

ANALISA PERBANDINGAN KEKUATAN SAMBUNGAN LAS MATERIAL ALUMINIUM 5083 TERHADAP PENGELASAN FRICTION STIR WELDING 1000 RPM DENGAN METAL INERT GAS

Jaya Permana¹⁾, Wilma Amiruddin¹⁾, Hartono Yudo¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: jjayapermana@gmail.com

Abstrak

Perbedaan cara pengelasan dari sambungan material aluminium dapat menghasilkan kekuatan yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kekuatan tarik dari sambungan pelat aluminium yang di hasilkan dengan cara pengelasan *friction stir welding* (FSW) dan *metal inert gas* (MIG). Penelitian ini menggunakan pelat aluminium yang biasa di gunakan pada pelat kapal aluminium yaitu material aluminium jenis 5083. Pengujian di lakukan uji tarik dengan menggunakan standar ASTM E 8M -00b dengan titik berat perbedaan pada 1000 RPM untuk metode pengelasan *friction Stir welding* dan 180 A untuk pengelasan metal inert gas dengan di bantu alat analisis software Ansys Ls-Dyna. Hasil pengujian menunjukan bahwa kekuatan tarik (σ) rata – rata spesimen sambungan las menggunakan metode pengelasan MIG adalah 131,89 MPa, lebih besar dari penggunaan metode pengelasan FSW yang hanya memiliki kekuatan tarik (σ) rata – rata spesimen 27,25 Mpa.

Kata Kunci : Aluminium 5083, Pengelasan MIG, Pengelasan FSW, Kekuatan tarik, Ansys Ls-Dyna

Abstract

The differences in the welding method of aluminum material connection can generate different strength. The purpose of this study was to determine the tensile strength of the connection that produced aluminum plates through welding friction stir welding (FSW) and metal inert gas (MIG). This study uses aluminum plates are commonly used on ship plate aluminum is aluminum type material 5083. Testing done by using a tensile testing standard ASTM E 8M -00b, emphasizing the differences method at 1000 RPM for friction Stir welding and 180 A for metal inert gas welding with the auxiliary analysis tool Ansys software Ls-Dyna. The test results showed that the average tensile strength (σ) specimen welds using MIG welding method is 131.89 MPa, greater than the use of the welding method FSW who only has a avarage tensile strength (σ) 27.25 MPa.

Key words : Aluminium 5083, MIG welding, MIG welding, tensile strength, Ansys Ls-Dyna

1. PENDAHULUAN

Pengelasan dapat di definisikan sebagai penyambungan dari beberapa batang logam dengan memanfaatkan energi panas[9]. Kelebihan sambungan las adalah konstruksi ringan, dapat menahan kekuatan yang tinggi, mudah pelaksanaannya, serta cukup ekonomis. Sambungan las yang di hasilkan bergantung pada metode pengelasan yang di gunakan.

Metode pengelasan yang biasa di gunakan adalah pengelasan menggunakan logam pengisi. Pengelasan *metal inert gas* (MIG) merupakan pengelasan menggunakan logam pengisi dengan tambahan penggunaan gas pelindung yang berfungsi sebagai pelindung logam las saat proses pengelasan

berlangsung agar tidak terkontaminasi dari udara lingkungan sekitar logam lasan. Pengelasan ini biasa di gunakan karena lebih mudah dalam pengelasan dan dapat mengelas dalam posisi tak terbatas.

Metode pengelasan terbaru yang telah di temukan dan dikembangkan kini tanpa menggunakan logam pengisi. Pengelasan tersebut adalah *Friction stir welding* (FSW). FSW merupakan metode pengelasan dengan prinsip kerja memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut sehingga tersambung menjadi satu.

