Perancangan Mesin *Rotary Friction Welding* Skala Lab untuk Material dengan Suhu Rekristalisasi di Bawah 850°C

Dio Gunafi Rakhmayadi[1], Adi Pamungkas[2]

[1,2]Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung Barat 40559
E-mail: [1] dio.gunafi.tpkm16@polban.ac.id, [2] adi.pamungkas@polban.ac.id

ABSTRAK

Pengelasan merupakan proses penyambungan antara dua atau lebih komponen dalam keadaan cair menggunakan panas. Metode pengelasan yang biasanya dilakukan adalah metode pengelasan SMAW atau OAW. Namun, untuk pengelasan komponen yang memiliki bentuk silinder atau poros pejal akan sulit untuk dihubungkan menggunakan metode pengelasan SMAW atau OAW. Metode yang cocok untuk menghubungkan komponen yang berbentuk silinder atau poros pejal yaitu menggunakan metode *friction welding*. Namun, mesin *rotary friction welding* yang ada dipasaran memiliki ukuran yang besar dan memiliki bobot yang berat, juga harga yang mahal. Harga mesin *rotary friction welding* yang ada dipasaran termurah yang ditemukan dipasaran yaitu dijual dengan harga US $12.000 atau sekitar Rp 169.410.600 pada *website* nigbo xinchang machinery, mesin tersebut memiliki berat 800kg [1]. Maka dibutuhkan rancangan mesin *rotary friction welding* dengan ukuran yang lebih ringkas juga harga yang lebih murah dari pasaran. Mesin dirancang untuk memproses benda kerja yang memiliki suhu rekristalisasi dibawah 850˚C. Menggunakan *microcontroller* sebagai pengolah data dari input material yang diberikan juga *display* supaya mesin yang dirancang dapat dengan mudah untuk dioperasikan. Hasil akhir yang dicapai adalah desain mesin *rotary friction welding* dalam bentuk gambar 2 dimensi, *bill of material*, dan program *microcontroller* yang akan digunakan sebagai program mesin *rotary friction welding*. Mesin dirancang menggunakan motor listrik berkapasitas 7,5kW, piston hidrolik berdiameter 80 mm dengan panjang *stroke* 200 mm, juga *hydraulic power unit* dengan tekanan maksimal 60 Bar.

Kata Kunci
Perancangan, rotary friction welding, rekristalisasi, microcontroller.

1. PENDAHULUAN

Pengelasan adalah menyambung logam dengan cara memanasi sampai meleleh, dimana pada benda kerja yang meleleh akan menyatu dengan/tanpa bantuan bahan tambahan sehingga terbentuklah suatu sambungan yang permanen [2]. Pengelasan yang biasa digunakan adalah las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dikarenakan lebih mudah dilakukan untuk pengelasan pada permukaan komponen.

Komponen yang berbentuk silinder atau poros akan sulit dilas jika menggunakan metode las SMAW dikarenakan bentuknya yang melingkar sulit las untuk mencapai bagian dalam dari silinder tersebut, juga akan sulit untuk mengatur kesumbuan dari komponen yang akan dilas. Maka, untuk komponen yang berbentuk silinder akan lebih mudah dilas dengan metode *rotary friction welding* yaitu pengelasan tanpa bahan tambah yang sumber panasnya dihasilkan dari penggesekan dua buah benda kerja.

Sebelumnya mesin *rotary friction welding* sudah pernah dirancang salah satunya oleh Pujono yang tujuan untuk mengetahui konstruksi dan perancangan yang benar agar dihasilkan mesin *friction welding* yang mampu menyatukan komponen. Mesin menggunakan motor penggerak 1 HP, dengan putaran 1450 rpm, diameter poros minimal adalah 24,75 mm, pulley yang digunakan adalah pulley bertingkat dengan diameter berturut-turut 2 x 3 x 4 inchi, sehingga didapatkan variasi putaran 725 rpm,1450 rpm dan 2900 rpm, umur bantalan adalah 21,59 tahun [3]. Mesin tersebut memiliki dimensi yang cukup ringkas juga ringan, namun hanya mampu untuk memproses benda kerja yang memiliki material nilon.

