

## ABSTRAK

Pengelasan SMAW (*shielded metal arc welding*) merupakan metode pengelasan yang menggunakan elektroda logam yang terbungkus fluks yang membentuk busur listrik diantara ujung elektroda dan logam induk, dikarenakan panas dari busur listrik maka ujung elektroda dan logam induk mencair dan kemudian mengeras secara bersamaan. Material yang disambung adalah baja karbon rendah yaitu baja kanal CNP dengan ketebalan 3 mm. Parameter pengelasan yang digunakan adalah arus pengelasan (70 A, 80 A, dan 90 A), kecepatan pengelasan (2mm/s, 3mm/s, dan 4mm/s), dan jenis media pendingin (larutan NaCl, air mineral, dan oli). *Orthogonal array* yang dirancang untuk DOE adalah L9(3<sup>3</sup>) yang terdiri dari 9 percobaan dengan 3 kali pengulangan. Hasil uji tarik menunjukkan terdapat 16 spesimen mengalami patahan getas dan 11 spesimen mengalami patahan ulet, dengan beban puncak (*peak load*) tertinggi rata-rata terdapat pada kombinasi 6 yaitu 1468,07 N, dan terendah terdapat pada kombinasi 2 yaitu 483,80 N. Nilai optimal parameter berdasarkan metode Taguchi yaitu arus 90 A, kecepatan pengelasan 4 mm/s, dan media pendingin oli. Patahan yang terjadi antara patahan getas dan ulet memberikan informasi bahwa spesimen masih melakukan perlawanan terhadap beban tarik hingga batas beban puncak.

**Kata Kunci :** *shielded metal arc welding*, baja karbon rendah, taguchi

## ABSTRACT

*SMAW (shielded metal arc welding) welding is a welding method that uses a metal electrode covered in flux which forms an electric arc between the tip of the electrode and the base metal, due to the heat from the electric arc the tip of the electrode and the base metal melt and then harden simultaneously. The material being joined is low carbon steel, namely CNP channel steel with a thickness of 3 mm. The welding parameters used were welding current (70 A, 80 A, and 90 A), welding speed (2mm/s, 3mm/s, and 4mm/s), and type of cooling medium (NaCl solution, mineral water, and oil). The orthogonal array designed for DOE is L9(3<sup>3</sup>) which consists of 9 trials with 3 repetitions. The results of the tensile test showed that 16 specimens experienced a brittle fracture and 11 specimens experienced a ductile fracture, with the highest average peak load in combination 6, namely 1468.07 N, and the lowest in combination 2, namely 483.80 N. The optimal parameter values based on the Taguchi method are current 90 A, welding speed 4 mm/s, and oil cooling medium. The fractures that occur between brittle and ductile fractures provide information that the specimen is still resisting the tensile load up to the peak load limit.*

*Keywords: shielded metal arc welding, low carbon steel, Taguchi*

## DAFTAR ISI

|                                                      |      |
|------------------------------------------------------|------|
| COVER .....                                          | i    |
| SKRIPSI .....                                        | ii   |
| LEMBAR PERNYATAAN .....                              | iv   |
| MOTTO.....                                           | v    |
| KATA PENGANTAR.....                                  | vi   |
| ABSTRAK .....                                        | viii |
| ABSTRACT .....                                       | ix   |
| DAFTAR ISI .....                                     | x    |
| DAFTAR GAMBAR .....                                  | xiii |
| DAFTAR TABEL .....                                   | xv   |
| BAB IPENDAHULUAN.....                                | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                             | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                            | 2    |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                           | 3    |
| 1.4 Manfaat Penelitian.....                          | 3    |
| 1.5 Batasan Masalah.....                             | 3    |
| 1.6 Sistematika Penulisan Penelitian.....            | 4    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....                         | 5    |
| 2.1 Baja.....                                        | 5    |
| 2.1.1 Klasifikasi Baja .....                         | 5    |
| 2.1.2 Sifat Mekanik Baja.....                        | 6    |
| 2.2 Baja CNP.....                                    | 6    |
| 2.3 Pengelasan .....                                 | 12   |
| 2.3.1 SMAW ( <i>Shield Metal Arc Welding</i> ) ..... | 14   |
| 2.4 Media Pendingin .....                            | 15   |
| 2.4.1 Larutan NaCl .....                             | 16   |
| 2.4.2 Air Mineral (Pristine) .....                   | 17   |
| 2.4.3 Oli SAE 40 .....                               | 18   |
| 2.5 Pengujian Tarik .....                            | 18   |
| 2.6 Metode Taguchi.....                              | 20   |

