

SIMULASI PENGARUH VARIASI SUDUT *CHAMFER FORGING* TERHADAP PENYAMBUNGAN MATERIAL *MILD STEEL* PADA LAS GESEK ROTARI

Muhammad Nafis¹, Yohanes², Ridwan Abdurrahman³

Laboratorium Teknologi Produksi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya Km 12.5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

¹muhammad.nafis3556@student.unri.ac.id, ² yohanes@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

The welding process is carried out in the solid phase. The friction welding process that occurs from the direct conversion of mechanical energy into friction into thermal energy. The process of friction between two surface objects in the direction of the direction. The connection process is carried out on the surface with a flame temperature (melting point), so that the connection can be ascertained between the surface of the material being welded and the joints of the same nature. In the previous study, measuring when measuring data when testing, the exact time when loading forging, the temperature at the time of welding and the temperature propagation of the specimen along. Therefore, to find out the problems needed for this, it is necessary to do an evaluation before conducting welding so that we can get groupings or predictions to do welding with good results, and with this simulation it is also expected to be studied according to the temperature of the specimen on welding requirements. From the simulation results, the exact time and temperature for giving an average forging pressure at each angle is 30° (132.27 seconds; 1.070,2 °C), 45° (127.91 seconds; 1.070,1 °C), 60° (123,77 seconds; 1.071,2 °C).

Keywords : Friction, Steel, Chamfer Interface Area, Forging

1. Pendahuluan

Proses pengelasan adalah proses penyambungan dua buah logam dengan memanfaatkan energi panas sebagai proses utama dalam proses penyambungan logam dan sumber panas dalam proses pengelasan berasal dari perubahan energi lain. Beberapa jenis energi yang dapat diubah menjadi energi panas adalah energi mekanik, seperti energi gesekan. Perkembangan teknologi di bidang pengelasan telah mengalami banyak inovasi. Dengan metode-metode baru dalam proses penyambungan material merupakan petunjuk adanya perkembangan dalam teknologi pengelasan, salah satunya adalah pengelasan gesek (*friction welding*). Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan pengelasan tanpa menggunakan kawat las atau elektroda sehingga bisa dipastikan bahwa sambungan yang diperoleh antara kedua material yang dilas adalah sambungan yang homogen. Selain itu penyambungan poros dengan proses ini dapat meminimalisir bergesernya sumbu dari material yang dilas (Suratman, 2001).

Alat las gesek rotari (*rotary friction welding*) yang terdapat di Labolatorium Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Riau merupakan hasil tugas akhir mahasiswa Program Studi Diploma Tiga (D3) Teknik Mesin yang dibuat Khan, M. Aziz dan R. Hadi. (2014) dan di *redesign* oleh Ricky. (2015) dengan metode DFMA (*Design For Manufacture and Assembly*) masih ada terdapat beberapa kekurangan sehingga proses pengelasannya kurang mencapai optimal. Pada penelitian Yohanes dan E. Siregar (2018) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan *flywheel* pada sistem penggerak

mesin las gesek *rotary* terhadap kekuatan tarik baja *mild steel* dan Yohanes dan M. Efriansyah. (2018) melakukan penelitian penambahan *flywheel* pada sistem penggerak mesin *rotary friction welding* dan variasi sudut *chamfer forging* terhadap kekuatan pengelasan, dimana dari hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya bahwa ketika spesimen mencapai titik leburnya dan volume *forging* sudah habis maka pembebanan *forging* diberikan selama 3 detik. Hal yang menandakan timbulnya percikan api pada saat pengelasan.

Keterbatasan alat ukur menjadi salah satu penyebab penelitian oleh Yohanes dan M. Efriansyah. (2018) saat melakukan pengujian menjadi kurang optimal salah satunya adalah pada saat ingin mengetahui waktu yang tepat pemberian pembebanan. Sehingga banyak hal yang ingin diketahui lagi pada saat pengujian seperti, waktu yang tepat untuk pembebanan *forging*, temperatur pada saat pengelasan dan, penjarangan temperatur disepanjang spesimen.

