

Optimasi Metode Pemanasan Karburasi Terhadap Kualitas Bending Ubend Pipa Cu DHP-R250 Pada Sistem Pendingin

Rio Ardiansyah¹⁾, Dr. Ir. Edi Widodo. ST., MT^{*,2)}.

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: rioardiansyah780@gmail.com

Abstract. Manufacturing companies engaged in heat exchangers are very important for national and international food security. In order to support the manufacturing process in the company in the manufacture of refrigeration unit components, especially in the manufacture of Ubend, this research is intended for the continuity of the manufacturing process in the process of making Ubend in a refrigeration unit due to the obstruction of the bending process in the manufacture of Ubend. The theory used uses literature studies with the taguchi method, while data collection uses documentation and descriptive analysis. This research is a qualitative study by conducting several experiments from one type of specimen by looking at and analyzing the potential results and defect factors that occur. The results obtained in this study by using the taguchi method using 4 temperature parameters for heating and 2 experimental parameters for bending, namely bending speed and holding time to reach a radius of 90 °. Then the best temperature in the 200 ° C-600 ° C range is 480 ° C because there are no defects that occur such as ruptures or wrinkles. And the best speed during the bending process is 4.6 seconds / bending, for holding time at 5 seconds to avoid springback and wrinkles from the material in order to achieve a perfect 90 ° radius. In this study also added forming gas during the heating process so that the surface of the specimen is not oxidized.

Keywords – Manufacturing Process; Cooling System; Heating; Bending.

Abstrak. Perusahaan manufaktur yang bergerak dibidang heat exchanger sangat penting untuk ketahanan pangan nasional maupun internasional. Guna mendukung proses manufaktur di perusahaan tersebut dalam pembuatan komponen unit pendingin terutama dalam pembuatan Ubend, penelitian ini ditujukan untuk kelangsungan proses manufaktur dalam proses pembuatan Ubend disuatu unit pendingin dikarenakan terhambatnya proses bending dalam pembuatan Ubend. Teori yang digunakan menggunakan studi literatur dengan metode taguchi, sedangkan pengumpulan data menggunakan dokumentasi dan analisis deskriptif. Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif dengan melakukan beberapa eksperimen dari satu macam spesimen dengan melihat dan menganalisis potensi hasil dan faktor cacat yang terjadi. Hasil yang didapat pada penelitian ini dengan menggunakan metode taguchi menggunakan 4 parameter suhu untuk pemanasan dan 2 parameter eksperimen untuk pembengkokan yaitu kecepatan bending dan holding time untuk mencapai radius 90°. Maka suhu terbaik dalam rentan 200°C-600°C yaitu 480°C dikarenakan tidak ada cacat yang terjadi seperti pecah maupun kerutan. Dan kecepatan terbaik saat proses bending 4.6 detik/bending, untuk holding time di 5 detik untuk menghindari springback dan kerutan dari material agar mencapai radius 90° dengan sempurna. Pada penelitian ini juga ditambahkan gas forming saat proses pemanasan agar permukaan spesimen tidak teroksidasi.

Kata Kunci – Proses Manufaktur; Sistem Pendingin; Pemanasan; Bending.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara terbesar di dunia yang memiliki beribu ribu pulau yang jumlahnya sekitar 17.508 pulau. Indonesia memiliki iklim tropis, perairan yang hangat dan merata membentuk 81% wilayah Indonesia menyebabkan suhu dilaut indonesia selalu hangat antara 28 -29 derajat celcius. Maka dari itu sangat melimpah sumber daya laut yang dimiliki Indonesia, maka dari itu proses pengiriman ikan yang terlalu lama akan mengurangi kualitas dan kesegaran ikan.

Daging ikan harus ditangani dengan benar untuk mencegah terjadinya pembusukan pada ikan. Oleh karena itu cold storage sangat diperlukan dengan tingkat suhu pendinginan sesuai standart penyimpanan untuk menjaga kesegaran ikan dalam proses pengiriman di pulau-pulau yang ada di seluruh Indonesia. Pada metode ini menggunakan freezer atau ruangan pembeku untuk mencegah bakteri pembusuk berkembang[1].

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

PT. X merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang *heat exchanger* yang memproduksi produk pendingin seperti kondensor dan evaporator. Selama 90 tahun dalam pengembangan teknologi pertukaran panas, PT. X sudah mengembangkan pasar industrinya keseluruh belahan dunia. Dan sekarang PT. X sudah mempunyai pabrik pembuat sistem pendingin yang berada di benua Eropa, Asia dan Amerika untuk memnuhi kebutuhan pasar dunia[2].

