

ROLLING MACHINE DESIGN FOR FLATTENING 3/8 INCH DIAMETER OF COPPER PIPE

G. Heryana^{1*}, Jatira¹, R Subarkah², Irwandi², B.D. Aprianto²

¹Mech. Engineering Department - Sekolah Tinggi Teknologi Wastukancana Purwakarta

²Mech. Engineering Department - Politeknik Negeri Jakarta, Depok

*Corresponding author: ghany@stt-wastukancana.ac.id

Abstract: Photovoltaic panel technology is generally used to convert solar energy into electrical energy. Utilization of light or solar radiation is a very good. But actually there is another energy that can be converted, namely heat due to solar radiation. Sunlight radiation can be used for things related to heat energy needs (heat). To be able to distribute the heat used heat pipe. Ideally the pipe should be flowed with suitable fluid or air with negative pressure. In this research heat will be flowed through pipes with vacuum air inside. In addition to vacuum, the pipe must also be made to have the broadest possible contact area. This is to optimize the delivery of heat from the surface of the solar panel. To make the pipe flat, it requires a tool or machine that meets the requirements. The flattened pipe cannot be leaked. Incorrect method of pipe flattening will cause a source of cracks in areas with high strength. Other demands, the results of the flattened pipe must be straight. A straight flattened pipe makes the attachment to the surface of the solar panel optimal and there is no difference in sticking stress at each point. To expel air in the pipe, one end of the pipe is tightly closed by the brazing method and the other end is given a one way valve for the vacuum pump line. For permanent closure, the tip with the one way valve is closed by the pressing method, then the remaining pipe is cut. Author's hypothesis, a machine with a gradual roll mechanism is precisely used to get a good flat pipe. Closing the last tip pipe end by pressing and cutting method. The results of this method are satisfactory, the flattened pipes are straight, the welding and compression do not cause leakage. In this paper will be discussed the design of rolling and pressing mechanism, followed by analysis of the force, moment, and torque of the pipe formation. Then it will also analyze the appropriate motor drive power requirements.

Keywords : Rolling Machine, Flattened Pipe, Solar panel, Cut and Seal

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Metoda manufaktur adalah salah satu kunci keberhasilan membuat produk. Dalam dunia industri, manufaktur menjadi salah satu penentu QCDS (*Quality, Cost, Delivery, Safety*). Produk yang dirancang oleh ahli desain produk (*Product Engineer/Designer*) dapat diwujudkan menjadi produk nyata jika memenuhi syarat mampu manufaktur (*manufacturability*).

Dalam dunia teknik (mesin), sebuah produk dapat dibuat dengan mesin atau perkakas yang sesuai. Mesin atau perkakas tersebut dirancang oleh tenaga ahli manufaktur (*Manufacturing Engineer*). Produk dapat dibuat dengan mesin fungsi khusus (*Special Purpose Machine*), mesin fungsi umum (*General Purpose Machine*), dan atau dengan bantuan tools/perkakas (*Mold, Dies, Jig and Fixture*).

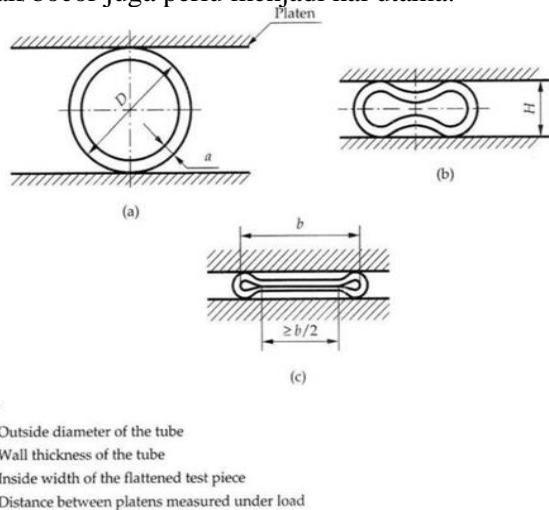
Pada sebuah mekanisme pertukaran kalor (*heat exchange*), *heat pipe* adalah salah satu komponen yang penting. Untuk beberapa rancangan penggunaan penukar kalor, *heat pipe* dibuat

