

ANALISIS PROSES Pengerolan PIPA DENGAN *ROLL BENDING*

Sufiyanto *

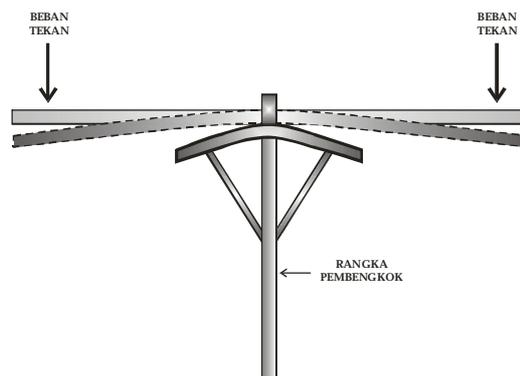
Abstraksi

Penggunaan teknologi pengerolan dengan sistem *roll bending*, sangat dibutuhkan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses produksi dengan berkurangnya waktu proses serta peningkatan kualitas produk dengan berkurangnya resiko cacat produk. Proses pembentukan pipa frame lengkung di bengkel teknik menggunakan sistem manual menghasilkan cacat produk berupa pengkerutan pada sisi dalam dan perubahan bentuk penampang. Selain itu proses pengerolan manual menghasilkan tingkat produktivitas dan efektivitasnya yang kurang. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan diatas adalah dengan melakukan peningkatan kualitas proses pengerolan pipa untuk pembuatan frame lengkung menggunakan proses *roll bending* dengan mesin *roll* mekanik. Dengan konsep desain dan perencanaan alat yang sesuai dengan kebutuhan dan tepat sasaran, maka akan diperoleh proses pengerolan yang efisiensi, efektivitas dan kualitas yang baik. Hasil yang diperoleh menyatakan bahwa efisiensi dan efektivitas proses pengerolan ditentukan oleh tahapan proses pengerolan yang efektif berdasarkan radius kelengkungan yang direncanakan dan jenis serta dimensi pipa yang akan dilengkungkan. Selain itu cacat produk dan keseragaman hasil produk dapat dicapai dengan mengontrol tahapan proses pengerolan yang tepat dan efektif. Manfaat yang diperoleh adalah penggunaan teknologi *roll bending* pada proses pengerolan pipa untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas produk pipa frame lengkung.

Kata Kunci : *Roll Bending*, Produktivitas, Tahapan Proses

PENDAHULUAN

Permasalahan utama yang dialami oleh bengkel-bengkel teknik adalah kendala proses pengerolan pipa untuk membentuk frame lengkung yang akan digunakan untuk pagar ataupun *canopy*. Metode yang digunakan oleh bengkel teknik dalam pembuatan frame lengkung dilakukan secara manual dengan menggunakan alat bantu berupa matras atau mal yang berbentuk lengkung seperti skema gambar 1. Cara kerja dari proses manual ini adalah dengan memasang pipa pada matras/mal seperti pada gambar 1, kemudian kedua ujung pipa ditekan ke bawah secara bersamaan oleh dua orang yang masing-masing memegang ujung pipa tersebut. Gaya penekanan diberikan secara bertahap sampai pipa membentuk kelengkungan yang diharapkan.



Gambar 1. Skema Proses Pembentukan Frame Lengkung

Kendala yang dihadapi dengan cara proses manual ini adalah terjadinya pengkerutan pada bagian tengah pipa sebagai akibat proses pelengkungan yang tidak merata pada permukaan pipa. Bagian yang mengalami deformasi tekan adalah sisi bawah pipa sehingga akan terjadi pemendekan. Deformasi tekan ini hanya terpusat di bagian tengah dan tidak merata disepanjang pipa, sehingga terjadi

* Dosen Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

pengkerutan akibat deformasi yang berlebihan pada saat pipa dibengkokkan. Semakin kecil radius kelengkungan yang harus dibuat maka pengkerutan dibagian tengah semakin bertambah bahkan dapat mengakibatkan cacat tekuk.

Berdasarkan fakta dilapangan yang terjadi pada bengkel teknik adalah perlunya perbaikan teknologi untuk proses pembentukan frame/kerangka lengkung dengan menggunakan metode *roll bending process* untuk meningkatkan teknologi dalam proses pengerolan pipa. Sehingga hasil yang diharapkan adalah adanya peningkatan kualitas dan efisiensi proses produksi.