Untuk itu perlu dilakukan simulasi sebelum melakukan pengelasan agar kita dapat mendapatkan gambaran atau prediksi untuk melakukan pengelasan dengan hasil yang bagus, dan dengan simulasi ini juga diharapkan dapat mengetahui perambatan temperatur pada spesimen terhadap waktu pengelasan.

Rotary friction welding (RFW), pada las gesek ini spesimen pengelasan berbentuk silinder, salah satu spesimen bergerak rotasi dan lainnya diam, kemudian dikenakan beban aksial (Li, Wenya. dkk, 2012)

Dalam pengelasan ini parameter utama dalam pengelasan gesek adalah kecepatan rotasi, gaya aksial selama fase gesekan, tempa dan waktu pengelasan. Hubungan dari karakteristik ini menggambarkan gesekan searah pada proses pengelasan gesek (P. Rombaut dkk, 2011).

Pada las gesek pengelasan dilakukan dalam beberapa fase, diantara fase tersebut adalah fase gesekan temperatur pengelasan, *melting point*, *forging*.

Fenomena proses pengelasan gesek dari pembangkit panas melalui gesekan dan abrasi. Selanjutnya panas yang timbul disimpan dalam material yang disambung hingga menaikkan temperaturnya. Pada temperatur tertentu material berada pada sifat plastis sempurna dan adanya tekan akan mudah terdeformasi. Dengan adanya peristiwa difusi secara kimiawi maka akan terjadi proses penyambungan pada permukaan logam yang disambung.

Keberhasilan las gesek dipengaruhi oleh lima faktor, yang berhubungan dengan sifat material dan kondisi kerja. Adapun kelima faktor tersebut yaitu:

- 1) Kecepatan relatif antar permukaan.
- 2) Tekanan yang dikenakan.
- 3) Temperatur yang terbentuk pada permukaan.
- 4) Sifat bulk dari material.
- 5) Kondisi permukaan dan kehadiran lapisan tipis pada permukaan.

Beberapa kelebihan dari *friction welding* ini adalah penghematan material, Memerlukan waktu yang cepat untuk penyambungan dua material yang sama maupun berbeda. *Friction welding* juga dapat menyambung material yang ulat maupun tidak bulat. Sedangkan parameter proses yang penting adalah waktu gesekan, tekanan gesekan, waktu tempa, tekanan tempa dan kecepatan putar (Efriansyah, M. 2018).

2. Metodologi

Perangkat lunak *Computational Fluid Dynamics* (CFD) digunakan dalam analisis *transient thermal* selama pengelasan gesekan baja ringan-baja ringan. Model 3D baja ringan dengan dimensi yang ditentukan dibuat menggunakan Solidwork 2016 dan diekspor ke CFD.

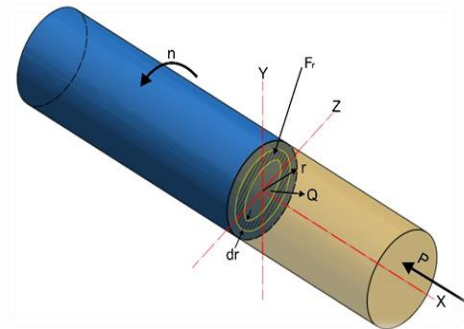
Mekanisme kerja dari metode yang dilakukan antara lain:

2.1 Perpindahan Panas Yang Bekerja (W)

Perpindahan panas W (*thermo-mechanical*) pada pengelasan ini dipengaruhi oleh kerja yang terjadi, seperti hukum termodinamika 1. Untuk setiap siklus termodinamika, hukum pertama termodinamika menunjukkan bahwa integral siklik (*cyclic*) integral dari kerja adalah sama dengan integral siklik panas, atau dilihat dari Persamaan 1.