Maka dari itu perusahaan ini sangat konsen di ketahanan pangan untuk menjaga kesegaran pangan di seluruh dunia termasuk Indonesia dikarenakan PT. X juga mendirikan pabrik yang memproduksi unit penukar panas atau pendingin yang berada di Jawa Timur tepatnya di desa Wonokoyo, Kecamatan Beji, Kabupaten Pasuruan.

Dalam dunia pemanasan dan pendinginan, dua komponen penting yang berperan dalam perpindahan panas: evaporator dan kondensor. Keduanya bekerja sama untuk memastikan sistem pendingin seperti AC dan lemari es bekerja secara efisien. Artikel ini membahas fungsi kedua komponen tersebut dan perannya dalam menjaga suhu yang diinginkan.

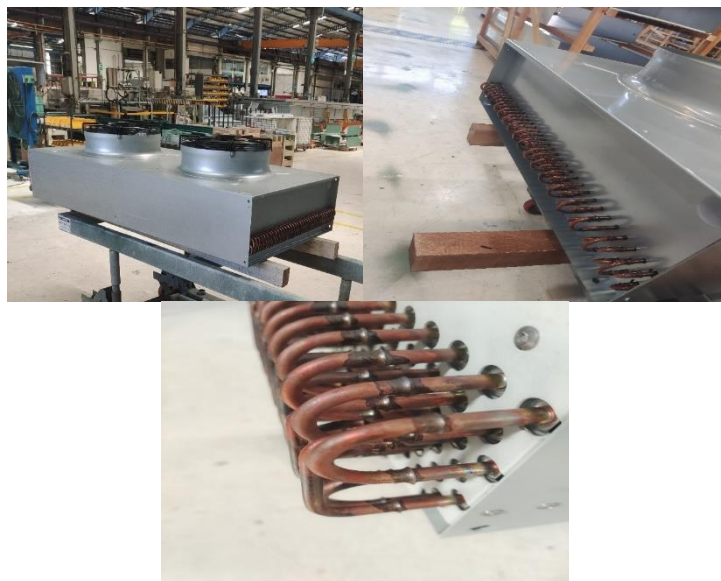
Evaporator dan kondensor juga memiliki komponen komponen diantaranya fin, hairpin, strinblech maupun ubend[3]. Pada penelitian ini membahas tentang ubend dan permasalahannya saat melakukan pembengkokan di PT. X dan penilitian ini terinspirasi dari jurnal yang sudah ada. Ubend berfungsi sebagai arah menentukan sambungan hairpin untuk sirkulasi di unit pendingin. Dalam proses pembuatan ubend di perusahaan manufaktur biasanya menggunakan mesin *CNC Bending tube*.

Ubend, atau lebih dikenal dengan istilah Ubend, adalah bagian dari sistem pipa yang membentuk sudut U. Bagian ini biasanya terbuat dari bahan logam seperti tembaga atau baja dan berfungsi sebagai penghubung antar komponen dalam sistem pendinginan. Ubend memiliki bentuk yang khas dan seringkali terlihat di dalam sistem perpipa unit pendingin[4].

Dan berikut pengaplikasiannya :



Gambar 1. 1 Ubend



Gambar 1. 2 Pengaplikasian Ubend di koil kondensor

Maka dari itu permasalahan yang di alami di perusahaan saat proses manufaktur pembuatan ubend yaitu tidak dapatnya suatu mesin CNC bending melakukan proses bending menggunakan material Cu DHP-R 250 yang sebelumnya menggunakan material Cu DHP-R220 untuk pipa diameter 16mm yang notabene material lunak dan mesin atau matras yang digunakan berskala kecil. Alasan perusahaan X menggunakan material Cu DHP-R250 karena efisiensi anggaran karena material dengan diameter >16 menggunakan Cu DHP-R 250. Akibatnya saat proses bending menimbulkan cacat seperti penyok, pecah, garitan sehingga ukuran tidak sesuai yang diinginkan.

Sebagai upaya untuk menanggulangi permasalahan diperusahaan X penilitian ini ditujukan agar proses manufaktur di perusahaan X terus berjalan dengan lancar, dilain sisi penelitian ini sebagai inovasi dari proses manufaktur yang berguna untuk mengurangi efisiensi biaya dan waktu.

