

SIMULASI PARAMETER PENGELASAN GESEK ROTARI PADA AL ALLOY 6061 T-6 DAN AISI 1018 DENGAN *FINITE ELEMENT METHOD* (FEM)

Muhammad Irfan Maulana¹, Akhmad Hafizh Ainur Rasyid²

^{1,2} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

¹ muhammad1.19095@mhs.unesa.ac.id

² akhmadrasyid@unesa.ac.id

Abstrak— Pengelasan Gesek Rotari merupakan proses pengelasan yang dilakukan untuk menyambungkan material logam yang berbentuk silinder dengan cara melakukan gesekan terhadap dua material yang akan disambung dengan diberikan tekanan. Salah satunya berputar secara rotasi dengan posisi *stationer* sehingga terjadi difusi *displacement* atau *upset* yang menyebabkan material tersambung. Namun secara umum pengelasan gesek belum ditemukannya parameter yang ideal untuk menyambung dua material berbeda jenis sehingga sering terjadi kegagalan penyambungan. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk melakukan simulasi berbasis metode elemen hingga dengan *software FEM* untuk menyelesaikan permasalahan. Tujuan simulasi untuk menganalisis hasil kecepatan putar, tekanan aksial, Tekanan tempa dan waktu pengelasan. Parameter dianalisis terhadap nilai tegangan-regangan, distribusi temperatur dan *displacement* yang divisualisasikan melalui kontur. Simulasi ini menggunakan metode numerik berbasis elemen hingga. Parameter yang digunakan tekanan aksial 2,5 MPa tekanan tempa 4 MPa dan kecepatan putar 1500 RPM dan waktu pengelasan 10 detik. Data simulasi menunjukkan Analisa pada *stress strain* didapatkan regangan 1,8 dan tegangan 315 MPa, pada *displacement* didapatkan nilai 5,2 mm serta pada distribusi temperatur didapatkan nilai 582°C dengan parameter pengelasan tekanan aksial dan tempa 2,5 MPa, 4 MPa, Kecepatan putar 1500 RPM dengan waktu las 10 detik. Pada validasi penelitian dapat dikatakan *valid* karena telah memenuhi nilai kekuatan tarik 305 MPa pada pengujian tarik berdasarkan nilai sifat mekanik *Aluminum* paduan dengan *margin of error* $1,61\% < 5\%$. Hasil sambungan dikatakan *valid* karena telah dianalisis lalu di validasi memenuhi *standard properties* mekanik yang telah di tentukan oleh peneliti sehingga parameter pengelasan yang digunakan dapat direkomendasikan untuk dilakukan secara *experimental*.

Kata Kunci— Pengelasan Gesek Rotari; Simulasi; Finite Element Method; Al 6061 T-6 dan AISI 1018

Abstract— Rotary Friction Welding is a welding process that is carried out to connect metal materials in the form of a cylinder by means of friction against the two materials to be joined by applying pressure. One of them rotates in a rotational manner with a stationary position so that there is a diffusion of displacement or upset that causes the material to be connected. However, in general friction welding has not yet found the ideal parameters to connect two different types of materials so that joint failures often occur. Therefore, researchers are interested in conducting simulations based on the finite element method with FEM software to solve the problem. The purpose of the simulation is to analyze the results of rotational speed, axial pressure, forging pressure and welding time. Parameters were analyzed for stress-strain values, temperature distribution and displacement visualized through contours. This simulation uses a finite element-based numerical simulation method. The parameters used are 2.5 MPa axial pressure, 4 MPa forging pressure and 1500 RPM rotational speed and welding time of 10 seconds. Simulation data shows that the stress strain analysis obtained a strain of 1.8 and a stress of 315 MPa, the displacement value was 5.2 mm and the temperature distribution value was 582°C with the axial and forging pressure welding parameters 2.5 MPa, 4 MPa, rotational speed 1500 RPM with a welding time of 10 seconds. The research validation can be said to be valid because it has fulfilled the tensile strength value of 305 MPa in the tensile test based on the value of the mechanical properties of Aluminum alloy with a margin of error of $1.61\% < 5\%$. The connection results are said to be valid because they have been analyzed and then validated to meet the standard mechanical properties that have been determined by the researcher so that the welding parameters used can be recommended to be done experimentally.

Keywords— Rotary Friction Welding; Simulation; Finite Element Method; Al 6061 T-6 dan AISI 1018

PENDAHULUAN

Berkembangnya teknologi yang semakin maju menuntut masyarakat untuk terus beradaptasi dengan segala perubahan-perubahan yang ada. Hal tersebut sejalan dengan peningkatan Indeks perkembangan teknologi Indonesia dimana, Terjadi peningkatan pada indeks pembangunan teknologi Indonesia sebesar 5,32% dimana salah satu Peningkatan IP-TIK 2019 ini didorong oleh pencapaian dari

pembangunan infrastruktur TIK(Teknologi informasi dan komunikasi) yang mencerminkan kesiapan TIK Indonesia (ICT readiness) mencapai 5,53 [1]. Perkembangan teknologi salah satunya terjadi pada bidang pengelasan. Yakni pada pengelasan gesek atau yang dikenal dengan *friction welding*. Prinsip *friction welding* merupakan pengelasan yang terjadi akibat panas yang dihasilkan dari gesekan kedua ujung permukaan benda kerja. Gesekan tersebut disebabkan karena panas antar kedua permukaan benda kerja dan pemberian

beban antara material yang berputar dan material yang diam atau keduanya berputar berlawanan arah [2]. Pada proses pengelasan terdapat beberapa parameter yang dapat mempengaruhi kemampuan hasil pengelasan., parameter pengelasan friksi yang paling berpengaruh adalah diantaranya adalah *Preweld Time*, *Axial Force*, *Rotational Speed* [3]. Penelitian ini melakukan simulasi numerik menggunakan metode *finite element FEM* atau yang lebih dikenal metode elemen hingga. Simulasi yang dilakukan berbasis Metode elemen hingga, dimana tujuan utamanya untuk membagi obyek benda kerja yang akan dianalisa, menjadi beberapa sub-bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian tersebut dikenal dengan “elemen” yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal [4]. Simulasi dirasa penting untuk dilakukan karena untuk memprediksi sambungan las antara material yang berbeda jenis dengan parameter tertentu dimana dalam kondisi nyata sulit untuk dilakukan sehingga lebih efisien dari segi biaya dan waktu. Proses simulasi yang dilakukan berdasarkan parameter las gesek secara *experiment* sehingga diharapkan hasil simulasi dapat menjadi solusi parameter yang mendekati dengan kondisi lapangan. Pada penelitian sebelumnya yang juga menggunakan simulasi numerik mengatakan bahwa data hasil simulasi numerik dikatakan baik dan valid apabila memiliki nilai *error* yang *relative* kecil yaitu di bawah 5% [5]