$$\int W = \int Q \quad (1)$$

Ini berarti bahwa kerja netto yang ditransfer dari siklus (ditandai sebagai kerja positif) adalah sama dengan panas total yang diberikan ke siklus (ditandai sebagai aliran panas positif). Pada persamaan tersebut menunjukkan integral dari kerja ($\int W$) sama dengan integral panas ($\int Q$). Kerja yang terjadi pada pengelasan ini diakibatkan oleh beberapa faktor yaitu putaran, tekanan, gesekan dan jari-jari (Culp, A, W. 1991) diprinsipkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Gaya yang berkerja pada pengelasan

Dari Gambar 1 dianalogikan terhadap keadaan gaya berat maka dapat dihubungkan antara prinsip dan juga actual.

Persamaan yang ada dianalogikan terhadap keadaan aktual yang terjadi pada saat pengelasan terjadi.

Perpindahan panas dapat diturunkan dari persamaan dibuat secara matematik kedalam sebuah persamaan dari skema tersebut dan dapat ditarik sebuah persamaan yang menunjukkan nilai *heat generation differential* terhadap luas permukaan yang bekerja pada pengelasan ini (Khany, S. dkk, 2012).

$$dw = dF_r(V_r) = 2 \cdot \mu \cdot p \cdot \pi \cdot \omega \cdot R^2 dR \quad (2)$$

Dengan mengintegalkan Persamaan 1 terhadap jarak yang berkerja pada permukaan spesimen yang bergesekan maka didapat Persamaan 3.

$$W = \int_0^R 2 \cdot \mu \cdot p \cdot \pi \cdot \omega \cdot R^2 dR = 2/3 \cdot \mu \cdot p \cdot \pi \cdot \omega \cdot R^3 \quad (3)$$

Keterangan:

- W : *heat generation* (watt)
- F_s : gaya gesek (N)
- V_r : kecepatan linier (m/s)
- p : tekanan (Pa)
- ω : kecepatan sudut (rad/s)
- R : diameter (mm)
- μ : koefisien kinetic

Dari *heat generation* yang bekerja pada spesimen saat pengelasan maka perpindahan panasnya dapat dialirkan dalam perpindahan panas sepanjang jarak spesimen yaitu sumbu x (Khany, S. dkk, 2012).

Penggunaan material untuk melakukan simulasi ini digunakan satu spesimen material yaitu *mild*

steel atau biasa disebut dengan besi karbon (*plain carbon steel*) dilihat pada Tabel 1.

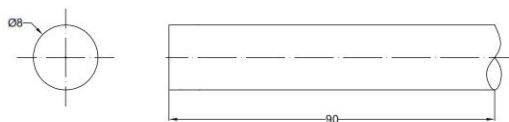
Tabel 1 *Mild Steel Properties* (Yohanes, dkk. 2018)

Properties	Mild Steel
Density (kg/m ³)	7.800
Thermal Conductivity (W/m K)	43
Specific Heat Capacity (J/kg K)	470
Melting Point	1.530

2.2 Alur Pengambilan Data Simulasi

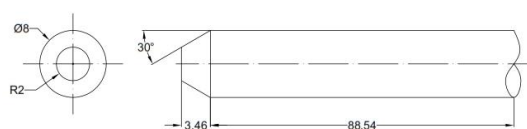
Dalam pengambilan data simulasi ini digambarkan dalam bentuk *flow chart* dan alur menjalankan *toolbar transient thermal* sesuai tujuan yang ingin dicapai.

Adapun benda kerja yang dipakai nantinya, dimana digunakan sebagai model penelitian di aplikasi CFD dan memiliki variabel sudut tanpa *chamfer*, 30°, 45° dan 60° dengan permukaan gesek konstan pada Gambar 2.