Prinsip kerja antara pengelasan MIG dan FSW yang berbeda tersebut menunjukkan bahwa pengelasan FSW memiliki kelebihan dalam hal kecepatan sedangkan MIG lebih *flexible* dalam penggunaannya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan kekuatan antara pengelasan metode las *metal inert gas* (MIG) dengan metode pengelasan *friction stir welding* (FSW) dengan pengujian tarik konvensional dan analisa tegangan tarik dengan software Ansys Ls-Dyna, sehingga dapat di ketahui pengelasan yang baik di tinjau dari kekuatannya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik serta sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Adanya penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya akan meningkatkan kekuatan mekanik Aluminium [8]. Paduan Aluminium dapat digolongkan menjadi beberapa kelompok utama, yaitu:

1. Paduan Aluminium Tempa (*Aluminium Wrought Alloy*)
2. Paduan Aluminium Cor (*Aluminium Casting Alloy*)
3. Paduan aluminium yang dapat diberi perlakuan panas (*Heat-Treatable Aluminium Alloy*)
4. Paduan aluminium yang tidak dapat diberi perlakuan panas (*Non-Heat – Treatable Aluminium Alloy*)

Aluminium merupakan logam yang mempunyai sifat mekanik tahan terhadap korosi dan hantaran listrik yang relatif baik. Logam ini dipergunakan untuk material pesawat terbang, otomotif, kapal laut, dan konstruksi bangunan.

Alumunium magnesium alloy Dalam paduan biner Al-Mg satu fasa yang ada dalam keseimbangan dengan larutan padat Al adalah larutan padat yang merupakan senyawa antar logam Al_3Mg_2 . Paduan 5083 yang diambil adalah paduan antara (4,5%Mg) yang kuat dan mudah dilas.

2.2 Pengelasan

Pengertian Pengelasan menurut DIN (*Deutch Industrie Normen*) las adalah suatu ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat di jabarkan bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Sedangkan proses pengelasan adalah salah satu proses teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu. [6]

2.3 Friction Stir Welding

Friction Stir Welding (FSW) merupakan pengelasan tanpa bahan tambah (*unconsumable solid-state joining process*) dan suhu kerjanya tidak melewati titik lebur benda kerja dan digunakan untuk aplikasi dimana kebutuhan akan perubahan karakteristik dasar dari benda kerja bisa diminimalisir sekecil mungkin. *Friction Stir Welding* tersebut ditemukan oleh Wayne Thomas dan rekan-rekan nya di The Welding Institute UK pada desember 1991.

2.3.1.Prinsip Kerja

Prinsip kerja dasar dari proses pengelasan *Friction Stir Welding* adalah dengan memanfaatkan gaya gesek dari gesekan antara benda yang berputar (*tool*) dengan benda yang diam (benda kerja). *Tool* ini diputar dengan rpm tetap dan melaju dengan kecepatan translasi yang tetap pula sepanjang joining line diantara dua pelat benda kerja yang akan dilas [4]. Gesekan antara kedua benda tersebut menimbulkan panas sampai 80 - 90 % dari titik cair material kerja dan selanjutnya pin ditekan dan ditarik searah daerah yang akan dilas. Prinsip kerja tersebut menunjukkan bahwa *rotation speed* dan *welding speed* menjadi parameter utamanya.



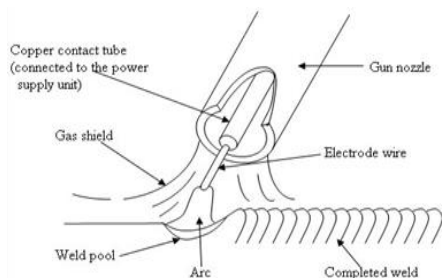
Gambar 1. pengelasan FSW

Pada penelitian ini di pilih 1000 RPM dan *welding speed* 40 mm/min yang di dasari pada penelitian yang telah di lakukan[1] yang di sesuaikan dengan kondisi mesin yang ada. Di tinjau dari penelitian sebelumnya pemilihan *rotation speed* 1000 RPM di karenakan menghasilkan hasil lasan yang bagus dengan asumsi *travel speed* 29 mm/min untuk ketebalan pelat 4 mm, di karenakan pelat yang di gunakan pada penelitian ini memiliki tebal 8 mm maka di pilih lah *travel speed* 40 mm/min.

2.4 Metal Inert Gas

Las MIG (*Metal Inert Gas*) yaitu merupakan proses penyambungan dua material logam atau lebih menjadi satu melalui proses pencairan setempat, dengan menggunakan elektroda gulungan (*filler metal*) yang sama dengan logam dasarnya (*base metal*) dan menggunakan gas pelindung (*inert gas*).

Las MIG (*Metal Inert Gas*) merupakan las busur gas yang menggunakan kawat las sekaligus sebagai elektroda. Elektroda tersebut berupa gulungan kawat (*rol*) yang gerakannya diatur oleh motor listrik. Las ini menggunakan gas argon dan helium sebagai pelindung busur dan logam yang mencair dari pengaruh atmosfer.



