

PENGARUH VARIASI PUTARAN DAN WAKTU TEMPA PADA PENGELASAN GESEK *STAINLESS* *STEEL* AISI 301 TERHADAP SIFAT MEKANIK

Abdul Salam, Muhammad Iswar¹⁾, Ishak, Muhammad Fachrul²⁾

Abstrak: Las gesek merupakan penyambungan logam yang terjadi karena adanya panas yang ditimbulkan oleh tekanan/gaya gesek akibat perputaran logam satu terhadap logam lain yang sesumbu. Sangat baik digunakan untuk penyambungan poros bila dibandingkan dengan las listrik atau las gas, karena las gesek mampu mempertahankan kesatusumbuan, tidak memerlukan logam pengisi seperti pada las listrik dan las gas, dan hasil sambungan yang homogen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi putaran dan waktu tempa terhadap sifat mekanik (kuat tarik dan kekerasan) baja tahan karat (*Stainless Steel* AISI 301). Penelitian dilakukan dengan tahapan pelaksanaan proses pengelasan gesek pada mesin bubut tipe Pindad dengan memvariasikan putaran (550 rpm, 1020 rpm dan 1800 rpm) dan waktu tempa (25 detik, 35 detik, 45 detik) dengan menggunakan *stopwatch*. Tekanan/gaya aksial diperoleh melalui mekanisme *power screw* pada *tail-stock* dengan tekanan tempa sebesar ($P_u = 123,8$ MPa). Temperatur pengelasan $1050^\circ\text{C} \pm 10^\circ$. Hasil pengelasan gesek tersebut kemudian dibentuk menjadi spesimen-spesimen untuk dilakukan pengujian mekanis yaitu spesimen uji tarik standar ISO 82-1974 (E), ukuran DP8 dan uji kekerasan menggunakan metode Rockwell. Adapun hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tarik dari hasil las gesek dengan nilai σ_{maks} tertinggi pada spesimen 1800 rpm/ 45 detik yaitu $706,61$ N/mm² mengalami penurunan jika dibandingkan dengan raw material yaitu $780,25$ N/mm². Nilai kekerasan paling tinggi terletak di bagian sambungan las spesimen dengan variasi putaran 550 rpm dan waktu tempa 25 detik sebesar 61,5 HRC-A sedangkan nilai kekerasan logam induk yaitu 69,45 HRC-A. Variasi putaran mempengaruhi nilai kekerasan, semakin tinggi putaran mesin nilai kekerasan semakin meningkat. Tetapi berbeda halnya dengan variasi waktu tempa, semakin lama waktu tempa nilai kekerasan semakin rendah.

Kata kunci: Las gesek, *Stainless Steel* AISI 301, Putaran Mesin, Waktu Tempa, Tekanan, Temperatur, Kekuatan Tarik, Nilai Kekerasan.

I. PENDAHULUAN

Teknologi pengelasan semakin berkembang, ditandai dengan ditemukannya metode baru untuk mengatasi permasalahan dalam proses penyambungan material, sehingga menjadi tanda adanya perkembangan dalam teknologi pengelasan, salah satunya yaitu pengelasan gesek (*friction welding*). Berdasarkan sejarah, las gesek sudah ditemukan pada 1950, tetapi metode pengelasan ini masih sangat jarang digunakan di Indonesia.

Proses pengelasan gesek (*friction welding*) terjadi sebagai akibat penggabungan antara laju putaran salah satu benda kerja dengan gaya tekan yang dilakukan oleh benda kerja yang lain terhadap ujung benda kerja yang berputar. Gesekan yang diakibatkan oleh pertemuan kedua benda kerja tersebut akan menghasilkan panas yang dapat melumerkan kedua ujung benda kerja yang bergesekan sehingga mampu melumerkan dan akhirnya terjadi proses penyambungan.

Beberapa keuntungan dari las gesek yaitu sebagai berikut:

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

²⁾ Alumni Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

1. Tidak memerlukan logam pengisi seperti pada las listrik dan las gas.
2. Hasil sambungan yang homogen karena tidak menggunakan elektroda.
3. Sangat baik digunakan untuk penyambungan poros bila dibandingkan dengan las listrik atau las gas, karena las gesek mampu mempertahankan kesatusumbuan (meminimalisir bergesernya sumbu dari material yang dilas).

Dari sekian keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan metode las gesek, hal yang menjadi perhatian penting dan harus diketahui adalah kekuatan sambungan yang dihasilkan, serta ketahanan bahan terhadap desakan benda lain (nilai kekerasan bahan) dan respon terhadap beban kejut atau beban tiba-tiba (beban dampak).

