

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diberikan pemaparan terkait hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan oleh peneliti saat melakukan pengujian dari hasil fabrikasi alat proyek akhir.

4.1 Hasil Perancangan Mesin Bending Pipa

Berikut merupakan hasil dari proses rancang bangun yang telah dilakukan. Gambar 4.1 menunjukkan tampilan akhir dari mesin bending pipa yang telah berhasil di fabrikasi.



Gambar 4. 1 Hasil Mesin Bending Pipa

Tabel 4 1 Keterangan Mesin Bending Pipa

No.	Keterangan
1	Roller penampang pipa
2	Tuas ulir penekan roller
3	Adjustment
4	Tensioner

Mesin ini dirancang untuk melengkungkan pipa secara otomatis dan efisien. Adapun spesifikasi mesin bending pipa yang dihasilkan adalah sebagai berikut.

4.1.1 Cara Kerja Mesin

Cara kerja mesin bending pipa dengan sistem adjustable roller diawali dengan menghubungkan sumber listrik mesin ke stop kontak, kemudian memutar sakelar utama ke posisi *ON* sehingga sistem kelistrikan mesin aktif dan motor penggerak siap dioperasikan. Setelah mesin menyala, operator memastikan seluruh komponen seperti roller atas dan roller bawah berada dalam kondisi awal yang sejajar dan bebas dari hambatan. Selanjutnya dilakukan pengaturan jarak antar roller bawah sesuai dengan panjang pipa dan radius pembengkokan yang diinginkan, dengan memutar mekanisme penyetel jarak roller secara manual atau menggunakan sistem ulir yang tersedia pada rangka mesin.

Setelah jarak roller bawah ditentukan, langkah berikutnya adalah mengatur posisi vertikal roller atas (adjustable roller) dengan menaikkan atau menurunkannya menggunakan tuas penyetel. Pengaturan ini bertujuan untuk menentukan besar gaya tekan yang bekerja pada pipa sehingga menghasilkan radius kelengkungan sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Pada tahap ini, posisi roller atas harus disesuaikan secara bertahap untuk menghindari deformasi berlebihan atau kerusakan pada pipa.

Setelah pengaturan roller selesai, pipa dimasukkan secara horizontal di antara roller bawah dan roller atas, dengan posisi pipa sejajar terhadap sumbu putaran roller. Operator kemudian memastikan bahwa pipa berada pada posisi yang stabil dan lurus agar proses bending dapat berlangsung secara merata. Selanjutnya motor penggerak diaktifkan sehingga roller bawah mulai berputar dan menarik pipa secara perlahan melewati sistem roller.

Pada saat pipa bergerak, roller atas memberikan gaya tekan ke arah bawah yang menyebabkan pipa mengalami deformasi plastis dan membentuk lengkungan. Proses ini berlangsung secara kontinu hingga pipa mencapai sudut atau radius kelengkungan yang diinginkan. Apabila radius yang dihasilkan belum sesuai, operator dapat menghentikan sementara putaran mesin dan melakukan penyesuaian ulang pada ketinggian roller atas dengan menurunkannya sedikit demi sedikit, kemudian melanjutkan kembali proses pembengkokan.

Selama proses bending berlangsung, operator perlu memperhatikan keseragaman kelengkungan pipa serta memastikan tidak terjadi cacat seperti ovalisasi atau kerutan pada permukaan pipa. Penyesuaian posisi roller dapat dilakukan beberapa kali hingga diperoleh hasil pembengkokan yang optimal. Setelah pipa mencapai bentuk yang diinginkan, mesin dihentikan dan pipa dikeluarkan dari sistem roller dengan hati-hati.

Langkah terakhir adalah memeriksa hasil bending pipa dengan mengukur radius kelengkungan dan kesesuaian dimensi terhadap spesifikasi yang telah ditentukan. Apabila hasil telah memenuhi kriteria, mesin dapat dimatikan dengan memutar sakelar ke posisi OFF dan sumber listrik dilepaskan. Dengan sistem adjustable roller, mesin bending pipa

ini memungkinkan pengaturan radius yang fleksibel serta menghasilkan pembengkokan pipa yang lebih presisi dan efisien.