II. STUDI LITERATUR

Pembengkokan pipa merupakan suatu proses pembuatan yang melibatkan pembengkokan material dan dapat dilakukan secara manual maupun hidrolik dengan menggunakan mesin pembengkok pipa CNC[5]. Keduanya mempunyai prinsip kerja yang sama, yaitu penerapan tekanan yang menyebabkan deformasi plastis pada material,



Gambar 2. 1 JDM Bending Machine ZW 25

namun berbeda dalam gaya cengkraman dan efisiensi proses. Deformasi plastis terjadi ketika suatu bahan berubah bentuk melebihi batas elastisnya. Proses pembengkokan pipa ini disebut proses *draw bending*. *Draw bending* sendiri mengacu pada proses pembengkokan atau pembengkokan pipa dengan menggunakan pressure dies dan bending dies[6].

Begitu pula proses pemanasan pipa menggunakan alat blander *oxy-acetylene* yang biasa digunakan pada pengelasan OAW. Blander *oxy-acetylene* juga dapat digunakan untuk proses lain seperti *preheating* (pemanasan sebelum pengelasan), *brazing* (penyambungan logam dengan logam lain menggunakan logam pengisi), *cutting* (memotong logam), dan *hard facing* (meningkatkan kekerasan permukaan logam[7]. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai alat blander *oxy-acetylene* sangat penting untuk menjamin keselamatan dan efektivitas dalam pekerjaan. Berikut contoh gambar alat blander *oxy-acetylene*:

Pemilihan bahan pada proses bending menggunakan pipa tembaga Cu-DHP R250 16 mm dengan ketebalan 1 mm. Dikarenakan PT. X mempunyai kendala dalam proses produksinya dan hanya menggunakan material ini untuk uBend berdiameter >16 mm yang memiliki kekerasan 75-100 HV. Informasi ini mungkin penting untuk memahami karakteristik material dan penggunaannya dalam produksi.

Cu DHP R-250, atau tembaga dengan kadar fosfor yang dirancang untuk aplikasi khusus, telah populer digunakan dalam industri pembuatan dan konstruksi[8]. Salah satu aplikasi penting dari material ini adalah dalam pembuatan komponen U-bend, yang sering digunakan dalam sistem perpipaan dan perangkat penukar panas. Namun, ada beberapa kendala yang perlu diperhatikan dalam proses pembuatan U-bend menggunakan Cu DHP R-250. Artikel ini akan membahas tantangan ini, serta solusi yang dapat diterapkan.



Gambar 2. 3 Material pipa Cu DHP-R250

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

Karakteristik Cu DHP R-250 dikenal karena ketahanan korosinya yang tinggi dan kemampuannya untuk melakukan pembentukan dengan baik[9]. Material ini sering dipilih karena sifat mekaniknya yang baik serta konduktivitas termal dan listrik yang sangat baik. Berikut tabel spesifikasi material yang ada di PT.X :

Tabel 2. 1 Spesifikasi Material Cu DHP

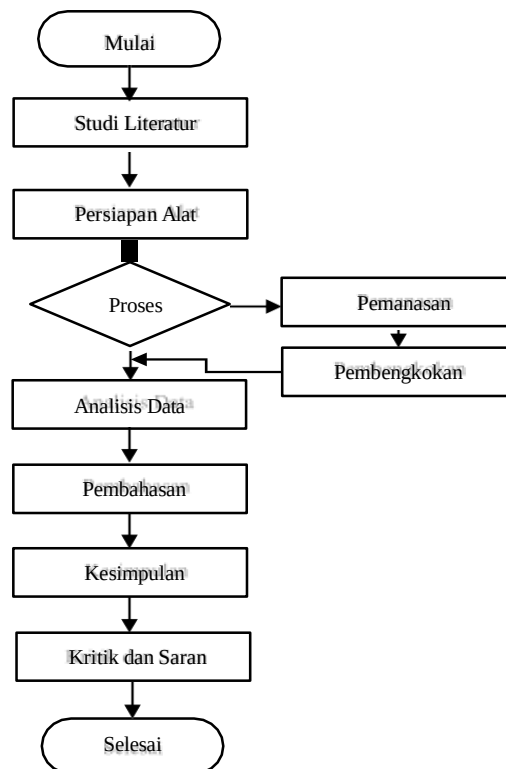
Campuran Tembaga	Komposisi Kimia		Mengeraskan	Properti Mekanis	
	Tembaga %	Fosfor %		Kekuatan Tensil MPa	Kekerasan HV
CU-DHP	≥99.90%	0.015%-0.040%	R 220	≥220	40-70
CU-DHP	≥99.90%	0.015%-0.040%	R 250	≥250	75-100