berbentuk pipih agar luas bidang kontak seoptimal mungkin. Karena umumnya bahan baku pipa ini berbentuk bulat maka diperlukan proses lanjutan agar menjadikannya pipa pipih (*flattened pipe*). Proses pembuatannya harus menghasilkan pipa pipih yang tebalnya seragam, lurus, dan yang terpenting adalah tidak ada retak serta bocor.

Pada penelitian ini pipa pipih akan digunakan untuk menyalurkan panas berlebih dari sebuah panel surya. Sisi terluas dari pipa pipih tersebut akan melekat pada permukaan bawah solar panel. Pipa pipih ini berisi udara vakum.

Dari beberapa literatur, proses pemipihan pipa dengan cara ditekan langsung tidak dapat menghasilkan pipa pipih dengan sisi-sisi yang sejajar (Gambar 1). Bagian dengan nilai defleksi terbesar adalah ke dua ujung pipa di sisi kiri dan kanan (b). Pada ketinggian *H*, tekanan menyebabkan sisi tengah pipa yang menempel dengan plat tekan menjadi cekung. Dan akhirnya didapat hasil seperti pada gambar (c). Disamping

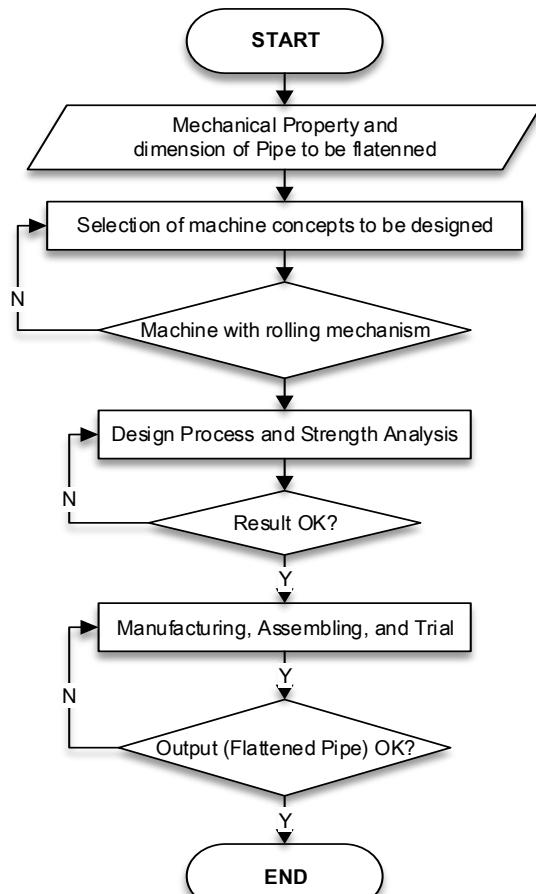
bentuk permukaan yang sejajar, hasil yang tidak retak/bocor juga perlu menjadi hal utama.



Gambar 1. Teknik pemipihan pipa dengan penekanan langsung (stamp/press) [5]

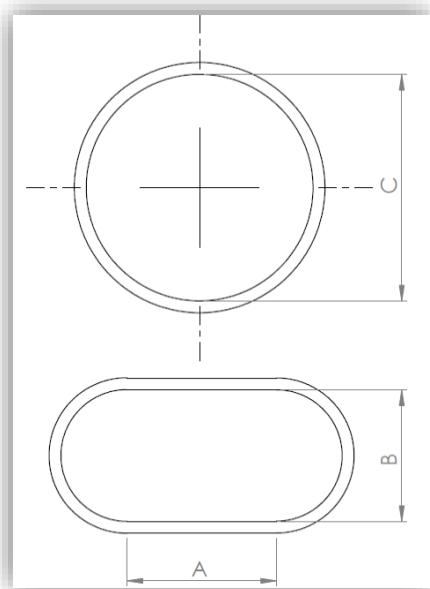
Proses pemipihan pipa dipilih dengan metoda tekan putar (*rolling*). Hipotesa awal, metoda ini dapat membuat pipa terbentuk secara gradual/bertahap. Dengan demikian dapat mengurangi resiko bocor. Untuk menjaga kevakuman udara maka kedua ujung pipa ditutup dengan metoda *brazing* dan *pressing*.

