

## PENERAPAN FSW PADA SAMBUNGAN WEAR STRIP CHAIN BERBAHAN KUNINGAN C2680P PADA MESIN KONVEYOR KAYU FINGER JOINT

**Choirul Hamzah**

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [choirul.17050754042@mhs.unesa.ac.id](mailto:choirul.17050754042@mhs.unesa.ac.id)

**Akhmad Hafizh Ainur Rasyid**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [akhmadrasyid@unesa.ac.id](mailto:akhmadrasyid@unesa.ac.id)

### Abstrak

Peneliti ingin membuat wear strip chain dengan bahan kuningan C2680P berdimensi 4120x70x5mm tetapi material yang ada dipasaran hanya berukuran 2500x70x5mm saja, oleh karena itu diperlukan proses penyambungan. Permasalahan terjadi ketika peneliti menggunakan metode pengelasan OAW, karena sifat dari kuningan yang mudah berdeformasi akibat panas maka terjadi penyimpangan sebesar 2,64 mm. Berdasarkan studi literatur, peneliti mendapatkan informasi bahwa FSW merupakan teknik pengelasan plat yang sedikit menimbulkan panas, distorsi yang kecil dan hasil sambungan las yang rata. Penelitian ini merupakan uji eksperimental yang dilakukan pada spesimen plat kuningan C2680P dengan ketebalan 5mm yang dilas dengan ukuran ASTM E190, proses pengelasan dilakukan menggunakan mesin milling konvensional dengan parameter berupa kecepatan pengelasan 600 dan 1500 rpm dengan kecepatan pengelasan 37 dan 63 mm/menit. Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini menyatakan bahwa kecepatan putar dan kecepatan pengelasan menghasilkan kerataan permukaan dengan hasil rata-rata  $\pm 0.015$  mm di semua parameter, sedangkan untuk kekuatan bending menghasilkan kekuatan terbaik pada kecepatan putar 1500 rpm dengan rata-rata 975,7 MPa, dan untuk kecepatan pengelasan yang terbaik berada pada 37 mm/menit dengan rata-rata 865,7 MPa.

**Kata Kunci:** Pengelasan gesek, kuningan, Kecepatan Putar, Kecepatan Pengelasan, Kerataan, Kekuatan Bending

### Abstract

Researchers want to make a wear strip chain using C2680P brass with dimensions of 4110x70x5mm but the material on the market is only 2500x70x5mm, therefore a joining process is needed, problems occur when researchers use the OAW welding method, because of the nature of brass which easily deforms due to heat, deviations occur by 2.64 mm. the researchers obtained information that FSW is a plate welding technique that generates little heat, small distortion and results in an even weld joint. This research conducted on a JIS C2680P brass plate specimen with a thickness of 5mm which is welded with ASTM E190 size, the welding process is carried out using a conventional milling machine with parameters such as rotational speeds of 600 and 1500 rpm with traverse speed of 37 and 63 mm/minute. The results obtained in this study stated that rotational speed and welding speed produced surface flatness with an average yield of  $\pm 0.015$  mm in all parameters, while bending strength give the best strength at a rotational speed of 1500 rpm with an average of 975.7 MPa, and for the best welding speed is at 37 mm/minute with an average of 865.7 MPa.

**Keywords:** Friction Stir Welding; brass; rotational speed; welding speed; flatness; bending strength.

### PENDAHULUAN

Mesin kayu finger joint berfungsi untuk membuat profil sambungan kayu berbentuk gerigi, cara kerjanya yaitu balok kayu diletakkan pada meja konveyor berpengerak rantai, lalu ujung balok kayu tersebut diarahkan pada mata pisau dengan profil berbentuk gerigi. Pada konveyor mesin kayu finger joint tersebut, terdapat *wear strip chain* berbahan plat kuningan yang berfungsi sebagai tumpuan pergerakan rantai. Sesuai dengan namanya *wear strip chain*, yaitu plat strip yang sengaja di auskan (*wear*). Dalam dunia industri terdapat beberapa material *Wear strip chain* sesuai dengan pengaplikasiannya, diantaranya polyethylene untuk penggunaan yang ringan, HDPE untuk food grade, Nylon untuk penggunaan pada suhu tinggi hingga kuningan untuk penggunaan berat (TSE Industries, 2014).

