

Transient Thermal Analysis pada *Friction Stir Spot Welding* Baja ST-35: Pengaruh Variasi Kecepatan Putar dan Tekanan Gesek Terhadap Distribusi Suhu

Oleh:

Resandrya Krisna Brata Wisesa (211020200064)

Dr. A'rasy Fahrudin, ST., MT.

Progam Studi Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Februari, 2026



Latar Belakang

Friction Stir Welding (FSW) merupakan teknik penyambungan *solid-state* yang memanfaatkan panas dari friksi dan deformasi plastis akibat tool berputar tanpa melewati fase pencairan. Metode ini menghasilkan sambungan yang lebih stabil, minim cacat, dan memiliki distorsi termal rendah dibandingkan proses pengelasan lebur.

Permasalahan mendasar dalam manufaktur logam terutama berkaitan dengan proses penyambungan material yang berisiko menghasilkan cacat struktural akibat ketidakseimbangan termal. Pada pengelasan berbasis pencairan, temperatur tinggi menyebabkan terbentuknya zona pengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*) yang luas dan rentan mengalami perubahan mikrostruktur yang merugikan.

Sehingga pemodelan distribusi suhu melalui analisis termal transien penting untuk menggambarkan perubahan termal secara real-time selama proses FSW. Keterbatasan penelitian kuantitatif yang membahas bagaimana kombinasi kecepatan putar dan tekanan gesek memengaruhi distribusi suhu pada baja ST-35 menunjukkan bahwa studi ini dibutuhkan untuk memperkuat pemahaman ilmiah terkait perilaku termal pada FSW.

Rumusan Masalah

1.

Bagaimana pengaruh variasi kecepatan putar tool terhadap respons termal dan distribusi suhu selama proses *Friction Stir Welding* (FSW) pada baja ST-35?

2.

Bagaimana pengaruh variasi tekanan gesek (gaya aksial) terhadap respon termal dan distribusi suhu selama proses *Friction Stir Welding* (FSW) pada baja ST-35?

3.

Bagaimana pengaruh interaksi kecepatan putar tool dan tekanan gesek secara simultan terhadap respon termal dan distribusi suhu selama proses *Friction Stir Welding* (FSW) pada baja ST-35?

Batasan Masalah

1.

Penelitian ini hanya menggunakan baja karbon ST-35 sebagai material dasar (*base material*) yang disambung melalui metode Friction Stir Welding (FSW)

2.

Tool FSW yang digunakan dalam simulasi berbentuk silinder lurus (*straight cylindrical*) dan berbahan baja tahan panas H-13

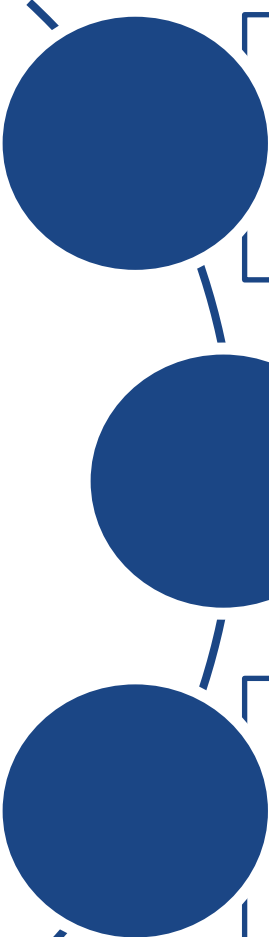
3.

Proses FSW dimodelkan secara numerik menggunakan perangkat lunak ANSYS *Student Edition* dengan pendekatan *transient thermal analysis*.

4.

Penelitian ini hanya menitik beratkan pada analisis distribusi suhu selama proses FSW berlangsung.