Metoda Penelitian



Gambar 2. Alur proses penelitian dan perancangan

Setelah mempelajari beberapa literatur rancangan mesin *roller*, diputuskan mekanisme *roller* untuk pemipihan pipa dengan 4 buah *roller* paralel. Setiap *roller* mempunyai mekanisme pengaturan jarak penekanan. Alur proses perancangan hingga manufaktur dan trial sesuai dengan gambar 2.



Gambar 3. Perbandingan Luas Penampang
Hubungan antara jarak penekanan dengan luas penampang pipa pihih didekati dengan persamaan

(1). Lebar penampang A dapat diketahui dengan mengetahui nilai B dan C (gambar 3).

$$\pi \cdot C = \pi \cdot B + 2A \quad (1)$$

$$\therefore A = \frac{\pi \cdot (C - B)}{2} \quad (2)$$

Tabel 1. Perbandingan B dengan A

No.	B (mm)	A (mm)	Luas penampang (mm ²)
1	9,525	0,000	71,256
2	8,525	1,571	70,470
3	7,525	3,142	68,114
4	6,525	4,712	64,187
5	5,525	6,283	58,689
6	4,525	7,854	51,621
7	3,525	9,425	42,981
8	2,525	10,996	32,771
9	1,525	12,566	20,990
10	0,525	14,137	7,638

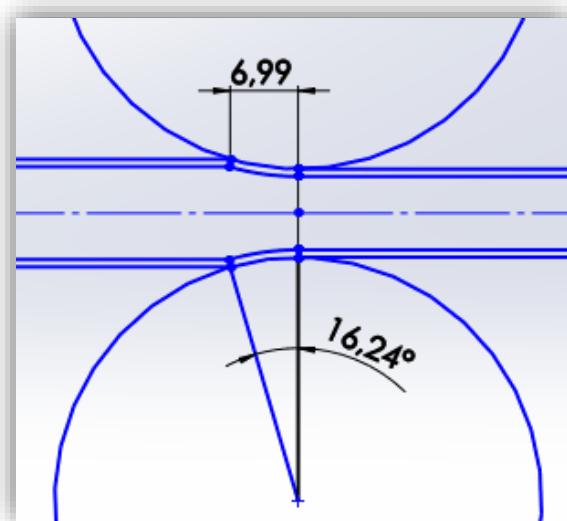
Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa semakin besar nilai A, semakin kecil nilai B yang akan menyebabkan luas penampang semakin kecil pula. Hal ini dapat menjadi pertimbangan berapa volume ruang udara vakum yang diperlukan.

Besar gaya *rolling* yang diperlukan tergantung pada beberapa hal. Faktor utamanya adalah properti mekanis material yang akan-di-*roll*, yaitu *copper* atau tembaga (tabel 2).

Tabel 2. Copper Pipe Mechanical Properties [6]

Modulus of Elasticity (E)	124GPa
Tangent Modulus of Elasticity (E _T)	0.8 E GPa
Yield Stress (σ _Y)	105 MPa
Ultimate tensile	203.8Mpa

Pipa harus diberi tegangan plastis agar diperoleh bentuk produk yang baru/tidak kembali ke bentuk semula. Tegangan yang harus diberikan *roller* berada di atas *Yield Stress* tembaga yaitu lebih besar dari 105 MPa (105 N/mm²). Penurunan dimensi secara bertahap dapat mengurangi slip atau mengoptimalkan gaya *rolling roller* baja untuk menarik pipa tembaga pada saat *feeding*.



