

Investigasi Permukaan Besi *Square Hollow* Hasil Pengerolan menggunakan Teknologi Mesin *Roller Bending*

Eko Saputra, Carli*, Hartono, Sunarto dan Ali Sai'in

Program Studi D3 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Soedarto, S.H., Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah, Indonesia 50275

*E-mail: carli@polines.ac.id

Diajukan: 25-03-2023; Diterima: 17-04-2023; Diterbitkan: 20-04-2023

Abstrak

Banyak industri kecil menengah saat ini masih melakukan pengerolan besi dengan metode manual, yaitu memotong sebagian (menyobek) *square hollow*. Metode manual ini menghasilkan kualitas pengerolan yang tidak rapi dan membutuhkan waktu yang cukup lama. Solusi yang dapat dilakukan adalah pengerolan menggunakan mesin *roller bending*. Namun teknologi mesin ini juga memiliki keterbatasan radius pengerolan sehingga produk pengerolan tidak akurat. Indikator kualitas pengerolan adalah muncul tidaknya kerutan pada permukaan besi hasil pengerolan. Beberapa faktor penyebab ketidakakuratan tersebut adalah dimensi profil dan ketebalan besi *square hollow* yang bervariasi. Semakin kecil dimensi profil besi *square hollow* maka sulit dilakukan pengerolan. Berdasarkan survey literatur, belum ditemukan investigasi pengaruh variasi radius terhadap kerutan pada permukaan besi *square hollow*, padahal kualitas terbaik dari permukaan hasil pengerolan sangat dibutuhkan oleh pelanggan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi kualitas besi *square hollow* akibat variasi radius pengerolan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dimana dalam prosesnya adalah mencari pengaruh kedalaman penekanan *bending* terhadap radius kelengkungan dan permukaan besi *square hollow* akibat pengerolan pada mesin *roll bending*. Pengerolan dilakukan pada besi *square hollow* ukuran 20×20 mm dan 40×40 mm dengan variasi radius pengerolan yang dilakukan adalah 2000 mm, 1500 mm, 1000 mm, 750 mm, dan 500 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa radius pengerolan yang dapat dibuat paling kecil untuk besi *square hollow* 20×20 mm adalah 500 mm, dengan kondisi permukaan kelengkungan yang masih baik tanpa kerutan. Sedangkan pada besi *square hollow* 40×40 mm menghasilkan radius pengerolan yang dapat dibuat paling kecil adalah 2000 mm, dengan kondisi permukaan kelengkungan yang masih baik tanpa kerutan. Kerutan muncul mulai dari radius 1500 mm hingga 500 mm.

Kata kunci: kerutan besi; mesin *roller bending*; pengerolan; *square hollow*

Abstract

Many small and medium industries are currently still rolling iron using the manual method, namely cutting a square hollow. This manual method produces untidy rolling quality and takes quite a long time. The solution that can be done is rolling using a roller bending machine. However, this machine technology also has a limited rolling radius so that the rolling product is not accurate. The indicator of rolling quality is whether or not wrinkles appear on the iron surface as a result of rolling. Some of the factors causing the inaccuracy are the profile dimensions and the thickness of the square hollow iron which varies. The smaller the dimensions of the square hollow iron profile, the more difficult it is to roll. Based on a literature survey, no investigation has been found of the effect of radius variations on wrinkles on square hollow iron surfaces, even though the best quality of the rolled surface is highly demanded by customers. Therefore, this study aims to investigate the quality of square hollow iron due to variations in the rolling radius. This study uses an experimental method in which the process is to look for the effect of the depth of bending emphasis on the radius of curvature and the surface of square hollow iron due to rolling on a roll bending machine. Rolling was carried out on square hollow iron measuring 20×20 mm and 40×40 mm with variations of the rolling radius being 2000 mm, 1500 mm, 1000 mm, 750 mm and 500 mm. The test results show that the smallest rolling radius that can be made for 20×20 mm square hollow iron is 500 mm, with good surface curvature conditions without wrinkles. Whereas in square hollow iron 40×40 mm it produces the smallest rolling radius that can be made is 2000 mm, with good surface curvature conditions without wrinkles. Wrinkles appear from a radius of 1500 mm to 500 mm.