4.2 Pengujian

Pengujian dilakukan di kampus Sekolah Vokasi, Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik, Universitas Diponegoro. Pengujian dilakukan dengan mengerol pipa secara langsung menggunakan mesin bending pipa. Tujuan dilakukan pengujian ini yaitu untuk mengetahui kemampuan mesin bending pipa dalam mencapai target radius kelengkungan pipa sebesar 550 mm, sembari memastikan kualitas dan konsistensi produk.

4.2.1 Prosedur Pengujian

Pengujian mesin bending pipa mengikuti prosedur pengujian. Adapun prosedur pengujian mesin bending pipa adalah sebagai berikut :

- a. Mesin bending pipa yang telah didesain dan dibuat, selanjutnya akan dipersiapkan untuk diuji apakah berhasil atau tidaknya. Lakukan pemeriksaan kembali mesin secara menyeluruh sebelum menguji dengan bahan.
- b. Mempersiapkan bahan uji pipa galvanis. Pipa yang akan diuji dipersiapkan dengan cara dipotong terlebih dahulu sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan kemudian setting penkan roller untuk mengatur kedalam.
- c. Selama mesin beroperasi, hitung jarak pengerolan pipa antara roller. Pastikan pipa yang di roll memiliki ukuran sesuai dari target pengujian.
- d. Catat berapa hasil diameter kelengkungan yang dihasilkan oleh pipa yang dibending

- e. Pada tahapan uji coba ini, dengan melakukan uji coba terhadap hasil kelengkungan diameter pipa parameter yang paling penting untuk menghasilkan kelengkungan kedelaman jarak antar roller

4.2.2 Alat dan Bahan Pengujian

Sebelum melaksanakan proses pengujian, penting untuk memastikan alat dan bahan uji sudah siap digunakan. Adapun alat dan bahan uji adalah sebagai berikut.

Tabel 4 2 Alat dan Bahan Pengujian

No.	Alat dan Bahan	Gambar	Fungsi Kegunaan
1.	Pipa Galavnis 1 inch		Pipa sebagai objek pengujian alat
	Gerinda		Gerinda fungsinya untuk memotong panjang pipa yang dibutuhkan
5.	Stopwatch		Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan dalam pengujian

5. Meteran


Meteran digunakan untuk mengukur panjang ukuran yang ditentukan

4.3 Data Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan dengan memantau proses pengerolan pipa secara sistematis per interval waktu. Variabel uji nya berupa hasil radius kelengkungan pipa untuk menghitung hasil jarak vertikal roller. Pengujiannya di lakukan sesuai dengan masing-masing ukuran pipa 1 inci dicatat hasil radius kelengkungan pipa, panjang pipa, ketebalan pipa, waktu proses pengerolan, dan jari-jari roller yang digunakan, dihitung secara rumus untuk mendapatkan data nya. Berikut adalah hasil data pengujian yang diperoleh.

Tabel 4 3 Data Aktual Hasil Pengujian

No	Panjang Pipa	Diameter Luar Pipa	Variasi Adjustment	Radius kelengkungan Pipa (R)
1.	3000 mm	25,4 mm	150 mm	400 mm
2.	2800 mm	25,4 mm	180 mm	375 mm
3.	2500 mm	25,4 mm	200 mm	325 mm
4.	2000 mm	25,4 mm	150 mm	275 mm
5.	1800 mm	25,4 mm	160 mm	215 mm

Seluruh data hasil pengukuran tersebut diolah dan dihitung menggunakan rumus yang relevan untuk mendapatkan data akhir yang akurat. Hasil visual dari produk yang diuji menunjukkan variasi bentuk kelengkungan, mulai dari lengkungan penuh (lingkaran) hingga lengkungan sebagian.