Penelitian ini dilakukan, didasari oleh penelitian sebelumnya yaitu terjadi *kegagalan penyambungan* menggunakan metode *RFW (Rotary Friction Welding)* dengan perpaduan 2 material berbeda. Pada tahun 2019, Hafizh dkk melakukan penelitian yakni Analisa Pengaruh Pemanasan Menggunakan Metode Induksi Elektromagnetik Pada Proses Pengelasan Friksi Logam Ferro Dan *Non-Ferro* yakni Al6061 dengan baja SWRM 1008. Penelitian tersebut merupakan penggabungan dua material dari jenis yang berbeda. Dengan menggunakan pemanasan induksi magnetik yang dapat memanaskan material ferromagnetik. Parameter pengelasan yang digunakan yakni kecepatan putar 1800 RPM, Tekanan aksial 2 MPa, dan Tekanan Tempa 3 MPa. Hasil penelitian, spesimen belum bisa berdifusi dengan sempurna antar material tersebut. Kegagalan sambungan terlihat dari patahan yang terjadi pada sambungan las. Foto mikro spesimen menunjukkan belum terjadi difusi antara aluminium dengan baja, apabila telah terjadi difusi antara aluminium dengan baja seharusnya pada sambungan las akan terdapat beda warna. Nilai kekuatan tarik sambungan sebesar 61,65,25; 69,33 Mpa nilainya jauh dibawah kekuatan tarik Al6061 yaitu sebesar 123,48 Mpa. Pemanasan dengan metode induksi magnetik pada pengelasan antara logam *ferro* dan *non ferro* tidak berpengaruh terhadap kekuatan tarik.[6]

Penelitian sebelumnya mengenai Simulasi Numerik Proses Pengelasan Gesek antara *Copper* dengan *Aluminium* Al6061. Bertujuan untuk menemukan parameter kecepatan putar, tekanan aksial dan waktu pengelasan dengan simulasi terhadap pengaruh konduksi, konveksi perpindahan panas. Parameter yang digunakan kecepatan putar 200,300 dan 400 RPM, Tekanan aksial 0,1, 1 dan 10 MPa, Waktu 1, 2 dan 4 detik. Hasil penelitian deformasi yang disimulasikan sebanding dengan deformasi secara *experiment*, Parameter optimal berada pada kecepatan putar 400 rpm waktu 4 detik

dan tekanan 10 MPa. rekomendasi dari metode *teguchi* kecepatan putar memiliki pengaruh yang paling besar saat simulasi. [7], Penelitian relevan Tentang Simulasi Numerik pada Pengelasan *Friction Welding* berdasarkan *software FEM*. Bertujuan untuk mendapatkan parameter pengelasan terbaik dengan *model 3D*. Parameter pengelasan yakni, kecepatan putar 1200 rpm, tekanan aksial 200 MPa, tekanan tempa 400 MPa dan waktu pengelasan dan tempa 3,2 dan 0,1 detik. Hasil simulasi menunjukkan kesamaan dan akurat dengan hasil *experiment* dimana perbandingan simulasi dan *experiment* memiliki *margin of error* 2,5% [8], Penelitian mengenai “Pengaruh Waktu dan Tekanan Gesek terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Paduan *Aluminium 6061* dan Baja Karbon Pada Pengelasan Gesek *Continuous Drive*” Penelitian. Variasi parameter yang digunakan variabel bebas, waktu pengelasan 5, 7 dan 9, 11 detik, tekanan aksial 24, 32 dan 40 MPa. Dengan variabel kontrol, kecepatan putar 1600 RPM, Tekanan Tempa 79 MPa, waktu tempa 60 detik. Variabel terikat penelitian kekuatan tarik sambungan Analisa dilakukan dengan pengujian tarik, kekerasan *vickers* dan foto mikro. Hasil *experimental* penelitian Parameter terbaik didapat pada tekanan gesek 40 MPa dan Waktu 7 detik dengan hasil kekuatan tarik 187 MPa, suhu 408 oC nilai kekerasan 209,6 VHN[9] ,Penelitian lain mengenai Evaluasi Properties Material Dan *Finite Element Method (FEM)* Model Pada Pengelasan Gesek Aluminium Paduan Dengan *Mild Steel*. Tujuan penelitian untuk menganalisa secara *experimental* kekuatan mekanik, dan sifat antar muka sambungan *mild steel* dan *alumina* dengan *interlayer Al6061* pada *friction welding*. Ditemukan Parameter pengelasan yang Ideal pengelasan gesek, *Axial pressure* 20 Mpa, RPM 900, *Preweld Time* 2 detik. Waktu pengelasan mempengaruhi hasil sambungan las. Dan input karakteristik temperatur *properties material*. [10]

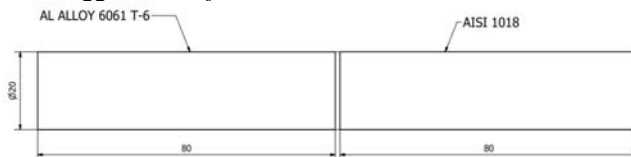
Secara umum permasalahan yang dihadapi, belum menemukan parameter pengelasan gesek yang ideal antara dua jenis material yang berbeda serta terjadi kegagalan dalam proses penyambungan. material belum bisa berdifusi dengan sempurna karena karakteristik properti mekanik material berbeda. Berdasarkan uraian tersebut peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul Simulasi Parameter Pengelasan Gesek Rotari Pada *Al Alloy 6061 T-6* Dan *AISI 1018* Dengan *Finite Element Method (FEM)*. Konsep simulasi yaitu peneliti akan melakukan simulasi *friction welding* berbasis *finite element method* menggunakan *software CAE (FEM)* dengan memasukkan nilai properties mekanik material dan input parameter awal, seperti tekanan aksial, tekanan tempa, kecepatan pengelasan (RPM) dan waktu pengelasan. Kemudian hasil simulasi seperti nilai *stress-strain*, *Axial Shortening Displacement* dan distribusi temperatur *cross section* akan dianalisis dengan parameter *input*. *Output* simulasi ini akan didapatkan parameter pengelasan *friction* dengan hasil simulasi *FEM*. Parameter yang didapat sebagai rekomendasi untuk diterapkan pada penelitian *experimental*. Tujuan simulasi untuk menganalisis hasil kecepatan putar, tekanan aksial, Tekanan tempa dan waktu pengelasan. Parameter tersebut dianalisis terhadap nilai tegangan-regangan, distribusi temperatur dan *displacement* yang divisualisasikan melalui kontur.

METODE

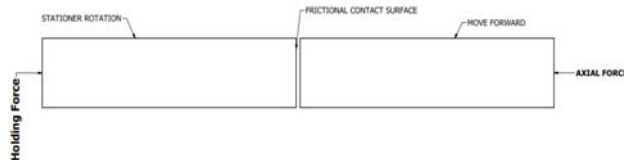
Bagian metode pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi numerik berbasis komputasi *Finite element method FEM*. Untuk memperoleh pemecahan pendekatan dari suatu persamaan diferensial parsial (*Partial Differential Equation*). Bertujuan untuk mempermudah peneliti dalam mendapatkan parameter-parameter pengelasan gesek yang *ideal* berbasis simulasi sehingga dapat mereduksi pengujian secara eksperimental aktual berungki yang berimplikasi pada biaya dan waktu. Simulasi numerik ini membantu untuk mengetahui nilai dari distribusi temperatur, *displacement* dan *stress-strain* antar material yang divisualisasikan melalui warna-warna kontur, dianalisis dengan parameter pengelasan kemudian ditentukan rekomendasi parameter terbaik dan *possible*.