Material kuningan dipilih karena memiliki koefisien friksi yang rendah apabila bergesekan dengan material



Gambar. 1 Mesin Kayu Finger Joint

rantai, tidak mudah berkarat, memiliki kekuatan yang baik dan deformasi plastis yang bagus dari material *wear strip chain* yang lain.

Dalam hal ini peneliti ditugaskan untuk membuat *wear strip chain* untuk mesin kayu finger joint dengan Plat Kuningan berdimensi 4110x70x5 (mm), sedangkan di toko bahan dan material, dimensi yang dibutuhkan tidak ada dan yang tersedia hanya material plat strip JIS C2680 dengan dimensi 2500x70x5 mm sehingga dibutuhkan proses penyambungan sesuai dimensi. Karena pengaplikasiannya sebagai alas gesek dari rantai maka dibutuhkan kerataan yang halus dengan toleransi kerataan sebesar  $\pm 0.1$  mm, lalu dibutuhkan kekuatan minimal 25 kgf menopang berat rantai.

Sebelumnya peneliti melakukan proses penyambungan dengan OAW (oksigen asetilen welding) OAW, yang beroperasi pada suhu 3200C0 (Union Carbide Corp, 1975), tetapi pengelasan dengan metode tersebut belum menghasilkan kontur yang rata karena nilai deviasi (DA) pada plat kuningan yang telah dilas sebesar  $\pm 2,56$  mm (Wilborn et al., 2014), hal ini dikarenakan pengelasan dengan suhu lebih dari 1000Co dapat mengakibatkan kandungan Zn menguap menyebabkan porositas pada sambungan lalu menjadikan hasil permukaan tidak rata, deformasi plastis yang semakin buruk dan mengalami distorsi yang besar akibat thermal conductivity kuningan yang tinggi (Meran, 2006). Untuk mengatasi ini diperlukan suatu upaya untuk mengurangi suhu yang tinggi menjadi kurang dari 1000C0. Berdasarkan jurnal dan rekomendasi literatur yang diperoleh, untuk dapat menghasilkan sambungan plat dengan hasil kontur yang relatif rata maka dapat menggunakan jenis pengelasan Friction Stir Welding (FSW) tipe Butt Joint.

FSW merupakan proses pengelasan yang dipromosikan dengan sedikit biaya dan kualitas sambungan yang baik. FSW termasuk dari pengelasan solid state welding yang ditemukan di TWI (The Welding Institute) oleh (Thomas, 1998). Hal itu dikarenakan pengelasan tidak membutuhkan logam pengisi karena input panasnya didapatkan antara gesekan probe dengan material yang dilas. Prinsip FSW menggunakan tools yang berotasi dan bergerak melintas sehingga material terjadi penempaan pada pusat lasan menjadi lebur.

Suhu yang diciptakan oleh proses FSW berkisar antara 80% sampai 90% dari suhu leleh material las, sehingga cacat las dan distorsi besar umumnya terkait dengan pengelasan dapat diminimalkan atau dihindari sesuai penelitian oleh Chao (Chao et al., 2003). Dari penelitian yang dilakukan oleh Tang et al tersebut, kita dapat memberi gambaran bahwa untuk kuningan dengan titik leleh sebesar 930Co, FSW membutuhkan suhu 744-837 Co sehingga pengelasan dengan suhu yang rendah ini dapat kita peroleh melalui FSW.

Proses pengelasan FSW dilakukan dengan mengkombinasikan variasi kecepatan putar spindle dan kecepatan pengelasan (traverse speed) pada mesin milling CNC maupun konvensional. Dalam hal ini peneliti ingin mengetahui variasi kecepatan putar dan kecepatan pengelasan yang dapat menghasilkan kerataan dan kekuatan bending terbaik untuk penerapannya sebagai *wear strip chain* konveyor mesin kayu finger joint.

Beberapa peneliti telah melakukan percobaan mengenai FSW yang dilakukan pada material kuningan seperti Penelitian yang dilakukan oleh Setyo (2019),

terkait Analisis Pengaruh Bahan Tool Joint Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan Dan Struktur Mikro Sambungan Plat Kuningan Pada Proses Friction Stir Welding. Parameter yang digunakan yaitu kecepatan putar 1250 rpm dan welding speed 12,5 mm/min dapat menghasilkan sambungan las tipe butt joint yang baik dan kuat, dengan tebal plat 3 mm.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Barlas (Barlas, 2020), menggunakan material CuZn dengan ketebalan 3mm menggunakan variasi kecepatan putar 500, 800 dan 1100 rpm dengan kecepatan pengelasan 40mm/menit. hasil yang terbaik yang menghasilkan pengelasan bebas cacat ada pada kecepatan 800 rpm dengan kekuatan tarik sebesar 339 Mpa .