Keyword: Rolling; roller machine; square hollow, wrinkling

1. Pendahuluan

Kualitas hasil pengerolan besi *square hollow* (SH) yang rapi tanpa kerutan pada permukaannya merupakan harapan besar bagi pelaku industri teralis dan struktur frame. Besi SH adalah logam yang berbentuk pipa segi empat dan berongga dimana material yang digunakan adalah jenis *galvanize*, *mild steel* dan *stainless steel*, profil dapat dilihat pada Gambar 1.1.

Besi SH juga telah lama digunakan sebagai konstruksi bangunan untuk menggantikan kayu, hal ini karena proses pemasangannya cenderung lebih cepat dan mudah. Selain itu, kelebihan SH adalah konstruksi kuat dan lebih kokoh, tidak dimakan rayap, memiliki sifat tahan terhadap api, memiliki daya tahan yang bagus terhadap karat/korosi, memiliki nilai estetika, dan harganya jauh lebih terjangkau dibanding kayu.



Gambar 1.1 Besi *Square Hollow* [1]

Dalam praktiknya, besi SH tersebut dapat dimanfaatkan dengan melakukan perubahan bentuk misalnya bentuk melengkung. Mesin yang digunakan untuk pembentukan tersebut dikenal dengan mesin pengerol. Saat ini banyak mesin *roll* yang digunakan untuk mengerol besi hollow namun umumnya untuk besi dengan profil pipa *hollow*. Mesin *roller* ini adalah mesin yang dirancang untuk mempermudah atau membantu pekerjaan manusia dalam menghasilkan pengerolan yang lebih efisien dan efektif dibandingkan dengan metode pengerolan manual. Mesin *roller* ini digunakan untuk mengerol benda kerja bentuk lurus berubah menjadi melengkung yang sesuai dengan kebutuhan dan kegunaan. Berdasarkan penelusuran jurnal ilmiah, diperoleh beberapa informasi penelitian yang sudah dilakukan.

Nurchayho dkk. pada tahun 2018 melakukan penelitian *roll bending* dengan membuat mesin *roll bending portable* dengan penggerak mesin bubut atau mesin motor 1 HP. Benda kerja yang dikerjakan adalah besi *cylinder hollow* [2]. Fernando dkk. pada tahun 2019 melakukan penelitian *roll bending* dengan membuat alat *bending* pipa *starbus/hollow* dengan ukuran 50 mm × 50 mm × 2 mm bertenaga motor listrik 1 HP [3]. Rusnadi dkk pada tahun 2020 juga melakukan penelitian terkait *roll bending* untuk pipa berdiameter 1 inch bertenaga motor listrik 0.63 HP [4]. Berdasarkan kajian pustaka tersebut umumnya besi *hollow* yang digunakan adalah pipa *hollow*. Penelitian tentang mesin *roll bending* dengan benda kerja SH masih sedikit, hal ini disebabkan oleh tingkat kesulitan yang lebih tinggi terkait bentuk profilnya dibanding pipa *cylinder hollow*. Umumnya, saat ini bengkel-bengkel masih melakukan pengerolan secara manual, dengan cara memotong sebagian (menyobek) SH. Sehingga hasil akhir yang diperoleh kurang rapi dan radius kelengkungan yang dibentuk kurang akurat.

Baru-baru ini, Fadila dkk telah melakukan penelitian pengembangan mesin *roll bending* untuk besi SH 20 × 20 mm dan 30 × 30 mm bertenaga motor listrik 2 HP. Diameter yang mampu dihasilkan untuk SH 20 × 20 mm dan 30 × 30 mm adalah masing-masing 1000 mm dan 2000 mm [5]. Akan tetapi penelitian ini memiliki keterbatasan informasi terkait kemampuan maksimal dalam membuat radius kelengkungan terkecilnya. Padahal, variasi kelengkungan dari mulai yang besar sampai yang terkecil sangat diperlukan bagi industri tralis dan struktur *frame*. Oleh karena itu, penelitian tentang mesin *roll bending* yang mampu membuat variasi radius kelengkungan sekecil-kecilnya sangat perlu dilakukan. Selain itu, investigasi permukaan hasil *bending* akibat pengerolan juga penting dilakukan untuk melihat batasan radius kelengkungan yang masih layak untuk digunakan di industri tralis dan struktur *frame*.