Gambar 4. Bidang kontak *roller* Ø50 mm dengan pipa Ø3/8" – *Roller* ke-1 dari 4.

Gambar 4 menunjukkan langkah *rolling* awal dari dimensi tebal (diameter dalam) 9,525 mm menjadi 7,525 mm (sesuai tabel 1). Luas penampang tekannya adalah juring kontak antara *roller* dengan pipa dikali tebal pipa.

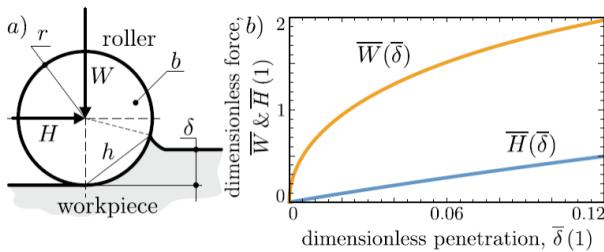
$$L_{fp} = 2 \cdot \left(\frac{\alpha}{360^\circ} \right) \cdot \pi \cdot \emptyset_R \cdot t_p \quad (3)$$

$$F_R = P \cdot L_{fp} \quad (4)$$

L _{fp}	= Luas penampang <i>flattened pipe</i> (mm ²)
α	= Sudut kontak <i>roller</i> dan pipa (°)
Ø _R	= Diameter <i>Roller</i> (mm)
t _p	= Tebal pipa (mm)
F _R	= Gaya tekan <i>roller</i> (N)
P	= σ _Y (<i>Yield Stress</i>) (N/mm ²)

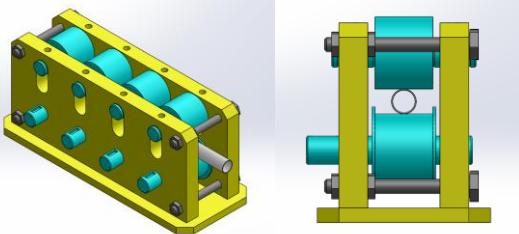
Setelah diketahui gaya tekan *roller* maka momen torsi yang diperlukan dapat dihitung, kemudian daya putar (motor) pun dapat diketahui. Karena perhitungan dimensi poros, pasak, dan *sprocket* sudah cukup banyak referensinya maka dalam makalah ini tidak akan dibahas kembali. Dengan formula (4) didapat gaya *rolling* per *roller* adalah 2506,991 N.

Besar gaya normal W dari *roller* adalah tangensial terhadap jarak penetrasi/tekan. Sedangkan gerak *rolling* yang sejajar benda bergerak secara linear. Gaya W jauh lebih besar dibandingkan dengan gaya H (gambar 5). [1]



Gambar 5. a) shows the sketch of the rolling process, while b) presents the specific force based on Hambleton and Drescher (2009)

Referensi lain menyebutkan bahwa keberhasilan mesin *rolling* juga dipengaruhi oleh pemilihan desain atau konsep, jenis material, serta kemudahan dalam proses manufaktur.[2]



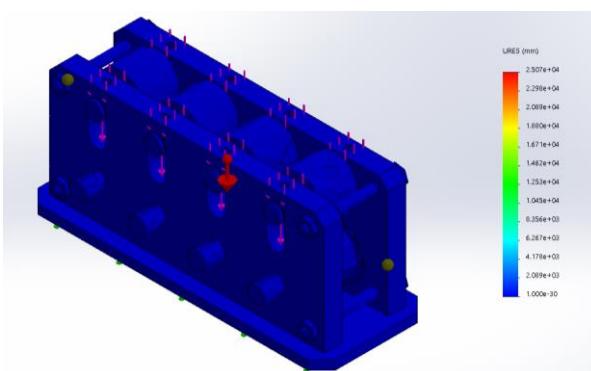
Gambar 6. Rancangan awal mesin rolling

Gambar 6 adalah rancangan mesin *rolling* untuk skala kecil dengan kapasitas maksimal diameter 1". *Roller* menggunakan material AISI 1045. Material tersebut dapat dikeraskan jika dibutuhkan. Untuk rangka dinding dan alas (*base*) menggunakan AISI 1018. Fastener menggunakan *hexagonal bolt* dan *nut grade 8.8 M12* untuk mengikat dinding kiri dan kanan. Untuk alas ke dinding menggunakan *bolt inbus M10*.