Berdasarkan penelitian oleh Sukhwinder et al (Singh Sekhon et al., 2016), Material yang digunakan kuningan zn 28,66% dan cu 71,44% dengan dimensi 150x50x3 mm. Dengan variasi parameter kecepatan putar 1000,1100 dan 1200 rpm, travel speed 25,35 dan 40 mm/min. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan hasil optimal pada penggunaan jenis square pin tool, kecepatan putar 1200 rpm dan travel speed 35 mm/min dengan hasil metalurgi sambungan yang baik.

Jarang sekali ada penelitian yang menjelaskan tingkat kerataan dari hasil sambungan FSW, dalam bukunya mikell (Mikell-P, 2012) menjelaskan, FSW memiliki hasil yang memiliki distorsi rendah dan penyusutan material yang minimal tetapi FSW juga memiliki ciri khas berupa bekas cekungan yang terbentuk akibat penekanan shoulder toolpin. Dari hal tersebut maka peneliti ingin menggunakan sisi yang paling rata yakni root weld untuk penerapannya pada wear strip chain lalu dilanjutkan dengan pengujian bending untuk mengetahui kualitas sambungan. dari penelitian sebelumnya maka peneliti menggunakan parameter kecepatan putar 800 dan 1500 rpm dengan kecepatan pengelasan 37 dan 63 mm/menit untuk menentukan tingkat kerataan dan kekuatan bending pada root weld pengelasan FSW kuningan.

## METODE

Penelitian ini menggunakan spesimen berupa plat strip kuningan JIS C2680P, material ini memiliki kandungan kuningan murni sebesar 64-68% (Tabel 1) yang mana material kuningan ini disebut sebagai kuningan fase  $\alpha$  (Heidarzadeh et al., 2019). Kuningan berjenis fase  $\alpha$  ini adalah jenis yang paling sering digunakan digunakan dalam berbagai macam pengaplikasian dan diproduksi secara massal karena memiliki deformasi plastis yang lebih baik setelah proses pengelasan daripada kuningan dengan fase  $\beta$  (Xie et al., 2008).

Tabel 1 Komposisi Kimia JIS C2680 (Global Conformation Indonesia, 2020)

Alloy	Komposisi Kimia (massa%)							
	Cu	Pb	Fe	Zn	Sn	Al	Ni	P
JIS C2680	64-68	0,05	0,05	36-40	-	-	-	-

Tool pin adalah alat yang digunakan untuk mengaduk pada proses FSW (Emamikhah et al., 2014), tool pin dicekam pada mesin milling lalu ditekankan pada spesimen

sehingga shoulder tool pin menyentuh spesimen, kemudian tool pin dijalankan (Sun et al., 2009). Dalam hal ini peneliti menggunakan tool pin dengan profil persegi, panjang toolpin 55 mm, 18 mm ukuran shoulder tool pin, dimensi ujung tool pin 5x5 mm dengan kedalaman pin 3 mm (Gambar 2). Menurut elangovan (Elangovan & Balasubramanian, 2008) toolpin dengan profil persegi memiliki kekuatan tarik, kekerasan yang lebih tinggi, tidak menimbulkan keccatan dan butiran yang lebih halus di daerah pengelasan.



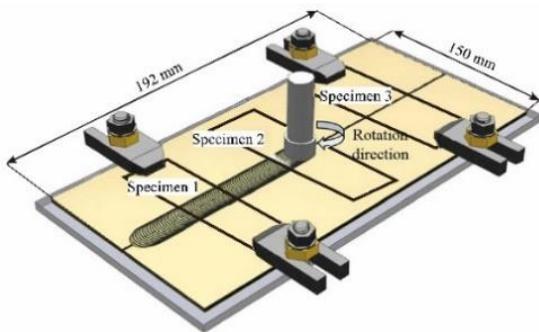
Gambar 2 Pin Tool

Pemilihan toolpin dengan bahan AISI D2 dikarenakan baja dengan jenis ini cocok digunakan sebagai pekerjaan seperti cold work, hot work, shock resisting, mould, high speed dan special purpose tools steels dan baja AISI D2 ini memiliki komposisi karbon dan chrome yang tinggi (Hariningsih et al., 2022).