Tujuan Penelitian

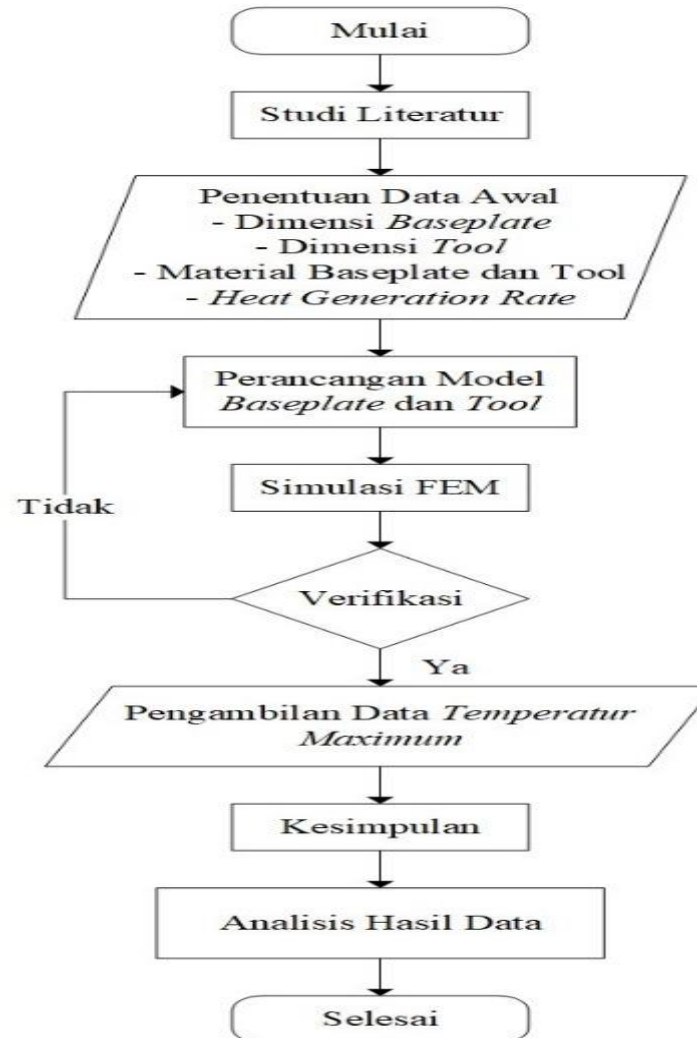


Menganalisis pengaruh variasi kecepatan putar tool terhadap distribusi suhu yang terjadi selama proses *Friction Stir Welding* pada baja ST-35 dengan menggunakan simulasi berbasis *transient structural analysis*

Menganalisis pengaruh variasi tekanan gesek (gaya aksial) terhadap distribusi suhu pada proses penyambungan FSW menggunakan tool silinder berbahan H-13

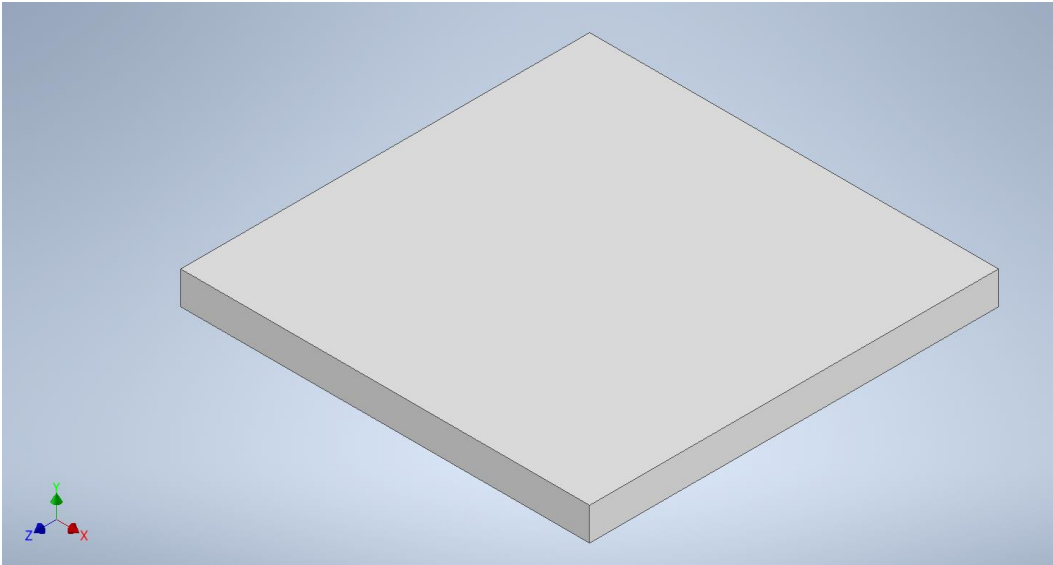
Menganalisis interaksi antara kecepatan putar dan tekanan gesek secara simultan terhadap pola distribusi suhu pada sambungan FSW baja ST-35 melalui pendekatan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak *ANSYS Student Edition*