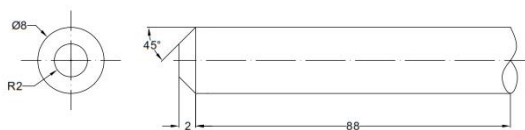
Gambar 2 Model tanpa sudut *chamfer*

Adapun benda kerja yang dipakai nantinya, dimana digunakan sebagai model penelitian di aplikasi *software* dan memiliki masing-masing sudut *chamfer* bervariasi dengan permukaan gesek konstan dan model sudut *chamfer* 30° pada Gambar 3.



Gambar 3 Model sudut *chamfer* 30°

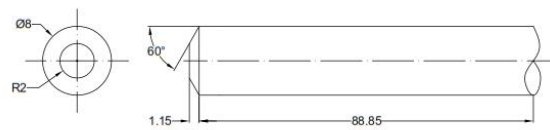
Dapat dilihat pada Gambar 4 memiliki dimensi dan bentuk volume *forging* pada sudut 45° dengan permukaan gesek yang konstan. Penentuan sudut *chamfer* diukur pada permukaan dasar model pada Gambar 4.



Gambar 4 Model sudut *chamfer* 45°

Dapat dilihat pada Gambar 5 memiliki dimensi dan bentuk volume *forging* pada sudut 60° dengan permukaan gesek yang konstan. Penentuan sudut

chamfer diukur pada permukaan dasar model. Volume *forging* pada sudut 45° terlihat memendek, ini artinya semakin besar sudut, maka semakin kecil volume *forging* begitu sebaliknya.



Gambar 5 Model sudut *chamfer* 60°

Terjadi pemendekan lagi pada volume *forging*. Penentuan sudut *chamfer* dapat dilihat pada Gambar 5 dan permukaan gesek tetap konstan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Sekunder dari Pengujian

Hasil simulasi ini menggunakan data sekunder dari penelitian sebelumnya oleh Efriansyah, M. 2018. Data tersebut akan digunakan untuk mendapatkan nilai kecepatan sudut dan *heat generation* pada simulasi *transient thermal*. Dari hasil penelitian sebelumnya oleh Efriansyah, M. 2018, digunakan tekanan 4 bar dengan variasi sudut *chamfer* yaitu 30°, 45° dan 60° pada permukaan gesek konstan. Maka didapat waktu fase gesek, kecepatan motor (rpm) dan tekanan gesek (Pa) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Waktu gesek, putaran dan tekanan

Pada Gambar 6 menunjukkan proses pengambilan data eksperimen dalam menentukan putaran konstan pada motor dengan menggunakan alat ukur tachometer dan waktu putaran gesekan yang terjadi.

Dapat dilihat proses penentuan waktu fase gesek dan pengukuran putaran motor dengan tachometer pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 2 Data sudut *chamfer* 30° Efriansyah, M. 2018

Spesimen	Tekanan Gesek (4 bar)		Kecepatan Sudut (rad/s)
	Putaran (rpm)	Waktu (s)	
1	3.720	193	389,36
2	3.725	187	389,88
3	3.729	185	390,30

Tabel 3 Data sudut *chamfer* 45° Efriansyah, M. 2018

Spesimen	Tekanan Gesek (4 bar)		Kecepatan Sudut (rad/s)
	Putaran (rpm)	Waktu (s)	
1	3.727	150	390,09
2	3.727	147	390,09
3	3.732	145	390,62

Tabel 4 Data sudut *chamfer* 60° Efriansyah, M. 2018

Spesimen	Tekanan Gesek (4 bar)		Kecepatan Sudut (rad/s)
	Putaran (rpm)	Waktu (s)	
1	3.725	110	389,88
2	3.730	110	390,41
3	3.733	108	390,72