A. Obyek Simulasi

Obyek penelitian yang digunakan adalah *Friction Welding dissimilar material* yaitu material beda jenis antara poros Aluminium Paduan (*AlAlloy*) 6061-T6 dan Carbon Steel AISI 1018. Dengan variasi parameter input berupa tekanan gesek, tekanan tempa, kecepatan pengelasan (RPM) dan waktu pengelasan. Dengan spesifikasi antar material yakni panjang 80 mm dan diameter 20 mm. Gbr 2. diatas adalah model *Finite element* dan Skema pengelasan gesek yang akan disimulasikan menggunakan simulasi numerik berbasis *FEM* menggunakan *Software CAE FEM*.



Gbr 1. FEM Model Rotary Friction Welding



Gbr 2. Skema Pengelasan Gesek Rotari

B. Variabel Simulasi.

Simulasi ini memiliki tiga jenis variabel antara lain, variabel bebas, variabel kontrol dan variabel terikat. Adapun variabel bebas yang digunakan Tekanan Aksial (MPa), Tekanan Tempa (MPa) dan Kecepatan Putar (RPM) Adapun Nilai variabel dapat dilihat pada tabel 1. Parameter Simulasi pengelasan gesek. Variabel kontrol meliputi dimensi spesimen, jenis *dissimilar material*, nilai *maximal* difusi *displacement* $\pm 5\text{mm}$ dan *maximal* distribusi temperatur $\pm 650^\circ\text{C}$ serta variabel terikat adalah hasil simulasi kekuatan tarik.

C. Parameter dan Metode Simulasi FEM Friction Welding

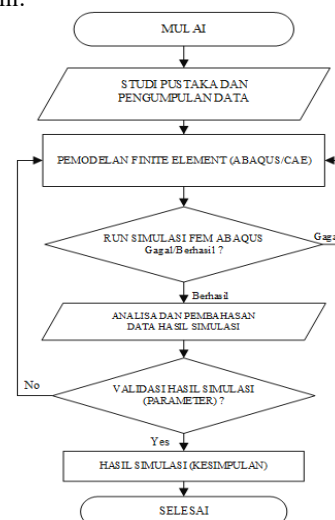
- 1) *Parameter Pengelasan Gesek*: Parameter simulasi input ini yang nanti akan menentukan hasil *output*

simulasi sehingga didapatkan rekomendasi parameter ideal untuk dilakukan pengelasan secara *experimental*. Pada Simulasi numerik ini menggunakan program *FEM CAE* yakni merupakan sebuah program yang digunakan untuk rekaya simulasi berdasarkan asas metode elemen hingga. Simulasi ini digunakan untuk menyelesaikan masalah yang bersifat sederhana, analisis *linier* hingga *non-linier*. Tabel 1 berikut merupakan Parameter simulasi yang akan digunakan:

Tabel 1. Parameter Simulasi Pengelasan Gesek

Parameter Pengelasan Gesek		
Keterangan	Symbol	Level-1
<i>Frictional Pressure</i> (MPa)	A	2,5
<i>Rotational Speed</i> (RPM)	B	1500
<i>Forging Pressure</i> (MPa)	C	4
Waktu Pengelasan (s)	D	10

- 2) *Flowchart Alur Penelitian*: Berikut merupakan *Flowchart* alur penelitian yang menjelaskan tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada penelitian, adapun tahapan yang dimaksud dapat dilihat pada skema alur berikut ini:



Gbr 3. Flowchart Alur Penelitian

Pemodelan *Finite Element CAE*

Pemodelan simulasi numerik menggunakan *software FEM CAE* merupakan sebuah program yang digunakan untuk rekaya simulasi berdasarkan asas metode elemen hingga. Dengan variasi analisa *explicit* dan *implisit* dan penyelesaian masalah *linier* dan *non-linier*.

Run Simulasi CAE FEM

Program dijalankan melalui *software FEM* dan akan ditinjau ulang dengan Software ini juga dapat menganalisis elastis dan plastis yang terdiri dari tiga tahapan antara lain: *preprocessing*, *simulation* dan *postprocessing*.

Analisa dan Pembahasan Data Simulasi

Analisa secara deskriptif dengan Melakukan analisa data melalui hasil simulasi dengan membandingkan nilai *properties mechanical* material seperti *stress-strenght* dan *elongation* dan diambil hasil yang terbaik dari simulasi sebagai rekomendasi. Adapun *properties* yang dimaksud dapat dilihat pada tabel 7.

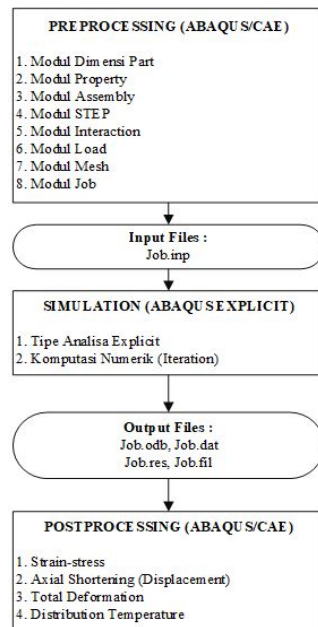
Validasi Hasil Simulasi Parameter

Validasi hasil simulasi melalui penelitian sebelumnya yakni penelitian hafiz 2019 yang gagal dan *properties* mekanik material berdasarkan hasil simulasi. Hasil rekomendasi parameter seperti kecepatan putar, tekanan aksial tempa dan waktu pengelasan dibandingkan dengan dilihat *margin of error* dari hasil kedua simulasi.

Hasil Simulasi Kesimpulan

Setelah didapat validasi maka dapat ditentukan kesimpulan berdasarkan hasil simulasi yang dijalankan.

3) Flowchart Diagram Pemodelan Software FEM CAE



Gbr 4. Flowchart Diagram Simulasi FEM

Prosedur simulasi pemodelan FEM/CAE terdiri dari:

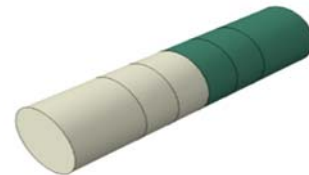
Instrument Penelitian

Intrument penelitian ini menggunakan software FEM CAE 2020.

Tahap Preprocessing (FEM/CAE)

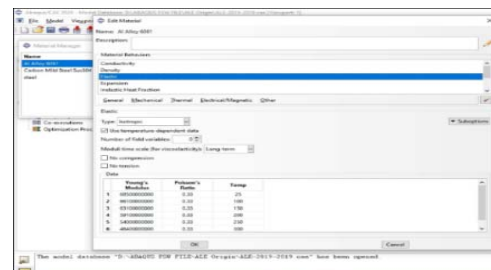
Tahap *preprocessing* adalah tahap dilakukannya pemodelan geometri permasalahan secara grafis 2D atau 3D menggunakan FEM CAE maupun software CAD lainnya. Selain itu pemodelan permasalahan yang sederhana pada FEM dapat dilakukan dengan import input file pada *text editor* (Coding) yang tersedia dengan *format python* (py). Adapun tahap *preprocessing* terdiri dari sub tahapan berikut.

Modul dimensi part (geometry) merupakan *tool set* yang digunakan untuk menggambar atau mendesain geometri benda kerja melalui 2D dan 3D. pada modul ini pengguna dapat menyesuaikan dimensi dan model benda yang akan dibuat dengan dilengkapi *tool bar* yang lengkap. Geometri benda kerja memiliki dimensi panjang masing-masing 90 mm dan diameter 20 mm. ukuran tersebut ditentukan berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rasyid, (2019). Sisi kiri yang berwarna putih yakni material Aluminium paduan sedangkan yang hijau adalah baja karbon.