Diagram Alir Penelitian

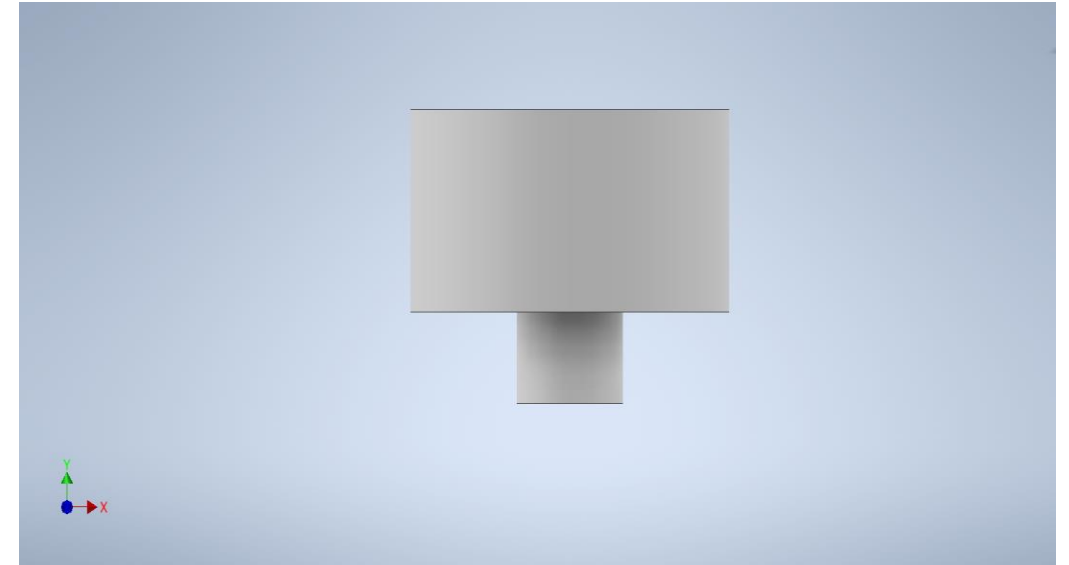


Pengumpulan Data

Komponen	Material	Dimensi	Spesifikasi (mm)
<i>Baseplate</i>	ST - 35	Panjang	75
		Lebar	75
		Tebal	6
Tool Silinder	H-13	Diameter Tool	18
		Diameter Pin	6
		Panjang Pin	4,5