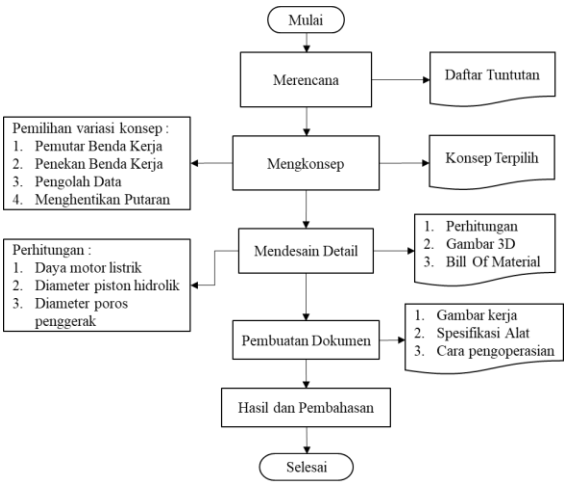
Mesin rotary friction welding yang ada dipasaran memiliki ukuran yang besar dan memiliki bobot yang berat, juga harga yang mahal. Harga mesin rotary friction welding yang ada dipasaran termurah yang ditemukan dipasaran yaitu dijual dengan harga US $12.000 atau sekitar Rp 169.410.600 pada website nigbo xinchang machinery, mesin tersebut memiliki berat 800kg [1].

Berdasarkan pengamatan alat yang sudah ada dipasaran dan juga hasil penelitian. Maka yang menjadi objek penelitian yaitu perlu dibuat mesin rotary friction welding dengan ukuran yang lebih ringkas, ringan, juga mampu memproses benda kerja yang memiliki suhu rekristalisasi dibawah 850˚C.

Mesin *rotary friction welding* dibutuhkan dalam bentuk rancangan mesin yang memiliki ukuran yang ringkas, berat yang lebih ringan dari produk yang ada di pasaran. Alat diharapkan juga dapat memperagakan metoda *friction welding* kepada mahasiswa untuk mempermudah dalam proses pembelajaran pengelasan dengan metode *rotary friction welding* atau pengelasan gesek putar.

2. METODOLOGI

Perancangan mesin *rotary friction welding* ini menggunakan tahapan sesuai dengan langkah-langkah yang tertulis di buku *Engineering Design* yang ditulis oleh Pahl & Beitz. Tahapan perancangan terdiri dari beberapa tahapan diantaranya *planning, conceptual design, embodiement design, documentation,* dan yang terakhir kesimpulan dan saran. Langkah-langkah tersebut dapat dilihat melalui *flowchart* pada Gambar 1 [4].



Gambar 1 Flowchart Langkah-Langkah Perancangan

Tahapan merencana bertujuan untuk menjelaskan tentang alat yang akan dirancang, seperti penjelasan tentang fungsi alat yang dirancang. Pengoperasian alat ini didesain agar lebih mudah dimengerti oleh mahasiswa dalam tahapan proses pengelasan gesek putar, yang dimana tahapan *friction welding* terdiri dari 4 tahapan. Tahap merencana merupakan tahapan untuk mengidentifikasi masalah untuk mendapatkan daftar tuntutan yang harus dicapai sebagai ukuran keberhasilan perancangan.

Tahapan mengkonsep diawali dengan menjelaskan fungsi utama dengan beberapa fungsi bagian dari mesin *rotary friction welding* yang dituangkan dalam sebuah tabel morfologi. Setiap fungsi bagian pada tabel morfologi dihubungkan satu dengan yang lain untuk mendapatkan sebuah variasi konsep, variasi konsep adalah sketsa rancangan dari mesin *rotary friction welding* yang dapat menjawab fungsi utama dan daftar tuntutan. Penilaian variasi konsep menggunakan metode PUGH yang mempertimbangkan penilaian hubungan antara kebutuhan dan keterbuatan, yang mendekati ideal akan dipilih menjadi konsep terpilih.

Tahapan mendesain detail dilakukan perhitungan konsep desain terpilih untuk mendapatkan dimensi dan material dari mesin yang dirancang. Perhitungan yang dilakukan adalah menghitung daya motor minimal yang digunakan pada mesin dengan menghitung terlebih dahulu momen torsi maksimal yang terjadi pada benda kerja menggunakan rumus:

$$M_T = \frac{2}{3} . \mu . p . 2\pi . R^3 \qquad (1)$$

M_T = Momen torsi (Nm)
μ = Koefisien gesek
p = Tekanan (Pa)
R = Radius benda kerja (m)

Daya motor minimal yang diperlukan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P = M_T . N \qquad (2)$$

P = Daya motor (W)
N = Putaran benda kerja (Rad/s)