Adapun hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

- perbaikan teknologi dan peningkatan kecepatan dalam proses pengerolan pipa untuk pembentukan kerangka lengkung dan profil. Hal ini akan berdampak pada peningkatan produktivitas dan pengurangan ongkos produksi.
- peningkatan kualitas produk hasil proses pengerolan dan pengurangan terjadinya cacat produk.

KAJIAN PUSTAKA

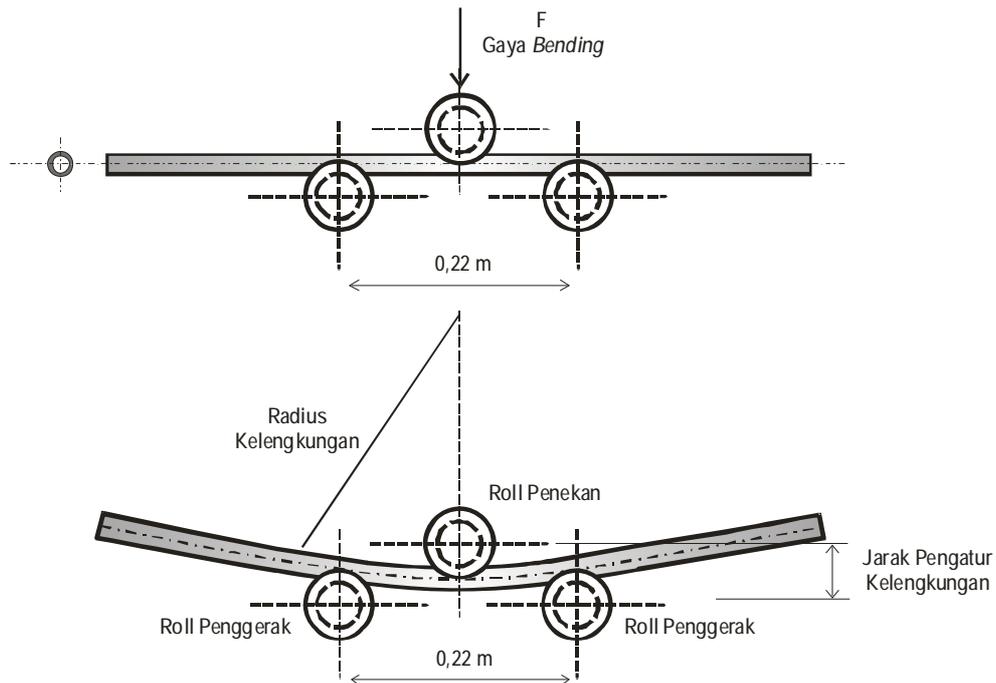
Mekanisme Proses Pengerolan Pipa

Proses pengerolan yang akan dilakukan disini termasuk dalam proses pembentukan logam yang lebih dikenal dengan proses *roll bending*. Tujuan dari proses ini adalah untuk membentuk kelengkungan dengan radius tertentu. Proses ini *roll bending* ini termasuk pengerjaan dingin karena tidak memerlukan pemanasan

selama proses pembentukan berlangsung. Untuk membentuk sampai diperoleh kelengkungan yang diinginkan diperlukan beberapa tahapan proses. Hal ini dilakukan untuk menghindari kegagalan atau cacat pada pipa.

Selain itu radius pembentukan yang diberikan harus lebih kecil dari radius yang direncanakan karena adanya efek *spring back* pada proses *bending*. *Spring back* adalah efek perlawanan yang diberikan oleh material pada saat menerima beban *bending* yang diberikan. Secara prinsip hal ini sama dengan efek yang ditimbulkan oleh pegas saat ditekan atau ditarik akan berusaha untuk kembali pada bentuk semula.

Prinsip dasar proses *roll bending* dapat dijelaskan dengan gambar 2 dibawah ini. Gaya pembentukan yang diberikan merupakan gaya *bending* (tekuk) sehingga pipa/besi profil yang dibentuk memiliki radius kelengkungan yang direncanakan. *Roll* penekan memberikan gaya *bending* pada pipa dan 2 *roll* penggerak sebagai tumpuan. Pengaturan radius kelengkungan dilakukan dengan merubah ketinggian *roll* penekan terhadap *roll* penggerak.