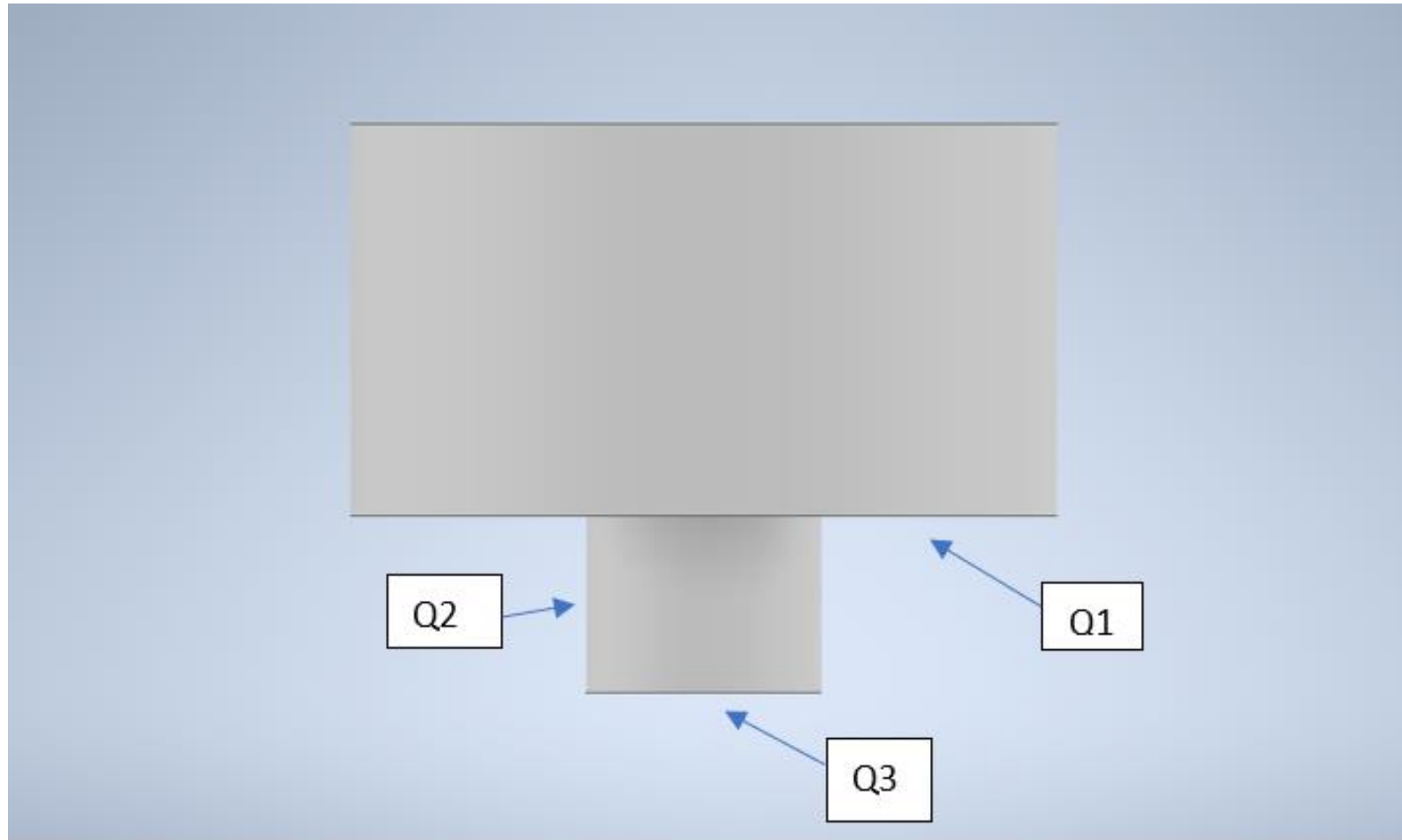


Model *Baseplate*



Model Tool Silinder

Input Heat Generation Rate



Perhitungan *Heat Generation Rate*

$$Q_{1total} = (1 - \delta) \frac{2}{3} \pi \tau_{sliding} \omega (R_{shoulder}^3 - R_{pin}^3) + \delta \frac{2}{3} \pi \tau_{sticking} \omega (R_{shoulder}^3 - R_{pin}^3)$$

$$Q_{2total} = (1 - \delta) 2 \pi \tau_{contact} \omega R_{pin}^2 H_{pin} + \delta 2 \pi \tau_{contact} \omega R_{pin}^2 H_{pin}$$

$$Q_{3total} = (1 - \delta) \frac{2}{3} \pi \omega \tau_{contact} R_{pin}^3 + \delta \frac{2}{3} \pi \omega \tau_{contact} R_{pin}^3$$

Keterangan:

δ : Kontribusi panas akibat deformasi plastis (sticking)

ω : Kecepatan sudut tool (rad/s)