Diameter piston hidrolik minimal yang digunakan untuk memberikan tekanan tempa pada benda kerja dihitung dengan cara menghitung terlebih dahulu besar gaya tempa yang harus dicapai dengan cara sebagai berikut:

$$F = T_T \times A \qquad (3)$$

F = Gaya yang harus dicapai (N)
T_T = Tekanan Tempa (N/mm²)
A = Luas permukaan pengelasan (mm²)

Gaya tempa tersebut akan dicapai oleh piston yang mendapatkan tekanan dari *hydraulic power unit*. Diameter minimal piston hidrolik dihitung dengan rumus seperti berikut:

$$D = \sqrt{\frac{F \times 4}{T_{HPU} \times \pi}} \quad (4)$$

D = Diameter Piston (mm)
T_{HPU} = Tekanan *hydraulic power unit* (N/mm^2)

Diamter poros yang memutarkan benda kerja berputar dengan kecepatan yang cukup tinggi, Perhitungan terhadap beban puntir dan lentur diperlukan untuk mendapatkan diameter minimal dengan rumus sebagai berikut:

$$ds \geq \left[\frac{5,1}{\tau a} . \sqrt{(Km.M)^2 + (Kt.T)^2}\right]^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

ds = Diameter poros pejal (mm)
τa = Tegangan ijin (N/mm^2)
Km = Faktor koreksi momen lentur
Kt = Faktor koreksi momen puntir
M = Beban lentur (Nmm)
T = Torsi / momen puntir (Nmm)

Dimensi poros yang telah dipilih dihitung kekuatannya terhadap gaya *buckling*. Gaya *buckling* kritis dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$FCR = \frac{\pi\ E\ I}{K\ L^2} \quad (6)$$

FCR = *Critical Force* (N)
E = Modulus Elastisitas (GPa)
I = Inersia (m^4)
K = Faktor koreksi pencekaman
L = K*1

Pilihan rumus yg dipakai adalah jenis *buckling* jepit - bebas. Tegangan *buckling* yang mampu ditahan oleh poros harus lebih tinggi daripada tegangan kerja yang dikerjakan oleh poros. Tegangan *buckling* dan tegangan kerja dihitung dengan rumus:

$$\sigma_{Buckling} = \frac{FCR}{A} > \sigma_{Kerja} = \frac{F}{A} \quad (7)$$

$\sigma_{Buckling}$ = Tegangan *buckling* (N/mm^2)
σ_{Kerja} = Tegangan kerja (N/mm^2)
A = Luas permukaan poros (mm^2)

Dimensi dari hasil perhitungan digunakan sebagai acuan dalam pembuatan desain 3 dimensi menggunaakn aplikasi *SolidWorks* 2017. Petunjuk jumlah dan dimensi komponen disampaikan dalam tabel *Bill of Material*. Desain komponen dianalisa untuk dipastikan bahwa setiap komponen dapat dimanufaktur supaya tidak menyulitkan saat proses pembuatan komponen. *Working plan* dibuat sebagai panduan seperti tahapan-tahapan dalam pembuatan komponen untuk meminimalisir kesalahan akibat pengerjaan.

Tahapan dokumen hasil desain 3 dimensi digunakan sebagai sumber pembuatan gambar kerja rakitan dan gambar komponen dari mesin yang dirancang mengikuti standar ISO. Gambar kerja berfungsi untuk membantu pada saat proses pembuatan alat, sehingga setiap komponen yang dibuat dan juga komponen standar dapat dirakit dengan mudah mengikuti desain yang diinginkan. Menjelaskan petunjuk cara kerja mesin, cara menggunakan mesin, dan cara merawat mesin supaya mesin dapat berfungsi dengan baik. Cara menggunakan atau pengoperasian mesin disampaikan dalam bentuk *flowchart* agar mudah dipahami.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang telah dicapai pada tahapan perancangan adalah sebagai berikut:

3.1 Daftar Tuntutan

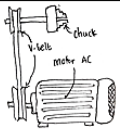
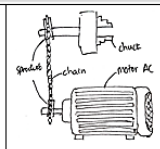
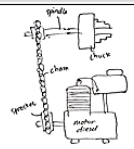
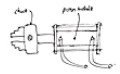
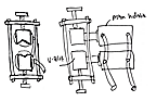
Mesin *rotary friction welding* yang ada dipasaran memiliki bentuk yang besar, bobot yang berat, juga harga yang cukup mahal. Maka, sesuai pengamatan yang sudah dilakukan pada pendahuluan, berikut adalah daftar tuntutan yang harus dicapai oleh mesin *rotary friction welding* diantarnya:

1. Mesin mampu mengelas benda kerja berbentuk poros pejal.
2. Dapat mengelas material yang memiliki suhu rekristalisasi dibawah 850˚C.
3. Mampu memproses benda kerja berdiameter hingga 18mm.
4. Berat maksimal mesin dibawah 200kg.
5. Dimensi maksimal mesin tidak lebih dari 2x2x4 meter.
6. Diutamakan mampu mengelas material ST41.