Gambar 2. Mekanisme Proses *Roll Bending*

Bentuk akhir yang dihasilkan setelah melalui proses *roll bending* dapat dilihat pada gambar 3 berikut :

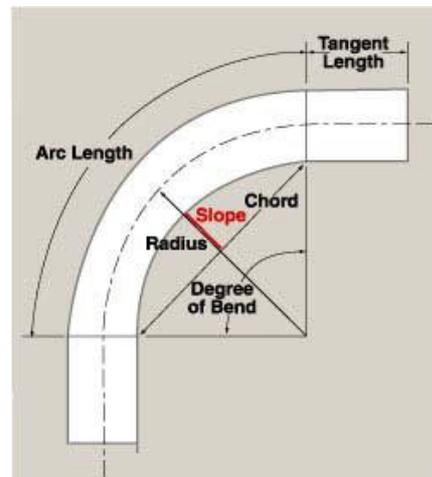


Gambar 3. Hasil Proses *Roll Bending* (Smith, 2002)

Parameter prinsip dasar (Smith, 2002) yang diperlukan dalam proses *roll bending* pipa agar diperoleh kelengkungan sesuai yang direncanakan, yaitu :

- § derajat *bending*
- § radius *bending section*
- § kelengkungan *bending section*

- § panjang busur
- § kemiringan *bending section*



Gambar 4. Parameter Dasar *Roll Bending*

Selain metode *roll bending*, terdapat beberapa metode yang digunakan dalam proses *bending* pada pipa antara lain :

- § *rotary draw bending*
- § *induction bending*
- § *increment bending*
- § *compression bending*

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses *bending* (Smith, 2002) antara lain :

§ Ketebalan plat

Proses *bending* akan mengakibatkan penarikan (*stretching*) pada sisi luar dan pengkerutan (*compressing*) pada sisi dalam diameter kelengkungan. Ketebalan plat akan berpengaruh pada radius *bending* dapat dibentuk dan kemampuan material untuk dapat mengalami peregangan (*stretchability*) tanpa terjadi distorsi.

§ Metode *bending*

Prosedur atau metode yang tepat proses *bending* yang dilakukan sangat berpengaruh pada kualitas produk yang dihasilkan.

§ Ukuran material

Material dengan ukuran besar apabila dilengkungkan dengan radius yang kecil akan mudah mengalami distorsi dibandingkan material dengan ukuran kecil dan radius *bending* yang besar.

§ Peralatan pendukung (*tooling*)

Peralatan yang digunakan meliputi cetakan, *clamp*, dan *mandrel*.

§ Pelumasan

Pelumasan diperlukan untuk mengurangi efek gesekan dan meningkatkan efisiensi proses pembentukan.

METODOLOGI

Konsep Desain

Sebagai tahap awal sebelum perencanaan alat adalah menentukan konsep desain dari mesin *roll* pipa. Konsep desain ini

berupa *lay out* dari alat untuk memberikan gambaran tentang mekanisme proses pengerolan dan proses perencanaan mesin. Adapun konsep desain dari mesin *roll* pipa tersebut dapat dilihat pada gambar 5.

Alat ini memiliki beberapa komponen utama, antara lain :