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 2.6.1 Perencanaan Eksperimen.....                       | 21 |
| 2.6.2 Pelaksanaan Eksperimen .....                      | 22 |
| 2.6.3 <i>Degree of Freedom</i> (Derajat kebebasan)..... | 22 |
| 2.6.4 <i>Orthogonal Array</i> .....                     | 23 |
| 2.6.5 Rasio S/N.....                                    | 23 |
| 2.7 Struktur Makro Patahan Uji Tarik.....               | 24 |
| 2.8 Penelitian Terdahulu .....                          | 26 |
| BAB III METODE PENELITIAN.....                          | 31 |
| 3.1 Diagram Alir ( <i>Flowchart</i> ) .....             | 31 |
| 3.2 Jenis Penelitian.....                               | 32 |
| 3.3 Variabel Penelitian .....                           | 32 |
| 3.4 Metode Pengumpulan Data .....                       | 33 |
| 3.5 Instrumen Penelitian dan Desain Benda Uji .....     | 33 |
| 3.5.1 Peralatan dan Bahan Yang Digunakan.....           | 33 |
| 3.5.2 Desain Benda Uji .....                            | 40 |
| 3.6 Rencana Penelitian .....                            | 41 |
| 3.6.1 Studi Literatur .....                             | 41 |
| 3.6.2 Rancangan Eksperimen .....                        | 41 |
| 3.6.3 Parameter Las.....                                | 42 |
| 3.6.4 Mempersiapkan Material (Baja kanal CNP) .....     | 43 |
| 3.6.5 Pengelasan Spesimen .....                         | 43 |
| 3.6.6 Proses Pendinginan .....                          | 43 |
| 3.6.7 Pengujian Tarik .....                             | 43 |
| 3.6.8 Analisis Visual Patahan.....                      | 44 |
| 3.6.9 Analisis Data Pengujian Mekanik.....              | 44 |
| 3.7 Teknik Pengambilan Data (Sampel) .....              | 44 |
| 3.8 Analisis Data .....                                 | 44 |
| 3.9 Waktu Penelitian dan Tempat Penelitian .....        | 44 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....                       | 46 |
| 4.1 Pengujian Tarik .....                               | 46 |
| 4.1.1 Hasil Rancangan Percobaan .....                   | 46 |
| 4.1.2 Perhitungan Rata-rata.....                        | 47 |