3.2 Nilai Heat Generation

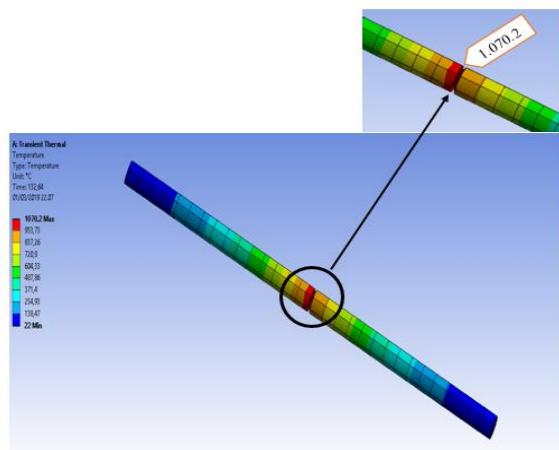
Dari Persamaan 3 dapat dihitung nilai *heat generation* dengan variabel masing-masing sudut 30°, 45°, 60°. Nilai kecepatan sudut disubstitusikan kedalam Persamaan 2. Dari hasil perhitungan dikelompokkan dalam bentuk Tabel 5. Input nilai *heat generation* adalah nilai putaran (rpm), tekanan (Pa), diameter model, koefisien, kecepatan sudut (rad/s).

3.3 Hasil Simulasi

Setelah dilakukan perhitungan didapat nilai kecepatan sudut (ω) pada Tabel 5 dan nilai *heat generation* (W). Nilai kecepatan sudut disubstitusikan ke dalam Persamaan 3. Nilai W yang didapat diinputkan ke dalam *toolbar transient thermal* yang berupa *heat flow*.

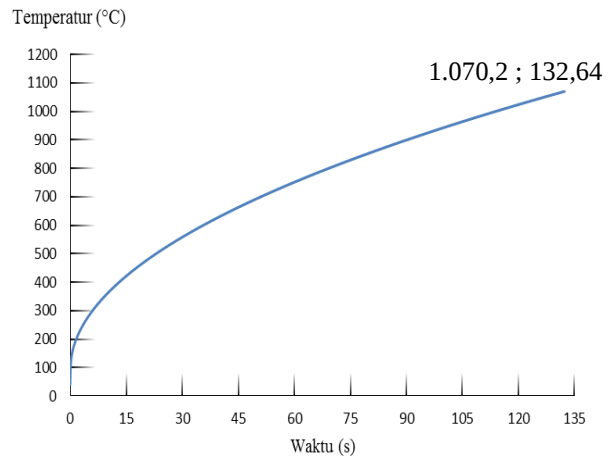
1. Hasil Simulasi Sudut *Chamfer* 30°

Hasil simulasi ini berupa penjalaran temperatur di setiap titik model, didapat nilai temperatur maksimum, minimum dan waktu fase gesek berdasarkan temperatur difusi dari material *mild steel*. Dilakukan tiga kali pengambilan data pada sudut *chamfer* 30° dengan hasil percobaan yang bervariasi pada Gambar 7.



Gambar 7 Sudut *chamfer* 30° percobaan 1

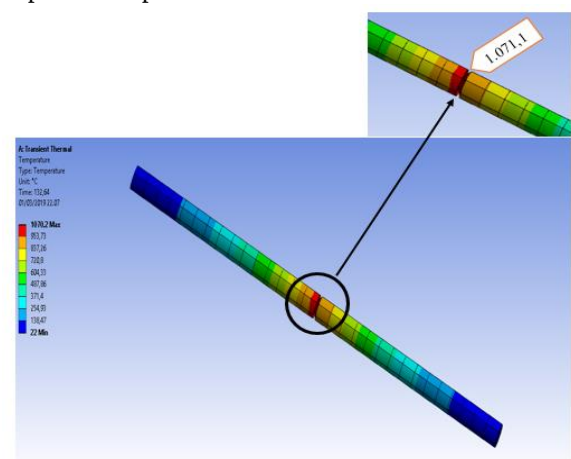
Temperatur maksimum terjadi pada area antara kedua permukaan yang bergesekan dan panas yang lebih banyak terdapat pada model yang berputar, dikarenakan energi yang dihasilkan lebih besar dibanding dengan model yang diam. Temperatur maksimum pada kondisi adalah 1.070,2 °C terlihat pada Gambar 8. Nilai ini menurun secara bertahap sampai kembali ke temperatur awal 22 °C. Penomena ini sudah berdasarkan ketentuan dari temperatur difusi dari material *mild steel* dengan kisaran 0,6 sampai 0,7 terhadap titik leleh material dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Grafik waktu dan temperatur