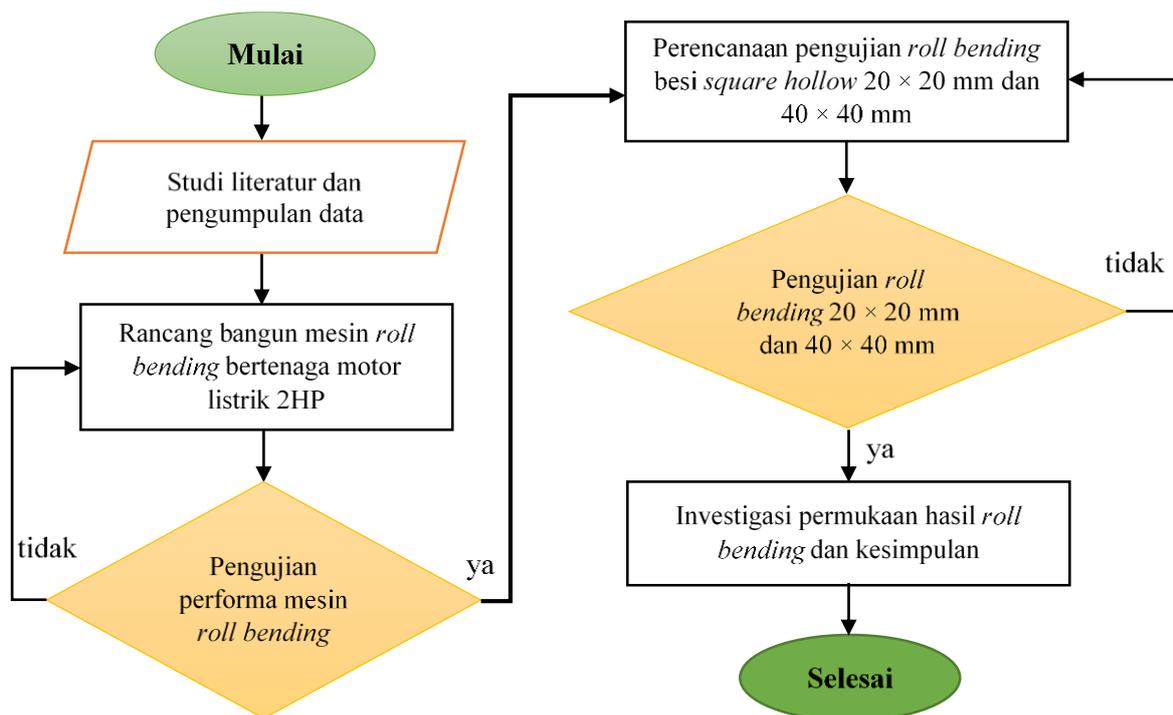
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan mesin *roll bending* dalam membuat radius kelengkungan besi SH dengan batasan permukaan yang masih layak diterima industri yaitu tanpa kerutan. Pengujian akan dilakukan pada besi SH ukuran 20 × 20 mm dan 40 × 40 mm.

2. Material dan metodologi

2.1. Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dimana dalam prosesnya adalah mencari pengaruh perlakuan tertentu dalam kondisi yang terkontrol [6-7]. Dalam penelitian ini, akan dibahas pengaruh kedalaman penekanan *bending* terhadap radius kelengkungan dan permukaan besi SH akibat pengerolan pada mesin *roll bending*. Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Penelitian ini di mulai dengan studi literatur terkait penelitian serupa dan pengumpulan data-data terkait untuk proses perancangan mesin *roll bending*. Proses selanjutnya adalah rancang bangun mesin *roll bending* bertenaga motor listrik 2 HP. Sebelum mesin ini digunakan pengujian, maka tahap selanjutnya adalah pengujian performa mesin *roll bending* dan pengaturan-pengaturan hingga mendapatkan mesin *roll bending* yang siap untuk digunakan. Tahap selanjutnya adalah melakukan perencanaan pengujian *roll bending* besi SH ukuran 20×20 mm dan 40×40 mm, untuk memudahkan penyebutan selanjutnya digunakan kode **SH20** dan **SH40**. Tahap selanjutnya adalah pengujian *roll bending* pada benda kerja hingga mendapatkan radius kelengkungan yang diharapkan. Setelah dilakukan beberapa kali pengujian, tahap selanjutnya adalah melakukan investigasi atau pengamatan pada permukaan hasil *roll bending* di setiap variasi radius kelengkungan dan disimpulkan keterkaitan radius kelengkungan dan kondisi permukaan lengkungan.