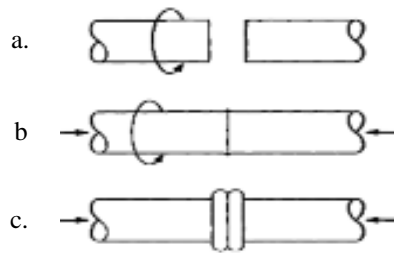
Muchammad Saleh (2004), dalam penelitiannya melakukan pengelasan gesek pada material aluminium paduan dan menyimpulkan kekuatan dampak hasil lasan semakin meningkat dengan semakin tinggi putaran mesin yang digunakan dan semakin besar tekanan yang diberikan pada saat pengelasan. Kekuatan dampak tertinggi sebesar $0,394 \text{ J.mm}^{-2}$ dengan kekuatan dampak rata-rata $0,345 \text{ J.mm}^{-2}$ pada putaran 1600 rpm dan tekanan 9,5 kgf.

Iswar (2010) dengan menggunakan bahan baja karbon rendah (ST. 42) menunjukkan bahwa kecepatan putaran sangat berpengaruh terhadap kekuatan sambungan las (kekuatan tarik dan tegangan geser). Hal ini ditandai dengan terjadinya peningkatan kekuatan tarik dan tegangan geser seiring dengan meningkatnya putaran yang diberikan.

Penelitian selanjutnya yang dilakukan Muhammad Husen Bahasa (2011) menyimpulkan bahwa pada baja ST 42, semakin lama waktu gesek (25, 35, dan 45 detik), maka sifat mekanik sambungan las akan semakin baik seiring dengan perubahan struktur mikro, tetapi sifat mekanik akan turun kembali jika waktunya terlalulama (55 detik).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi putaran dan waktu kontak pada pengelasan gesek terhadap kekuatan material baja karbon rendah dan aluminium. Berdasarkan hal tersebut kami juga ingin melakukan penelitian untuk menganalisis sejauh mana pengaruh kedua parameter di atas terhadap kekuatan material pada baja tahan karat (*Stainlees Steel Austenitic* standar AISI 301), sehingga ditemukan nilai parameter yang tepat. Material *stainlees steel* memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, sehingga banyak digunakan pada produk industri terutama pada peralatan yang berhubungan dengan makanan dan minuman (misalnya *cooking mixer*).

Astrom (2006), pengelasan gesek merupakan proses penyambungan logam tanpa pencairan (*solid state process*), yang mana proses pengelasan terjadi sebagai akibat penggabungan antara laju putar salah satu benda kerja dengan gaya tekanyang dilakukan oleh benda kerja yang berputar. Gesekan yang diakibatkan oleh pertemuan kedua benda kerja tersebut akan menghasilkan panas yang dapat melumerkan kedua ujung benda kerja yang bergesekan sehingga mampu melumerkan dan akhirnya terjadi proses penyambungan.

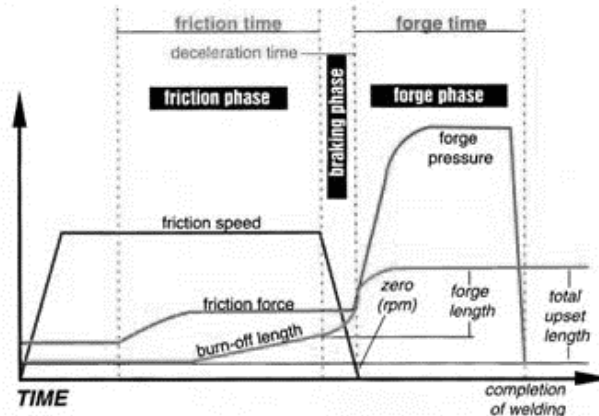


Gambar 1.Prinsip kerja las gesek

Gambar di atas menunjukkan langkah-langkah pada proses pengelasan gesek yang terdiri dari tiga proses sebagai berikut :

- Fase awal : satu benda kerja berputar, dan lainnya diam.
- Fase gesekan : kedua benda kerja menekan bersama, dan proses gaya tekan aksial untuk memulai proses gesekan.
- Fase *forging* : beban diberikan untuk memberikan tekanan akhir.

Friction welding adalah penyambungan yang terjadi oleh panas yang ditimbulkan oleh gesekan dan tekanan akibat perputaran logam satu terhadap lainnya di bawah pengaruh tekanan aksial.Pada pengelasan gesek (*friction welding*) terjadi beberapa fenomena fisik, seperti perubahan panas akibat gesekan, deformasi plastis, solidifikasi, perubahan strukyur dan sebagainya. Adapun parameter penting dalam process pengelasan gesek (*friction welding*) meliputi *friction time*, *rotation speed* dan *forge pressure* seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.Parameter kerja las gesek.