Gbr 5. Desain Geometry RFW

Modul Property Material merupakan modul yang berfungsi untuk memasukkan nilai dan sifat mekanis bahan seperti variasi material, *properties material*, dan spesifikasi dari material yang akan dianalisis. *Output* pada modul properti yakni untuk menunjukkan bagaimana kondisi dan respon material ketika diberikan sebuah perlakuan tertentu pada proses simulasi. Adapun nilai *properties* yang digunakan sebagai *engineering input* didapat dari penelitian yang dilakukan oleh [10], [11] yang dapat dilihat pada tabel 2 dan 3.

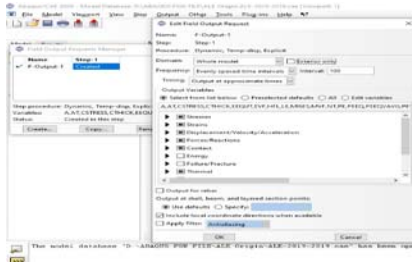


Gbr 6. Input Material Properties

Modul Assembly merupakan perakitan beberapa bagian komponen atau yang dikenal dengan (*instance part*) untuk menjadi satu bagian model yang akan dilakukan proses simulasi.

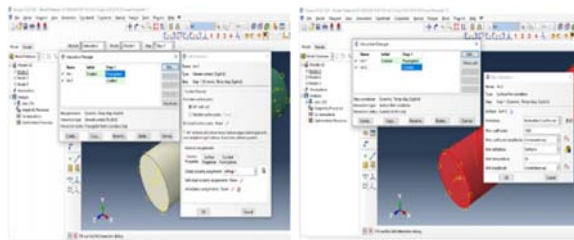
Modul STEP berfungsi untuk menentukan urutan tahapan yang akan diberikan sebuah variabel nilai dari letak pembebanan dengan membuat Set dan surface. Selain itu Modul step dapat digunakan untuk melihat dan memilih hasil simulasi yang diinginkan. Selain itu dipilih tipe analisa *STEP Dynamic*, *Temp-Displacement* dan *Explicit*. Dipilih tipe tersebut karena Menurut *Abaqus Manual Handbook* 6.14, (2016). "Tipe analisa *Explicit* di rekomendasikan karena untuk mensimulasikan material yang bergerak secara dinamis dimana lebih menghasilkan komputasi numerik yang lebih efisien dan stabil pada proses *STEP* nya, *Temp-disp* digunakan

untuk simulasi yang menghendaki perubahan sifat mekanik per perubahan atau kenaikan temperatur



Gambar 7. STEP Output Result

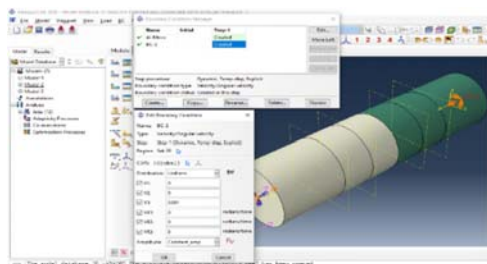
Modul Interaction merupakan modul yang digunakan untuk menentukan bagian dari material yang akan mengalami perlakuan terhadap material atau benda lain yang didefinisikan seperti kontak. Selain itu modul juga dilengkapi fitur *constraint* pada bagian benda yang dianalisis untuk mencegah benda agar tidak berpindah.



Gbr 8. Interaction Manager General Contact

Pada *interaction manager* terdapat menu untuk memberikan definisi perlakuan kontak pada material, antara lain yang digunakan yaitu untuk mendefinisikan proses terjadinya pengelasan gesek dengan memilih *general contact*. Menurut *Abaqus Manual Handbook 6.14*, (2016) *general contact* dapat memberikan hasil yang maksimal karena interaksi kontak umum didefinisikan untuk permukaan yang mencakup semua yang berisi semua permukaan luar.

Modul Load merupakan modul yang digunakan untuk memberikan beban, kecepatan dan tekanan pada boundary pada benda uji. Modul *load* juga digunakan sebagai sarana untuk memasukkan tipe kondisi batas (*boundary conditions*) yang akan kita buat. Pada modul ini dilakukan input parameter yang digunakan untuk simulasi, adapun parameter yang dimaksud dapat dilihat pada tabel 1.



Modul Mesh adalah proses *meshing* atau yang lebih dikenal dengan Proses diskretisasi yakni membagi geometri benda kerja yang dibuat menjadi elemen dan node. Modul mesh juga dapat mengatur kerapatan ukuran mesh, jenis mesh dan bagian bagian yang perlu diberikan mesh lokal. Dalam hal ini mesh yang digunakan tipe bentuk linier *brick element 8-node birck C3D8* karena bentuk meshing dapat fleksibel dan menyesuaikan pola *geometry rod* spesimen.

Modul Job adalah modul yang berfungsi untuk melakukan proses simulasi dibelakang layar atau iterasi numerik terhadap model yang telah dibuat. Saat proses simulasi pengguna dapat melakukan pengecekan berkala untuk mengetahui secara real-time apakah simulasi yang sedang dilakukan sudah benar atau terdapat kesalahan. Apabila terjadi *error* maka pada bagian-bagian yang terjadi kesalahan harus dilakukan proses modifikasi ulang.

Simulation (FEM EXPLICIT)

Pada Tahap simulasi, komputer melakukan komputasi secara numerik dengan asas metode elemen hingga. Hasil komputasi dapat diketahui sesuai dengan variabel-variabel nilai yang telah ditentukan pada modul *STEP* seperti nilai tegangan, regangan, pergeseran dan nilai kontak.

Tipe Analisa Explicit, Terdapat dua tipe analisis yakni *FEM standard* dan *FEM explicit* yang digunakan pada simulasi dari hasil *processing*. Tipe analisa yang digunakan yakni *FEM Explicit* karena *output* penyelesaian menghasilkan sistem non-linear dengan banyak kontak yang kompleks di bawah beban-beban sementara. Serta menggunakan fungsi khusus integrasi secara jelas.

Komputasi Numerik (Iteration), Lama waktu dari Komputasi numerik yang dilakukan tergantung dari konfigurasi dan kompleksitas masalah yang dianalisis, mendefinisikan atau menyederhanakan model serta kemampuan *hardware* komputer yang digunakan.

Tahap Postprocessing (FEM/CAE)

Pada tahap *postprocessing* merupakan tahap akhir Setelah proses komputasi dan simulasi. hasil dapat ditampilkan dan dievaluasi. Evaluasi umumnya dilakukan secara interaktif menggunakan modul Visualisasi *FEM / CAE* atau *postprocessor* lain. Modul Visualisasi akan membaca database hasil komputasi numerik yang memiliki banyak variasi pilihan untuk menampilkan hasil analisis, termasuk plot kontur warna, animasi, plot deformasi bentuk dan plot pada bidang X-Y. adapun hasil simulasi yang didapat pada penelitian ini meliputi: *Strain-Stress, Axial Shortening/Displacement, Total Deformation dan Distribution Temperature*

D. Properties Material Simulasi

Properties material simulasi yakni sifat material yang

didefinisikan pada proses simulasi terdiri dari beberapa variabel antara lain meliputi *temperature dependent properties of material*, *mechanical properties*, *chemical* dan penggunaan *johnson cook model*, variabel ini digunakan sebagai Input untuk simulasi *FEM*.