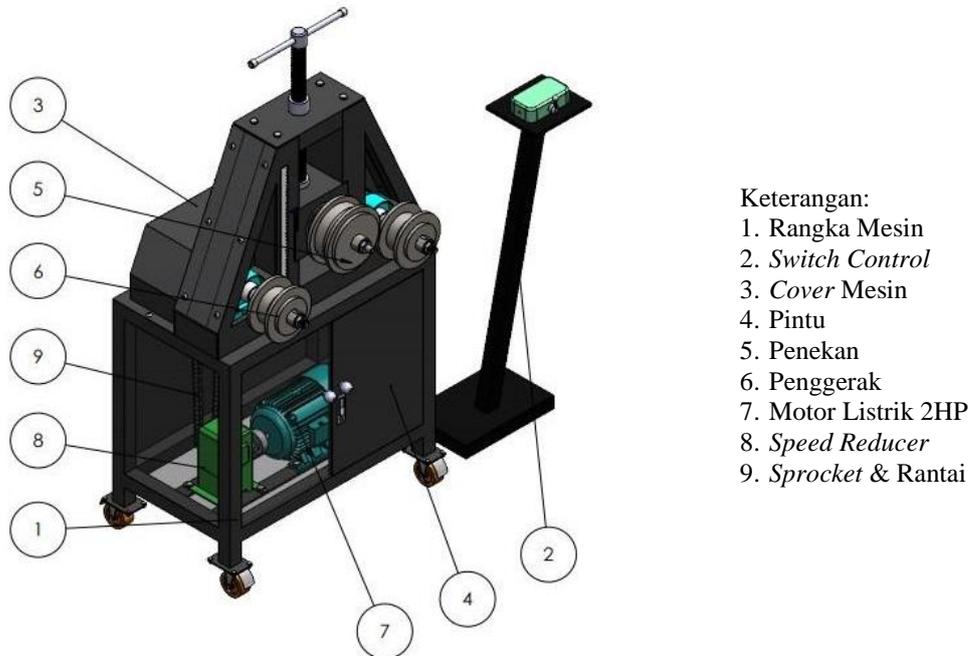


Gambar 2.1. Diagram alir penelitian

2.2. Rancang bangun mesin roll bending dan bahan yang digunakan

Dalam rangka mendukung pengujian-pengujian pada penelitian ini, maka dilakukan proses rancang bangun mesin *roll bending* yang digunakan untuk pengerolan besi SH dengan ukuran profil yang bervariasi. Fokus benda kerja pada penelitian ini adalah besi SH20 dan SH40. Proses rancang bangun ini menghasilkan desain yang dapat dilihat pada Gambar 3. Proses perancangan mesin *roller* SH berdasarkan pada hasil studi pustaka dan melalui prosedur perancangan yang baku agar dapat menjawab permasalahan-permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya dengan penekanan pada aspek teknis dan aspek

ekonomis [8]. Aspek teknis meliputi analisis gaya, tegangan, deformasi, getaran dan lain-lain [9]. Agar fungsi dan tujuan perancangan tercapai, maka pembuatan komponen-komponen dari mesin *roller* SH yang sesuai dengan hasil perencanaan mempertimbangkan berbagai literatur [10, 11, 12, 13]. Komponen-komponen yang telah dibuat dilakukan perakitan dengan memperhatikan aspek perancangan.



Gambar 3. Desain mesin *roll bending*

Prosedur penggunaan mesin ini diawali dengan besi SH dimasukkan kedalam *roller* penggerak (6), setelah itu turunkan penekan (5) hingga menyentuh permukaan besi SH, untuk menggerakkan *roller* penggerak menggunakan *switch control* (2), sehingga motor listrik (7) dapat berputar dan putarannya direduksi menggunakan *speed reducer* (8), kemudian dari *speed reducer* daya akan diteruskan ke poros penggerak menggunakan *sprocket* dan rantai (9) sebagai transmisi. Saat proses pengerolan besi SH, turunkan penekan secara perlahan dengan cara memutar ulir penekan untuk mendapatkan radius yang diinginkan, setelah selesai melakukan pengerolan kemudian naikan penekan hingga benda kerja dapat dilepas. Konsep penekanan bending ini juga sama dengan konsep penekanan tekuk hidrolik yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya [14].