$\tau_{sliding}$: Tegangan geser akibat gesekan sliding

$\tau_{sticking}$: Tegangan geser pada kondisi sticking

$R_{shoulder}$: Diameter shoulder tool

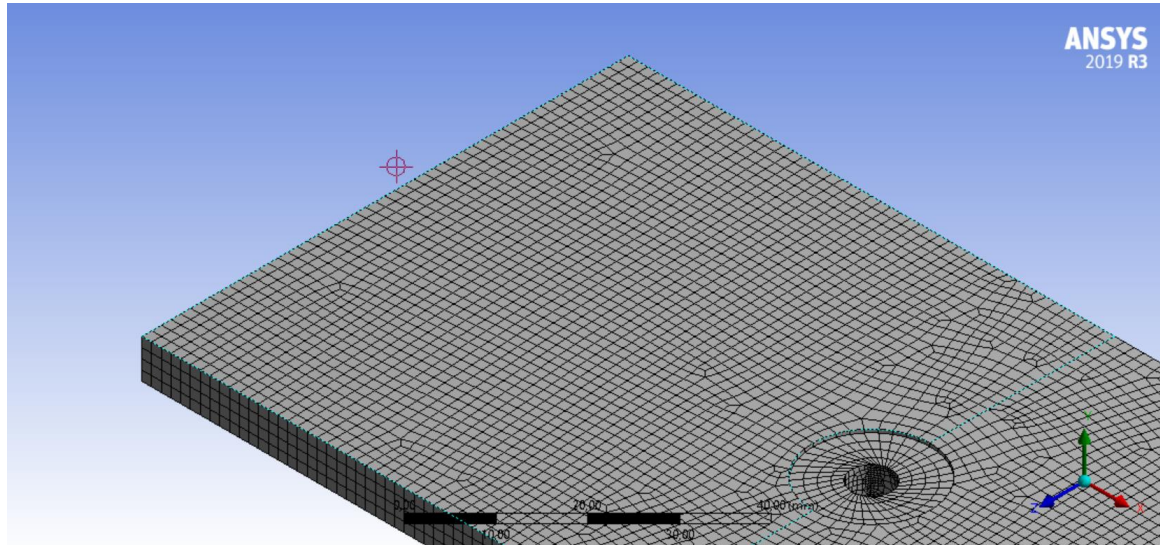
R_{pin} : Diameter pin tool

H_{pin} : Tinggi pin tool

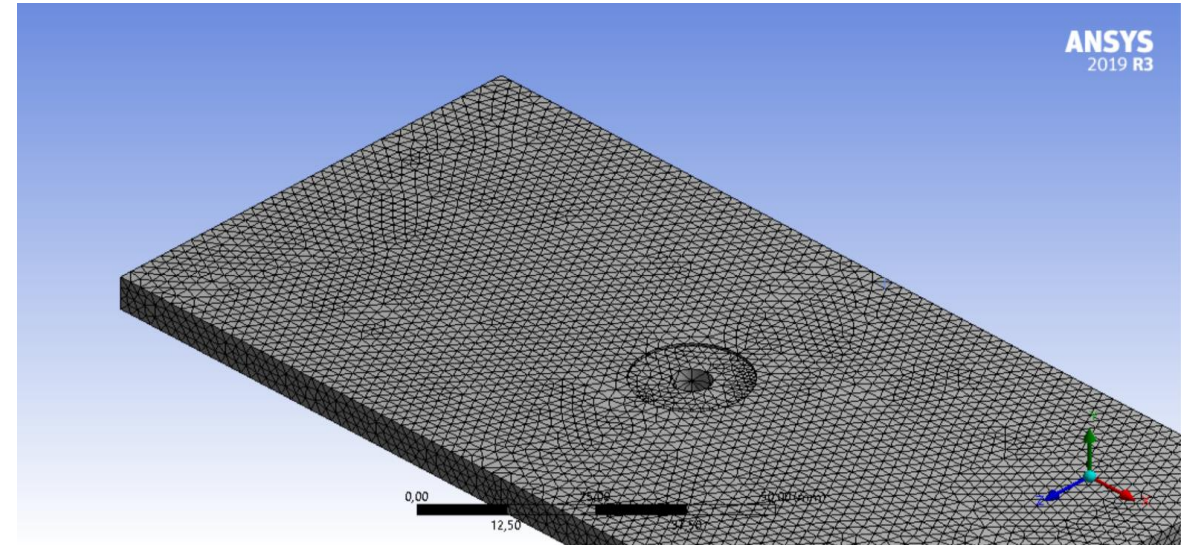
Desain Level Eksperimen

No	Kecepatan Putar (rpm)	Gaya Aksial (N)	Temp Permukaan (°C)	Jenis Element Meshing
1	600	5000	8	Heksagonal (H)
2	750	6000	29	
3	900	7000	40	Tetrahedral (T)
4	1050	8000	60	