Tabel 2 Komposisi Kimia Baja AISI D2 (Hariningsih et al., 2022)

Komposisi Kimia Baja AISI D2						
C	Cr	Mn	Mo	V	Si	Fe
1,4-1,6	11,0-13,0	0,1-0,6	0,7-1,2	0,5-1,1	0,1-0,6	sisa

Proses pengelasan dilakukan pada plat kuningan dengan dimensi 150mm x 192mm x 5mm, dengan urutan spesimen 1, 2, dan 3. Pengelasan dilakukan searah jarum jam dengan pembagian 4 kali pengelasan yaitu parameter 800 rpm x 37 mm/min, 800 rpm x 63 mm/min, 1500rpm x 37 mm/min, dan 1500 rpm x 63 mm/min dengan ketebalan 5mm. setelah pengelasan berhasil, lalu material dipotong menjadi 3 bagian sesuai ukuran ASTM E190 berukuran 170x38 mm (Gambar 3 & 5) sehingga total spesimen dalam pengujian ini berjumlah 12.



Gambar 3 Desain Pengujian



Gambar 4 Proses Pengelasan

Proses pengelasan dilakukan menggunakan mesin milling konvensional dengan parameter berupa kecepatan pengelasan 600 dan 1500 rpm dengan kecepatan pengelasan 37 dan 63 mm/menit. Selanjutnya dilakukan uji kerataan dengan dial gauge yang ditempatkan pada mesin milling, lalu dilakukan uji three point bending.



Gambar. 5 Empat Variasi Pengelasan

Tabel 3 Hasil Pengelasan

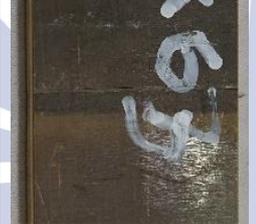
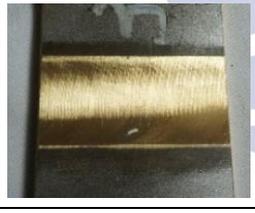
No.	Spesimen Tampak Depan	Kode Spesimen
1.		800 x 37 (spesimen 1)
2.		800 x 37 (spesimen 2)
3.		800 x 37 (spesimen 3)
4.		800 x 63 (spesimen 1)
5.		800 x 63 (spesimen 2)
6.		800 x 63 (spesimen 3)
7.		1500 x 37 (spesimen 1)
8.		1500 x 37 (spesimen 2)
9.		1500 x 37 (spesimen 3)

10.		1500 x 63 (spesimen 1)
11.		1500 x 63 (spesimen 2)
12.		1500 x 63 (spesimen 3)

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Pengelasan**

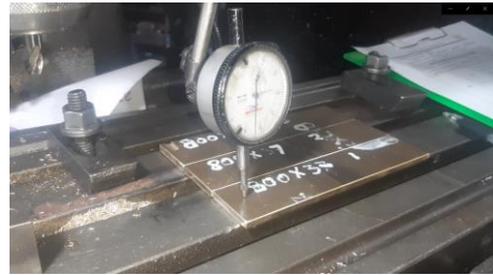
Tabel 4 Detail Hasil Pengelasan

RS*	TS*	Tampak Depan	Tampak Belakang
800	37 (2)		
	63 (2)		
1500	37 (2)		
	63 (1)		

\*Rotational speed  
\*\*Traverse Speed

(Tabel 4) Diatas adalah 4 dari 12 spesimen hasil pengelasan yang telah di potong menjadi ukuran ASTM E190. Untuk hasil pengelasan pada tampak depan dan belakang.

**Uji Kerataan**



Gambar 6 Pengujian Kerataan

Proses pengujian kerataan menggunakan dial gauge mitutoyo 2046S pada mesin milling (Gambar 7). Pengujian dilakukan dengan mengukur 3 titik pada root weld untuk setiap spesimen. Hal ini dikarenakan pada daerah face weld terdapat cekungan ciri khas pengelasan FSW sebesar ±0,1mm. Kemudian peneliti mencatat hasil tiap spesimennya.