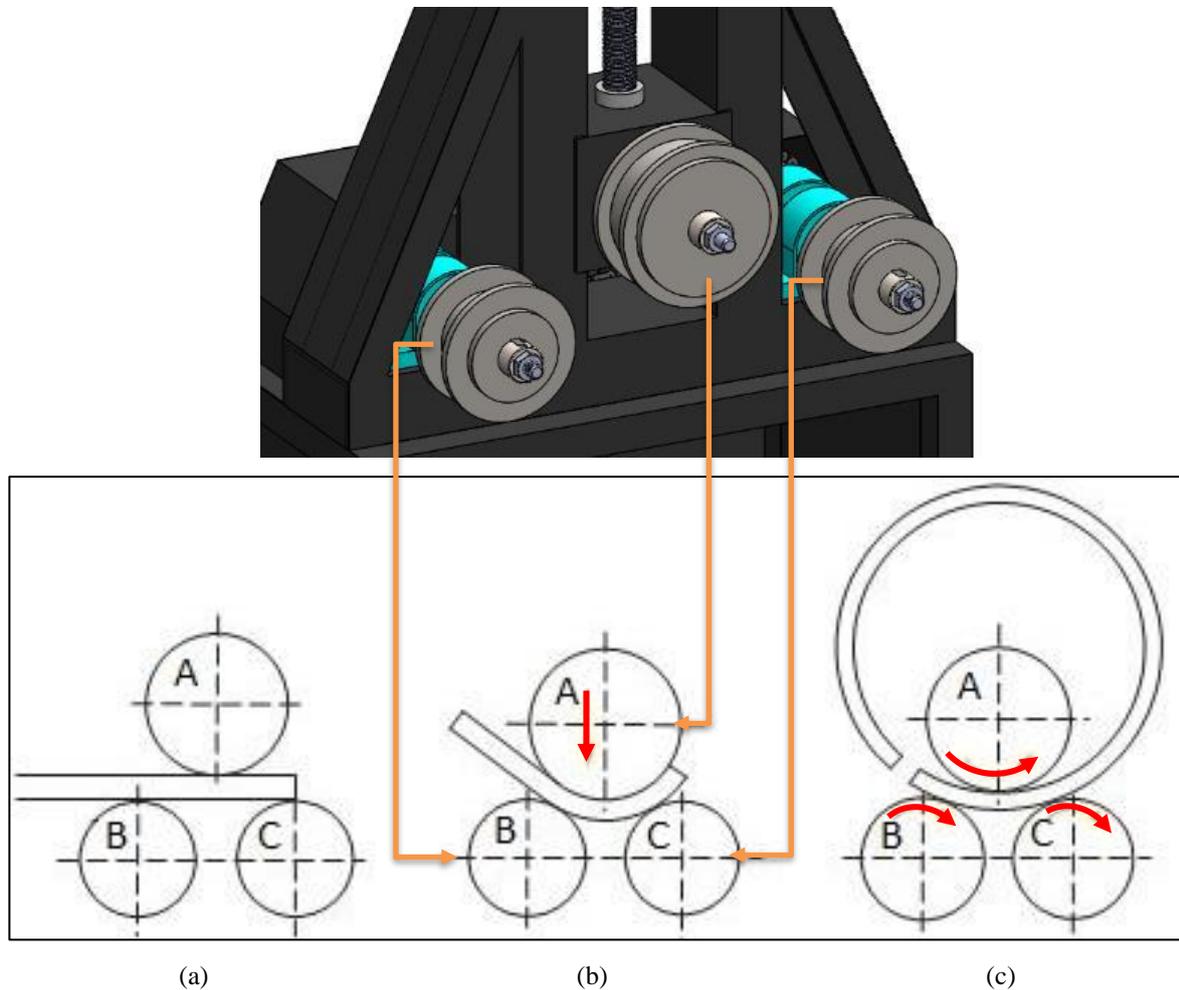
Bahan benda kerja besi SH yang dipakai adalah jenis *mild steel* dengan modulus elastisitas $E = 100.000$ MPa dan koefisien gesek statis bahan antara baja pada baja $\mu_s = 0,74$. Benda kerja besi SH memiliki ketebalan 1,6 mm.