Untuk mengatur jarak *driven roller* ke *driver roller* digunakan *hexagonal bolt* M10, dan *contra nut* untuk mencegah putaran balik.

Analisa Mesin Rolling dengan Software FEA

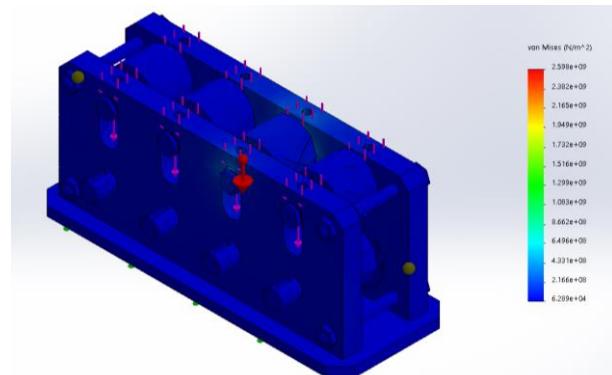
Dari hasil analisa defleksi menggunakan software *Finite Element Analysis* (FEA), diketahui bahwa nilai defleksi sangat kecil (gambar 7).



Gambar 7. Hasil simulasi bending/deformasi

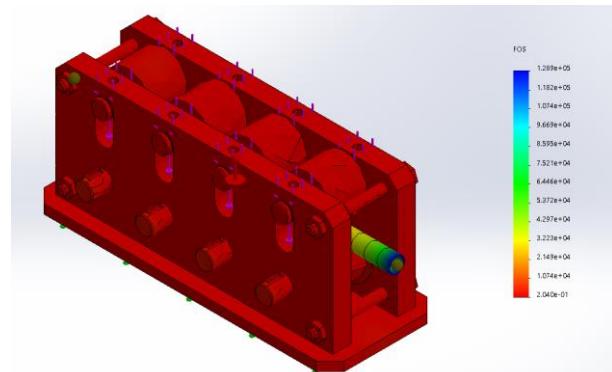
Tegangan kritis di seluruh komponen mesin *rolling* ini masih di bawah tegangan tarik

maksimum yang diizinkan oleh masing-masing material yang digunakan (gambar 8).



Gambar 8. Hasil simulasi area dengan tegangan kritis

Safety factor rata-rata untuk semua komponen di atas 2 dan aman (gambar 9).

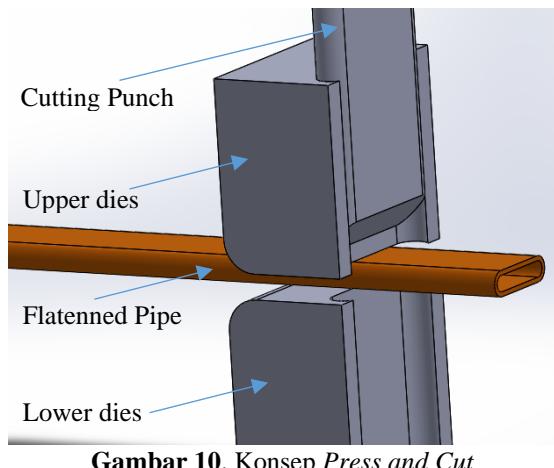


Gambar 9. Hasil simulasi safety factor

Rancangan Mekanisme Press and Cut

Udara dalam *flattened pipe* akan dikeluarkan sehingga tekanannya negatif. Tidak boleh ada udara atau fluida di dalamnya. Setelah udara dikeluarkan diperlukan penutupan secara permanen. Penutupan dilakukan dengan cara menekan salah satu ujung pipa hingga rapat dan tidak memungkinkan udara keluar atau masuk lagi.