3.2 Konsep Terpilih

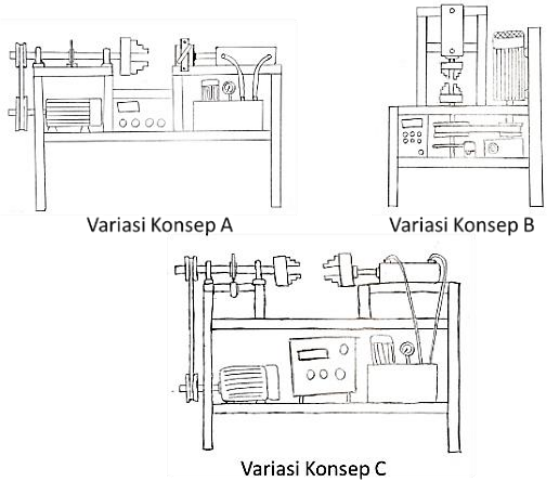
Fungsi utama dari mesin adalah menghubungkan dua buah benda kerja yang memiliki bentuk silinder atau poros dengan metode *rotary friction welding*. Fungsi utama dicapai dengan beberapa fungsi bagian seperti pada tabel morfologi dibawah :

Tabel 1 Tabel Morfologi Rotary Friction Welding

FUNCTIONS	Working principles		
Memutar benda kerja	 Motor AC, V-Belt, Chuck	 Motor AC, Rantai, Chuck	 Motor Diesel, Rantai, Chuck
Memberikan gaya aksial pada benda kerja	 Piston Hidrolik, Chuck	 V-Blok, Piston Hidrolik	
Pengolah Data	1602 LCD Keypad Arduino MEGA2560	RPI LCD16X2 4BBL Raspberry Pi	
Menghentikan putaran benda kerja	Disk Brake Motor		

Dapat dilihat pada tabel tersebut terdapat beberapa variasi yang memiliki fungsi yang sama untuk menjawab setiap fungsi bagian. Setiap fungsi bagian dihubungkan untuk mendapatkan sebuah variasi konsep, variasi konsep adalah sketsa rancangan dari mesin *rotary friction welding* yang dapat menjawab fungsi utama dan daftar tuntutan.

Gambar berikut merupakan beberapa variasi konsep yang dirancang, variasi konsep tersebut akan dilanjutkan ke tahap penilaian untuk menentukan variasi terpilih.



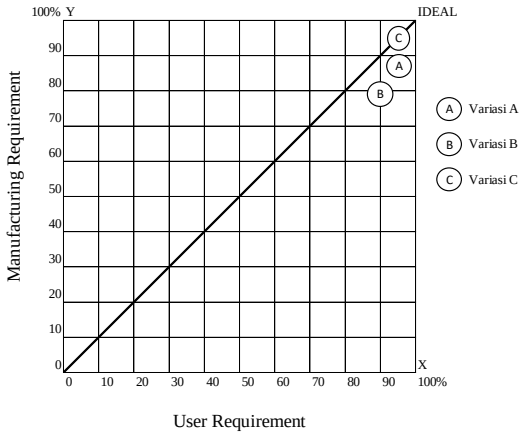
Gambar 2 Variasi Konsep Rotary Friction Welding.

Penilaian variasi konsep menggunakan metode PUGH yang mempertimbangkan kebutuhan dengan keterbuatan, seperti yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Tabel Kriteria Penilaian

	USER REQUIREMNETS	Valuation 1 - 4			
		A	B	C	ideal
1	Harga ekonomis	4	4	3	4
2	Mampu memproses welding secara terus menerus	4	3	4	4
3	Panjang benda kerja yang dapat diproses	3	3	4	4
4	Material yang dapat dilas	4	4	4	4
5	Mobility	4	4	4	4
TOTAL X		19	18	19	20
TOTAL % X		95%	90%	95%	100%
	MANUFACTURING REQUIREMENTS	Valuation 1 – 4			
		A	B	C	ideal
1	Ketersediaan bahan	3	3	4	4
2	Jenis manufaktur yang digunakan	4	3	4	4
3	Waktu Produksi	4	4	4	4
4	Biaya Produksi	3	3	3	4
TOTAL Y		14	13	15	16
TOTAL % Y		88%	81%	94%	100%

Dari hasil penilaian pada tabel diatas dapat dilihat hubungan persentase dari kebutuhan dan keterbuatan, variasi konsep dengan nilai yang mendekati ideal akan dipilih menjadi konsep terpilih. Berikut tabel garis ideal.