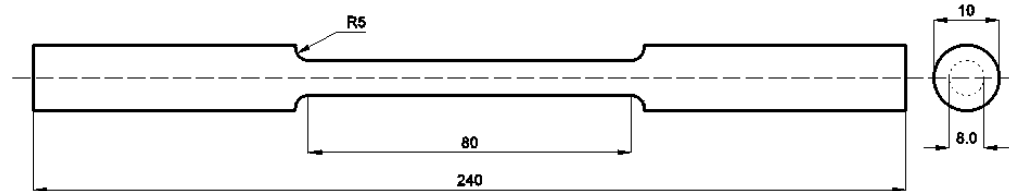
Bahan yang diteliti yaitu baja tahan karat.Baja tahan karat adalah baja dengan kandungan Cr sekitar 12 %.Penambahan Cr menyebabkan ketahanan karat meningkat karena Cr membentuk lapisan oksida tipis yang melindungi logam dari korosi. Penambahan Ni pada baja ini meningkatkan ketahanan karat dan memperbaiki keuletan dan sifat mampu bentuk (*formability*).*Stainless Steel* AISI 301 termasuk jenis baja *stainless austenitic* dengan kadar karbon yang rendah. Tipe ini dibuat dengan bahan yang mempertimbangkan nilai ekonomis, sangat baik untuk lingkungan tercemar dan di air tawar.Kadar kromium cukup tinggi yang protektif untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Komposisi karbon rendah untuk meminimalisai sensitisasi akibat proses pengelasan. Titik lebur (*melting point*) dikisaran 1399 - 1421 °C.

131 Abdul Salam, Muhammad Iswar, Ishak, Muhammad Fachrul, Pengaruh Variasi Putaran dan Waktu Tempa pada Pengelasan Gesek Stainless Steel AISI 301 terhadap Sifat Mekanik

Berdasarkan data temperatur titik lebur (*melting point*, T_m) baja tahan karat AISI 301 sebesar 1399-1421 °C, maka suhu pengelasan gesek/suhu rekristalisasi yaitu : $0,7 \times T_m$; $0,7 \times 1399$; 979,3 °C. Agar memudahkan proses pengelasan gesek dan perolehan data lebih akurat, suhu pengelasan divariasikan menjadi tiga yaitu : $850 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10$ (di bawah T_r), $950 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10$ (T_r) dan $1050 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10$ (di atas T_r).

II. METODE PENELITIAN

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitaian ini yaitu: mesin gerinda, mesin bubut manual, mesin frais, komputer dan *software cad*, mesin gergaji besi, kikir, jangka sorong, mesin uji tarik, mesin uji kekerasan metode Rockwell, spidol permanen, amplas, *stopwatch* dan *digital infrared thermometer*. Mesin uji kekerasan yang digunakan yaitu Affri MX 206 dengan metode *Rockwell Cone* skala A, Penetrator 120°, Beban 558 N, dan waktu pembebanan 10 detik. Sedangkan untuk pengujian tarik digunakan *Universal Testing Machine Galdabini* 10 ton dengan ukuran spesimen sesuai standar ISO 82-1974 (E), DP8, $l_0 = 80$ mm.



Gambar 3. Spesimen uji tarik.

Bahan yang digunakan yaitu baja tahan karat AISI 301 (pejal) dengan ukuran $\text{Ø} 15,8$ mm. Spesimen yang akan dibuat dari hasil pengelasan gesek terdiri dari 2 jenis yaitu; 1). Spesimen Uji Tarik dan 2). Spesimen Kekerasan. Ukuran spesimen uji tarik adalah $\text{Ø} 15,8 \times 220$ mm. Bagian tengah pada spesimen uji tarik dibubut dengan ukuran $\text{Ø} 8 \times 80$ mm. Untuk spesimen uji kekerasan, baja tahan karat AISI 301 berdiameter 15,8 mm dengan panjang 55 mm diratakan di kedua sisi menggunakan mesin frais sedalam 1,5 mm tiap sisi dan dihaluskan menggunakan kikir, amplas serta mesin gerinda permukaan.

Sebelum proses pembentukan spesimen uji tarik dilakukan, terlebih dahulu spesimen dipotong menggunakan gergaji mesin dengan ukuran $\text{Ø} 15,8 \times 120$ mm dan setiap spesimen uji tarik dan kekerasan terdiri dari 2 batang *raw material* yang disambung dengan cara pengelasan gesek menggunakan mesin bubut Pindad. Setiap variabel dan pengujian terdiri dari 2 batang spesimen.

Jumlah bahan yang digunakan sebagai spesimen pengujian tarik dan pengujian kekerasan setelah proses pengelasan gesek secara terperinci dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Jumlah Spesimen

Variabel Pengelasan Gesek Spesimen				Jumlah Spesimen Hasil Pengelasan Gesek (Batang)	
Put. Mesin (rpm)	Waktu Tempa (s)	Suhu Pengelasan (°C)	Beban Gesek dan Beban Tempa (MPa)	Uji Tarik	Uji Kekerasan
550	25	1050 ± 10	82,1 dan 123,8	2	2
	35			2	2
	45			2	2

1020	25			2	2	
	35			2	2	
	45			2	2	
1800	25			2	2	
	35			2	2	
	45			2	2	
Raw Material				2	2	