Gambar 2. pengelasan MIG

Pada penelitian ini menggunakan arus sebesar 180 A berdasarkan jenis elektroda yang di gunakan[5].

2.5 Uji Tarik

Uji tarik adalah pemberian gaya atau tegangan tarik kepada material dengan maksud untuk mengetahui atau mendeteksi kekuatan dari suatu material. Tegangan tarik yang digunakan adalah tegangan aktual eksternal atau perpanjangan sumbu benda uji. Uji tarik dilakukan dengan cara penarikan uji dengan gaya tarik secara terus menerus, sehingga

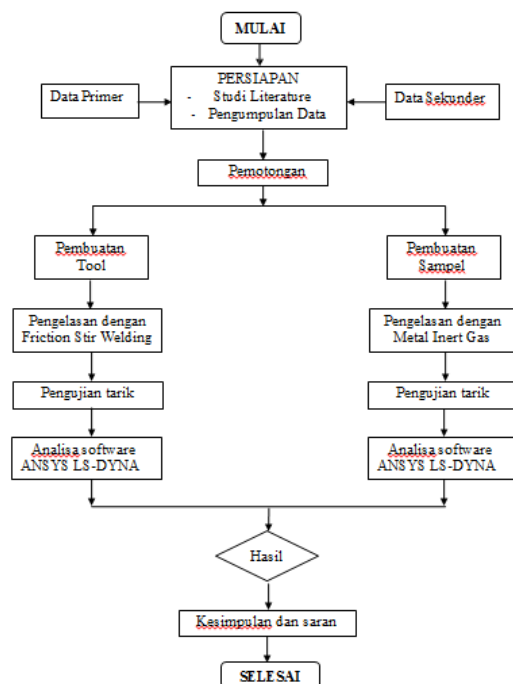
bahan (perpajangannya) terus menerus meningkat dan teratur sampai putus dengan tujuan menentukan nilai tarik. Untuk mengetahui kekuatan tarik suatu bahan dalam pembebanan tarik, garis gaya harus berhimpit dengan garis sumbu bahan sehingga pembebanan terjadi beban tarik lurus. Tetapi jika gaya tarik sudut berhimpit maka yang terjadi adalah gaya lentur. Hasil uji tarik tersebut mencatat fenomena hubungan antara tegangan regangan yang terjadi selama proses uji tarik dilakukan. Mesin uji tarik sering diperlukan dalam kegiatan *engineering* untuk mengetahui sifat-sifat mekanik suatu material. Mesin uji tarik terdiri dari beberapa bagian pendukung utama, diantaranya kerangka, mekanisme pencekam spesimen, sistem penarik dan mekanisme, serta sistem pengukur.

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sampel Penelitian

Dalam penelitian ini ada dua metode pengelasan yaitu pengelasan *friction stir welding* dan pengelasan metal inert gas. Adapun jumlah spesimen las yang di gunakan yaitu 8 spesimen, masing – masing terdiri dari 4 spesimen untuk pengelasan *friction stir welding* dan 4 spesimen untuk pengelasan metal inert gas.

3.2 Diagram alir



3.3 Bahan dan alat Penelitian

- Aluminium 5083

Bahan penelitian yang digunakan adalah material Aluminium 5083 dengan ketebalan 8 mm.

Adapun *mechanical properties* aluminium 5083 :

- Modulus elastisitas : 151.8 Gpa
 - *Poisson's Ratio*: 0,3
 - *Density* : 2.7 g/cm³
 - *Tensile strength* : 325,6 Mpa
 - *Yield strength* : 215,72 Mpa
 - Regangan : 14.21 %
- *Filler metal* ER 5356

Berdasarkan tabel AWS ANSI/ AWS A5.10-92 logam pengisi yang digunakan adalah ER 5356.

Adapun *mechanical properties filler metal* ER 5356 adalah sebagai berikut:

- Modulus elastisitas : 70 Gpa
- *Poisson's Ratio* : 0,33
- *Density* : 2,6 g/cm³
- *Tensile strength* : 240 Mpa
- *Yield strength* : 110 Mpa
- Regangan : 16 %

o Mesin Las MIG

Mesin las yang digunakan untuk pengelasan aluminium 5083 adalah mesin las DC dengan polaritas balik (+) dengan merek ESAM

o Mesin milling

Pengelasan *Friction stir welding* menggunakan mesin frais Universal.