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1.3 Spesimen Pengujian Tarik.....                              | 52  |
| 4.2 Optimasi Taguchi Minitab .....                               | 76  |
| 4.2.1 Rekapitulasi Data Hasil SNR dan <i>Mean</i> .....          | 76  |
| 4.2.2 <i>Main Effect</i> Pada <i>Mean</i> .....                  | 77  |
| 4.2.3 <i>Main Effect</i> Untuk <i>S/N Ratio</i> .....            | 78  |
| 4.2.4 Analisis Varian ( <i>P-Value</i> ) .....                   | 81  |
| 4.3 Analisis Patahan Pada Hasil Pengujian.....                   | 88  |
| 4.3.1 Patahan Spesimen.....                                      | 88  |
| 4.3.2 Analisis Pengaruh Media Pendingin Dan Bentuk Patahan ..... | 96  |
| 4.4 Pembahasan .....                                             | 101 |
| 4.4.1 Pengujian Tarik .....                                      | 101 |
| 4.4.2 Optimasi Taguchi .....                                     | 101 |
| 4.4.3 Analisa Patahan .....                                      | 102 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....                                 | 104 |
| 5.1 Kesimpulan.....                                              | 104 |
| 5.2 Saran.....                                                   | 105 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                             | 106 |
| LAMPIRAN .....                                                   | 109 |
| Lampiran 1. Gambar Spesimen Uji Tarik .....                      | 109 |
| Lampiran 2. Dokumentasi .....                                    | 110 |
| Lampiran 3. Tabel Pengolahan Data .....                          | 113 |
| Lampiran 4. Validasi Pengujian .....                             | 115 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 2.1</b> Efek Dari Pembuatan Material Cara Dingin.....                             | 6  |
| <b>Gambar 2.2</b> Bentuk Penampang Baja Kanal C.....                                        | 7  |
| <b>Gambar 2.3</b> Baja kanal CNP.....                                                       | 12 |
| <b>Gambar 2.4</b> Prinsip Pengelasan Busur Logam Manual .....                               | 12 |
| <b>Gambar 2.5</b> Pengelasan Busur Terendam.....                                            | 13 |
| <b>Gambar 2.6</b> Metode Pengelasan TIG.....                                                | 13 |
| <b>Gambar 2.7</b> Metode Pengelasan MIG .....                                               | 14 |
| <b>Gambar 2.8</b> Konfigurasi dan Rangkaian Listrik Dasar Proses Pengelasan Busur .....     | 14 |
| <b>Gambar 2.9</b> Pengelasan Busur Elektroda Terbungkus / SMAW.....                         | 15 |
| <b>Gambar 2.10</b> Diagram TTT ( <i>Time Temperature Transformation</i> ).....              | 16 |
| <b>Gambar 2.11</b> Natrium Klorida / Sodium Chloride Gifala Laboratorium Center.....        | 17 |
| <b>Gambar 2.12</b> Air Mineral Pristine .....                                               | 17 |
| <b>Gambar 2.13</b> Oli Mesran Sae 40.....                                                   | 18 |
| <b>Gambar 2.14</b> Kurva tegangan dan regangan baja .....                                   | 18 |
| <b>Gambar 2.15</b> Struktur Makro Hasil Foto Patahan Uji Tarik Baja ST-41 .....             | 25 |
| <b>Gambar 2.16</b> Fenomena Patahan .....                                                   | 25 |
| <b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir ( <i>Flowchart</i> ) Penelitian.....                         | 31 |
| <b>Gambar 3.2</b> Mesin Las SMAW Lakoni.....                                                | 34 |
| <b>Gambar 3.3</b> Baja kanal CNP.....                                                       | 34 |
| <b>Gambar 3.4</b> Gerinda Potong .....                                                      | 35 |
| <b>Gambar 3.5</b> Jangka Sorong Digital.....                                                | 36 |
| <b>Gambar 3.6</b> Ragum.....                                                                | 36 |
| <b>Gambar 3.7</b> Kawat Las / Elektroda Nikko <i>Steel</i> .....                            | 37 |
| <b>Gambar 3.8</b> Sarung Tangan Las .....                                                   | 37 |
| <b>Gambar 3.9</b> Pelindung Wajah.....                                                      | 38 |
| <b>Gambar 3.10</b> Wadah Pendingin Spesimen (a) Larutan NaCl, (b) Oli, (c) Air Mineral..... | 38 |
| <b>Gambar 3.11</b> Mesin Uji Tarik.....                                                     | 39 |
| <b>Gambar 3.12</b> Digital Microscope .....                                                 | 39 |
| <b>Gambar 3.13</b> Desain Spesimen Uji Tarik .....                                          | 41 |
| <b>Gambar 4.1</b> Main Effect Plot Untuk Means .....                                        | 78 |