1. *Roll* pembentuk

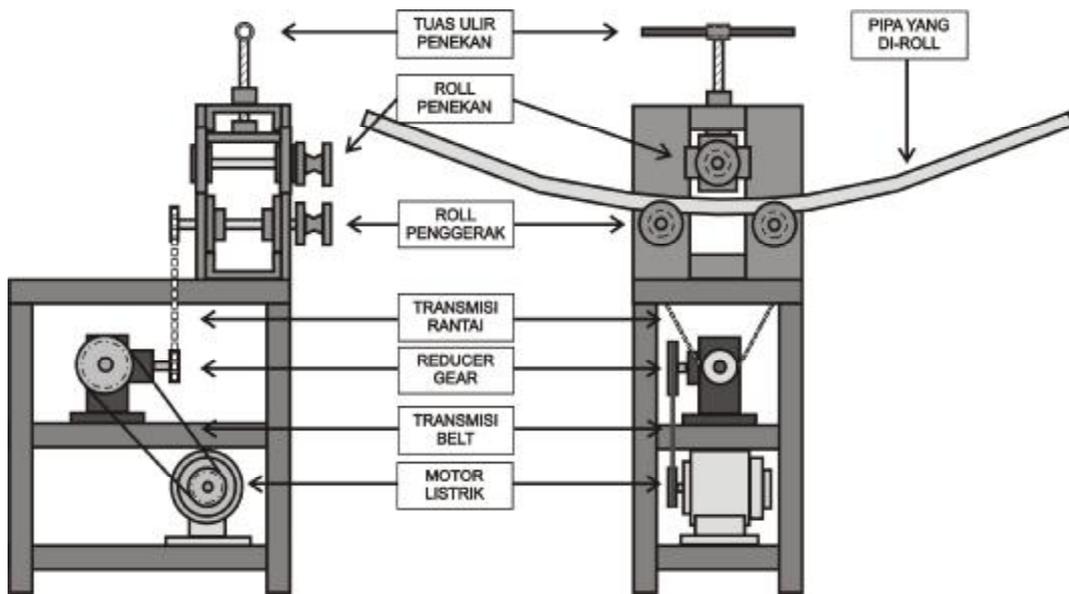
Roll pembentuk ini berupa *pulley* yang mempunyai alur sesuai dengan dimensi pipa yang akan diroll. Terdapat 3 buah *roll* yaitu *roll* penekan, dan 2 *roll* penggerak. *Roll* penekan dapat diatur naik turun untuk menyesuaikan dengan radius kelengkungan yang diinginkan.

2. Motor penggerak

Motor penggerak merupakan penggerak utama mesin pengerol pipa ini yang dilengkapi dengan *reducer gear* dan transmisi *belt* untuk mereduksi putaran awal motor karena putaran yang diinginkan untuk proses pengerolan ini adalah 20 rpm.

3. Transmisi rantai

Transmisi ini digunakan untuk menggerakkan *roll* penggerak I dan *roll* penggerak II yang dihubungkan dengan sproket yang digerakkan oleh poros keluaran *reducer gear*.



Gambar 5. *Lay out Mesin Roll Pipa* (Sufiyanto, 2011)

Cara kerja mesin pengerol pipa ini adalah sebagai berikut :

- a. Memasang *roll* pembentuk yang disesuaikan dengan ukuran/diameter pipa yang akan dirol.
- b. *Roll* penekan dinaikkan dengan cara memutar engkol/batang pengatur agar pipa dapat dipasang diantara rol pengarah.
- c. Pipa yang akan dirol diposisikan ditengah-tengah antara dua *roll* penggerak, kemudian *roll* penekan diturunkan untuk memberikan gaya penekanan pada pipa.
- d. Motor penggerak dihidupkan, melalui transmisi putaran dan daya diteruskan ke *roll* penggerak I dan *roll* penggerak II.
- e. Langkah diatas diulang setelah posisi *roll* penekan diturunkan sampai pada tahap dimana radius kelengkungan yang diinginkan tercapai.

PEMBAHASAN

Perencanaan Daya Mesin *Roll*

Material pipa yang akan dirol adalah jenis baja ST 37 dengan kekuatan tarik 37 kg/mm². Diameter pipa yang akan dirol berukuran 1 ¼ inch atau sekitar 35 mm dengan ketebalan pipa 1 mm. Dengan diketahuinya data material tersebut maka dapat ditentukan besarnya tegangan *bending* yang dibutuhkan untuk melakukan pengerolan pada pipa. Tegangan *bending* yang dibutuhkan dapat ditentukan dengan persamaan :

$$S_{bending} = 0,5 \times S_{tarik} \left(\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right) \quad (1)$$

Dengan persamaan tersebut diatas maka besarnya tegangan *bending* yang dibutuhkan adalah sebesar :

$$\begin{aligned} S_{bending} &= 0,5 \times 37 \left(\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right) \\ &= 0,5 \times 37 = 18,5 \left(\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

Untuk mencari besarnya gaya yang dibutuhkan untuk pengerolan pipa dengan tegangan *bending* sebesar 18,5 (kg/mm²), dapat menggunakan persamaan yang diturunkan dari persamaan tegangan *bending* yaitu :

$$S_{bending} = \frac{M \times c}{I} \quad (3)$$

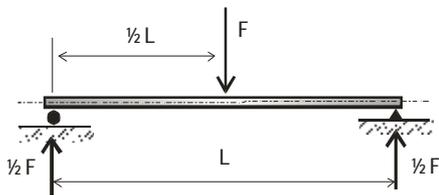
Dimana

M = momen *bending* (kg.mm)

c = jarak sumbu netral terhadap diameter terluar benda kerja = $\frac{1}{2}$. diameter pipa = $\frac{1}{2}$. 35 = 17,5 mm.