Gambar 4 2 Hasil Pengujian Pipa 1 Inchi

1. Langkah Perhitungan

Untuk setiap variasi jarak antar roller dan panjang pipa, perhitungan dilakukan secara sistematis menggunakan persamaan yang telah ditentukan. Pada pembahasan ini digunakan salah satu hasil radius kelengkungan pipa sebesar 275 mm sebagai dasar analisis. Tahap pertama perhitungan adalah menentukan bend allowance, yang digunakan untuk mengetahui panjang efektif pipa yang mengalami deformasi selama proses pembendungan. Tahap kedua yaitu menghitung jarak vertikal roller, yang berpengaruh langsung terhadap besarnya gaya pembendungan serta pembentukan kelengkungan pipa. Tahap ketiga adalah menentukan radius kelengkungan pipa, yang digunakan sebagai parameter evaluasi kesesuaian hasil pembendungan terhadap spesifikasi desain, untuk perhitungan di bawah ini :

a. Bend Allowence

$$BA = 2\pi \frac{A}{360} (R + K_{ba}t)$$

Dimana :

R = Radius Bending = 275 mm

BA = Panjang Pipa

A = Sudut yang diinginkan (derajat)

t = tebal pipa = $1.4 \times (2) = 2,8 \text{ mm}$

Ka = Konstanta material yang menentukan letal garis netral saat ditekuk

$$BA = 2\pi \frac{A}{360} (R + K_{ba}t)$$

$$BA = 2\pi \frac{360}{360} (275 + 0,5 \times 1.4 \times (2))$$

$$BA = 1736,672 \text{ mm}$$

b. Mencari Jarak H

$$H = \sqrt{(R + L + r)^2 - (a/2)^2} \quad 3.5$$

H = Pelengkungan Diameter Pipa

R = Radius Kelengkungan Pipa

L = Ukuran Diameter Pipa

r = Jari-jari Roller

a = Jarak Penampang Roller

$$H = \sqrt{(R + L + r)^2 - (a/2)^2}$$

$$H = \sqrt{(275 + 2,8 + 30)^2 - (150/2)^2}$$

$$H = 298,5 \text{ mm}$$

c. Mencari jarak vertikal (b)

$$b = H - (R - r_0)$$

b = Jarak Vertikal Roller

H = Jarak Penekanan

R = Radius Kelengkungan Pipa

r = Jari-jari Roller

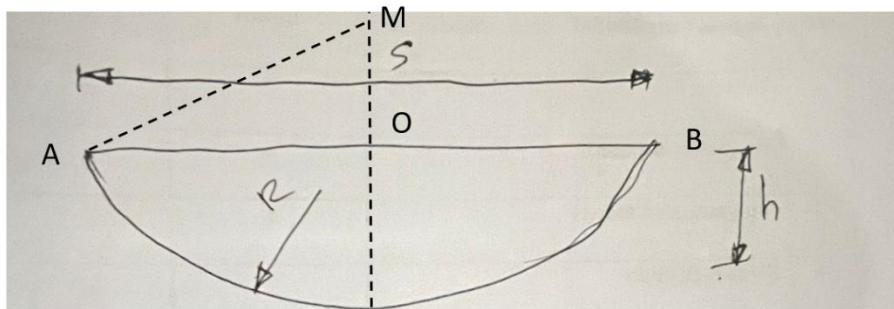
$$b = H - (R - r_0)$$

$$b = 298,5 - (275 - 30)$$

$$b = 53,5 \text{ mm}$$

Maka diperoleh data untuk menentukan jarak vertikal roller dan kedalaman penekanan dari contoh hasil perhitungan diatas.

2. Perhitungan Radius Pipa



Perhitungan ini diperoleh untuk mencari Radius yang dihasilkan dalam membengkokkan sebuah pipa, dari gambar tersebut bisa kita menggunakan rumus theorema phytagoras yang dimana :

Persamaan Matematis Radius Kelengkungan, Diasumsikan kelengkungan pipa membentuk busur lingkaran.