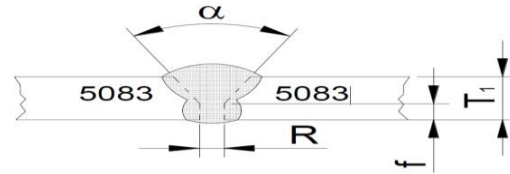
o Tool

Tool yang digunakan pada mesin frais konvensional ini terbuat dari bahan knl 110 extra yang telah di lakukan proses *hardening* hingga 61 HRC.

3.4 Proses pengelasan

o Pengelasan MIG

Pengelasan MIG pada material aluminum 5083 ini didasarkan pada standar AWS D.1.2/ D 1.2M [3] yakni bentuk sambungan V tunggal (*single-V-groove*):



Gambar 3. Bentuk sambungan pengelasan
Keterangan :

- Bentuk alur : alur bentuk V tunggal
- Tebal logam induk (T1) : 8 mm
- *Root opening* (R) : 3 mm
- *Root face* (f) : 2 mm
- *Grove angle* (α) : 60⁰
- Posisi pengelasan : Flat (1G)

Parameter pengelasan :

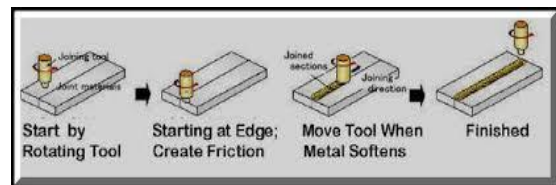
- Tegangan (volt) : 24
- Arus (ampere) : 180

o Pengelasan FSW

o Pembentukan tool

Pembentukan *tools* di lakukan dengan ukuran sebagai berikut

- Diameter pin 2 mm
- Diamter tool 16 mm
- Tinggi pin 0,8 mm
- o Parameter mesin : 1000 RPM, travel speed 40 mm/m, angel tools 0⁰
- o Proses pengelasan



Gambar 4. Tahap pengelasan FSW

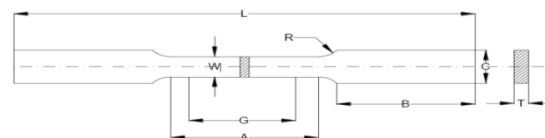
1. Mesin berputar dengan kecepatan 1000 RPM. *Tool* yang dalam keadaan berputar tersebut di tekan hingga bagian tools pin seluruhnya masuk dalam spesimen

2. Setelah tools melakukan penetrasi pada spesimen, meja kerja bergerak dengan kecepatan 40 mm/m hingga ujung spesimen.

3.5 Prosedur Pengujian

- Pengujian tarik spesimen

Spesimen uji tarik sambungan las didasarkan pada standar pengujian ASTM E 8M -00b[2] dengan bentuk sebagai berikut :



Gambar 5. Bentuk dan Ukuran Spesimen Uji

Keterangan :

- *Gage length (G)* : 50,0 ± 0.1
- *Length of reduced section (A)* : 57
- *Width (W)* : 12,5 ± 0.2
- *Thickness (T)* : 8
- *Radius of fillet (R)* : 12,5
- *Overall length (L)* : 200
- *Width of grip section (C)* : 20
- *Length of grip section (B)* : 50

- Pengujian spesimen menggunakan software Ansys Ls-Dyna

Pengujian menggunakan software Ansys Ls-Dyna untuk melakukan proses validasi. Proses validasi ini bisa dijadikan parameter apakah hasil analisa yang sudah kita lakukan mendekati benar atau salah, validasi bisa dengan menggunakan software. Validasi software di lakukan setelah di dapatkan nilai uji tarik laboratorium dan software. Validasi menggunakan rumus perbandingan dibawah ini:

$$\text{Validasi} = \frac{\text{Tegangan tarik pada software}}{\text{Tegangan tarik eksperimen}} \times 100\%$$

Tahap – tahap pengujian software melalui :