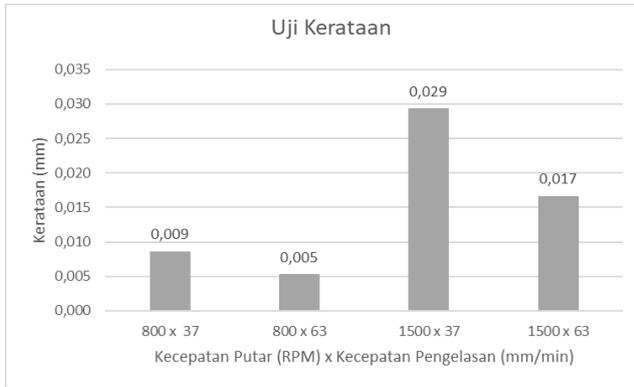
Tabel 5 Hasil Uji Kerataan

Kecepatan Putar (RPM)	Kecepatan Pengelasan (mm/min)	Spesimen	Kerataan Permukaan (mm)			Rata-Rata
			1	2	3	
800	37	1	0	0,015	0,015	0,010
		2	0	0,015	0,015	0,008
		3	0	0,010	0,015	0,008
	63	1	0	0,010	0	0,003
		2	0	0,030	-0,013	0,006
		3	0	0,010	0,010	0,007
1500	37	1	0	0,050	0,05	0,033
		2	0	0,050	0,05	0,033
		3	0	0,050	0,015	0,022
	63	1	0	0,050	0	0,017
		2	0	0,050	0	0,017
		3	0	0,048	0	0,016

Hasil kerataan terbaik (Tabel 5) didapatkan dari kecepatan perputaran 800 rpm dan kecepatan pengelasan 63mm/menit pada spesimen pertama dengan nilai rata-rata 0,003. Untuk Hasil kerataan dengan simpangan terbesar yaitu pada kecepatan perputaran 1500 rpm dan kecepatan pengelasan 37mm/menit pada spesimen pertama dan kedua dengan nilai 0,033mm.



Gambar 7 Grafik Uji Kerataan



Gambar 8 Grafik Rata-Rata Uji Kerataan

Dari grafik rata-rata uji kerataan (Gambar 9) didapatkan bahwa kecepatan perputaran dengan kerataan terbaik berada pada 800 x 63 dengan rata-rata 0,005 mm. Untuk Hasil kerataan dengan simpangan terbesar yaitu pada kecepatan perputaran 1500 x 37 dengan rata-rata 0,029 mm.

Untuk kecepatan putar 800 rpm terjadi penurunan sebesar 0.004 mm terhadap kecepatan pengelasan, dan untuk kecepatan putar 1500 rpm terdapat penurunan sebesar 0.012. Lalu untuk kecepatan pengelasan, terdapat trend kenaikan terhadap kecepatan putar dalam kecepatan 37 mm/menit sebesar 0,02 mm dan 0,012 pada kecepatan 53 mm/menit. Dengan kesimpulan semakin tinggi kecepatan putar semakin tinggi simpangan kerataannya dan untuk kecepatan pengelasan semakin tinggi kecepatannya semakin kecil simpangannya. Untuk rerata keseluruhannya sebesar 0,015 mm hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh shen (Shen et al., 2010) yang menyatakan bahwa semakin rendah kecepatan pengelasannya maka besar kemungkinan untuk pengelasan menjadi defect free.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya maka dapat dikatakan bahwa pengelasan FSW memiliki hasil kerataan yang lebih baik jika dibandingkan dengan metode pengelasan OAW yang menghasilkan kerataan  $\pm 2.54$  mm. Oleh karena itu, berdasarkan hasil analisis uji kerataan didapatkan bahwa kecepatan pengelasan dan kecepatan putar hanya berpengaruh kecil terhadap kerataan. Hal ini sejalan dengan pendapat Mikell (Mikell-P, 2012) yang menyatakan bahwa FSW memiliki distorsi yang kecil permukaan yang rata dan hasil lasan yang bagus.

## Uji Bending

Tabel 6 Foto Setelah Uji Bending

RS* rpm	TS** mm/min	Hasil Bending
800	37 (2)	
	63 (2)	
1500	37 (2)	
	63 (1)	

\*Rotational speed

\*\*Traverse Speed

Pengujian bending pada penelitian ini menggunakan metode *three point bending* dengan pembebanan pada *root weld (face bend)*. Untuk menghitung kekuatan bending digunakan rumus:

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2}$$

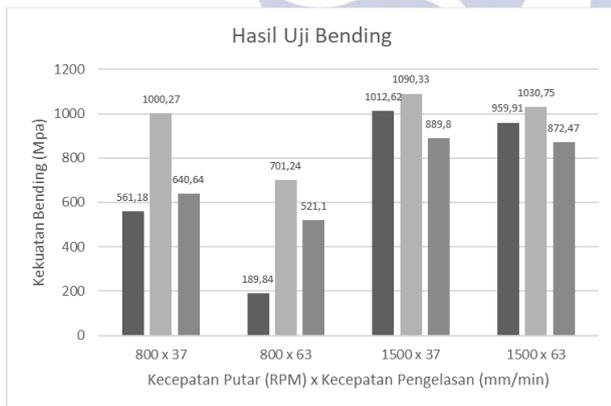
Dimana:

- $\sigma$  = kekuatan bending (MPa)
- P = beban / load (N)
- L = panjang span (mm)
- b = lebar/width (mm)
- d = tebal/depth (mm)

Tabel 7 Hasil Uji Bending

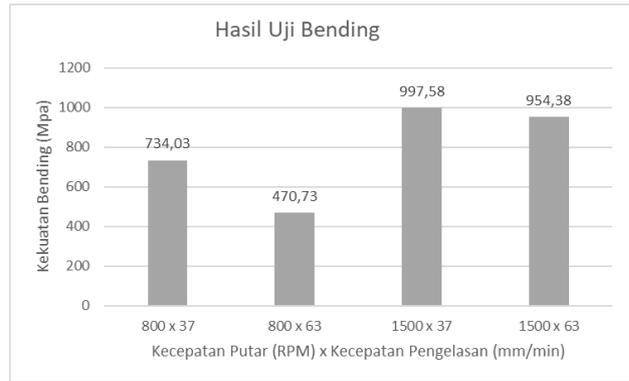
Kecepatan Putar (RPM)	Kecepatan Pengelasan (mm/min)	Spesimen	Dimensi		Beban (N)	$\sigma$ (Mpa)
			Lebar (mm)	Tebal (mm)		
800	37	1	38,11	4,86	1980,94	561,18
		2	38,45	4,92	3618,65	1000,27
		3	38,16	5,00	2396,75	640,64
	63	1	39,00	4,75	655,08	189,84
		2	37,85	4,89	2488,93	701,24
		3	37,98	4,91	1871,11	521,10
1500	37	1	37,90	4,85	3540,20	1012,62
		2	37,96	4,63	3479,40	1090,33
		3	37,91	4,91	3189,12	889,80
	63	1	37,94	4,87	3387,22	959,91
		2	38,12	4,91	3714,76	1030,75
		3	37,95	4,91	3130,28	872,47

Berdasarkan (Tabel 7), hasil pengujian bending mendapatkan kekuatan pembebanan terendah sebesar 655,08 N atau 66,8 kgf, maka dalam penerapannya sebagai *wear strip chain* bisa dipastikan pada penelitian ini memenuhi spesifikasi minimal safety faktor sebagai alas rantai sebesar 50 kgf.



Gambar 9 Grafik Uji Bending

Hasil yang diperoleh dalam pengujian bending ini (Gambar 10) terlihat pada spesimen 800 x 63 (I) mendapatkan hasil yang paling rendah dengan nilai 189,84 MPa dan hasil terbesar terdapat pada spesimen 1500x37 (II), dengan nilai sebesar 1090,33 MPa.



Gambar 10 Grafik Rata-Rata Uji Bending

Berdasarkan grafik rata-rata uji bending, hasil terendah (Gambar 11) berada pada spesimen 800 x 63 dengan rata-rata sebesar 470,73 MPa. Sedangkan hasil uji bending tertinggi berada pada spesimen 1500 x 37 dengan rata-rata sebesar 997,58 MPa.

Pada variabel dengan kecepatan putar 800 rpm terjadi penurunan signifikan terhadap kecepatan pengelasan sebesar 263,31Mpa, perbedaan besar ini dikarenakan terdapat salah satu spesimen yakni 800 x63 (3) diduga mengalami kegagalan (Gambar 11) dan untuk kecepatan putar 1500 rpm perbedaan yang lebih kecil terhadap kecepatan pengelasan sebesar 43,21 Mpa.