1) Input Material Properties FEM

Pada input properties mekanik peneliti mengutip dan mengkompilasi data berdasarkan penelitian relevan sebelumnya.

Tabel II. Temp Dependent Properties AL Alloy

NO	Temperature (°C)	Density (Kg/m ³)	Thermal Conductivity (W/m. K)	Heat Capacity (J/kg. K)	Young's Modulus (GPa)	Poisson Ratio	Thermal Expansion (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	Inelastic Heat Fraction
1	0	7890	51,9	450	210	0.278	10,1	
2	100	7860	51,1	470	200	0.294	11	
3	300	7870	46,1	485	200	0.309	12	
4	450	7840	41,05	520	150	0.31	13	
5	550	7690	37,5	560	110	0.338	14	
6	600	7440	35,6	620	88	0.357	14	0.9
7	720	7350	30,64	760	20	0.373	14	
8	800	7300	25,8	931	20	0.373	15	
9	1450	7250	29,45	437,93	2	0.409	15	
10	1526	7180	29,7	400	0,2	0.473	16,6	

Sumber: [9], [11]

Tabel III. Temp Dependent Properties AISI 1018

NO	Temperature (°C)	Density (Kg/m ³)	Thermal Conductivity (W/m. K)	Heat Capacity (J/kg. K)	Young's Modulus (GPa)	Poisson Ratio	Thermal Expansion (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	Inelastic Heat Fraction	Latent Heat
1	0	2703	162	917	69,7	0.33	22,4		398000
2	98	2685	177	978	66,2	0.33	24,61		Solidus
3	201	2657	192	1028	59,2	0.33	26,6		Temp(°C)
4	316	2630	207	1078	47,78	0.33	27,6	0.9	582
5	428	2602	223	1133	31,72	0.33	29,6		Liquidus
6	571	2574	253	1230	20,91	0.33	34,2		Temp(°C)
7	651	2538	264	1235	15,38	0.33	36,3		651

Sumber: [9], [11]

Tabel IV. Johnson Cook Model AISI 1018

Johnson-Cook Law Model							
A (MPa)	B (MPa)	n	m	Melting Temp(°C)	Transition Temp(°C)	C	Epsilon Dot
217	233,7	0,6428	1,097	1480	25	0,0756	1

Sumber: [11]

Tabel V. Johnson Cook Model AL Alloy

Johnson-Cook Law Model							
A (MPa)	B (MPa)	n	m	Melting Temp(°C)	Transition Temp(°C)	C	Epsilon Dot
324	114	0,42	1,34	582	27	0,0083	1

Sumber: [9]

Tabel VI. Mechanical Properties of AISI 1018 dan AL ALLOY 6061-T6

Materials	Mechanical Properties					
	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Modulus Elasticity (GPa)	Elongation ϵ (%)	Shear Modulus (GPa)	Hardness (HV)
AL ALLOY 6061 T-6	310	276	68,9	12-17	26	95
CARBON STEEL AISI 1018	430	370	200-210	15-23	78-82	126

Sumber: [12]

E. Validasi Simulasi

Validasi pada simulasi dapat dinyatakan dengan melakukan simulasi numerik *tensile test* atau pengujian tarik. Hasil rekomendasi parameter yang telah didapat diukur dengan pengujian tarik untuk dibandingkan dengan

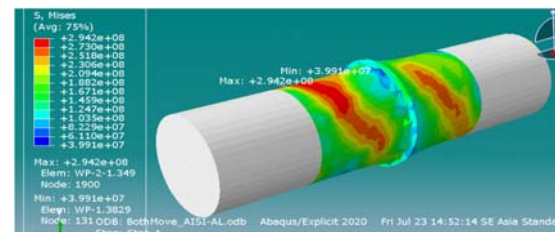
nilai *properties mechanical* pada material. Nilai selisih hasil perbandingan dilihat dan dihitung *margin of error*. Apakah telah sesuai atau belum. nilai dari *properties mechanical* dapat dilihat pada tabel 6 di atas. Dimana nilai *tensile strength* setidaknya harus berada pada angka ± 310 -430 Mpa. Pembuatan dimensi spesimen pengujian tarik dan *setting* menganut *standard ASTM E8 V3 Plate*.

HASIL DAN DISKUSI

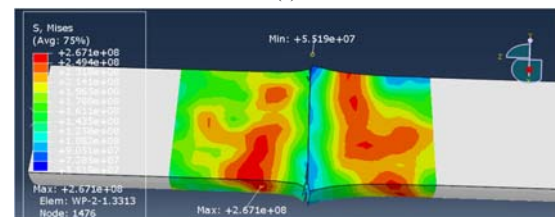
Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan didapatkan hasil yang dapat divisualisasikan dan dianalisa serta dilakukan validasi berbasis simulasi. Hasil tersebut meliputi *Stress-strain*, *Displacement* dan *Temperature Distribution* yang dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:

A. Visualisasi Distribusi Tegangan Regangan

Berikut adalah visualisasi kontur tegangan dan regangan dari hasil simulasi numerik pengelasan gesek rotari dengan metode *finite elemen*.

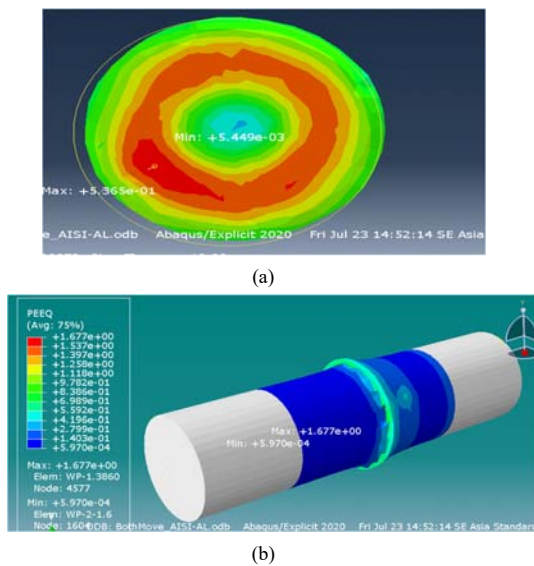


(a)



(b)

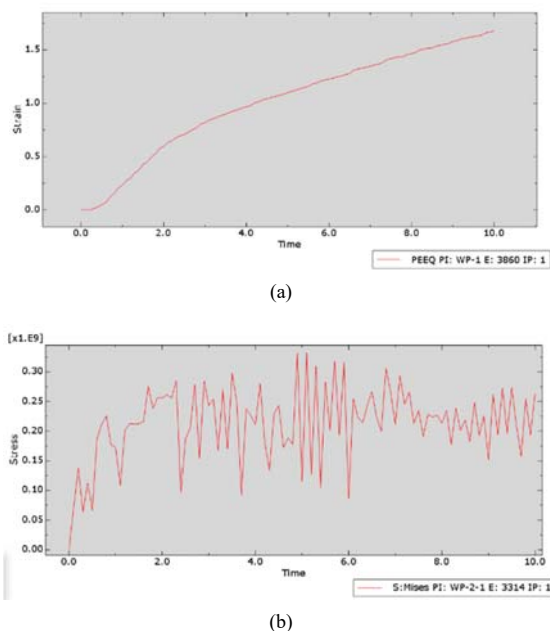
Gbr 9. Kontur Distribusi Tegangan (a) *Fully* dan (b) *Mid Section*