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 4.2</b> Main Effect Untuk SNR .....                                                                        | 81 |
| <b>Gambar 4.3</b> Grafik Pengaruh Parameter Pengelasan Dan Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik .....             | 97 |
| <b>Gambar 4.4</b> Grafik Pengaruh Parameter Pengelasan Dan Media Pendingin Air Mineral Terhadap Kekuatan Tarik.....  | 97 |
| <b>Gambar 4.5</b> Grafik Pengaruh Parameter Pengelasan Dan Media Pendingin Larutan NaCl Terhadap Kekuatan Tarik..... | 98 |
| <b>Gambar 4.6</b> Grafik Pengaruh Parameter Pengelasan Dan Media Pendingin Oli Terhadap Kekuatan Tarik.....          | 99 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabel 2.1</b> Ukuran Penampang Lintang .....                                  | 7  |
| <b>Tabel 2.2</b> Besaran Penampang Sesuai Sumbu Lentur .....                     | 9  |
| <b>Tabel 2.3</b> Ukuran Panjang Kanal C .....                                    | 10 |
| <b>Tabel 2.4</b> Komposisi Kandungan Kimia Baja Kanal C .....                    | 10 |
| <b>Tabel 2.5</b> Sifat Mekanik Pada Baja Kanal C .....                           | 11 |
| <b>Tabel 2.6</b> Derajat Kebebasan .....                                         | 23 |
| <b>Tabel 2.7</b> State Of The Art (SOTA) .....                                   | 29 |
| <b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi Mesin Las .....                                     | 34 |
| <b>Tabel 3.2</b> Faktor dan Level .....                                          | 42 |
| <b>Tabel 3.3</b> DOF 3 Faktor dan 3 Level .....                                  | 42 |
| <b>Tabel 3.4</b> DOE Matriks Orthogonal L9 (33) .....                            | 42 |
| <b>Tabel 4.1</b> Tabel Hasil Pengujian Tarik .....                               | 46 |
| <b>Tabel 4.2</b> Pengujian Tarik Kombinasi 1 (A70 V2 CAM) .....                  | 53 |
| <b>Tabel 4.3</b> Pengujian Tarik Kombinasi 2 (A70 V3 C NACL) .....               | 55 |
| <b>Tabel 4.4</b> Pengujian Tarik Kombinasi 3 (A70 V4 C Ol) .....                 | 57 |
| <b>Tabel 4.5</b> Pengujian Tarik Kombinasi 4 (A80 V2 C NACL) .....               | 59 |
| <b>Tabel 4.6</b> Pengujian Tarik Kombinasi 5 (A80 V3 C Ol) .....                 | 62 |
| <b>Tabel 4.7</b> Pengujian Tarik Kombinasi 6 (A80 V4 CAM) .....                  | 65 |
| <b>Tabel 4.8</b> Pengujian Tarik Kombinasi 7 (A90 V2 C Ol) .....                 | 68 |
| <b>Tabel 4.9</b> Pengujian Tarik Kombinasi 8 (A90 V3 CAM) .....                  | 71 |
| <b>Tabel 4.10</b> Pengujian Tarik Kombinasi 9 (A90 V4 C NACL) .....              | 73 |
| <b>Tabel 4.11</b> Rekapitulasi Data SNR dan Mean .....                           | 76 |
| <b>Tabel 4.12</b> Respon Untuk Means .....                                       | 77 |
| <b>Tabel 4.13</b> Respon Untuk SNR (Larger Is Better) .....                      | 80 |
| <b>Tabel 4.14</b> General Linear Model Kombinasi Terhadap Tegangan Tarik 1 ..... | 81 |
| <b>Tabel 4.15</b> Analisis Regresi Kombinasi Terhadap Tegangan Tarik 1 .....     | 82 |
| <b>Tabel 4.16</b> General Linear Model Kombinasi Terhadap Tegangan Tarik 2 ..... | 83 |
| <b>Tabel 4.17</b> Analisis Regresi Kombinasi Terhadap Tegangan Tarik 2 .....     | 83 |
| <b>Tabel 4.18</b> General Linear Model Kombinasi Terhadap Tegangan Tarik 3 ..... | 84 |
| <b>Tabel 4.19</b> Analisis Regresi Kombinasi Terhadap Tegangan Tarik 3 .....     | 84 |
| <b>Tabel 4.20</b> General Linear Model Kombinasi Terhadap Means .....            | 85 |

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabel 4.21</b> Analisis Regresi Kombinasi Terhadap Means Tegangan Tarik .....     | 85  |
| <b>Tabel 4.22</b> Hasil Perhitungan Persen Kontribusi Berdasarkan Means .....        | 86  |
| <b>Tabel 4.23</b> General Linear Model Kombinasi Terhadap Rasio S/N.....             | 87  |
| <b>Tabel 4.24</b> Analisis Regresi Kombinasi Terhadap Rasio S/N Tegangan Tarik ..... | 87  |
| <b>Tabel 4.25</b> Hasil Perhitungan Persentase Kontribusi .....                      | 88  |
| <b>Tabel 4.26</b> Bentuk Patahan Kombinasi 1 .....                                   | 89  |
| <b>Tabel 4.27</b> Bentuk Patahan Kombinasi 2 .....                                   | 90  |
| <b>Tabel 4.28</b> Bentuk Patahan Kombinasi 3 .....                                   | 90  |
| <b>Tabel 4.29</b> Bentuk Patahan Kombinasi 4 .....                                   | 91  |
| <b>Tabel 4.30</b> Bentuk Patahan Kombinasi 5 .....                                   | 92  |
| <b>Tabel 4.31</b> Bentuk Patahan Kombinasi 6 .....                                   | 93  |
| <b>Tabel 4.32</b> Bentuk Patahan Kombinasi 7 .....                                   | 94  |
| <b>Tabel 4.33</b> Bentuk Patahan Kombinasi 8 .....                                   | 94  |
| <b>Tabel 4.34</b> Bentuk Patahan Kombinasi 9 .....                                   | 95  |
| <b>Tabel 4.35</b> Pengaruh Variabel Terhadap Beban Tarik .....                       | 96  |
| <b>Tabel 4.36</b> Kelompok Patahan.....                                              | 100 |