- *Input geometry spesimen.*

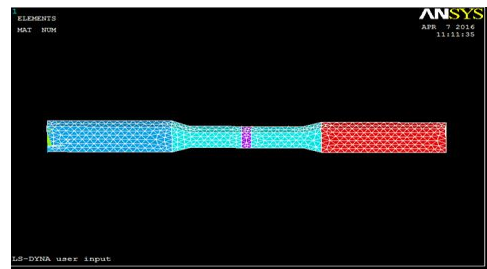
Pembuatan *geometry spesimen* sambungan pelat sesuai standard ASTM E8M-00b dan AWS D1.1/D1.1M:2002 (*Metric version per ASTM E 8 M*) untuk spesimen logam las sesuai dengan ukuran asli sambungan. Pembuatan spesimen tersebut melalui *Preprocessor > Add type element > 3D Solid* kemudian masuk tahap *modelling Preprocessor > modelling*. Langkah pertama pada tahap *preprocessor* adalah input data pada *element type*, yaitu memilih jenis tipe elemen yang akan diuji simulasi, pada simulasi uji tarik ini menggunakan tipe 3D Solid.

Langkah selanjutnya pada tahapan *preprocessor* adalah *modeling*, Pada tahap ini pembuatan model sesuai dengan ukuran spesimen uji.

- *Meshing*

Meshing di lakukan untuk memasukan elemen – elemen pada *specimen*. *Meshing* di lakukan melalui *Preprocessor > meshing >*

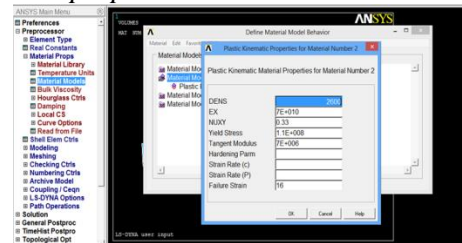
meshing tool. Pembagian meshing secara otomatis dengan memilih elemen *tetrahedron*.



Gambar 6. Meshing spesimen

- *Material Properties*

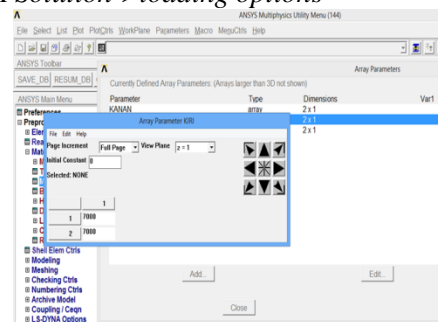
Pendefinisian material spesimen dilakukan untuk menginput nilai – nilai mekanis material logam induk. Material properties di lakukan melalui *Preprocessor > material props > material models*



Gambar 7. Input material properties

- *Pembebanan*

Setelah memasukan material properties maka spesimen dapat di analisa dengan memberikan beban kepada model. Pembebanan di lakukan melalui *parameters > array parameter*, kemudian masukan beban melalui *Solution > loading options*



Gambar 8. Pembebanan

- *Analisa*

Setelah memberikan beban maka model dapat di analisis

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil pengujian pengelasan MIG

Pengelasan metal inert gas di lakukan dengan parameter pengelasan yaitu 24 V untuk

tegangannya dan 180 A untuk arusnya dengan kecepatan las 11,3 mm/s yang menghasilkan *heat input* 3823 joule/cm dengan perhitungan sebagai berikut :

$$HI = 60.E.I/v$$

Keterangan:

H = Masukan Panas (joule/cm)

E = Tegangan Busur (volt)

I = Arus Las (Ampere)

v = Kecepatan Las (cm/menit)

$$HI = 60.24.180/67,8$$

$$= 3823 \text{ joule/cm}$$

Hasil pengujian tarik pada pengelasan *metal inert gas* dilakukan menggunakan mesin uji tarik universal testing machine yang didasarkan pada standar pengujian ASTM E 8M -00b[2]

Tabel 1. Hasil pengujian tarik pengelasan metal inert gas

Specimen	Tegangan (σ_{max}) (Mpa)	Regangan (ϵ) (%)
1	92.65	2.4
2	114.03	1.9
3	144.86	3.3
4	176	2.3

Hasil pengujian tarik pada pengelasan *metal inert* menunjukkan nilai tegangan (σ_{max}) rata – rata 131,89 Mpa. Hasil tersebut lebih baik dari pengujian yang pernah di lakukan sebelumnya yang menggunakan 200 A [10]], tetapi hasil tersebut masih belum memenuhi standar ASTM yang memiliki standar minimum untuk kekuatan tariknya yaitu 275 Mpa.