Gbr 10. Kontur Distribusi Regangan (a) Mid Section (b) Fully Isometri

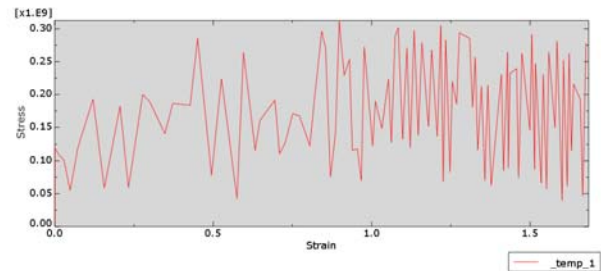
Hasil simulasi numerik pengelasan gesek rotari yang ditampilkan pada gambar 9 dan 10 menunjukkan bahwa terjadi perubahan nilai *stress-strain* setiap kenaikan dalam satuan detik. Dapat dilihat pada gambar 9 (b) terdapat gradasi warna yang *random* seperti warna merah, orange, kuning, hijau dan biru. Hal tersebut menunjukkan pada bagian elemen tertentu terdapat peningkatan *stress* yang ditandai dengan warna merah dan terdapat warna hijau dan biru yang cenderung *stress* tidak terlalu besar. *Stress* dan *strain* yang muncul diakibatkan tekanan aksial pada salah satu benda kerja dan benda yang lain berputar dan menahan tekanan.

1) Analisa Distribusi Tegangan dan Regangan



Gbr 11. Grafik Distribusi (a) Tegangan dan (b) Regangan vs waktu

Berdasarkan hasil simulasi pengaruh waktu terhadap distribusi regangan berbanding lurus yakni semakin lama waktu pengelasan maka distribusi regangan akan semakin tinggi yakni bernilai 1,8 dalam waktu 10 detik. Begitu juga terhadap 2 variabel yang lain yaitu tekanan aksial dan tempa serta RPM kecepatan putar semakin besar sehingga tekanan aksial dan tempa masing-masing bernilai 2,5 MPa dan 4 MPa maka akan menghasilkan regangan tarik 1,8. Pada hasil simulasi tegangan maksimal 315 MPa dicapai pada waktu ke 5 detik dan selanjutnya bergerak fluktuatif hingga detik ke 10 mencapai 250 Mpa.

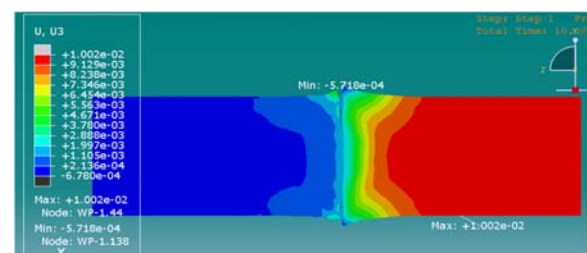


Gbr 12. Grafik Stress-Strain Rotary Friction Welding

Kurva *stress-strain* diatas menunjukkan *stress* tertinggi didapat pada *strain* 0,9 yakni 315 Mpa kemudian *stress* bergerak secara fluktuatif dan *line* kurva semakin rapat karena dipengaruhi oleh tekanan tempa yang semakin besar.

B. Visualisasi Displacement (Pergeseran)

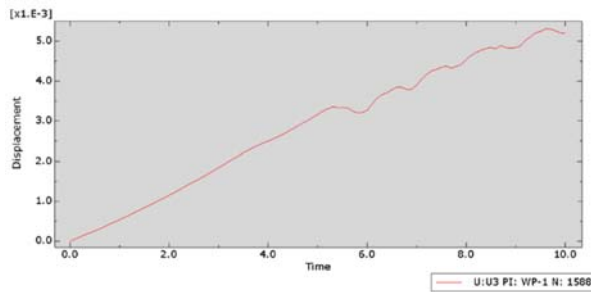
Berikut adalah visualisasi kontur *displacement* dari hasil simulasi numerik pengelasan gesek rotari dengan metode *finite elemen*.



Gbr 13. Kontur Displacement

Berdasarkan gambar 13. Yang ditampilkan menunjukkan bahwa terjadi perubahan nilai *displacement* setiap kenaikan dalam satuan detik. terdapat gradasi warna pada salah satu benda kerja yakni pada AISI 1018 yang terlihat seperti warna merah, orange, kuning, hijau. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi pergerakan secara *axial* dimana material AISI1018 menekan material AL 6061 sejauh 10 mm. sehingga terjadi gesekan dan *upset flash* yang menyebabkan terjadi *displacement* sebesar 5,2 mm. *displacement* tersebut terjadi karena material AL6061

menahan tekanan aksial dan berputar secara rotasi.

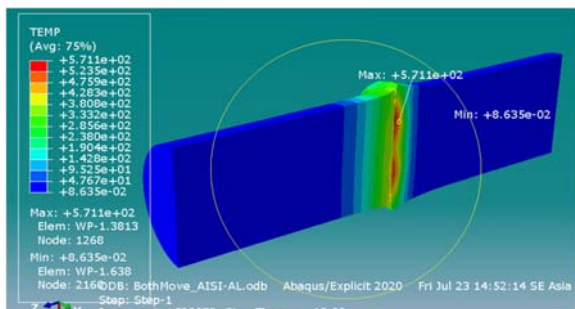


Gbr 14. Grafik Displacement Vs Waktu

Analisa Displacement: Berdasarkan hasil simulasi pengaruh waktu terhadap *Displacement* atau *upset* las berbanding lurus dengan lama waktu pengelasan maka nilai *upset* akan semakin tinggi yakni bernilai 5,2 mm pada waktu 10 detik hasil tersebut dapat dikatakan berhasil atau sesuai karena memenuhi *standard* nilai *maximal* difusi *displacement* yakni ± 5 mm menurut [3], [13]. Yang mana pada tekanan aksial nilai *displacement* 3 mm pada detik 5 dengan ditambah dengan tekanan tempa maka menjadi 5,2 mm. tekanan aksial dan tempa masing-masing bernilai 2,5 MPa dan 4 MPa. Sedangkan pengaruh RPM didapatkan hasil simulasi yaitu dengan menggunakan kecepatan putar 1500 RPM didapatkan nilai *displacement* 5,2 mm.

C. Visualisasi Distribusi Temperatur

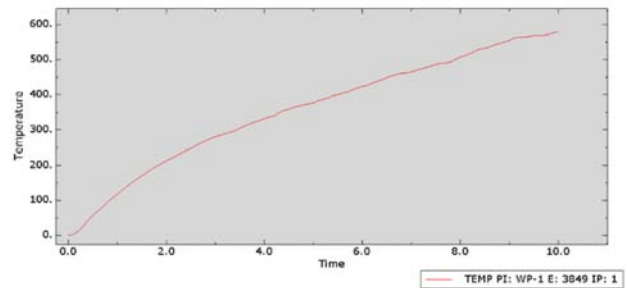
Berikut adalah visualisasi kontur Distribusi Temperatur dari hasil simulasi numerik pengelasan gesek rotari dengan metode *finite elemen*.



