 | 2.03 | 1.97 | 1.92 | 1.88 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.76 |
| 109                    | 3.93                    | 3.08 | 2.69 | 2.45 | 2.30 | 2.18 | 2.09 | 2.02 | 1.97 | 1.92 | 1.88 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.76 |
| 110                    | 3.93                    | 3.08 | 2.69 | 2.45 | 2.30 | 2.18 | 2.09 | 2.02 | 1.97 | 1.92 | 1.88 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.76 |
| 111                    | 3.93                    | 3.08 | 2.69 | 2.45 | 2.30 | 2.18 | 2.09 | 2.02 | 1.97 | 1.92 | 1.88 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.76 |
| 112                    | 3.93                    | 3.08 | 2.69 | 2.45 | 2.30 | 2.18 | 2.09 | 2.02 | 1.96 | 1.92 | 1.88 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.76 |
| 113                    | 3.93                    | 3.08 | 2.68 | 2.45 | 2.29 | 2.18 | 2.09 | 2.02 | 1.96 | 1.92 | 1.87 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.76 |
| 114                    | 3.92                    | 3.08 | 2.68 | 2.45 | 2.29 | 2.18 | 2.09 | 2.02 | 1.96 | 1.91 | 1.87 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.75 |
| 115                    | 3.92                    | 3.08 | 2.68 | 2.45 | 2.29 | 2.18 | 2.09 | 2.02 | 1.96 | 1.91 | 1.87 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.75 |
| 116                    | 3.92                    | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 | 2.18 | 2.09 | 2.02 | 1.96 | 1.91 | 1.87 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.75 |
| 117                    | 3.92                    | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 | 2.18 | 2.09 | 2.02 | 1.96 | 1.91 | 1.87 | 1.84 | 1.80 | 1.78 | 1.75 |
| 118                    | 3.92                    | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 | 2.18 | 2.09 | 2.02 | 1.96 | 1.91 | 1.87 | 1.84 | 1.80 | 1.78 | 1.75 |
| 119                    | 3.92                    | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 | 2.18 | 2.09 | 2.02 | 1.96 | 1.91 | 1.87 | 1.83 | 1.80 | 1.78 | 1.75 |
| 120                    | 3.92                    | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 | 2.18 | 2.09 | 2.02 | 1.96 | 1.91 | 1.87 | 1.83 | 1.80 | 1.78 | 1.75 |
| 121                    | 3.92                    | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 | 2.17 | 2.09 | 2.02 | 1.96 | 1.91 | 1.87 | 1.83 | 1.80 | 1.77 | 1.75 |
| 122                    | 3.92                    | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 | 2.17 | 2.09 | 2.02 | 1.96 | 1.91 | 1.87 | 1.83 | 1.80 | 1.77 | 1.75 |
| 123                    | 3.92                    | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 | 2.17 | 2.08 | 2.01 | 1.96 | 1.91 | 1.87 | 1.83 | 1.80 | 1.77 | 1.75 |
| 124                    | 3.92                    | 3.07 | 2.68 | 2.44 | 2.29 | 2.17 | 2.08 | 2.01 | 1.96 | 1.91 | 1.87 | 1.83 | 1.80 | 1.77 | 1.75 |
| 125                    | 3.92                    | 3.07 | 2.68 | 2.44 | 2.29 | 2.17 | 2.08 | 2.01 | 1.96 | 1.91 | 1.87 | 1.83 | 1.80 | 1.77 | 1.75 |
| 126                    | 3.92                    | 3.07 | 2.68 | 2.44 | 2.29 | 2.17 | 2.08 | 2.01 | 1.95 | 1.91 | 1.87 | 1.83 | 1.80 | 1.77 | 1.75 |
| 127                    | 3.92                    | 3.07 | 2.68 | 2.44 | 2.29 | 2.17 | 2.08 | 2.01 | 1.95 | 1.91 | 1.86 | 1.83 | 1.80 | 1.77 | 1.75 |
| 128                    | 3.92                    | 3.07 | 2.68 | 2.44 | 2.29 | 2.17 | 2.08 | 2.01 | 1.95 | 1.91 | 1.86 | 1.83 | 1.80 | 1.77 | 1.75 |
| 129                    | 3.91                    | 3.07 | 2.67 | 2.44 | 2.28 | 2.17 | 2.08 | 2.01 | 1.95 | 1.90 | 1.86 | 1.83 | 1.80 | 1.77 | 1.74 |
| 130                    | 3.91                    | 3.07 | 2.67 | 2.44 | 2.28 | 2.17 | 2.08 | 2.01 | 1.95 | 1.90 | 1.86 | 1.83 | 1.80 | 1.77 | 1.74 |
| 131                    | 3.91                    | 3.07 | 2.67 | 2.44 | 2.28 | 2.17 | 2.08 | 2.01 | 1.95 | 1.90 | 1.86 | 1.83 | 1.80 | 1.77 | 1.74 |
| 132                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 | 2.17 | 2.08 | 2.01 | 1.95 | 1.90 | 1.86 | 1.83 | 1.79 | 1.77 | 1.74 |
| 133                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 | 2.17 | 2.08 | 2.01 | 1.95 | 1.90 | 1.86 | 1.83 | 1.79 | 1.77 | 1.74 |
| 134                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 | 2.17 | 2.08 | 2.01 | 1.95 | 1.90 | 1.86 | 1.83 | 1.79 | 1.77 | 1.74 |
| 135                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 | 2.17 | 2.08 | 2.01 | 1.95 | 1.90 | 1.86 | 1.82 | 1.79 | 1.77 | 1.74 |



Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

| df untuk penyebut (N2) | df untuk pembilang (N1) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                        | 1                       | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| 136                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 | 2.17 | 2.08 | 2.01 | 1.95 | 1.90 | 1.86 | 1.82 | 1.79 | 1.77 | 1.74 |
| 137                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 | 2.17 | 2.08 | 2.01 | 1.95 | 1.90 | 1.86 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.74 |
| 138                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 | 2.16 | 2.08 | 2.01 | 1.95 | 1.90 | 1.86 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.74 |
| 139                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 | 2.16 | 2.08 | 2.01 | 1.95 | 1.90 | 1.86 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.74 |
| 140                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 | 2.16 | 2.08 | 2.01 | 1.95 | 1.90 | 1.86 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.74 |
| 141                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 | 2.16 | 2.08 | 2.00 | 1.95 | 1.90 | 1.86 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.74 |
| 142                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.95 | 1.90 | 1.86 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.74 |
| 143                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.43 | 2.28 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.95 | 1.90 | 1.86 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.74 |
| 144                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.43 | 2.28 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.95 | 1.90 | 1.86 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.74 |
| 145                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.43 | 2.28 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.90 | 1.86 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.74 |
| 146                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.43 | 2.28 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.90 | 1.85 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.74 |
| 147                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.43 | 2.28 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.90 | 1.85 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.73 |
| 148                    | 3.91                    | 3.06 | 2.67 | 2.43 | 2.28 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.90 | 1.85 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.73 |
| 149                    | 3.90                    | 3.06 | 2.67 | 2.43 | 2.27 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.73 |
| 150                    | 3.90                    | 3.06 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.73 |
| 151                    | 3.90                    | 3.06 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.73 |
| 152                    | 3.90                    | 3.06 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.73 |
| 153                    | 3.90                    | 3.06 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.82 | 1.78 | 1.76 | 1.73 |
| 154                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.82 | 1.78 | 1.76 | 1.73 |
| 155                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.82 | 1.78 | 1.76 | 1.73 |
| 156                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.78 | 1.76 | 1.73 |
| 157                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.78 | 1.76 | 1.73 |
| 158                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.73 |
| 159                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.73 |
| 160                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.73 |
| 161                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.16 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.73 |
| 162                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.15 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.73 |
| 163                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.15 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.73 |
| 164                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.15 | 2.07 | 2.00 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.73 |
| 165                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.15 | 2.07 | 1.99 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.73 |
| 166                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.15 | 2.07 | 1.99 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.73 |
| 167                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.15 | 2.06 | 1.99 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.73 |
| 168                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.15 | 2.06 | 1.99 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.73 |
| 169                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 | 2.15 | 2.06 | 1.99 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.73 |
| 170                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 | 2.15 | 2.06 | 1.99 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.73 |
| 171                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 | 2.15 | 2.06 | 1.99 | 1.93 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.73 |
| 172                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 | 2.15 | 2.06 | 1.99 | 1.93 | 1.89 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.72 |
| 173                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 | 2.15 | 2.06 | 1.99 | 1.93 | 1.89 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.72 |
| 174                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 | 2.15 | 2.06 | 1.99 | 1.93 | 1.89 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.72 |
| 175                    | 3.90                    | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 | 2.15 | 2.06 | 1.99 | 1.93 | 1.89 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.72 |
| 176                    | 3.89                    | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 | 2.15 | 2.06 | 1.99 | 1.93 | 1.88 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.72 |
| 177                    | 3.89                    | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 | 2.15 | 2.06 | 1.99 | 1.93 | 1.88 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.72 |
| 178                    | 3.89                    | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.26 | 2.15 | 2.06 | 1.99 | 1.93 | 1.88 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.72 |
| 179                    | 3.89                    | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.26 | 2.15 | 2.06 | 1.99 | 1.93 | 1.88 | 1.84 | 1.81 | 1.78 | 1.75 | 1.72 |
| 180                    | 3.89                    | 3.05 | 2.65 | 2.42 | 2.26 | 2.15 | 2.06 | 1.99 | 1.93 | 1.88 | 1.84 | 1.81 | 1.77 | 1.75 | 1.72 |