Sebelumnya, salah satu pipa telah ditutup dengan metoda *brazing*, kemudian ujung lainnya diberi *nipple*. Setelah udara dikeluarkan, sisi dengan *nipple* tersebut dibuang. Untuk menutup dan membuang sisi ini dilakukan dengan metoda *press and cut*.



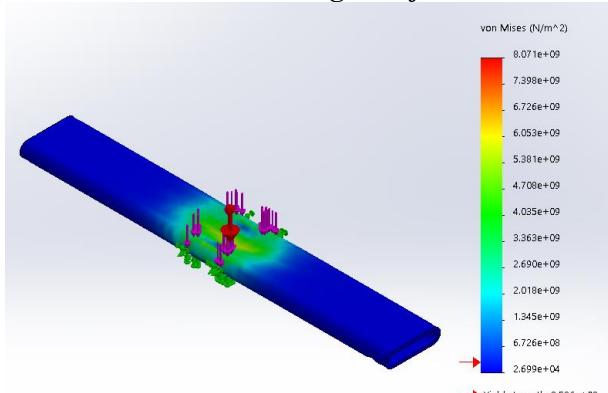
Gambar 10 adalah konsep mekanisme *press and cut* untuk *flattened pipe*. Proses *press* dilakukan dengan tekanan hingga di atas *yield stress* material (tembaga), kemudian berlanjut dengan pemotongan oleh *cutting punch*. Tekanan potong (*shearing*) diberikan hingga melewati *ultimate stress* material benda kerja.

$$F_P = \sigma_Y \cdot L_P \quad (5)$$

$$F_C = \sigma_U \cdot L_{fps} \quad (6)$$

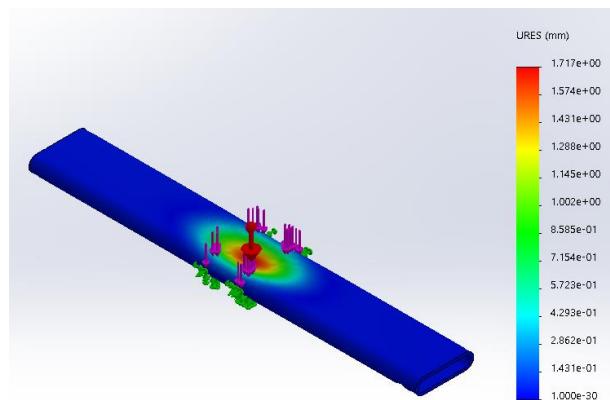
- F_P = Gaya tekan *Upper dies*
- σ_Y = *Yield Stress* tembaga
- L_P = Luas penampang tembaga tertekan
- F_C = Gaya geser *Cutting Punch*
- σ_U = *Ultimate Tensile* tembaga
- L_{fps} = Luas penampang geser tembaga

Analisa Press and Cut dengan Software FEA



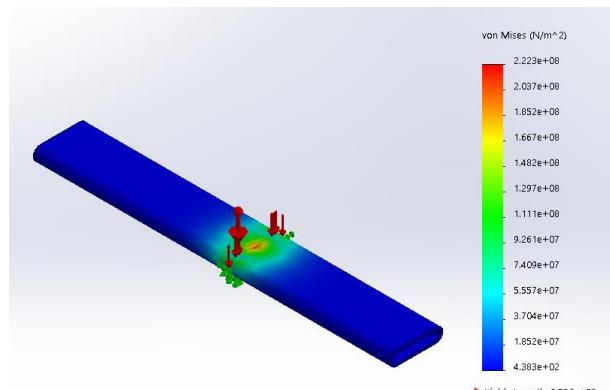
Gambar 11. Hasil simulasi FEA Press (Stress)

Gaya yang diperlukan untuk proses *press* adalah 23625 N (gambar 11). Dengan gaya tersebut sisi bawah dan atas *flattened pipe* menempel rapat dan tidak ada kebocoran (gambar 12).