Gbr 15. Kontur Distribusi Temperatur

Berdasarkan gambar 15 yang ditampilkan menunjukkan bahwa terjadi perubahan kenaikan nilai distribusi temperatur pada setiap gesekan dalam satuan detik. Dapat dilihat bahwa terdapat gradasi warna pada kedua benda kerja. Pada sisi kanan yaitu *AL6061* terdapat warna merah, *orange*, kuning, hijau, biru tosca. Hal tersebut menunjukkan secara *gradually* terjadi kenaikan temperatur yang menyebabkan terjadi *upset* sambungan atau proses difusi pengelasan. Perbedaan kenaikan suhu pada salah satu material dikarenakan

properties mekanik material yang berbeda dimana *AL6061* memiliki karakteristik lebih cepat panas dan densitas yang lebih tinggi dibandingkan *AISI 1018* sehingga lebih cepat menuju (*melting point*).

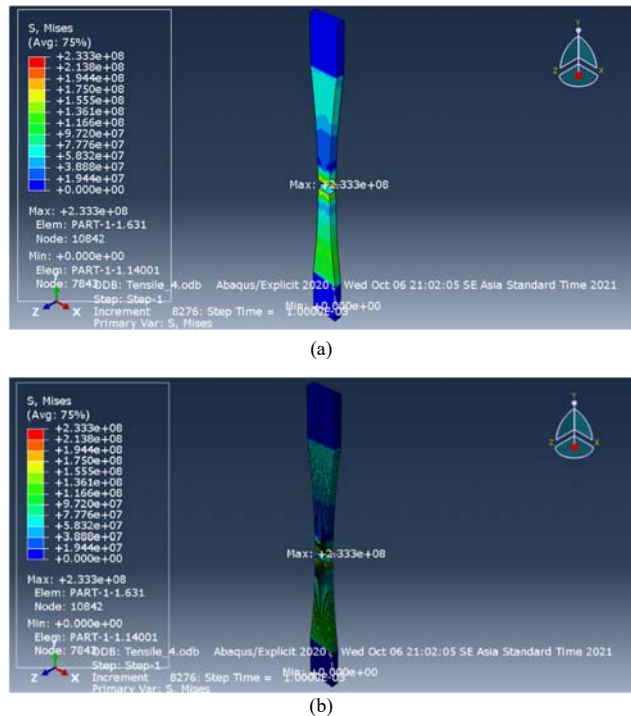


Gbr 16. Grafik Distribusi Temperatur Vs Waktu

Analisa distribusi temperatur: Berdasarkan hasil simulasi pengaruh waktu terhadap Distribusi Temperatur berbanding lurus dengan lama waktu pengelasan dimana dalam waktu pengelasan 10 detik didapatkan distribusi temperatur maksimal yakni 582°C hasil tersebut dapat dikatakan sesuai karena dibawah dari nilai *melting point* alalloy yakni 650°C sehingga antara aluminium paduan dan baja karbon telah terjadi difusi. Sedangkan pada pengaruh tekanan aksial dan tempa yang masing-masing bernilai 2,5 MPa dan 4 MPa, didapatkan pada tekanan aksial didapatkan Distribusi Temperatur 400°C dan tekanan tempa 582°C. kemudian pengaruh RPM didapatkan hasil simulasi yaitu dengan menggunakan kecepatan putar 1500 RPM didapatkan Distribusi Temperatur 582°C.

D. Validasi Simulasi

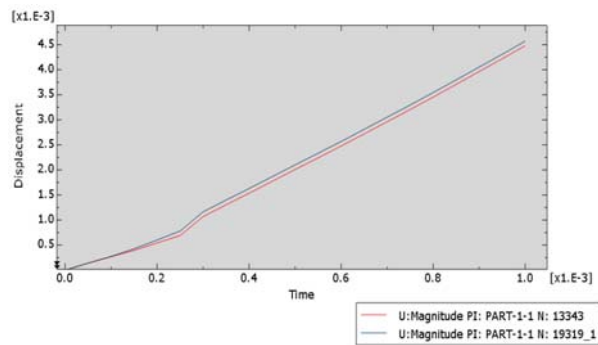
Validasi dilakukan dengan simulasi pengujian tarik atau *tensile test* pada hasil sambungan *rotary friction welding* untuk mengetahui apakah hasil yang disimulasikan telah sesuai dan terdapat *margin of error* dibandingkan dengan nilai *properties* mekanik dari material tersebut. Adapun simulasi tersebut dapat dilihat pada gambar 17 sebagai berikut:



Gbr 17. Simulasi Tensile Test (a) Hide Mesh Result dan (b) Mesh Result

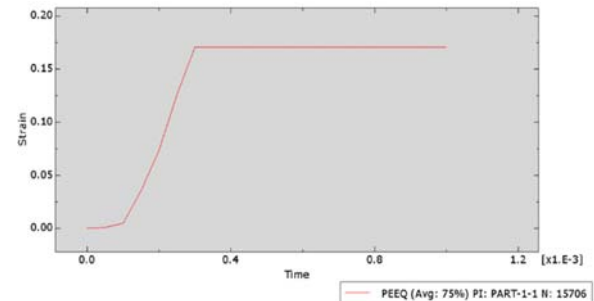
Berikut adalah visualisasi kontur tegangan dan regangan dari hasil simulasi numerik *tensile test* dengan metode *finite elemen*. Hasil simulasi numerik *tensile test* yang ditampilkan pada gambar 17 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai *stress-strain* pada setiap bagiannya yang ditandai dengan perbedaan warna-warna. Terdapat warna *orange*, kuning, hijau dan biru. Hal tersebut menunjukkan pada bagian elemen tertentu terdapat peningkatan *stress* seperti pada titik *orange* pada sudut permukaan spesimen yang telah *fracture* yang menandakan sebelum pata atau *fracture* telah terjadi *necking* atau pemuluran pada bagian tersebut. Sedangkan warna biru dan hijau merupakan sisa *stress* ketika material tersebut di tarik.

Analisa *Tensile Test* Terhadap *Displacement*, *Strain* dan *Yield Stress* dijelaskan sebagai berikut:



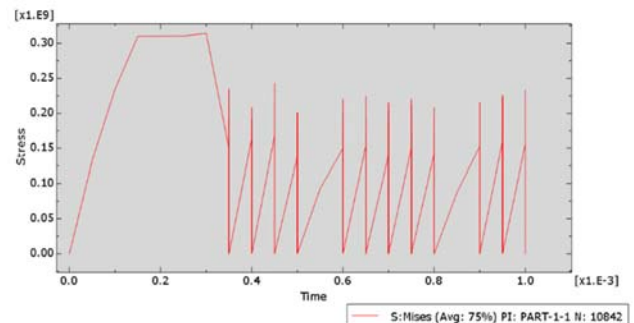
Gbr 18. Displacement Pengujian Tarik

- 1) *Tensile Test Displacement*: berdasarkan Gbr 18. Hasil simulasi menunjukkan pengujian tarik dari segi waktu terhadap *displacement*, dengan dilakukan penarikan maka spesimen mengalami *necking displacement* sebesar 4,5 mm dan setelah itu terjadi *fracture* pada kekuatan tarik sebesar 305 MPa.