2. Hasil Simulasi Sudut *Chamfer* 45°

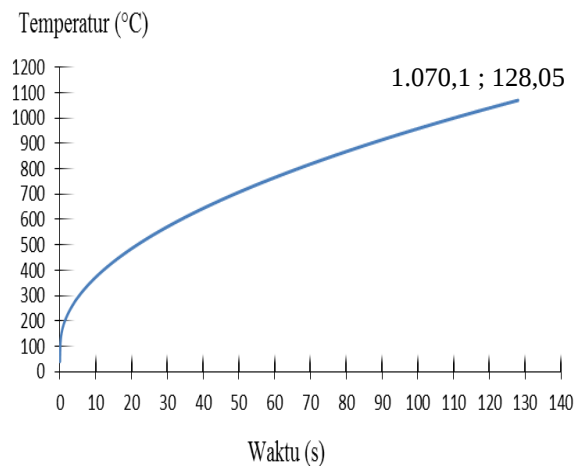
Hasil simulasi ini berupa penjalaran temperatur di setiap titik model, didapat nilai temperatur maksimum, minimum dan waktu fase gesek berdasarkan temperatur difusi dari material *mild steel*. Dilakukan tiga kali pengambilan data pada sudut 45° dengan hasil percobaan yang bervariasi dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Sudut *chamfer* 45° percobaan 1

Temperatur maksimum terjadi pada area antara kedua permukaan yang bergesekan dan panas yang lebih banyak terdapat pada model yang berputar, dikarenakan energi yang dihasilkan lebih besar dibanding dengan model yang diam. Temperatur maksimum pada kondisi adalah 1.071,1 °C terlihat

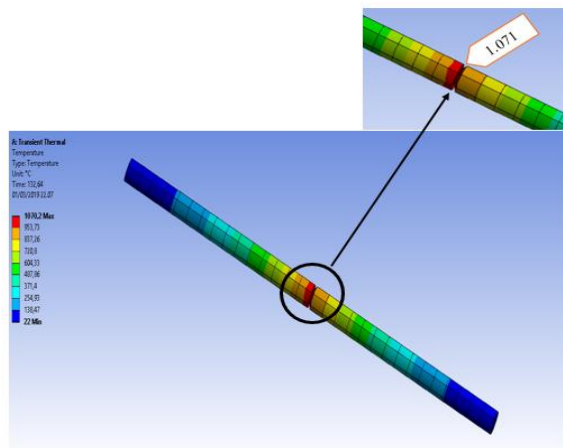
pada Gambar 10. Nilai ini menurun secara bertahap sampai kembali ke temperatur awal 22 °C. Penomena ini sudah berdasarkan ketentuan dari temperatur difusi dari material *mild steel* dengan kisaran 0,6 sampai 0,7 terhadap titik leleh material pada Gambar 10.