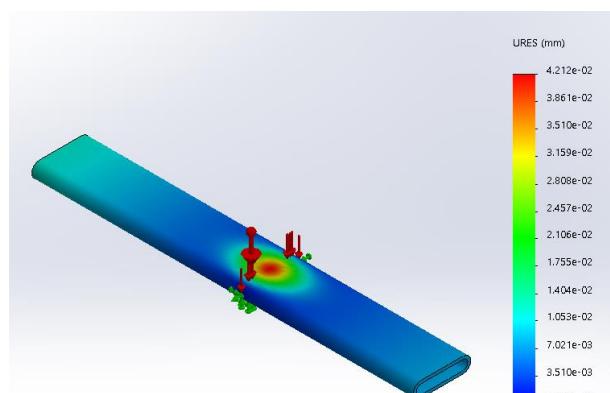


Gambar 12. Hasil simulasi FEA Press (Displacement)

Untuk gaya pemotongan yang diperlukan adalah 15300 N (gambar 13). Data gaya tersebut dapat digunakan untuk menentukan daya penggerak engkol manual, secara *pneumatic* atau *hydraulic*.



Gambar 13. Hasil simulasi FEA Cutting (Stress)



Gambar 14. Hasil simulasi FEA Cutting (Displacement)

Dengan memberikan pisau tekanan di atas *ultimate strength*, pipa dapat dipotong hingga putus (gambar 14).

Rancangan Mesin Roller

Gambar 15 adalah purwarupa mesin *rolling* yang telah dibuat. 4 *roller* di bagian bawah adalah *fixed roller* sebagai *driver* (penggerak). Setiap *roller* memiliki *sprocket* yang kemudian seluruhnya

dihubungkan dengan rantai. Dengan demikian setiap *roller* memiliki daya untuk menarik pipa di setiap fasenya.



Gambar 15. Mesin *rolling* dengan 4 *roller*

Bagian atas adalah sekelompok *driven roller* yang dapat bergerak bebas. Jarak atau gap tekanan terhadap pipa diatur pada *roller-roller* tersebut. Yaitu dengan mengatur jarak tekan baut di bagian atasnya. *Roller* ke-1 memiliki penetrasi paling sedikit dan kemudian bertambah pada *roller* ke-2, ke-3, dan ke-4. *Roller* ke-4 menentukan hasil ketebalan *flattened pipe* yang dibutuhkan.

Ketinggian puncak dari seluruh *driver roller* adalah sama. Pengaturan perbedaan ketinggian atau penetrasi hanya ada di bagian *driven roller*. Oleh karena itu lubang dudukan *shaft* untuk *driven roller* tidak berbentuk bulat tetapi alur (oval).

Salah satu *driver roller*, yaitu *roller* ke-4 diberi poros lebih panjang dengan maksud untuk dihubungkan dengan sumber daya putar. Dapat berupa engkol (*crank*) manual atau motor listrik. Untuk memastikan rantai (*chain*) tidak keluar jalur maka diberikan *tensioner* atau *idle roller* berbahan *polyurethane* (Gambar 16).

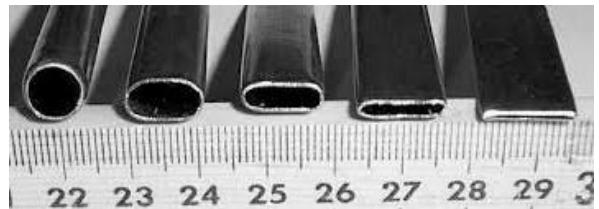


Gambar 16. Bagian penggerak mesin rolling

Mesin *rolling* tersebut dibuat untuk skala laboratorium. Pada skala industri maka ada perangkat tambahan lain yang diperlukan. Selain itu jumlah *roller* dibuat lebih banyak agar hasil lebih *smooth* dan presisi. Jumlah *roller* yang banyak juga

meminimalisir peningkatan panas saat penekanan. Penambahan panas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *crack* pada hasil atau produk.[3]

Pada skala industri, pipa bakalan juga dapat dimasukkan secara automatis dengan mekanisme *auto feeder*. Kemudian untuk memastikan kelurusan hasil pipa ditambahkan mekanisme *straightener*.