I = momen inersia penampang pipa (mm⁴)

Dalam penentuan momen *bending*, diperlukan pemodelan pada proses pengerolan pipa seperti gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Pemodelan Proses Pengerolan

F adalah gaya *bending* yang diperlukan untuk membentuk kelengkungan pada pipa pada saat proses pengerolan berlangsung. Berdasarkan pemodelan diatas maka besarnya momen *bending* yang terjadi adalah :

$$M = \frac{1}{2} . F \times \frac{1}{2} . L = \frac{1}{4} . F . L \quad (4)$$

Dimana L = jarak antar sumbu *roll* = 220 mm

Momen inersia penampang untuk pipa dengan diameter (d) 35 mm dan ketebalan pipa 1 mm, dapat diperoleh dengan persamaan :

$$I = \frac{p \cdot (d_{out}^4 - d_{in}^4)}{64} \quad (5)$$

$$= \frac{3,14 \cdot (35^4 - 33^4)}{64} = 15440,17 \text{ mm}^4$$

Dengan memasukkan persamaan (4) dan (5) ke dalam persamaan (3), maka akan diperoleh :

$$S_{bending} = \frac{\frac{1}{4} . F . L \times c}{I} \rightarrow$$

$$F = \frac{4 \times S_{bending} \times I}{L \times c} \quad (6)$$

$$= \frac{4 \times 18,5 \times 15440,17}{220 \times 17,5} = 296,77 \text{ kg}$$

Selanjutnya untuk mendapatkan daya mekanis motor yang dibutuhkan untuk menggerakkan mesin penggerol pipa tersebut diperlukan data putaran kerja, rasio putaran dan efisiensi transmisi yang digunakan pada mesin ini. Motor listrik yang digunakan adalah tipe motor AC 1 *phase* dengan putaran 1400 rpm. Transmisi yang digunakan menggunakan *reducer gear* dengan perbandingan putaran 60 : 1 kemudian dilanjutkan dengan transmisi *belt* dengan perbandingan putaran 1,16. Putaran akhir sampai pada *roll* untuk melakukan proses pengerolan adalah 20 rpm.

Daya mekanis motor dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{T \times n}{97,4 \cdot 10^4} \quad (7)$$

Torsi yang dibutuhkan pada mesin *roll* ini digunakan untuk memutar *roll* sehingga pipa yang diletakkan diantara *roll* penekan dan *roll* penggerak dapat berputar sehingga

proses pengerolan dapat terjadi. Dengan demikian maka prinsip yang digunakan adalah menggunakan gaya gesek yang terjadi antara permukaan *roll* dan pipa. Gaya gesek yang terjadi ditentukan oleh besarnya gaya penekanan yang diberikan untuk mengeroll pipa dan koefisien gesek antara *roll* dan pipa. Diasumsikan nilai koefisien gesek yang terjadi $m = 0,3$, sehingga besarnya gaya gesek yang terjadi adalah :

$$F_{friction} = m \times F = 0,3 \times 296,77 = 89 \text{ kg} \quad (8)$$

Besarnya torsi yang dibutuhkan ditentukan oleh gaya gesek dan diameter *roll* ($d_{roll} = 60 \text{ mm}$), sehingga didapatkan persamaan :

$$T = F_{frictio} \times d_{roll} = 89 \times 60 = 5340 \text{ kg.mm} \quad (9)$$