**Lampiran 09 Alat dan Bahan**

- a. Pelat Baja Karbon Rendah



- b. Alat Bantu Otomasi



c. Mesin Las SMAW



d. Elektroda E6013



e. Gerinda tangan



f. Kaca mata Las



g. Palu Las



h. Jangka Sorong



i. Penggaris



**Lampiran 10 Proses Fabrikasi Sampel Produk Sambungan Las Baja Karbon Rendah**

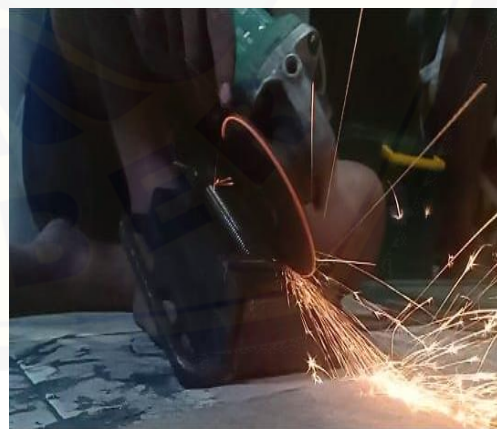
a. Proses Pemotongan plat



b. Proses Pengelasan



c. Proses Pembentukan Sampel



d. Sampel Pengujian Tarik E8



e. Sampel Eksperimen Konfirmasi







**DAFTAR PUSTAKA**

- Arifin, A., dan T. Sulistyawan. 2017. Peningkatan Kualitas Sambungan Las Baja Karbon Rendah Dengan Metode Taguchi. *Jurnal Teknik Mesin Untirta III*: 59-63.
- Chen, C., S.-P. Chiewb, M.-S. Zhao, C.-K. Lee, dan T.-C. Fung. 2019. Welding effect on tensile strength of grade S690Q steel butt joint. *Journal of Constructional Steel Research* 153: 153-168.
- Firmansyah, V. A., dan R. E. Purwanto. 2018. Pengaruh Variasi Arus Listrik dan Temperature Reheating Hasil Pengelasan SMAW Pada Baja ASTM 36 Terhadap Kekuatan Tarik *Prosiding* 4: 65-68.
- Huda, S., J. Waluyo, dan T. Fintoro. 2013. Analisa Pengaruh Variasi Arus dan Bentuk Kampuh pada Pengelasan SMAW Terhadap Distorsi Sudut dan Kekuatan Tarik Sambungan BUTT-JOIN Baja AISI 4140. *Teknologi* 6: 193-200.
- Mohruni, A. S., dan B. H. Kembaren. 2013. Pengaruh Variasi Kecepatan dan Kuat Arus terhadap Kekerasan, Tegangan Tarik, Struktur Mikro Baja Karbon Rendah dengan Elektroda E6013. *Rekayasa Mesin* 13: 1-8.
- Nugroho, A., dan E. Setiawan. 2018. Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Sambungan Las Plate Carbon Steel ASTM 36. *Rekayasa Teknik Industri* 3: 134-142.
- Olawale, J. O., S. A. Ibitoye, K. M. Oluwasegun, M. D. Shittu, dan R. C. Ofoezie. 2012. Correlation between Process Variables in Shielded Metal-Arc Welding (SMAW) Process and Post Weld Heat Treatment (PWHT) on Some Mechanical Properties of Low Carbon Steel Welds. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 11: 891-895.
- Santoso, J. 2006. Pengaruh Arus Pengelasan terhadap Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Las SMAW dengan Elektroda E7018. Universitas Negeri Semarang.
- Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sonawan, H., dan R. Suratman. 2006. *Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*. Bandung: Alfabeta.

- Sudjana. 1989. *Desain dan Analisis Eksperimen Edisi 3*. Bandung: TARSITO.
- Suharno. 2008. *Prinsip-Prinsip Teknologi dan Metalurgi Pengelasan Logam*. Surakarta: LPP UNS dan UNS Press.
- Suratman, M. 2001. *Teknik Mengelas Asetilin, Brazing, dan Las Busur Listrik*. Bandung: PUSTAKA GRAFIKA.
- Susetyo, F. B., A. Dudung, S. Wiganda, A. Haris, dan W. Nugroho. 2015. Pengaruh Bentuk Kampuh terhadap Karakteristik Baja Karbon Rendah Hasil Pengelasan SMAW. *Konversi Energi dan Manufaktur 2*: 59-64.
- Syahrani, A., A. Sam, dan Chairulnas. 2013. Variasi Arus terhadap Kekuatan Tarik dan Bending pada Hasil Pengelasan SM490. *Mekanikal 4*: 393-402.
- Vlack, V. 1981. *Ilmu Teknologi Bahan Terjemahan Sriati Djapri Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Wiryo Sumarto, H., dan T. Okumura. 1994. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.