2.3. Pengujian yang dilakukan

Proses pengujian adalah proses uji coba guna menentukan keberhasilan alat atau mesin yang dirancang sesuai dengan fungsi dan tujuan dari pembuatan alat atau mesin tersebut. Proses pengujian dilakukan dengan cara mengoperasikan mesin, mengamati proses pengerolan, mencatat hasil pengujian dan melakukan analisis hasil pengerolan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh kedalaman *bending* terhadap radius kelengkungan dan kondisi permukaan hasil *roll bending*, skematik pengujian dapat dilihat pada Gambar 4a-c. Pada pengujian mesin *roller* SH ini menggunakan parameter pengujian yaitu radius pengerolan sebesar 2000 mm, 1500 mm, 1000 mm, 750 mm dan 500 mm dengan bahan uji SH20 dan SH40, rangkuman parameter pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Parameter pengujian

No	Kode	Ukuran (mm)	Target Radius kelengkungan (mm)
1	SH20	20 x 20	2000, 1500, 1000, 750, 500
2	SH40	40 x 40	



Gambar 4. Skematik proses *roll bending* SH dengan 3 *roller* (A, B, dan C), (a) posisi awal benda kerja SH diantara ketiga *roller*, (b) *roller* penekan B diturunkan untuk menekan benda kerja, dan (c) *Roller* A berputar sehingga benda kerja mulai bergerak *rolling*.

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Hasil pengujian roll bending

Proses pengujian telah dilakukan pada mesin *roller* SH ini menggunakan SH20 dan SH40 dengan panjang 2000 mm sebagai bahan pengujian. Hasil pengujian dari mesin *roller* SH dipresentasikan dalam Tabel 3.1., dengan menunjukkan hubungan radius pengerolan dan kedalaman penekanan *roller*. Selain itu, masih dalam Tabel 3.1. ditunjukkan hasil pengerolan secara visual dengan penunjukan nilai radius kelengkungan.

Tabel 3.1 Data Pengujian Hasil Pengerolan besi SH20

No.	Radius (mm)	Kedalaman Penekanan (mm)	Hasil Pengerolan
1.	2000	12	
2.	1500	18	
3.	1000	24	
4.	750	30	
5.	500	45	

Tabel 3.2 Data Pengujian Hasil Pengerolan besi SH40

No.	Radius (mm)	Kedalaman Penekanan (mm)	Hasil Pengerolan
1.	2000	21	
2.	1500	27	

No.	Radius (mm)	Kedalaman Penekanan (mm)	Hasil Pengerolan
3.	1000	33	
4.	750	44	
5.	500	55	

3.2 Analisis permukaan benda kerja hasil pengujian

Hasil pengujian yang telah dilakukan kemudian dianalisis guna mengetahui kondisi permukaan benda kerja besi SH akibat pengerolan. Tabel 3.3. dan Tabel 3.4. menunjukkan hasil pengamatan pada pengerolan *bending* dari benda kerja SH20 dan SH40. Kedua tabel tersebut memberikan informasi hasil pengerolan pada setiap radius kelengkungan.

Tabel 3.3 Data Pengujian Hasil Pengerolan besi SH20

No.	Radius (mm)	Tampilan Permukaan	Hasil Pengamatan
1.	2000		Hasil pengerolan sangat baik dan tidak terdapat kerusakan pada <i>square hollow</i> yang diuji.
2.	1500		Hasil pengerolan sangat baik dan tidak terdapat kerusakan pada <i>square hollow</i> yang diuji.

No.	Radius (mm)	Tampilan Permukaan	Hasil Pengamatan
3.	1000		Pengerolan sangat baik dan tidak terdapat kerusakan pada <i>square hollow</i> yang diuji.
4.	750		Pengerolan baik dan tidak terdapat kerusakan pada <i>square hollow</i> yang diuji.
5.	500		Pengerolan baik dan tidak terdapat kerusakan pada <i>square hollow</i> yang diuji.