Gambar 3 Grafik Penilaian Ideal

Gambar diatas memperlihatkan bahwa variasi konsep C lah yang paling mendekati garis ideal, sehingga menjadi konsep terpilih dengan menggunakan program arduino sebagai alat pengolah data, seperti terlihat pada tabel 2.

3.3 Pemilihan Komponen

Material benda kerja yang membutuhkan gaya gesek terbesar adalah ST41 yaitu sebesar 12,5 Mpa, material ST41 memiliki koefisien gesek kinetis sebesar 0,42. Diameter benda kerja yaitu 9mm. Setelah dilakukan perhitungan dengan rumus (1) didapatkan torsi sebesar 16,03 Nm. Torsi tersebut dikalikan dengan putaran kerja (rad/s) seperti pada rumus (2) akan menghasilkan daya minimum motor yang digunakan yaitu sebesar 7,08 kW. Motor listrik yang digunakan adalah motor

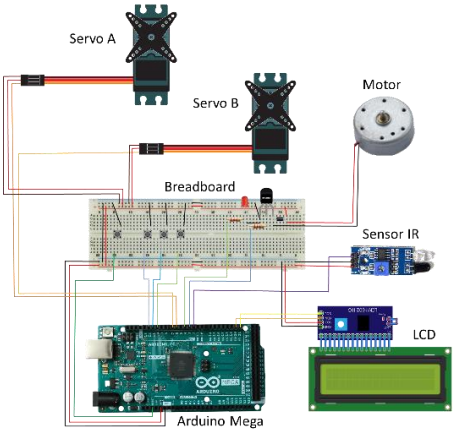
listrik yang berkapasitas diatas 7,08kW atau sesuai yang ada dipasaran adalah 7,5kW atau 10HP.

Menghitung dimensi piston hidrolik minimal yang dibutuhkan untuk gaya tempa yaitu sebesar 100Mpa, dimensi benda kerja terbesar yaitu berdiameter 18mm. Gaya yang harus dicapai untuk memberikan gaya tempa dihitung dengan rumus (3) yaitu sebesar 25446,9 N. Gaya tersebut akan dicapai oleh *Hydraulic Power Unit* yang digunakan sesauai yang ada dipasaran berkapasitas 60Bar atau 6MPa. Setelah dilakukan perhitungan rumus (4) didapatkan dimensi *bore* piston hidrolik minimal yaitu berdiameter 73,4 mm. Piston hidrolik yang digunakan adalah piston yang berukuran diameter 80mm dengan panjang *stroke* 200 mm.

Dimensi poros utama yang memutarkan *chuck* ditentukan dengan menghitung beban puntir dan lentur, juga gaya *buckling* pada poros. Hasil perhitugan rumus (5) terhadap beban puntir dan lentur diameter minimal yang harus dimiliki oleh sebuah poros adalah sebesar 24,46 mm. Diameter poros yang digunakan harus lebih dari 24,46 mm, maka poros yang digunakan adalah poros dengan diameter 30mm. Poros dihitung terhadap *buckling*. Gaya kritis *buckling* pada rumus (6) adalah sebesar 85964,4 N dan tegangan *buckling* yang mampu ditahan oleh poros setelah dihitung dengan rumus (7) yaitu sebesar 121,67 Mpa. Sedangkan tegangan kerja yang diterima oleh poros sebesar 45,29 Mpa. Tegangan kerja yang terjadi berada dibawah tegangan *bucking* maksimal yang mampu dikerjakan oleh poros. Maka poros tersebut dapat dipastikan aman terhadap *buckling*.

3.4 Program Arduino

Mesin *rotary friction welding* dikendalikan menggunakan *micro controller* yaitu Arduino Mega untuk mengatur kecepatan motor DC, tekanan hidrolik, dan juga pengereman. Untuk mempermudah dalam penjelasan maka diperlukan alat simulasi dari mesin *rotary friction welding* yang dirancang. Alat disimulasikan dengen motor DC 6V, sensor *infrared*, dua buah motor servo, dan *display* LCD.