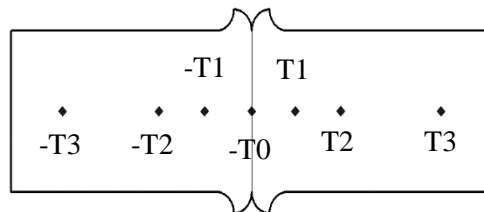
Variabel putaran mesin ditentukan berdasarkan kemampuan mesin bubut, waktu tempa ditentukan berdasarkan penelitian sebelumnya, suhu pengelasan diperoleh dari perhitungan suhu rekristalisasi baja tahan karat AISI 301 yang kemudian divariasikan menjadi 3 jenis temperatur percobaan pengelasan; 800°C, 950°C dan 1050 °C, hal tersebut dilakukan agar diperoleh data yang lebih akurat. Variabel selanjutnya yaitu beban gesek dan beban tempa diperoleh berdasarkan perhitungan metode *power screw* (Gupta, 2005).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Pengujian

1. Data Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan dan Metrologi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Tujuan pengujian ini ialah untuk mengetahui nilai kekerasan logam *stainless steel* hasil pengelasan gesek dengan variasi putaran mesin dan waktu tempa. Daerah yang diukur nilai kekerasannya yaitu pada daerah las (1 titik), daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) (4 titik), dan logam induk (2 titik).



Gambar 4. Titik uji kekerasan

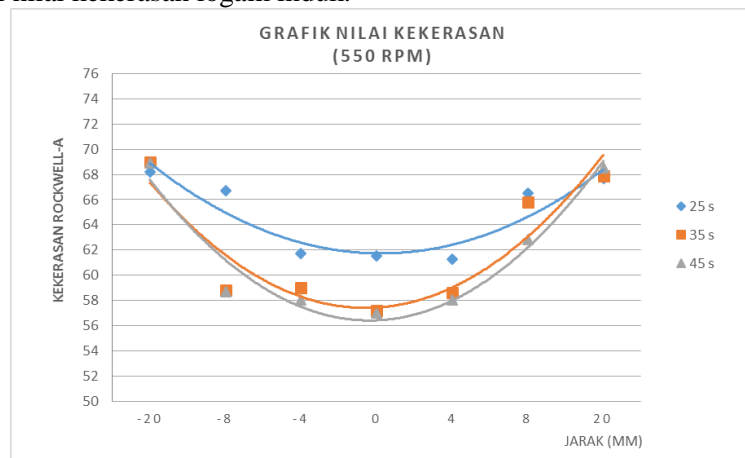
Tabel 2. Data hasil pengujian kekerasan

Spesimen		Titik Indentasi HRC-A (Newton)						
Put. Mesin (rpm)	Waktu Tempa (s)	Log. Induk (-T3)	HAZ (-T2)	HAZ (-T1)	Daerah Las (T0)	HAZ (T1)	HAZ (T2)	Log. Induk (T3)
550	25	68,2	66,7	61,7	61,5	61,3	66,5	67,7
	35	69,0	58,8	59,0	57,2	58,6	65,8	67,9
	45	68,9	58,7	58,0	57,0	58,0	62,8	68,5
1020	25	68,2	63,1	60,6	60,3	62,9	67,8	68,3
	35	68,0	66,7	59,3	57,5	59,7	65,9	67,9
	45	68,3	62,5	58,4	58,1	58,2	58,5	68,5
1800	25	69,7	64,5	61,6	59,5	61,8	68,1	69,7

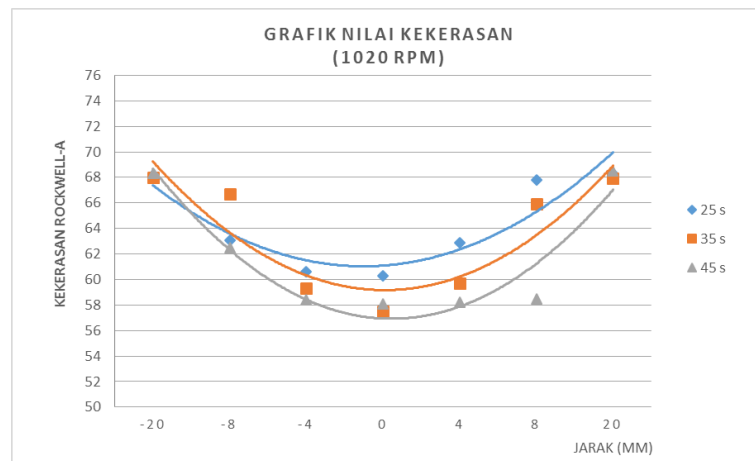
133 Abdul Salam, Muhammad Iswar, Ishak, Muhammad Fachrul, Pengaruh Variasi Putaran dan Waktu Tempa pada Pengelasan Gesek Stainless Steel AISI 301 terhadap Sifat Mekanik