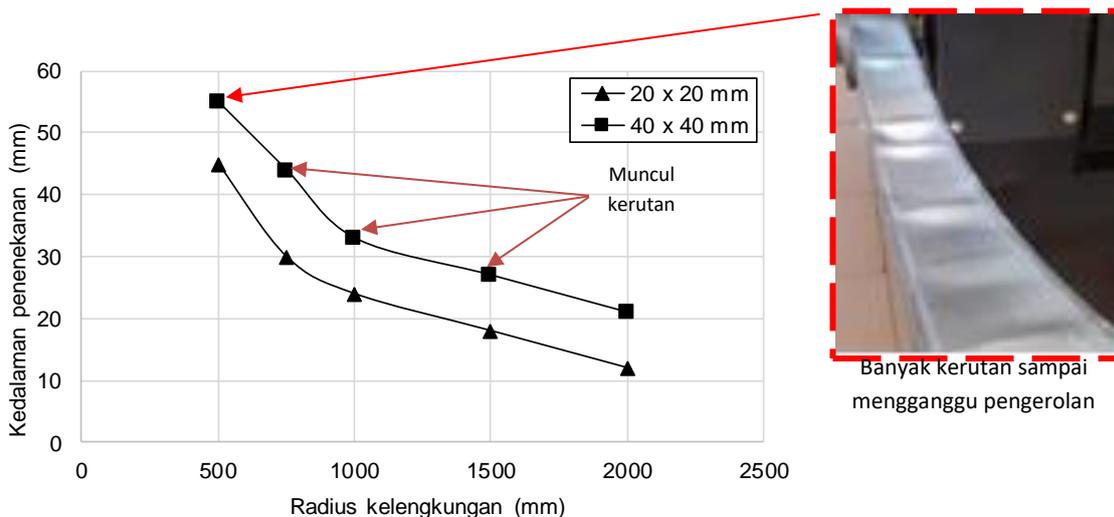
Tabel 3.4 Data Pengujian Hasil Pengerolan SH40

No.	Radius (mm)	Tampilan Permukaan	Hasil Pengamatan
1.	2000		Pengerolan baik dan tidak terdapat kerusakan pada <i>square hollow</i> yang diuji.
2.	1500		Pengerolan baik, mulai muncul kerutan pada permukaan <i>square hollow</i> yang diuji.
3.	1000		Pengerolan cukup baik, sudah muncul kerutan pada permukaan <i>square hollow</i> yang diuji.

No.	Radius (mm)	Tampilan Permukaan	Hasil Pengamatan
4.	750		Pengerolan kurang baik, karena kerutan terlihat banyak pada permukaan <i>square hollow</i> yang diuji.
5.	500		Hasil pengerolan tidak baik, karena kerutan sudah banyak pada permukaannya dan pada saat dilakukan pengerolan lanjutan, pergerakan <i>square hollow</i> yang diuji terganggu karena kerutan tersebut.

3.3 Pembahasan hasil pengujian

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan hubungan antara kedalaman penekanan *bending* terhadap radius kelengkungan yang mampu dibentuk pada besi SH, hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5, jika dihubungkan dengan hasil pengamatan permukaan akibat pengerolan pada Tabel 3.3. maka diperoleh kesimpulan bahwa besi SH20 mampu membentuk radius kelengkungan sampai pada radius 500 mm dengan kondisi permukaan yang masih baik tanpa kerutan. Sedangkan, kondisi permukaan pada besi SH40, mulai muncul kerutan pada radius kelengkungan 1500 mm. Hingga pada radius kelengkungan 500 mm kerutan semakin banyak hingga mengganggu proses pengerolan. Kerutan ini terjadi pada daerah tegangan kompresi yang disebabkan oleh desakan pada permukaan dalam besi SH, pada radius kelengkungan tertentu akan menghasilkan desakan pada permukaan dalam besi SH [15]. Berdasarkan literatur, kerutan pada besi akibat pengerolan dinamakan "*wrinkling*". Fenomena *wrinkling* ini juga telah dipaparkan dalam beberapa jurnal [15, 16, 17].