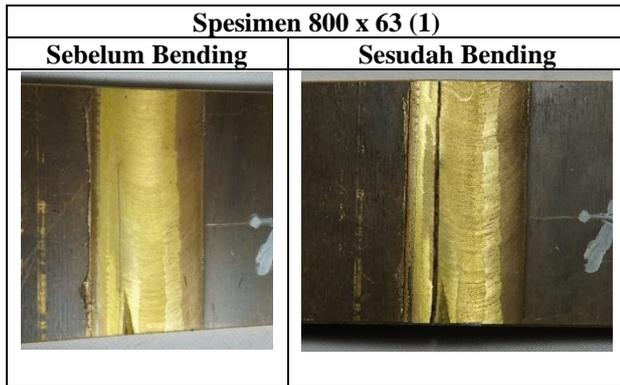
Dan untuk kecepatan pengelasan, terdapat penurunan disetiap variabel dimana kecepatan pengelasan 37 mm/menit hasil kekuatannya lebih besar dari kecepatan pengelasan 63mm/menit. Dalam penelitian pengaruh kecepatan pengelasan terhadap uji tarik yang dilakukan Shen (Shen et al., 2010), dalam penelitiannya menyebutkan bahwa semakin tinggi kecepatan pengelasan maka UTS (*ultimate tensile strength*) dan elongasi semakin rendah,. Hal ini dikarenakan ukuran butiran pada *nugget zone* semakin mengecil sejalan dengan tingginya kecepatan pengelasan, Shen et al juga menyebutkan bahwa sambungan FSW mengalami bebas cacat apabila dilakukan pada kecepatan pengelasan yang lebih rendah.

Berdasarkan (Gambar 11) spesimen dengan kecepatan putar 1500 rpm lebih tinggi dari 800 rpm. Dengan data tersebut maka dapat disimpulkan bahwa kecepatan putar 1500 rpm memiliki kekuatan yang lebih baik dari 800 rpm, sedangkan untuk kecepatan pengelasan adalah sebaliknya, semakin tinggi kecepatan pengelasan semakin rendah kekuatannya.

### Analisa Kegagalan Uji Bending

Spesimen 800RPM x 63mm/min (I) merupakan salah satu dari 12 spesimen yang mendapatkan hasil terendah dalam uji bending dengan besaran 189,84 Mpa.

Tabel 8 Kegagalan Bending



Pada spesimen 800 x 63 (I) sebelum pengujian bending terlihat garis keretakan disepanjang daerah *stir zone*, keretakan ini semakin membesar setelah dilakukan pengujian bending yang membuat hasil uji bending sangat berbeda dengan spesimen lainnya. Menurut Moghaddam (Moghaddam et al., 2011), posisi keretakan ini merupakan efek dari perbedaan ukuran struktur rekristalisasi. Yakni struktur rekristalisasi dengan butiran yang halus terdapat pada daerah pengadukan (*stir zone*) sedangkan struktur butiran yang kasar terdapat pada base metal, dalam hal ini moghaddam et al menjelaskan bahwa kecacatan terjadi pada daerah transisi antara butir rekristalisasi yang kasar dengan butiran halus yang bisa disebut sebagai *stir band*.

## PENUTUP

### Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Proses pengelasan FSW memiliki tingkat kerataan yang baik jika dibandingkan dengan pengelasan konvensional yang lain, dengan tingkat kerataan rata-rata 0,029 mm. Kecepatan putar yang rendah memiliki tingkat kerataan yang lebih baik daripada kecepatan tinggi. Dan semakin tinggi kecepatan pengelasan, semakin rendah tingkat kerataannya.
- Kekuatan bending dipengaruhi oleh kecepatan pengelasan dan kecepatan putar dengan variasi terbaik berada pada kecepatan putar 1500 RPM dibandingkan dengan 800 RPM. Hal tersebut berarti bahwa kecepatan putar 1500RPM memiliki kekuatan yang lebih baik dari 800RPM, Dan untuk kecepatan pengelasan adalah sebaliknya, semakin tinggi kecepatan pengelasan semakin rendah kekuatannya.
- Terdapat kegagalan pada uji bending pada spesimen pertama dengan kecepatan putar 800RPM dan kecepatan pengelasan 63mm/min spesimen nomor 2 yang dikarenakan adanya

perbedaan ukuran struktur rekristalisasi, dan ketidaksempurnaan yang disebabkan oleh deformasi plastis yang besar. Perbedaan tersebut membuat spesimen cenderung mengalami keretakan dan hasil uji bending yang lebih rendah dari spesimen lainnya.