Dengan memasukkan data putaran *roll* dan torsi yang dibutuhkan ke dalam persamaan (7) maka akan diperoleh besarnya daya mekanis motor, yaitu :

$$P = \frac{5340 \times 20}{97,4 \cdot 10^4} = 0,11 \text{ kW} \quad (10)$$

Daya motor listrik yang dibutuhkan diperoleh dengan mempertimbangkan efisiensi mekanis yang dihasilkan oleh transmisi yang digunakan. Efisiensi mekanis dengan menggunakan transmisi *reducer gear* ($h_{reducer} = 0,9$) dan rantai ($h_{rantai} = 0,9$) didapatkan dengan persamaan :

$$h = h_{reducer} \times h_{belt} = 0,9 \times 0,9 = 0,8 \quad (11)$$

Dengan demikian maka daya motor listrik yang dibutuhkan menjadi :

$$P_{motor} = \frac{P}{h} = \frac{0,11}{0,8} = 0,14 \text{ kW} \quad (12)$$

Perencanaan Poros Ulir

Pada perencanaan poros ulir, diperlukan data-data yang digunakan untuk merencanakannya yaitu :

- Diameter poros ulir yang direncanakan (d) = 2,5 cm = 0,025 m sehingga jari-jari poros ulir $r = 0,0125 \text{ m}$.
- Jarak bagi ulir (*pitch*) = 2 cm = 0,02 m (untuk ulir tunggal $L = \textit{pitch}$)

Dengan data tersebut dapat diperoleh sudut kemiringan ulir dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} a &= \textit{arctg} \left(\frac{L}{p \cdot d} \right) \\ &= \textit{arctg} \left(\frac{2}{p \cdot 2,5} \right) = 14,29^\circ \end{aligned} \quad (13)$$

Persamaan yang digunakan dalam perencanaan poros ulir adalah :

$$M = W \cdot r \cdot \textit{tg} (a + f) \quad (14)$$

dengan

M = momen yang diperlukan untuk mengangkat beban

W = beban ulir yang harus diangkat

a = sudut ulir

f = dipengaruhi oleh koefisien gesek

Jika koefisien gesek antara poros ulir dan rumah ulir saat poros ulir berputar diasumsikan $m = 0,3$, maka nilai f ditentukan dengan persamaan :

$$f = \textit{arctg} m = \textit{arctg} 0,3 = 16,7^\circ \quad (15)$$

Beban yang bekerja pada ulir W merupakan beban tekan bending yang digunakan untuk melengkungkan pipa yaitu sebesar $F = 296,77 \text{ kg}$. Besarnya momen yang diperlukan untuk memutar poros ulir dengan

beban ulir $W = 296,77$ kg tersebut diperoleh dengan persamaan 14, yaitu sebesar :

$$M = 296,77 * 0,0125 * \text{tg}(14,29 + 16,7) \\ = 2,23 \text{ kg.m} \quad (16)$$

Apabila diameter roda pemutar yang digunakan pada poros ulir $d = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$ dan gaya yang dikeluarkan oleh operator untuk memutar roda pemutar tersebut diasumsikan $F = 5 \text{ kg}$, maka besarnya kopel yang dihasilkan adalah :

$$\text{Kopel} = F * d = 5 \text{ kg} * 0,5 \text{ m} = 2,5 \text{ kg.m}$$

Jadi kopel yang disediakan untuk memutar roda pemutar dari persamaan 17 lebih besar dari momen yang dibutuhkan untuk memutar poros ulir pada persamaan 16, sehingga kopel yang diberikan mampu untuk memutar poros ulir untuk menghasilkan gaya ulir sebesar $W = 296,77 \text{ kg}$.

▪ Analisis Proses

Untuk mengetahui kinerja atau performance dari mesin *roll* pipa yang telah dirancang apakah sudah sesuai dengan hasil yang diharapkan atau tidak, maka perlu dilakukan analisa terhadap proses pengerolan pipa dengan menggunakan mesin tersebut. Hasil yang diharapkan dari proses pengerolan adalah untuk memperbaiki kendala atau hambatan yang selama ini terjadi pada proses pembengkokan pipa secara manual. Pada proses manual mengalami cacat pengkerutan pada bagian tengah sisi dalam pipa setelah pipa membentuk kelengkungan. Hal ini disebabkan adanya deformasi (pemendekan sisi dalam) yang tidak merata dan hanya terjadi pada bagian tengah sepanjang pipa yang dilengkungkan. Selain itu pada proses

manual dibutuhkan dua orang untuk melengkungkan pipa dan ketelitian radius kelengkungan kurang seragam karena proses pelengkungan hanya dilakukan berdasarkan perkiraan.