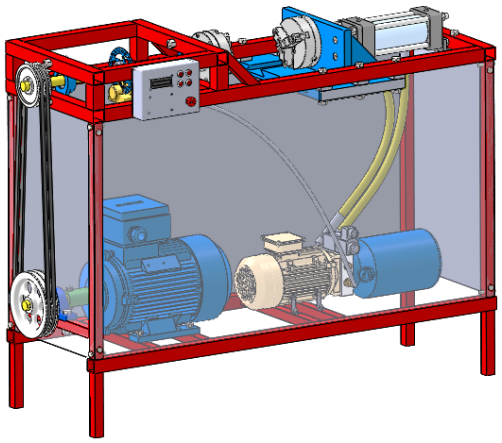
Gambar 4 Rangkaian Kontrol dan Kendali

Motor DC 6V tersebut mewakilkan motor DC 7,5kW yang digunakan pada mesin *rotary friction welding*, untuk motor servo A digunakan untuk mengatur tekanan pada *pressure relief valve* yang dimana berpengaruh pada gaya yang dihasilkan oleh piston hidrolik untuk menekan benda kerja. Kemudian motor servo B digunakan untuk mengatur pengereman ketika proses pengelasan telah selesai dan memastikan bahwa benda kerja telah berhenti berputar. Sensor *infrared* atau IR digunakan untuk mengukur putaran pada poros benda kerja. Berikut adalah gambar modeling rangkaian kontrol yang dirancang.

Gambar 5 Modeling Rangkaian Kontrol

3.5 Spesifikasi dan Konstruksi Alat

Dimensi yang telah ditetapkan dari hasil perhitungan menjadi acuan dalam pembuatan gambar 3 dimensi dari mesin *rotary friction welding* yang dirancang. Berikut gambar 3D dari mesin *rotary friction welding* yang dirancang.



Gambar 6 3D Mesin Rotary Friction Welding Hasil Rancangan

3.5.1 *Bill of Material*

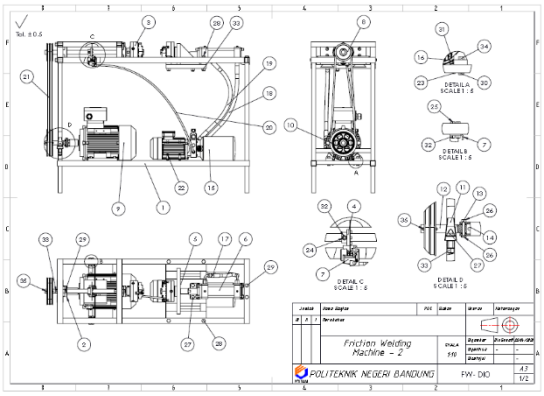
Daftar material dari setiap komponen yang digunakan pada mesin *rotary friction welding* yang dirancang adalah sebagai berikut:

Tabel 4 Bill Of Material

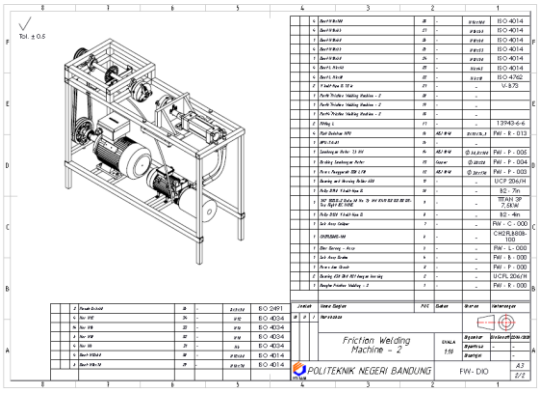
No	Nama Komponen	Jumlah	Dimensi	Material
1	Hollow 40x40x400 t=2,8 dudukan bearing atas	1	40x40x400	SM400A
2	Hollow 40x40x480 t=2,8 dudukan bearing atas	3	40x40x480	
3	Hollow 40x40x400mm t=2,8mm	2	40x40x400	
4	Hollow 40x40x77 t2,8	4	40x40x400	
5	Hollow 40x40x1500mm t=2,8mm	2	40x40x1500	
6	Hollow 40x40x480 t2,8 Dudukan Piston	1	40x40x480	
7	Hollow 30x30x728,5mm t=2mm	4	30x30x728,5	
8	Hollow 40x40x1430 t2,8 bawah	2	40x40x1430	
9	Hollow 30x30x410mm t2 Dudukan Bearing Bawah	1	30x30x410	
10	Hollow 30x30x400mm t2 Dudukan Motor DC 7,5kW	2	30x30x400	
11	Hollow 30x30x400mm t2 Dudukan HPU	2	30x30x400	
12	Hollow 30x30x200mm	4	30x30x200	
13	Hollow 30x30x165,46 t2 penguat	2	30x30x165,46	
14	Bearing d30 D60 H21 dengan housing	2	-	-
15	Poros Penggerak 1	1	Ø30x640	-
16	Dudukan Chuck 2	1	Ø60x45	-
17	3 Jaw Chuck	1	-	-
18	Baut M10 x 70	1	M10 x 70	-
19	Mur M10	1	M10	-
20	Dudukan Disk Brake 1	1	Ø60x30	
21	Disk Brake D140	1	Ø140x2	
22	ISO 4762 M6 x 10	6	M6 x 10	
23	Landasan Alur Ekor Burung	1	300x480x30	AISI 1040
24	Plat dudukan Chuck Tempa	1	155x340x25	
25	Penguat Segitiga Landasan Burung	2	150x155x20	
26	Alur Ekor Burung	2	18x96x175	
27	Dudukan Chuck 2	1	Ø75x30	
28	plat dudukan ke rangka	4	40x40x10	
29	3 Jaw Chuck	1	-	-
30	socket countersunk head screw_iso	10	M10x40	-
31	socket head cap screw_iso	4	M10x30	-
32	Piston Hidrolik Ø80 bore x 200 stroke	2	Ø80 x 200	-
33	caliper assembly	1	Ø140	-
34	plat dudukan brake caliper	1	5x42,5x483,6	AISI 1040
35	Baut L M6x10	2	M6 x 10	-
36	Pully D120 V belt tipe B	1	-	ST37
37	Motor 7,5kW 3000RPM 3P	1	-	-
38	Pully D190 V belt tipe B	1	-	ST37
39	Bearing and Housing Roller d30	1	-	-
40	Poros Penggerak D30 L170	1	Ø30x170	AISI 1040
41	Bushing Sambungan Motor	1	Ø38x20	Copper
42	Sambungan Motor 7,5 kW	1	Ø50,8x100	AISI 1040
43	HPU-TA-01	1	-	-
44	Plat Dudukan HPU	4	3x15x74,5	AISI 1040
45	Fitting L	4	-	-
46	TUBE 1 in	3	-	-
47	Baut L M6x10	4	M6 x 10	-
48	Baut L M6x45	4	M6 x 45	-
49	Baut M10x50	1	M10 x 50	-
50	Baut M10x55	4	M10 x 55	-
51	Baut M10x60	1	M10 x 60	-
52	Baut M16x65	4	M16 x 65	-
53	Baut M16x100	4	M16 x 100	-
54	Baut M16x70	6	M16 x 70	-
55	Baut M12x60	4	M12 x 60	-
56	Mur M6	4	M6	-
57	Mur M10	6	M10	-
58	Mur M16	14	M16	-
59	Mur M12	4	M12	-
60	Pasak 8x5x50	2	8x5x50	-

3.5.2 *Drafting*

Mesin yang dirancang berukuran panjang 1534mm, tinggi 1125mm, dan lebar 492mm. Ukuran tersebut lebih kecil daripada mesin *rotary friction welding* yang ada dipasaran yang umumnya berukuran besar. Mesin ini dirancang untuk disimpan di laboratorium, karena itu mesin tersebut didesain berukuran kecil.



Gambar 7 Drafting Rotary Friction Welding – 1



Gambar 8 Drafting Rotary Friction Welding – 2

3.6 Prinsip Kerja Alat

Putaran dari motor listrik akan digunakan untuk memutarkan *chuck* 1 yang mencekam benda kerja 1, poros motor listrik dan poros yang menggerakan *chuck* dihubungkan dengan sabuk V. Benda kerja 2 dicekam pada chuck 2 yang dimana dapat bergerak arah aksial pada landasan alur ekor burung. Benda kerja 2 diberikan gaya arah aksial menggunakan piston hidrolik sebagai tekanan gesek dan tempa yang bersumber dari *hidrolik power unit*. Pengereman menggunakan kaliper hidrolik dan *disk brake* pada poros penggerak berfungsi untuk menghentikan putaran benda kerja 1 ketika proses pengelasan telah selesai. Semua gerakan dan putaran diatur menggunakan program pada *microcontroller* Arduino Mega.