	35	69,2	59,2	58,9	58,3	58,7	56,2	67,5
	45	66,7	63,0	59,2	60,5	59,7	67,7	68,0

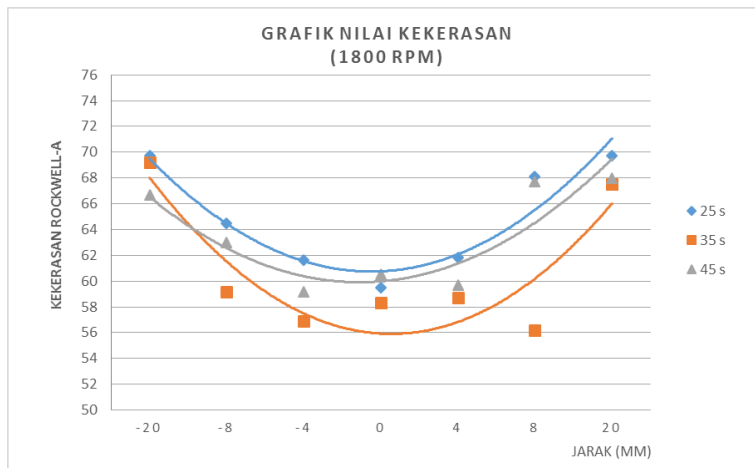
Berikut adalah grafik tingkat kekerasan sambungan las *stainless steel* seri 301. Grafik tersebut terbentuk dari nilai yang diperoleh pada data hasil uji kekerasan tabel 4. Dari ke-3 grafik terlihat bahwa titik 0 atau daerah sambungan las memiliki nilai kekerasan yang rendah, sedangkan daerah HAZ sampai daerah logam induk dengan jarak 20 mm dari titik 0 kekerasannya semakin meningkat. Dari grafik tersebut dapat dilihat perbedaan kekerasan yang cukup besar antara kekerasan daerah sambungan las dengan kekerasan daerah logam induk. Rata-rata penurunan nilai kekerasan daerah sambungan las yaitu sekitar 10-20 % dari nilai kekerasan logam induk.



Gambar 5. Grafik data uji kekerasan variasi putaran 550 rpm



Gambar 6. Grafik data uji kekerasan variasi putaran 1020 rpm



Gambar 7. Grafik hasil uji kekerasan variasi putaran 1800 rpm

2. Data Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan sambungan logam *stainless steel* hasil pengelasan gesek. Pengujian juga dilakukan untuk *raw material* agar dapat dibandingkan dengan material hasil pengelasan.

Tabel 3. Data hasil pengujian tarik

Spesimen		Hasil Pengukuran					
Put. Mesin (rpm)	Waktu Tempa (s)	F _p (kN)	F _y (kN)	F _m (kN)	F _b (kN)	l ₁ (mm)	d ₁ (mm)
550	25	4,3	18,6	24	23,1	81,44	7,70
	35	4,6	20,1	26,8	23,6	81,74	7,58
	45	5,2	23,3	29,3	26,2	82,30	7,24
1020	25	4,7	21,2	26,8	23,8	81,8	7,5
	35	5,4	24,6	30,5	26	83,9	6,92
	45	5,6	25,5	31,2	28,5	84,32	6,62
1800	25	5,8	25,7	32,7	29	84,96	6,62
	35	5,9	26	33,6	29,2	85,6	6,56
	45	6,2	27,1	35,5	30,5	86,18	6,38
<i>Raw material</i>		6,5	35,7	39,2	26	108,9	4,1

Keterangan:

F_p = Beban proporsional.

F_y = Beban lumer.

F_m = Beban maksimum.

F_b = Beban putus.

l₁ = Panjang setelah pengujian.

d₁ = Diameter setelah pengujian.

Berdasarkan data hasil pengujian tarik pada tabel 5 dengan variasi putaran mesin dan waktu tempa, maka diperoleh sifat mekanik berupa tegangan maksimum, regangan, dan reduksi penampang dari spesimen yang diuji tarik.

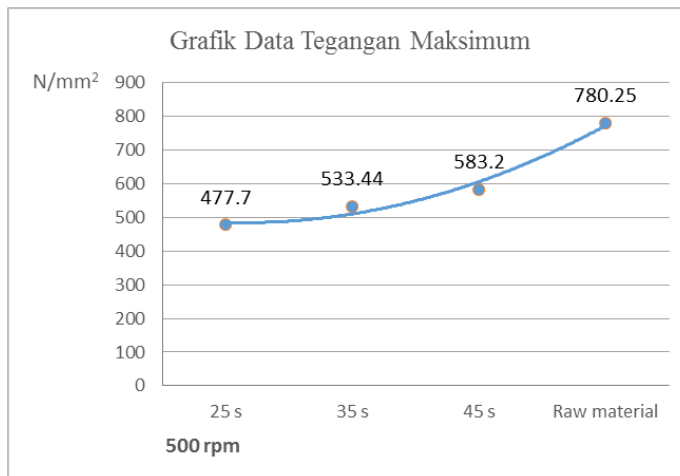
Tabel 4. Perhitungan data uji tarik

Spesimen		Hasil Perhitungan		
Put. Mesin (rpm)	Waktu Tempa (s)	σ _t _{maks} (N/mm ²)	ε (%)	Z (%)
550	25	477,7	1,8	7,35