4.2 Hasil pengujian pengelasan FSW

Hasil pengujian tarik pengelasan friction stir welding dilakukan menggunakan mesin uji tarik universal testing machine yang didasarkan pada standar pengujian ASTM E 8M -00b[2], diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil pengujian tarik pengelasan friction stir welding

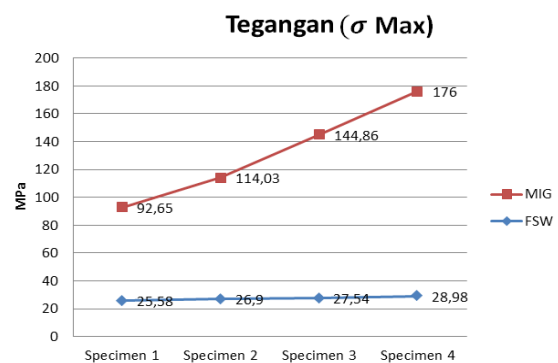
Specimen	tegangan (σ_{max}) (Mpa)	Regangan (ϵ) (%)
1	25.58	0.3
2	26.90	0.2
3	27.54	0.3
4	28.98	0.1

Hasil pengujian tarik pada pengelasan *friction stir welding* menunjukkan nilai tegangan (σ_{max}) rata – rata 27,25 Mpa. Hasil tersebut sangat jauh dari nilai tegangan (σ_{max}) base metal yang di gunakan, sehingga terlihat belum mendapatkan hasil yang maksimal dan hasil tersebut masih belum memenuhi standar ASTM yang memiliki standar minimum untuk kekuatan tariknya yaitu 275 Mpa.



Gambar 9 Hasil pengelasan *friction stir welding*

Gambar hasil pengujian tarik tersebut menunjukkan bahwa semua spesimen menunjukkan alur las yang terlalu tipis[7], sehingga membuktikan bahwa hasil lasan mengalami penurunan kekuatan hingga kekuatannya sangat jauh dari nilai tegangan (σ_{max}) *base metal* yang di gunakan. Penyebab utama penurunan kekuatan hingga sangat jauh dari *base metal* tersebut di karenakan waktu penetrasi (*holding time*) yang kurang lama.



Gambar 10 Grafik tegangan maksimal pengelasan MIG dan FSW

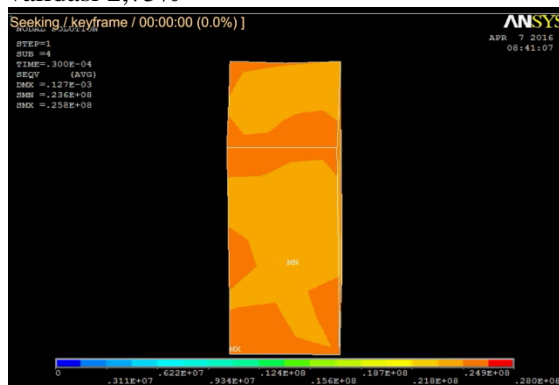
Hasil pengujian di dapatkan bahwa kekuatan tarik rata – rata sambungan las material aluminum 5083 pada pengelasan MIG adalah 131,89 MPa dan pada pengelasan friction stir welding yaitu 27,25 Mpa. Hasil tersebut masih belum memenuhi standar ASTM yang memiliki standar minimum untuk kekuatan tariknya yaitu 275 Mpa.

Hasil tersebut dapat di simpulkan sementara bahwa kekuatan tarik (σ) rata – rata sambungan las pengelasan metal inert gas lebih besar dari kekuatan tarik rata – rata pengelasan *friction stir welding*. Hasil yang kurang baik pada *friction stir welding* tersebut membuat metal inert gas mengungguli kekuatan tarik pengelasan friction stir welding. Pengelasan *friction stir welding* yang merupakan pengelasan tanpa bahan tambahan memerlukan parameter pengelasan friction stir welding yang tepat agar dapat meleburkan aluminium tersebut dengan baik sehingga material aluminium dapat menyatu dengan sempurna.