Gambar 10 Grafik waktu dan temperatur

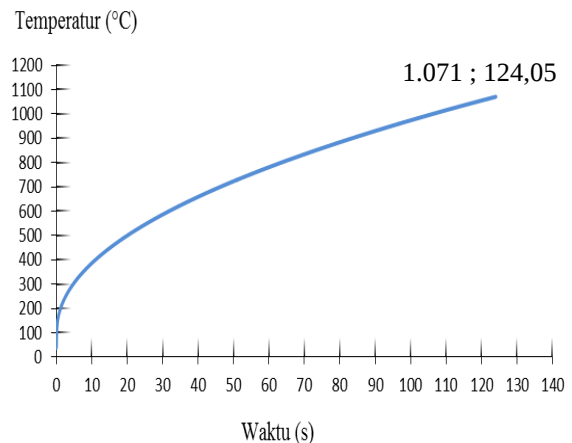
3. Hasil Simulasi Sudut *Chamfer* 60°

Hasil simulasi ini berupa penjalaran temperatur di setiap titik model, didapat nilai temperatur maksimum, minimum dan waktu fase gesek berdasarkan temperatur difusi dari material *mild steel*. Dilakukan tiga kali pengambilan data pada sudut *chamfer* 60° dengan hasil percobaan yang bervariasi pada Gambar 11.



Gambar 11 Sudut *chamfer* 60° percobaan 1

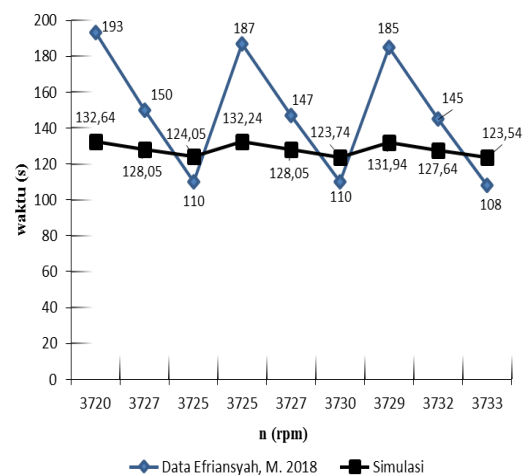
Temperatur maksimum terjadi pada area antara kedua permukaan yang bergesekan dan panas yang lebih banyak terdapat pada model yang berputar, dikarenakan energi yang dihasilkan lebih besar dibanding dengan model yang diam. Temperatur maksimum pada kondisi adalah 1.071 °C terlihat pada Gambar 12. Nilai ini menurun secara bertahap sampai kembali ke temperatur awal 22 °C. Penomena ini sudah berdasarkan ketentuan dari temperatur difusi dari material *mild steel* dengan kisaran 0,6 sampai 0,7 terhadap titik leleh material pada Gambar 12.



Gambar 12 Grafik waktu dan temperatur

4. Perbandingan Experimental dengan hasil Simulasi

Dari simulasi yang dilakukan didapatkan durasi yang seharusnya digunakan pada saat melakukan eksperimental oleh Efriansyah, M. 2018, tetapi waktu tersebut terdapat perbedaan seperti Gambar 13. Hal tersebut dapat dianalisa apa penyebab hasil eksperimental berbeda dengan hasil simulasi dan dapat dikaitkan dengan pada saat pengambilan parameter-parameter dalam pengelasan kurang tepat sehingga mempengaruhi hasil yang diperoleh dari kedua pengujian. Pengaruh *flywheel* diabaikan dalam pengujian dan putaran motor dianggap sama.



Gambar 13 Grafik perbandingan eksperimental dengan simulasi

Diperoleh hasil data sekunder dan hasil pengujian simulasi pada Gambar 13, dimana terdapat perbedaan waktu di setiap sudut model yang digunakan. Pada model sudut 30° 3 percobaan yang diambil dari data sekunder perbedaan dengan hasil simulasi sangat berbedah jauh, dapat disebutkan beberapa faktor yaitu asumsi putaran awal saat melakukan simulasi dan software CFD tidak menunjukkan putaran awal yang akan diinputkan dan kode dari material yang dipakai dalam simulasi tidak diketahui dari data sekunder,