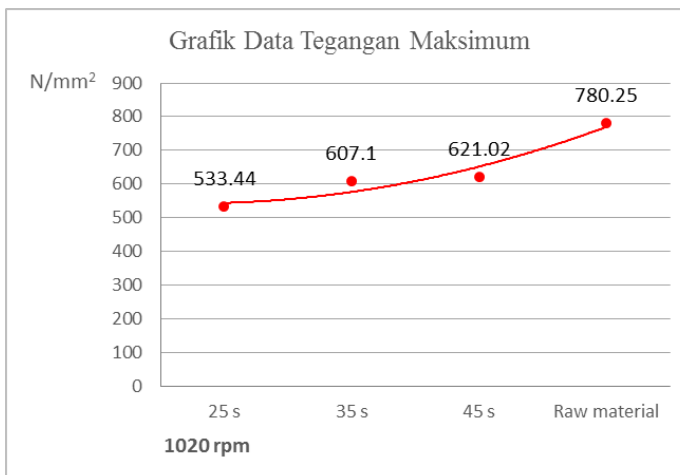
135 Abdul Salam, Muhammad Iswar, Ishak, Muhammad Fachrul, Pengaruh Variasi Putaran dan Waktu Tempa pada Pengelasan Gesek Stainless Steel AISI 301 terhadap Sifat Mekanik

	35	533,44	2,17	10,22
	45	583,20	2,88	18,1
1020	25	533,44	2,25	12,1
	35	607,1	4,88	25,17
	45	621,02	5,4	31,52
1800	25	650,9	6,2	31,52
	35	656,85	7	32,76
	45	706,61	7,72	36,4
Raw material		780,25	36,13	73,7

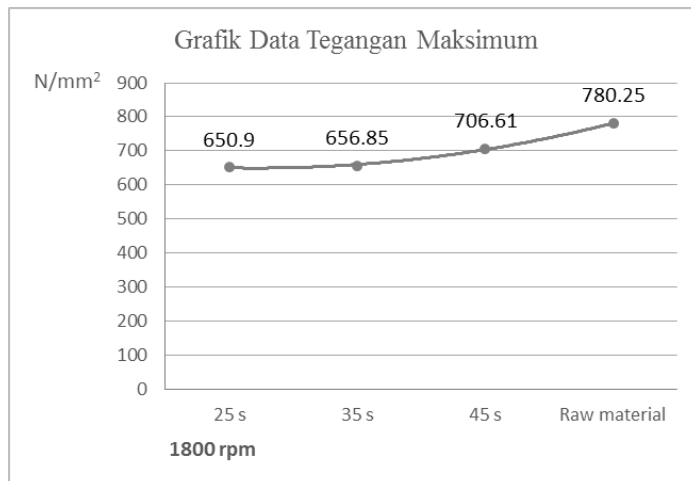
Berikut adalah grafik tegangan tarik sambungan las *stainless steel* seri 301. Grafik tersebut terbentuk dari nilai yang diperoleh dari data perhitungan hasil uji tarik tabel 6. Grafik tersebut memperlihatkan perbandingan tegangan tarik antara *raw material* dan spesimen hasil pengelasan gesek dengan variabel waktu tempa 25, 35 dan 45 detik serta berdasarkan putaran mesin bubut Pindad yaitu 550 rpm, 1020 rpm dan 1800 rpm.



Gambar 8. Grafik data tegangan uji tarik (550 rpm)



Gambar 9. Grafik data tegangan uji tarik (1020 rpm)



Gambar 10. Grafik data tegangan uji tarik (1800 rpm)

B. Pembahasan

1. Analisa Hasil Uji Kekerasan

Grafik analisa data hasil pengujian (gambar 5 – 7) menunjukkan nilai kekerasan dari pengelasan gesek *stainless steel* tipe 301 terhadap jarak horizontal. Setiap grafik tersebut berbentuk V, dimana bentuk tersebut menunjukkan bahwa pada bagian sambungan las, dan HAZ mengalami penurunan kekerasan dibandingkan logam induk.

Gambar 5 adalah grafik nilai kekerasan hasil pengelesan gesek dengan variasi putaran mesin sebesar 550 rpm serta waktu tempa 25 detik, 35 detik dan 45 detik. Grafik tersebut memperlihatkan nilai kekerasan sambungan las dan HAZ semakin turun apabila waktu tempa semakin lama serta semakin rendah temperatur semakin tinggi nilai kekerasannya. Hal tersebut juga terjadi pada spesimen dengan variasi putaran 1020 rpm (gambar 6) dan 1800 rpm (gambar 7). Namun spesimen dengan variasi putaran 1800 rpm / 45 detik, nilai kekerasan lebih tinggi. Perbedaan nilai kekerasan pada sambungan las tidak terlalu besar, berkisar antara 1-8 HRC-A. Temperatur pengelasan yang sama ($1050^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}$) merupakan faktor penyebab nilai kekerasan sambungan las yang tidak berbeda jauh.