Diketahui :

Geometri dasar:

Ambil titik pusat lingkaran O. Tarik garis dari O ke :

- Titik tengah tali busur M
- Ujung tali busur A

Maka terbentuk segitiga siku-siku OMA dengan :

- $OM = R - h$
- $MA = \frac{S}{2}$
- $OA = R$

Persamaan Pythagoras :

$$OA^2 = OM^2 + MA^2$$

Substitusi :

$$R^2 = (R - h)^2 + \left(\frac{S}{2}\right)^2$$

$$R^2 = R^2 - 2Rh + h^2 + \left(\frac{S}{2}\right)^2$$

$$2Rh = \left(\frac{S}{2}\right)^2 + h^2$$

$$R = \frac{\left(\frac{S}{2}\right)^2 + h^2}{2h}$$

Maka untuk mencari R didapatkan :

$$R = \frac{s^2}{8h} + \frac{h}{2}$$

s = Panjang Tali Busur

h = Tinggi Kelengkungan

R = Radius Lingkaran

$$R = \frac{s^2}{8h} + \frac{h}{2}$$

s = Panjang Tali Busur

h = Tinggi

R = Radius Lingkaran

$$R = \frac{s^2}{8h} + \frac{h}{2}$$

$$R = \frac{1120^2}{8(500)} + \frac{500}{2}$$

$$R = 563,6 \text{ mm}$$

4.4 Analisis Pengujian Aktual Pipa 1 Inch

Setelah melakukan proses perhitungan, hasil radius kelengkungan pipa mengacu pada variasi adjustment dan jarak Vertikal Roller untuk setiap variasi pengujian dirangkum dalam tabel dibawah ini.

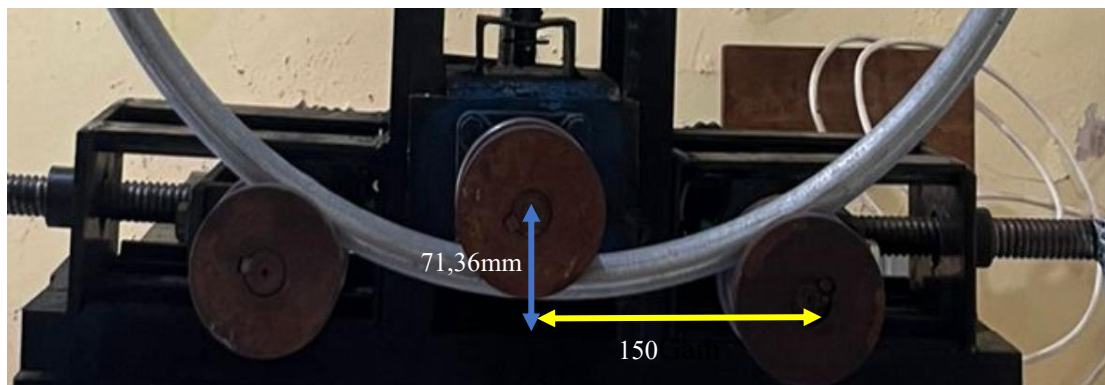
Tabel 4. 4 Data Hasil Aktual Pengujian 1 Inci

No	Panjang Pipa	Jarak Roller (a)	Jarak vertikal Roller (b)	Radius kelengkungan Pipa (R)
1.	3000 mm	250	62,49	400 mm
2.		240	63,28	
3.		230	65,22	
4.		220	66,50	
5.		210	67,71	
6.		200	68,87	
7.		190	69,97	
8.		180	71,01	
9.		170	71,98	
10.		160	72,91	
11.		150	73,77	
1.	2800 mm	250	61,43	375 mm
2.		240	62,91	
3.		230	64,33	
4.		220	65,69	

Lanjutam

5.		210	66,98	
6.		200	68,21	
7.		190	69,37	
8.		180	70,47	375 mm
9.		170	71,51	
10.		160	72,49	
11.		150	73,40	
1.		250	58,85	
2.		240	60,55	
3.		230	62,18	
4.		220	63,73	
5.	2500 mm	210	65,20	325 mm
6.		200	66,60	
7.		190	67,93	
8.		180	69,18	
9.		170	70,37	
10.		160	71,48	
11.		150	72,52	
1.		250	55,40	
2.		240	57,40	
3.		230	59,31	
4.		220	61,12	
5.	2000 mm	210	62,84	275 mm
6.		200	64,48	
7.		190	66,03	
8.		180	67,49	
9.		170	68,86	
10.		160	70,15	
11.		150	71,36	
1.		250	44,94	
2.		240	47,43	
3.		230	49,79	
4.		220	52,04	
5.	1800 mm	210	54,16	255 mm
6.		200	56,17	
7.		190	58,06	
8.		180	59,85	
9.		170	61,53	
10.		160	63,10	
11.		150	64,57	