3.7 Kelebihan Alat

Alat hasil rancangan memiliki beberapa kelebihan dibandingkan pada produk yang sudah ada, diantarnya:

1. Alat ini memiliki dimensi yang cukup ringkas yaitu 1534x1125x492 mm, sehingga cocok untuk disimpan di laboratorium.
2. Bobot mesin yang ringan yaitu sekitar 190 kg, lebih ringan daripada yang ada dipasaran yaitu memiliki berat 800 kg.
3. Harga mesin yang lebih terjangkau yaitu Rp 25.000.000, lebih rendah dari harga mesin *rotary friction welding* termurah dipasaran yaitu sekitar Rp. 150.000.000.

4. PEMBAHASAN

Mesin *rotary friction welding* telah dirancang menggunakan motor DC 7,5 kW sebagai sumber penggeraknya, motor DC tersebut berputar dengan kecepatan 2850 RPM yang digandakan menjadi 4500 RPM menggunakan Pulley berukuran 5 in dan 7 in. Menggunakan *hydraulic power unit* berkapasitas 5L dan tekanan maksimal 60Bar. Piston hidrolik yang berukuran diameter 80mm dan panjang langkah 200mm. Mesin tersebut dikontrol menggunakan Arduino Mega 2560 R3 supaya dapat beroperasi sesuai dengan seharusnya. Mesin yang dirancang memiliki ukuran yang lebih ringkas daripada mesin yang ada dipasaran dengan dimensi panjang 1534mm, tinggi 1125mm, dan lebar 492mm. Bobot yang dimiliki oleh mesin yang dirancang juga lebih ringan daripada mesin yang ada di pasaran yaitu sekitar 190 kg. Mesin tersebut dapat dibuat dengan harga kurang lebih Rp.25.000.000 yang dimana harga tersebut jauh lebih murah daripada mesin *rotary friction welding* yang ada dipasaran yaitu dijual dengan harga Rp.169.410.600 [5]. Mesin mampu mencekam poros hingga Ø50mm. Memproses material benda kerja yang memiliki suhu rekristalisasi dibawah 850˚C.

5. KESIMPULAN

Mesin yang dirancang menggunakan motor listrik yang berdaya 7,5 kW dengan putaran maksimal poros hingga 4250 rpm. Tekanan piston hidrolik maksimal 30 kN. *Chuck* mampu mencekam benda kerja berdiameter 10-50 mm.

Walaupun mesin yang dirancang masih kurang canggih seperti mesin *rotary friction welding* yang ada dipasaran, namun mesin telah dirancang sesuai dengan yang diinginkan yaitu ukuran yang lebih ringkas, berat mesin yang lebih ringan, juga harga yang diperlukan untuk membuat mesin lebih ekonomis dari produk mesin yang ada dipasaran yaitu dengan selisih 150 juta rupiah.

DAFTAR PUSTAKA

[1] N. X. Machinery, “Ningbo Xinchang Machinery,” 2020. [Online]. Available: https://nbxinchang.en.made-in-china.com/product/VvhJBpYHalWQ/China-Friction-Welding-Equipment.html. [Diakses 2020].

[2] M. Riadi, “KajianPustaka.com,” 18 03 2016. [Online]. Available: https://www.kajianpustaka.com/2016/03/apa-itu-pengelasan.html.

[3] D. P. d. E. P. P. Pujono, “RANCANG BANGUN PROTOTYPE MESIN FRICTION WELDING,” *Bangun Rekaprima*, vol. 05, 1 04 2019.

[4] W. B. F. K. H. G. G. Pahl, Engineering Design, Springer, 2007.

[5] N. Xinchang, “Xinchang Machinery,” 2020. [Online]. Available: http://www.xinchang-machinery.com/goods_read.php?goods_id=54&untia=19&untib=0.

[6] N. Husodo, “Institut Teknologi Sepuluh Nopember,” 2013. [Online]. Available: https://ojs.unud.ac.id/index.php/jem/article/download/8023/6052.

[7] U. N. Yogyakarta, “Universitas Negeri Yogyakarta,” 2005. [Online]. Available: http://staffnew.uny.ac.id/upload/132304811/penelitian/penelitian-fakultas-friction-welding-2005.pdf.

[8] Soni, “Perhitungan Poros dengan Beban Lentur dan Puntir,” 2016.