2. Analisa Hasil Uji Tarik

Hasil pengujian untuk *raw material* diperoleh nilai tegangan maksimum sebesar $780,25 \text{ N/mm}^2$ dan dan regangan sebesar 36,13 %. Nilai tegangan dan regangan tinggi, yang artinya sifat dari *raw material* adalah ulet (*ductility*) serta menandakan bahwa material ini tangguh (*toughness*) atau saat diujitarik *raw material* memberikan peringatan lebih dulu sebelum terjadinyakerusakan. Bahan tangguh, kekuatan putusnya umumnya lebih kecil daripada kekuatan maksimumnya. Perhitungan analisa data spesimen yang melalui proses pengelasan gesek, diperoleh tegangan tarik maksimum tertinggi pada spesimen dengan variasi putaran 1800 rpm setiap 45 detik waktu tempa, yaitu $706,61 \text{ N/mm}^2$ dan regangan sebesar 7,72 %, sedangkan kekuatan terendah diperoleh pada spesimen 550 rpm / 25 detik waktu tempa, yaitu $477,7 \text{ N/mm}^2$ dan regangan 1,8 %. Gambar (8 – 10) merupakan grafik perbandingan kekuatan tarik setiap spesimen hasil pengelasan gesek dengan variasi putaran mesin dan waktu tempa terhadap *raw material*. Grafik tersebut memperlihatkan secara jelas bahwa kekuatan tarik hasil pengelasan gesek tidak jauh berbeda dari *raw material*, jika dibandingkan dengan nilai tertinggi hasil pengelasan maka diperoleh selisih tegangan tarik maksimum sekitar $73,6 \text{ N/mm}^2$


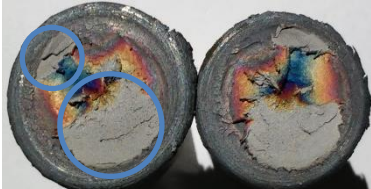
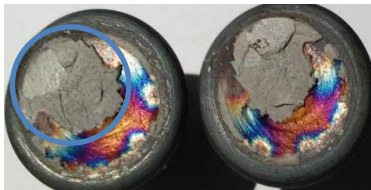
serta selisih regangan 28,4 %. Persentasi penurunan kekuatan tarik sekitar 9,4 % dan regangan sekitar 78,6 %.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa kekuatan hasil pengelasan hampir menyamai kekuatan *raw material*, akantetapi semua spesimen hasil pengelasan mengalami kondisi patah/putus di daerah sambungan las. Nilai regangan sangat rendah sehingga mengindikasikan bahwa material hasil penyambungan las gesek memiliki sifat sambungan yang lebih getas,walaupun pada dasarnya *raw material*bersifat tangguh. Bentuk perpatahan adalah bentuk getas, yang artinya kekuatan putus/patah hampir sama dengan kekuatan maksimumnya.

Kesimpulan lain yang diperoleh yaitu, semakin tinggi putaran mesin nilai kekuatan tarik juga semakin meningkat, demikian pula apabila waktu tempa semakin lama maka nilai kekuatan tarik semakin meningkat.

Percobaan pengelasan gesek dilakukan dengan kondisi ukuran diameter sesuai *raw material* awalnya, yaitu 15,8 mm. Hasilnya, sambungan las yang didapatkan selalu tidak sempurna, pada daerah las ditemukan rongga atau daerah yang tidak terhubung seperti gambar pada tabel berikut :




Tabel 5. Kondisi sambungan las 15,8 mm (P_u : 123, 8 MPa, 1800 rpm / 45s)

<p>Suhu pengelasan $800^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}$.</p>	
<p>Suhu pengelasan $950^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}$.</p>	
<p>Suhu pengelasan $1050^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}$.</p>	

Gambar pada tabel 7 di atas memperlihatkan bagian yang terhubung sempurna yaitu daerah yang diberi tanda lingkaran berwarna biru, sedangkan daerah lain tidak mengalami penyatuan/peleburan. Ketika dibentuk menjadi spesimen uji tarik, setiap spesimen memiliki rongga kecil.Kondisi inilah yang menyebabkan kekuatan sambungan tidak maksimal. Tegangan maksimum tertinggi yang diperoleh setelah dilakukan pengujian tarik yaitu sebesar $320,46\text{ N/mm}^2$ dengan suhu pengelasan $1050^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}$. Terbentuknya rongga diakibatkan oleh nilai beban tekanan tempa yang belum tepat bila dibandingkan dengan luas penampang material.

Melihat kondisi tersebut, maka dilakukan percobaan pengelasan gesek dengan mengurangi ukuran diameter *raw material* dari 15,8 mm menjadi 10 mm. Hasilnya, sambungan las yang didapatkan lebih sempurna, pada daerah las rongga yang terbentuk sangat sedikit dan terletak pada daerah tepi las seperti gambar pada tabel berikut :

Tabel 6. Kondisi sambungan las 10 mm (P_u : 123.8 MPa, 1800 rpm / 45s)

<p>Suhu pengelasan $800^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}$.</p>	
<p>Suhu pengelasan $950^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}$.</p>	
<p>Suhu pengelasan $1050^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}$.</p>	

Gambar pada tabel 6 memperlihatkan bagian yang terhubung sempurna yaitu daerah yang diberi tanda lingkaran berwarna biru. Ketika dibentuk menjadi spesimen uji tarik, spesimen hampir tidak memiliki rongga. Kondisi inilah yang menyebabkan kekuatan sambungan lebih tinggi dan hampir menyamai kekuatan *raw material*. Adapun rongga yang terbentuk di daerah tepian sambungan las karena spesimen mengalami *miss alignment* yang disebabkan pencekam tidak sesumbu dan mengakibatkan proses penempaan tidak merata, serta kekuatan pencekaman yang harus ditingkatkan agar spesimen tidak bergeser pada saat di tempa.