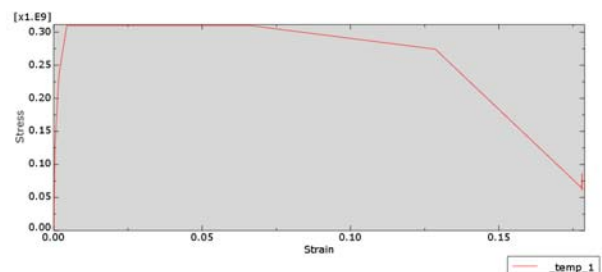
Gbr 19. Strain Pengujian Tarik

- 2) *Tensile Test Strain*: Berdasarkan hasil simulasi pada Gbr 19, menunjukkan pada waktu 3 detik didapatkan regangan sebesar 0,18 pada pengujian tarik hasil sambungan pada waktu tersebut terjadi *fracture* dengan kekuatan tarik 305 MPa hingga detik ke 10.



Gbr 20. Stress Pengujian Tarik

- 3) *Tensile Test Yield Stress*: Berdasarkan hasil simulasi pada Gbr 20, menunjukkan pada waktu 1,5 detik mulai terjadi *necking* pada spesimen dengan nilai stress 301 Mpa, *necking* tersebut tidak bertahan lama dimana pada 3 detik terjadi *ultimate stress* sebelum *fracture* atau putus pada hasil sambungan las gesek dengan nilai kekuatan tarik 305 MPa.



Gambar 21. Grafik Stress-Strain Tensile Test

- 4) *Tensile Test Stress-Strain*: Berdasarkan hasil simulasi pada Gbr 21, menunjukkan pada *strain* 0,01 terjadi *ultimate tensile strength* yakni sebesar 305 Mpa dimana spesimen telah memasuki daerah plastis kemudian material mengalami *necking* hingga terjadi tegangan patah atau *fracture* pada *strain* 0,18 dengan beban kekuatan patah 276 Mpa. Berdasarkan hasil simulasi validasi numerik maka dapat disimpulkan bahwa terdapat *margin of error* sebesar 1,61 % antara hasil validasi dengan nilai *tensile strenght properties* mekanik aluminium paduan dengan nilai 310 Mpa. Dapat diketahui bahwa karena nilai *margin of error* < 5% maka dapat dikatakan hasil simulasi baik dan *valid* [5].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi numerik *rotary friction welding* antara material *AL ALLOY 6061 T-6* dengan *AISI 1018* dengan menggunakan parameter pengelasan tekanan aksial dan tempa 2,5 MPa, 4 MPa, Kecepatan putar 1500 RPM dengan waktu las 10 detik maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh waktu terhadap distribusi regangan berbanding lurus yakni semakin lama waktu pengelasan maka distribusi regangan akan semakin tinggi yakni bernilai 1,8 dalam waktu 10 detik. Pada simulasi tegangan maksimal 315 MPa dicapai pada waktu ke 5 detik dan selanjutnya bergerak fluktuatif dan merapat hingga detik ke 10 mencapai 250 Mpa karena dipengaruhi oleh tekanan tempa yang semakin besar.
2. Analisa *Displacement* Berdasarkan hasil simulasi pengaruh waktu dan terhadap *Displacement* atau *upset* las berbanding lurus dengan lama waktu pengelasan maka nilai *upset* akan semakin tinggi yakni bernilai 5,2 mm pada waktu 10 detik hasil tersebut sesuai dengan ketentuan variabel kontrol.
3. Pengaruh waktu terhadap Distribusi Temperatur berbanding lurus dengan lama waktu pengelasan dimana dalam waktu pengelasan 10 detik didapatkan distribusi temperatur maksimal yakni 582°C pada al. Material aluminium memiliki karakteristik cepat panas dan memiliki densitas yang tinggi.
4. Hasil simulasi validasi numerik dapat dijadikan rekomendasi penelitian experimental karena telah memenuhi syarat. Nilai kekuatan tarik sebesar 305 Mpa dengan *margin of error* sebesar 1,61 % antara hasil validasi dibandingkan nilai *tensile strenght properties* mekanik aluminium paduan dengan nilai 310 Mpa. Dapat diketahui bahwa karena nilai *margin of error* < 5% maka dapat dikatakan hasil simulasi baik dan *valid*.

REFERENSI

- [1] BPS, "Statistik Telekomunikasi Indonesia," Badan Pusat Statistik, vol. 148, pp. 148–162, 2019.
- [2] F. Fathurohman, "Optimasi Sambungan Rotary Friction Welding (Rfw) Pada Aluminium Dengan Variasi Bentuk," 2019.
- [3] ANSI AWS, Recommended Practices for Friction Welding, vol. 89, no. October. 2009.

- [4] M. Z. Hauna, "Pada Pengelasan Sudu Turbin Berbahan Inconel 792 Dengan Metode Finite Element," 2016.
- [5] I. M. Arsana, K. Budhikardjono, Susianto, and A. Altway, "Modelling of the single staggered wire and tube heat exchanger," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 11, no. 8, pp. 5591–5599, 2016.
- [6] H. A. Rasyid, Laporan akhir penelitian kebijakan fakultas, no. 8. 2017.
- [7] M. A. El-Hadek, "Numerical Simulation of the Inertia Friction Welding Process of Dissimilar Materials," *Metall. Mater. Trans. B Process Metall. Mater. Process. Sci.*, vol. 45, no. 6, pp. 2346–2356, 2014, doi: 10.1007/s11663-014-0148-2.
- [8] R. Yang, P. Guan, K. Cai, W. Xiao, X. Si, and Z. Zhaofeng, "J estr," vol. 8, no. 3, pp. 14–20, 2015.
- [9] J. Pah, Y. Irawan, and W. Suprpto, "Pengaruh Waktu dan Tekanan Gesek terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Paduan Aluminium dan Baja Karbon pada Pengelasan Gesek Continuous Drive," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 51–59, 2018, doi: 10.21776/ub.jrm.2018.009.01.8.
- [10] H. Seli, M. Awang, A. I. M. Ismail, E. Rachman, and Z. A. Ahmad, "Evaluation of properties and FEM model of the friction welded mild steel-Al6061-alumina," *Mater. Res.*, vol. 16, no. 2, pp. 453–467, 2013, doi: 10.1590/S1516-14392012005000178.
- [11] P. Nimesh, R. Chaudhary, R. C. Singh, and M. S. Ranganath, "Simulation of Inertia Friction Welding of Mild Steel and Aluminium 6061 using Finite Element Method on FEM International journal of advanced Simulation of Inertia Friction Welding of Mild Steel and Aluminium 6061 using Finite Element Method on FEM," *Int. J. Adv. Prod. Ind. Eng.*, vol. 1, no. 4, pp. 29–39, 2016.
- [12] E. P. Alves, F. P. Neto, and C. Y. An, "Welding of AA1050 aluminum with AISI 304 stainless steel by rotary friction welding process," *J. Aerosp. Technol. Manag.*, vol. 2, no. 3, pp. 301–306, 2010, doi: 10.5028/jatm.2010.02037110.
- [13] D. Satyadianto, "Las Gesek (Friction Welding) Dengan Menggunakan Baja Effect of Friction Pressure , Forge Pressure , and Friction Time Variation To Impact Strength in Friction Welding Joint Using Aisi 4140 Alloy," p. 97, 2015