Tabel 5 Data Efriansyah, M. 2018 dan simulasi

No	Sudut Chamfer	Tekanan (Pa)	n (rpm)	Heat generation (W)	Waktu	
					Eksperimetal	Simulasi
1	30°	400.000	3.720	95,15	193	132,64
2	45°	400.000	3.727	95,33	150	128,05
3	60°	400.000	3.725	95,27	110	124,05
4	30°	400.000	3.725	95,27	187	132,24
5	45°	400.000	3.727	95,33	147	128,05
6	60°	400.000	3.730	95,40	110	123,74
7	30°	400.000	3.729	95,38	185	131,94
8	45°	400.000	3.732	95,45	145	127,64
9	60°	400.000	3.733	95,48	108	123,54

sehingga pada saat proses propertis material disimulasi mempengaruhi hasil yang diperoleh, *human eror* dan pengaruh *V belt* yang mudah slip. Tetapi berbeda dengan percobaan simulasi dengan sudut 45° dan 60°. Perbandingan kedua percobaan mendekati data sekunder. Dari grafik diatas hasil yang mendekati data simulasi terdapat pada sudut 45° putaran motor 3.727 rpm dengan waktu 147 detik data sekunder dan 128,05 data simulasi. Dan pada sudut 60° putaran motor 3.730 rpm dengan waktu 110 detik data sekunder dan 123 detik data simulasi. ketiga sudut tersebut hasil yang didapat tidak seragam, dikarena pada pengambilan data sekunder indikator pengambilan waktu pengelasan pada permukaan gesek ditandai dengan percikan api yang keluar pada permukaan yang bergesek, ditandai habisnya volume *forging* sehingga tidak diketahui waktu yang tepat pada saat permukaan bergesek untuk pemberian beban *forging*. Pengaruh variasi sudut sangat berpengaruh pada waktu yang ingin diperoleh. Semakin besar sudut pada spesimen, maka waktu yang diperoleh dari hasil pengelasan juga sangat lama begitu juga sebaliknya. Dan putaran motor mempegaruhi waktu simulasi terhadap fase gesek.

4. Simpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapat beberapa kesimpulan.

Penelitian yang telah dilakukan bahwa waktu yang tepat saat pemberian pembebanan pada variabel sudut *chamfer* 45° dan 60° didapat waktu 128 detik dan 124 detik. Masing-masing dilakukan 3 kali percobaan simulasi dengan menggunakan material *mild steel* dan putaran motor yang berbeda.

Daftar Pustaka

- Culp, A. W. Jc dan D. Sitompul. 1991. *Prinsip - prinsip Konversi Energi*. Jakarta:Erlangga.
- Khany, S. E, K.N.Krishnan, M. A. Wahed. 2012. Study of Transient Temperature Distribution in

a Friction Welding Process and its effects on its Joints. *International Journal Of Computational Engineering Research (ijceronline.com)* Vol. 2 Issue. 5.1645-1655.

Kolarik L, janovec J, Kolarikova M, Nachtnabl P. 2015. Influence of Diffusion Welding Time on Homogenous Steel Joints:1678-1685.

Li,Wenya., S. Shi, F. Wan, Z. Zhang, T. Ma dan J. Li. 2012. Numerical Simulation Of Friction welding Processes Based on ABAQUS Environment. *Journal Of Engineering Science And Technology*. 5 (3):10-19.

P. Rombaut, W. De Waele, K. Faes. 2011. Friction Welding Of Steel To Ceramic. *Sustainable Construction and Design*.: 448-457.

Suratman, M. 2001. *Teknik Mengelas*. Cetakan 1. Pustaka Grafika. Bandung.

Yohanes dan E. Siregar. 2018. Performance Analysis of Flywheel Addition on Drive System of Rotary Friction Welding Machine. *journal of ocean, mechanical and aerospace-science and engineering*- Vol.52:14-19.

Yohanes, M. Efriansyah. 2018. Influence of Flywheel for Drive System of Rotary Friction Welding and Chamfer Angle Variations Forging to Welding Strength. *proceeding of ocean, mechanical and aerospace-science and engineering*- Vol.5. 1: 33-40.

Yohanes, R Abdurrahman dan A Ridwan. 2018. Finite Element Study on Rotary Friction Welding Process for Mild Steel. 3-6