4.3 Hasil pengujian software Ansys Ls-Dyna

a. Pengelasan Friction stir welding

Hasil pemodelan dengan Program Ansys Ls-Dyna menunjukkan nilai tegangan maksimum terjadi pada sambungan las yang menyebabkan spesimen menjadi putus adalah 28 Mpa untuk beban tarik 3600 N. Hasil menunjukkan nilai tersebut bahwa memiliki validasi 2,75%

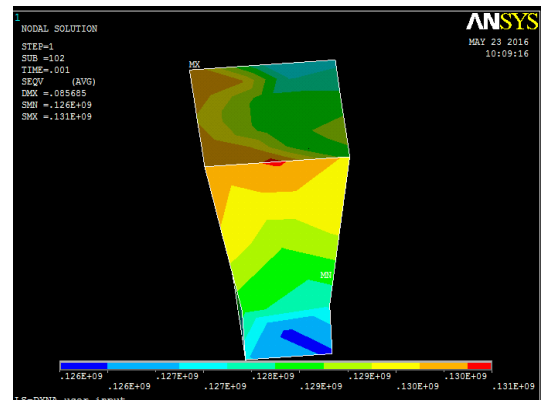


Gambar 11 analisa software friction stir welding

b. Pengelasan Metal inert gas

Hasil pemodelan dengan Program Ansys Ls-Dyna menunjukkan nilai tegangan maksimum terjadi pada sambungan las yang

menyebabkan spesimen menjadi putus adalah 131 Mpa untuk beban tarik 7000 N. Hasil menunjukkan nilai tersebut bahwa memiliki validasi 0,67%



Gambar 12. analisa software metal inert gas

KESIMPULAN

Setelah dilakukannya analisa hasil uji kekuatan tarik pada aluminium 5083 hasil pengelasan MIG dan FSW, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian di dapatkan bahwa kekuatan tarik rata – rata sambungan las material aluminum 5083 pada pengelasan MIG adalah 131,89 MPa dan pada pengelasan friction stir welding yaitu 27,25 Mpa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kekuatan tarik (σ) rata- rata sambungan las pengelasan MIG lebih besar dari kekuatan tarik rata – rata pengelasan friction stir welding.
2. Hasil pengujian menggunakan software Ansys Ls-Dyna di dapatkan bahwa kekuatan tarik sambungan las material aluminium 5083 pada pengelasan MIG adalah 131 Mpa dan pada pengelasan friction stir welding yaitu 28 Mpa. Hasil tersebut mendapatkan validasi masing – masing untuk FSW 0,2% dan untuk MIG 2,75%.

SARAN

Selanjutnya dari pembahasan penelitian ini, dapat dirangkum beberapa saran yang berkaitan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk penggunaan 1000 RPM pada pengelasan friction stir welding ini lebih

- baik penetrasi pin terhadap benda kerja di lakukan dengan waktu yang lebih lama.
2. Pengelasan friction stir welding di sarankan menggunakan mesin CNC yang memiliki performa lebih baik.
 3. Percobaan pengelasan FSW sebaiknya menggunakan Thermometer Gun untuk dapat mengetahui suhu yang terjadi saat pengelasan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Afendi, M. 2015. *Friction Stir Welding of Aluminum Alloy 5083 Butt Joint using Modified MILKO 37 Milling Machine*. Pahang : Universiti Malaysia Pahang.
2. American National Standart. 2004. *ASTM Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. E 8M – 00b:3.
3. ANSI/ AWS D.1.2/ D.1.2M. 2003. *Structural Welding Code Alumunium*.
4. ASM International, 2007, *Friction Stir Welding And Processing*, American Society of Material, Ohio
5. BOC. 2007. *welding consumables*. IPRM. Section 8: 431.
6. Jones D (n.d). 2015. *Pengertian Pengelasan*. Retrieved from: <http://www.pengelasan.com/2014/06/pengertianpengelasanadalah.html> (Accessed: 01 September 2015)
7. Sriwidharto.1996. *Petunjuk kerja las*. Jakarta : Pradnya Paramita.
8. Tata S, Shinroku S. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta : Pradnya paramita.
9. Wiryosumarto, H dan Okumura, Thoshie.1996.*Teknologi Pengelasan Logam* . Jakarta: Pradnya Paramita.
10. Yudo Hartono dan Mulyatno Imam Pujo. 2008. *Pengaruh Penggunaan Gas Pelindung Argon Grade A dan Grade C Terhadap Kekuatan Tarik Lasan Sambungan Butt Pada Material Kapal Aluminium 5083*. Semarang : Universitas Diponegoro.