Hasil kekuatan tarik lebih tinggi dan hampir menyamai kekuatan material induk, namun hasil patahan getas karena nilai regangan yang sangat rendah bila dibandingkan dengan material induk, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil sambungan tidak tangguh. Material yang tidak tangguh tidak disarankan untuk digunakan pada konstruksi mesin. Selain proses pengelasan lebih di maksimalkan, proses peningkatan kekuatan hasil pengelasan juga dapat dilakukan dengan metode *heat treatment*.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang dilakukan pada penelitian ini, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Grafik analisa data berbentuk V, dimana bentuk tersebut menunjukkan bahwa pada bagian sambungan las dan HAZ mengalami penurunan kekerasan dibandingkan logam induk. Semakin rendah temperature semakin tinggi nilai kekerasan. Variasi putaran mempengaruhi nilai kekerasan, semakin tinggi putaran mesin nilai kekerasan semakin meningkat. Tetapi berbeda halnya dengan variasi waktu tempa, semakin lama waktu tempa nilai kekerasan semakin rendah dan pada putaran 1800 rpm / 45 detik waktu nilai kekerasan semakin meningkat.
2. Grafik analisa data pengujian tarik memperlihatkan bahwa semakin tinggi putaran mesin nilai kekuatan tarik juga semakin meningkat, demikian pula apabila waktu tempa semakin lama maka nilai kekuatan tarik semakin meningkat. Kekuatan hasil pengelasan hampir menyamai kekuatan *raw material*. Selisih tegangan tarik maksimum sekitar 73,6 N/mm² serta selisih regangan 28,4 %. Persentasi penurunan kekuatan tarik sekitar 9,4 % dan regangan sekitar 78,6 %.

B. Saran

Dalam penelitian ini penulis merasa masih banyak kekurangan sehingga penelitian selanjutnya perlu mempertimbangkan hal-hal berikut:

1. Sebaiknya digunakan sistem hidrolik agar tekanan tempa dapat ditingkatkan dan dibebankan secara bertahap serta waktu penempaan lebih cepat.
2. Dibutuhkan mesin bubut dengan sistem pencekaman yang lebih kuat serta sistem pengeraman yang lebih baik dan lebih cepat, agar putaran pencekam dapat dihentikan lebih cepat sehingga suhu pengelasan dapat dipertahankan lebih lama pada saat proses penempaan dilakukan.
3. Pastikan mesin yang digunakan sesumbu, sehingga proses pengelasan lebih presisi dan hasil tekanan tempa lebih merata.

V. DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. 2000. *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials (Metric)*. E-8M. pp. 6.
- B.H Amstead, Sriarti. 1989. *Teknologi Mekanik Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Callister Jr, William. D. (1994). *Material Science and Engineering*. 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Daryanto. 2012. *Teknik Las*. Bandung: Alfabeta.
- Hariandja, Binsar. 1997. *Mekanika Bahan dan Pengantar Teori Elastisitas*. Erlangga: Jakarta.
- Harsono, S dan Toshie, O. 1991. *Teknologi Pengelasan Logam*. Pradnya Paramitha: Jakarta.

- Haryanto P, dkk. 2011. "Pengaruh Gaya Tekan,Kecepatan Putar dan Waktu Kontakpada Pengelasan Gesek Baja ST 60terhadap Kualitas Sambungan Las".Prosiding Seminar Nasional Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang. pp. D88-D93.
- Iswar, Muhammad. 2010." Pengaruh variasi parameter pengelasan (Putaran dan Temperatur) hasil pengelasan gesek pada baja karbon rendah". Jurnal Teknologi.
- Muhammad, Arsyad Suyuti, dan Nur Rusdi. "Pembuatan Produk Benda Ukur sebagai Media Praktek Pengukuran Dimensi di Laboratorium Mekanik." *Jurnal Teknik Mesin SINERGI* 9.1 (2011): 93-104.
- Nur, Rusdi, and Muhammad Arsyad Suyuti. *Pengantar Sistem Manufaktur*. Deepublish, 2017.
- Nur, Rusdi. "Rancang Bangun Mesin Peniris Bawang Goreng untuk Meningkatkan Produksi Bawang Goreng pada Industri Rumah Tangga." *Jurnal Teknik Mesin SINERGI* 8.2 (2010): 115-129.
- Samosir, Ganda. 2012. *Teknik Pengelasan*. Yogyakarta: Universitas Mercu Buana.
- Surdia, Tata dan Saito Sinroku. 1991.*Pengetahuan Bahan Teknik*.Pradnya Paramitha:Jakarta.
- Zainuri, A. M. 2008. *Kekuatan Bahan*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.