Berdasarkan hasil pengujian pada pipa berdiameter 1 inci dengan panjang 2000 mm, diperoleh bahwa variasi adjustment sebesar 150 mm menghasilkan radius kelengkungan sekitar 275 mm. Data tersebut mengkonfirmasi bahwa variasi adjustment berpengaruh terhadap dengan Vertikal Roller. Dimana pada jarak penekanan tercatat pada posisi 71,36 mm



Gambar 4. 3 Hasil Jarak Vertikal Roller dan Jarak Adjustment

- = Jarak Vertikal Roller (b)
- = *Adjustment* Roller (a)

Beberapa hasil pengujian diantaranya dari pipa yang paling panjang 3000 mm dengan variasi adjustment di paling kecil 150 mm berada pada posisi 73,77 mm, 2800 mm, diperoleh bahwa variasi adjustment sebesar 200 mm berada di posisi 68,21 mm, 1800 mm, diperoleh bahwa variasi adjustment sebesar 160 mm menghasilkan radius kelengkungan sekitar 63,10 mm

Maka di simpulkan Pada tiap-tiap panjang pipa yang dibending akan menghasilkan puncak (titik balik) radius kelengkungan pipa yang berbeda beda pula. semakin pendek pipa yang dibending, semakin tajam (kecil) radius kelengkungan optimal yang dapat dihasilkan. Dengan Demikian, variasi adjustment juga berpengaruh terhadap

besar atau kecilnya jarak vertikal roller. Semakin jauh jarak penekanan roller terhadap pipa, gaya tekan vertikal yang diberikan menjadi semakin besar. Hal yang sama berlaku ketika variasi adjustment berada pada posisi minimum: jarak vertikal roller menjadi semakin dekat, sehingga gaya penekanan yang diterapkan pada pipa meningkat dan kelengkungan yang dihasilkan pun lebih tajam.

4.5 Panduan Kelengkungan Mesin Bending Pipa

Panjang Pipa 1500 - 6000 MM												
Radius Kelengkungan (r)	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
OD (mm)	Variasi Adjustment (mm)	Jarak Vertikal Roller										
30 mm	250	26,39460278	28,15100288	29,73356594	31,16842345	32,47647309	33,67467355	34,77696274	35,79492381	36,73827788	37,61525499	38,43287762
	240	29,48894706	31,07306792	32,50357301	33,80299399	34,98946916	36,07780068	37,08021267	38,00690639	38,86647434	39,66621431	40,41237089
	230	32,41254902	33,83835016	35,12849664	36,30243333	37,37590829	38,36183929	39,27094162	40,11219181	40,89317627	41,6203574	42,29927954
	220	35,17270774	36,45285861	37,61335637	38,67098693	39,63941996	40,52992151	41,35187488	42,11316878	42,82049109	43,4795545	44,09527217
	210	37,77593701	38,92199524	39,96269263	40,91251524	41,78331954	42,5849196	43,32552021	44,012042	44,65036908	45,24554051	45,80189993
	200	40,22806663	41,25062712	42,18061935	43,03033306	43,81063807	44,52946906	45,19418599	45,81084654	46,38461499	46,91992441	47,42060425
	180	44,69941779	45,50352547	46,23683032	46,90856607	47,526387	48,09669897	48,62490915	49,11561701	49,57276245	49,99974194	50,39950062
	170	46,72757093	47,43535345	48,08158266	48,67416432	49,21967518	49,72363634	50,19072076	50,6249129	51,02963309	51,40783548	51,76208602
	160	48,62259719	49,24188099	49,80792314	50,32746553	50,8061349	51,2486682	51,65908471	52,04081906	52,39882538	52,72965961	53,04154532
150	50,3879307	50,92604877	51,41839201	51,8706811	52,28770463	52,6735044	53,03151768	53,36468772	53,67555055	53,96630392	54,23886257	