Meshing



Heksagonal



Tetrahedral

Material Propertise

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
5	Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹		
6	Melting Temperature	1500	C		
7	Isotropic Elasticity				
8	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio			
9	Young's Modulus	2,07E+11	Pa		
10	Poisson's Ratio	0,3			
11	Bulk Modulus	1,725E+11	Pa		
12	Shear Modulus	7,9615E+10	Pa		
13	Tensile Yield Strength	2,35E+08	Pa		
14	Tensile Ultimate Strength	3,6E+08	Pa		
15	Isotropic Thermal Conductivity	50	W m ⁻¹ C ⁻¹		
16	Specific Heat, C _p	460	J kg ⁻¹ C ⁻¹		
17	Johnson Cook Strength				
18	Strain Rate Correction	First-Order			
19	Initial Yield Stress	235	MPa		
20	Hardening Constant	0,00015	MPa		
21	Hardening Exponent	0,25			
22	Strain Rate Constant	0,018			
23	Thermal Softening Exponent	1			
24	Melting Temperature	20	C		
25	Reference Strain Rate (/sec)	1			
26	Johnson Cook Failure				
27	Damage Constant D1	-0,77			
28	Damage Constant D2	1,45			
29	Damage Constant D3	-0,47			
30	Damage Constant D4	0			
31	Damage Constant D5	1,6			
32	Melting Temperature	650	C		
33	Reference Strain Rate (/sec)	1			

Analisis Setting

Project

- Model (B4)
 - Geometry
 - Materials
 - Coordinate Systems
 - Connections
 - Mesh
 - Transient Thermal (B5)**
 - Initial Temperature
 - Analysis Settings
 - Convection
 - Convection 2
 - Radiation
 - Q3
 - Q2
 - Q1
 - Solution (B6)**
 - Solution Informatic

Details of "Transient Thermal (B)"

Definition	
Physics Type	Thermal
Analysis Type	Transient
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Generate Input Only	No

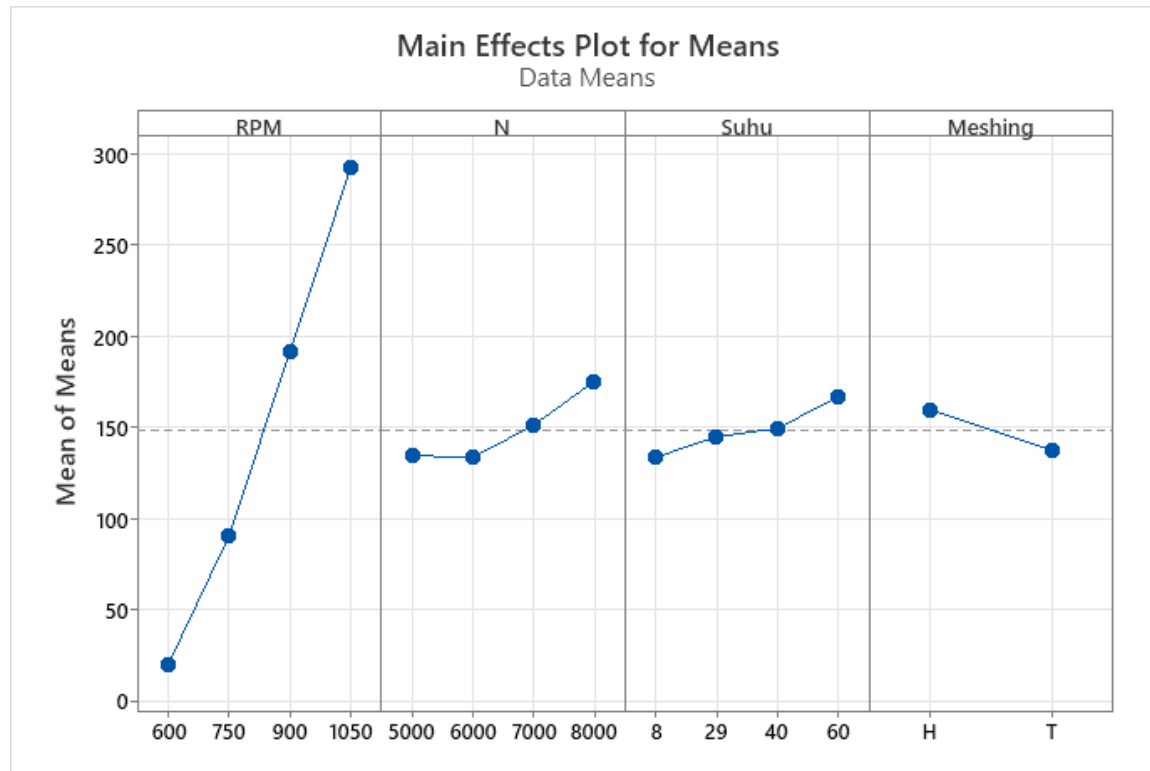
B: Transient Thermal
Transient Thermal
Time: 30, s
03/02/2026 20:35