### Saran

- Diharapkan pada penelitian selanjutnya menggunakan kecepatan pengelasan dan kecepatan putar yang berbeda untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh pada nilai kerataan.
- Diharapkan pada penelitian selanjutnya menggunakan pengujian mengenai struktur mikro dari pengelasan FSW dan memperhitungkan suhu untuk mendapatkan hasil uji yang lebih baik dari pengujian sebelumnya.

### DAFTAR PUSTAKA

- BARLAS, Z. (2020). Effects of tool rotation speed and pin geometry on properties in friction stir welding of brass. *Journal of Polytechnic*. <https://doi.org/10.2339/politeknik.783296>
- Chao, Y. J., Qi, X., & Tang, W. (2003). Heat Transfer in Friction Stir Welding—Experimental and Numerical Studies. *Journal of Manufacturing Science and Engineering-Transactions of The Asme*, 125, 138–145.
- Elangovan, K., & Balasubramanian, V. (2008). Influences of tool pin profile and welding speed on the formation of friction stir processing zone in AA2219 aluminium alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 200(1–3), 163–175. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.09.019>
- Emamikhah, A., Abbasi, A., Atefat, A., & Givi, M. K. B. (2014). Effect of tool pin profile on friction stir butt welding of high-zinc brass (CuZn40). *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(1–4), 81–90. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5480-1>
- Global Conformation Indonesia. (2020). *Katalog Plat Kuningan Sutindo*. <https://sutindo.id>
- Hariningsih, H., Lutyatmi, L., & Daryanto, T. (2022). Effects of heat treatment on microstructure and hardness of D2 tools. *Applied Research and Smart Technology (ARSTech)*, 3(1), 29–37. <https://doi.org/10.23917/arstech.v3i1.761>
- Heidarzadeh, A., Barenji, R. V., Khalili, V., & Güleriyüz, G. (2019). Optimizing the friction stir welding of the  $\alpha/\beta$  brass plates to obtain the highest strength and elongation. *Vacuum*, 159, 152–160. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2018.10.036>
- Meran, C. (2006). The joint properties of brass plates by friction stir welding. *Materials and Design*, 27(9),

719–726.

<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2005.05.006>

- Mikell-P, G. (2012). *Fundamentals of Modern Manufacturing Materials Processes and Systems*. 5, 795.
- Moghaddam, M. S., Parvizi, R., Haddad-Sabzevar, M., & Davoodi, A. (2011). Microstructural and mechanical properties of friction stir welded Cu-30Zn brass alloy at various feed speeds: Influence of stir bands. *Materials and Design*, 32(5), 2749–2755. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.01.015>
- Setyo, B. (2019). *Analisis Pengaruh Bahan Tool Joint Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan Dan Struktur Mikro Sambungan Plat Kuningan Pada Proses Friction Stir Welding* (Issue 21). Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Shen, J., Liu, H., & Cui, F. (2010). Effect of Welding Speed on Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Welded Copper. *Materials & Design - MATER DESIGN*, 31, 3937–3942. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.03.027>
- Singh Sekhon, S., Kumar, H., & Sehgal, S. (2016). Effect of tool pin profile on performance of friction stir welding of brass-copper-based butt welded joint. In *Int. J. Materials Engineering Innovation* (Vol. 7).
- Sun, N., Yin, Y. H., Gerlich, A. P., & North, T. H. (2009). Tool design and stir zone grain size in AZ31 friction stir spot welds. *Science and Technology of Welding and Joining*, 14(8), 747–752. <https://doi.org/10.1179/136217109X12518083193559>
- Thomas, W. M. (1998). *Friction stir welding and related friction process characteristics*. <https://www.researchgate.net/publication/273122758>
- TSE Industries. (2014). *TSE Industries Chain Guide Material Catalogue*. <https://www.tse-industries.com/material-choices/>
- Union Carbide Corp. (1975). *The Oxy-Acetylene Handbook*. Union Carbide Corp.
- Wilborn, M. M., Korb, M. A., Ludwig, G. A., Fhur, L. T., Malfatti, C. F., Mozetic, H., Schneider, E. L., & Oliveira, C. T. (2014). Heat treatment as an alternative to brass warping. *Materials Science Forum*, 775–776, 151–155. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.775-776.151>
- Xie, G. M., Ma, Z. Y., & Geng, L. (2008). Effects of friction stir welding parameters on microstructures and mechanical properties of brass joints. *Materials Transactions*, 49(7), 1698–1701. <https://doi.org/10.2320/matertrans.MRP2008089>