Gambar 5. Hubungan kedalaman penekanan terhadap radius kelengkungan yang dapat dibentuk pada benda kerja SH20 dan SH40

4. Kesimpulan

Penelitian tentang investigasi permukaan besi SH hasil pengerolan menggunakan mesin *roller bending* telah dilakukan. Penelitian ini dimulai dari studi literatur untuk mendapatkan data-data *roller bending*, rancang bangun mesin *roller bending*, pengujian *roll bending* pada variasi ukuran besi SH yang kemudian dilakukan pengamatan pada permukaannya. Penelitian ini menghasilkan mesin *roller bending* bertenaga motor listrik 2HP. Mesin *roller* SH ini digunakan untuk mengerol besi SH20 dan SH40 berbahan *mild steel*. Ketebalan besi SH adalah 1,6 mm dan radius yang bisa dibuat mulai dari radius kelengkungan 2000 mm sampai 500 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa radius kelengkungan yang dapat dibuat paling kecil adalah 500 mm untuk besi SH20, dengan kondisi permukaan kelengkungan yang masih baik tanpa kerutan. Sedangkan pada SH40 menghasilkan radius kelengkungan yang dapat dibuat paling kecil adalah 2000 mm, dengan kondisi permukaan kelengkungan yang masih baik tanpa kerutan. Kerutan muncul mulai dari radius kelengkungan 1500 mm - 500 mm dan menunjukkan kerutan paling banyak dan mengganggu proses pengerolan.

Daftar Pustaka

- [1] <https://wira.co.id/besi-hollow/>, diakses 15 April 2023.
- [2] Nurcahyo, Y.E., Ellianto, M.S.D. Rancang Bangun Mesin *Roll Bending* Portable, *Teknika: Engineering and Sains Journal*. 2018; 2 (2): pp. 109-114.
- [3] Fernando, R., Duskiardi, Iman S. Perancangan alat bending pipa starbus/ hollow (50 mm x 50 mm x 2 mm). *Jurnal Fakultas Industri Universitas Bung Hatta*. 2019; 13 (2).
- [4] Rusnadi, Intang, A., Angkasa, A., Santoso, R.B. Perancangan Mesin *Bending* untuk Pipa Berdiameter Satu Inch Menggunakan Metode *Roll Bending*. *Teknika: Jurnal Teknik*. 2020; 7 (1): pp. 49-56.
- [5] Fadila, A., Justang, Munadhil, M.F., Kido, M.I., Sunding, A. Pengembangan Mesin *Roll* pada Besi Hollow. *Jurnal Tematis*. 2022; 3 (2): pp. 29-49.
- [6] Sugiyono, 2019. *Metode Penelitian & Pengembangan (Research and Development/R&D)*. Alfabeta, Bandung.
- [7] Creswell, J.W., Reswell, J.D., 2022. *Research Design; Qualitative, Quantitative, & Mixed Methods Approaches*. Sage, Los Angeles.
- [8] Budynas, R., Nisbett, K., 2014. *Shigley's Mechanical Engineering Design: Tenth Edition*. McGraw-Hill Education.
- [9] Khurmi, J.D., Gupta, J.K., 2005. *A Textbook of Machine Design*. Eurasia Publishing House LTD: New Delhi.
- [10] Mott, R.L., Vavrek, E., Wang, J., 2018. *Machine Element in Mechanical Design*. New Jersey: Pearson Edu., Inc.
- [11] Sularso, K. S. 2008. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [12] Cross, N., 2021. *Engineering Design Methods Strategies for Product Design: 4th ed*. NY: John Wiley & Sons, Ltd.
- [13] Sato, G.T., Hartanto, N.G., 2013. *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*. Jakarta: Balai Pustaka.
- [14] Carli, Hartono, Daryadi, Sunarto, Sai'in, A. Rancang Bangun Press Tool Alat Bantu Pemetong Strip Plat dengan Menggunakan Mesin Tekuk Hidrolik. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 2022;17 (1): pp. 133-138.
- [15] Shan, T., Yuli, L, He, Y. Effect of geometrical parameters on wrinkling of thin-walled rectangular aluminium alloy wave-guide tubes in rotary-draw bending. *Chinese J. Aeronaut*. 2013; 26 (1): pp. 242-248.
- [16] Nakajima, K., Utsumi, N., Saito, Y., Yoshida, M. Deformation Property and Suppression of Ultra-Thin-Walled rectangular Tube in Rotary Draw Bending. *Metals*. 2020; 10 (8): pp. 1-16.
- [17] Cornelissen, R., Maljaars, J., Hofmeyer, H. Buckling and Wrinkling of Rectangular Hollow Sections Curved in Three-Point-Roll Bending. *The International Journal of Advanced manufacturing Technology*. 2021; 112 (7-8): pp. 2091-2107.