Dengan menggunakan mesin *roll* pipa, secara analisis dapat diketahui bahwa pipa hasil proses pengerolan dapat dicapai bentuk kelengkungan tanpa terjadi cacat pengkerutan seperti hasil pengerolan yang diperlihatkan pada gambar 3 (Smith, 2002)¹⁷ Hal ini disebabkan oleh deformasi (pemendekan) pipa pada sisi dalam terjadi secara merata sepanjang pipa pada saat pipa mengalami pelengkungan. Selain itu proses pelengkungan ini harus melalui beberapa kali tahapan yang berfungsi memberikan kesempatan penyesuaian pada bagian sisi dalam pipa mengalami pemendekan. Dengan jumlah tahapan yang sama memungkinkan pipa hasil proses pelengkungan mempunyai radius kelengkungan yang sama sehingga toleransi radius kelengkungan lebih seragam. Keuntungan yang lain adalah mesin *roll* pipa hanya membutuhkan 1 orang operator saja sehingga dapat mengurangi jumlah tenaga kerja yang diperlukan dan proses lebih cepat dan praktis.

Tahapan Proses

Jumlah tahapan proses pengerollan ditentukan oleh radius kelengkungan pipa yang akan dibentuk, semakin kecil radius kelengkungan yang dicapai maka jumlah tahapan proses pengerollannya juga bertambah. Hal tersebut akan berdampak pada lama waktu proses yang dibutuhkan

untuk proses pengerollan tersebut. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan untuk melakukan proses pengerollan pipa dengan diameter pipa (d) 35 mm membentuk busur $\frac{1}{2}$ lingkaran dengan radius luar kelengkungan 325 mm diperlukan 8 jumlah tahapan proses dengan lama waktu proses 8 menit. Sehingga untuk 1 tahapan proses diperlukan waktu 1 menit yang terdiri 0,75 menit untuk waktu pengerollan dan 0,25 menit proses memutar poros ulir untuk memberikan gaya tekan *bending* pada pipa.

SIMPULAN

Dalam proses pembuatan *frame* lengkung dilakukan dengan menggunakan metode *roll bending* yang merupakan proses pengerjaan dingin. Penentuan besarnya gaya *bending* yang diperlukan tergantung pada besarnya tegangan bending dari material pipa yang akan dibentuk dan jarak tumpuan antar *roll*. Gaya *bending* yang dibutuhkan dalam proses pengerolan juga harus mempertimbangkan efek *spring back* setelah proses pengerolan terjadi agar radius kelengkungan yang diinginkan dapat tercapai.

Proses *roll bending* tersebut memerlukan beberapa kali tahapan proses untuk memberikan kesempatan pada pipa mengalami deformasi pemendekan pada sisi dalam kelengkungan untuk menghindari terjadinya pengkerutan dan cacat tekuk. Pada proses *roll bending* dapat diperoleh keseragaman kelengkungan pipa dengan mengatur tahapan proses pengerolan yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Aaron D. Deutsman, Walter J. Michels and Charles E. Wilson, 1975, *Machine and Design, Theory and Practice*, Maemilan Publishey. Co. Inc. New York.
- Aapold, Felier, Reinhard, Schmidt, 1982, *Tehnology of The Metal Trade*, Deutsche Gesellschaft-fur Technische Zuz sammennarbeit (GTZ) Gmbh, Federal Republic of Germany.
- Niemen G, 1982, **Elemen Mesin**, edisi ke II, Erlangga, Jakarta.
- Sufiyanto, 2011, **Peningkatan Kualitas Pengerolan Pipa Untuk Pembuatan Frame Lengkung Dengan Roll Bending Process**, Jurusan Mesin – Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang
- Sularso, 1987, **Dasar Perencanaan Mesin dan Pemilihan Elemen Mesin**, cetakan ke enam, Pradnya Paramitha, Jakarta.
- Smith, Bill and Mark King, 2002, *Bending Square and Rectangular Tubing*, The Tube & Pipe Journal.
- Takeshi Sato, 1987, **Menggambar Mesin**, cetakan ke delapan, Pradnya Paramitha, Jakarta.
- www.hinesbending.com, *Basic Tube Bending Guide*, September 29th, 2010