Gambar 17. Contoh *Flattened Pipe*[4]

Gambar 17 menunjukkan metamorphosis pipa dengan jenis material lain menjadi *flattened pipe*. Dapat dilihat bahwa semakin tipis maka luas penampang lubang semakin kecil.



Gambar 18. *Flattened Pipe* hasil prototype mesin *rolling* dengan 4 *roller*

Gambar 18 menunjukkan produk hasil mesin *rolling* dengan 4 *roller*. Hasil kerataan produk sudah memenuhi syarat walaupun masih dapat ditingkatkan kembali kualitasnya.

Kesimpulan

Rancangan mesin *rolling* telah berhasil diimplementasikan. Dari hasil produksi dengan material pipa tembaga diameter 3/8" diketahui bahwa kepipihan yang dihasilkan memenuhi syarat (rata dan sejajar antara sisi rata atas dan bawah pipa).

Jumlah *roller* sebanyak 4 pasang selain berhasil menghasilkan *flattened pipe* juga memungkinkan pengoperasian secara manual (dengan tangan engkol). Gaya yang diperlukan masih dalam rentang kemampuan manusia (ergonomis).

Konsep penutupan ujung pipa dengan penekanan berhasil, tidak ada kebocoran. Rancangan dapat dikembangkan agar menjadi satu sistem utuh dari mulai *auto feeder* – *rolling machine* – *straightener*. Mekanisme press and cut berada pada lini lain.

Masukan dan Saran

Pengembangan mesin *rolling* untuk skala industri dapat dilakukan melalui bekerja sama dengan perusahaan manufaktur besar. Penambahan

jumlah *roller* dan metoda penggerjaan yang sudah sepenuhnya otomasi dapat menjadi opsi yang baik dan strategis.

Untuk karya ilmiah secara umum, ke depan harus diarahkan bahwa karya ilmiah baik itu jurnal atau prosiding harus menghasilkan produk yang dapat diimplementasikan dan bermanfaat untuk masyarakat, negara, dan agama. Dengan demikian para mahasiswa, dosen, dan peneliti tidak hanya mengejar publikasi semata, namun publikasi “hanyalah” bonus dari karya nyata.

Hasil penelitian harus dapat dikerjasamakan dengan perguruan tinggi vokasi dan industri. Hal ini sangat baik agar bangsa kita tidak selalu tergantung kepada produk luar negeri.

Harus ada langkah pertama, perjuangan, dan kesempatan bagi para peneliti dalam negeri dalam mengimplementasikan hasil karyanya.

Referensi

1. Farago, D., R. Merino, and Z. Dombovari, *On Basic Modeling of the Dynamics of Axles Rolling Process*. IFAC-PapersOnLine, 2018. **51**(14): p. 282-287.
2. Neje, C. and B. Balappa, *Design and Development of Multi-Profile Sheet Forming Machine for Small Scale Industries*. Materials Today: Proceedings, 2017. **4**(10): p. 11210-11217.
3. Zhang, D.-f., et al., *Prediction of edge cracks and plastic-damage analysis of Mg alloy sheet in rolling*. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011. **21**(5): p. 1112-1117.
4. Wilson, M., et al., *Refrigerant charge, pressure drop, and condensation heat transfer in flattened tubes*. International journal of refrigeration, 2003. **26**(4): p. 442-451.
5. <https://www.indiamart.com/proddetail/flatting-test-services-10783631130.html>, diakses tanggal 26 September 2019
6. https://www.researchgate.net/figure/The-mechanical-properties-of-the-copper-pipe_tbl1_326680081, diakses tanggal 24 September 2019