- A** Radiation: 8, °C, 9,e-002
- B** Convection: 8, °C (step applied), 1,e-005 W/mm².°C (step applied)
- C** Convection 2: 8, °C (step applied), 1,e-005 W/mm².°C (step applied)

Graph: 30, |

Tabular Data:

Hasil Dan Pembahasan



Target optimasi dalam penelitian ini adalah memperoleh temperatur maksimum (T_{max}) setinggi mungkin namun tetap berada pada batas aman proses FSU, yaitu di bawah $\pm 30\%$ titik lebur baja ST-35 ($\approx 450^\circ\text{C}$), guna menjamin terjadinya deformasi plastis optimal tanpa risiko cacat termal.

Berdasarkan *main effects plot Taguchi*, terlihat bahwa RPM memiliki kemiringan paling signifikan sehingga menjadi faktor dominan dalam peningkatan T_{max} . Kombinasi optimal diperoleh pada RPM 1050, N 8000, temperatur awal 60 derajat, dan meshing tipe H, dengan nilai prediksi mean T_{max} sebesar 348,7 derajat Celsius. Parameter meshing menunjukkan pengaruh paling kecil dibandingkan parameter proses.

Hasil *Analysis of Variance*

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
RPM	3	342141	92,85%	342141	114047	275,98	0,000
N	3	9100	2,47%	9100	3033	7,34	0,002
Suhu	3	4604	1,25%	4604	1535	3,71	0,028
Meshing	1	3977	1,08%	3977	3977	9,62	0,005
Error	21	8678	2,35%	8678	413		
Total	31	368500	100,00%				

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa RPM merupakan faktor paling dominan terhadap Tmax dengan kontribusi 92,85%. Parameter N, temperatur permukaan, dan meshing memberikan kontribusi jauh lebih kecil sebagai faktor sekunder. Nilai error yang rendah (2,35%) menunjukkan model mampu menjelaskan variasi Tmax secara baik.

Kesimpulan

Simulasi Friction Stir Welding (FSW) baja ST-35 menunjukkan bahwa temperatur maksimum (T_{max}) sangat dipengaruhi oleh parameter proses dan merepresentasikan respons termal material selama pengelasan. Optimasi berbasis metode Taguchi menghasilkan kombinasi parameter RPM 1050, gaya aksial 8000 N, temperatur awal 60 °C, dan meshing tipe H sebagai kondisi termal paling optimal dalam rentang yang diteliti, dengan nilai prediksi mean T_{max} sebesar 348,677 °C, yang masih berada di bawah batas aman proses FSW (± 450 °C). Hasil Analysis of Variance (ANOVA) menegaskan bahwa RPM merupakan faktor paling dominan dengan kontribusi 92,85%, sedangkan parameter lainnya berperan sebagai pengendali sekunder. Temuan ini menegaskan bahwa pengendalian RPM menjadi kunci utama dalam optimasi respons termal proses FSW baja ST-35.