Dalam melakukan proses pemanasan perlu adanya penambahan gas forming, guna mencegah terjadinya pengoksidasian material tembaga. Dalam proses baking sebelum pemanasan penggunaan gas hidrogen (H_2) yang dicampur dengan Nitrogen(N_2) merupakan metode khusus untuk menciptakan atmosfer reduktif yang membantu menghilangkan kelembapan dan oksida dari permukaan logam, terutama sebelum pengelasan atau brazing[10].



Gambar 2. 4 Gas Hidrogen (H_2) dan Nitrogen (N_2)

III. METODE



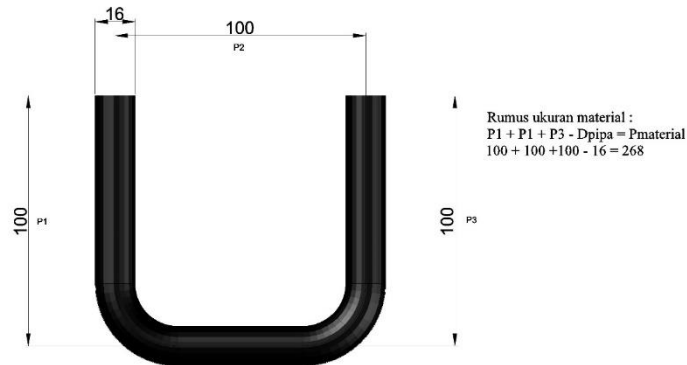
Gambar 3. 1 Flowchart

Persiapan Alat dan Material

Berikut peralatan dan bahan yang harus disiapkan :

- 1) Mesin Bending *JDM Ningbo Jingda machine electric science & technology co.ltd.*
- 2) Blander **Oxy-Acetylene**.
- 3) Tabung gas *oxygen* dan *Acetylene*.
- 4) Gas CO₂ dan H₂ (GAS FORMING)
- 5) Kacamata brazing.
- 6) Sarung tangan kain.
- 7) Mistar.
- 8) Spidol.
- 9) Thermogun.
- 10) Potongan pipa diameter 16 mm ketebalan 1mm sesuai ukuran yang sudah ditentukan.
- 11) Busur
- 12) Jangka Sorong Digital
- 13) Smartphone

Untuk persiapan material yang akan dilakukan proses pemanasan dan pembungkukan, ada ukuran yang sudah ditentukan dan berikut contoh sketsa gambar dan ukuran pipa yang akan di potong dan dilakukan proses pemanasan dengan satuan milimeter (mm):



Gambar 3. 2 Ukuran Material Ubend dan Rumus Panjang Material

Dalam Menentukan panjang material yang akan digunakan, adapun rumus yang sudah ditetapkan yang mana penjelasannya sebagai berikut:

P1= Panjang 1, Tinggi kaki Ubend dari titik tengah diameter Ubend sampai ke ke titik atas Ubend yaitu 100 mm.

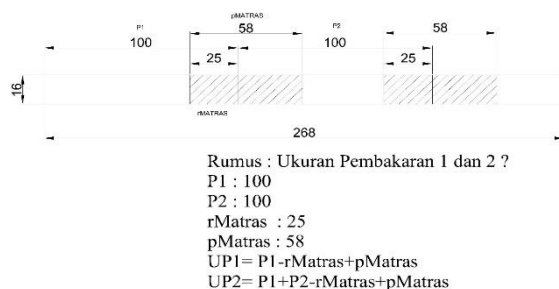
P2 = Yaitu Panjang Ubend dari P1 ke P3 yaitu 100 mm.

P3 = Sama halnya dengan P1.

Dpipa = Adalah Rumus pasti pemotongan pipa dengan merujuk ukuran dari elongitas pipa itu sendiri, tergantung dari diameter pipa.

Berikut adalah gambar titik pemanasan beserta penjelasannya:

Penjelasan :



Gambar 3. 3 Titik Pemanasan

P1 = Panjang Ukuran 1 Ubend yang akan dibending yaitu 100 mm.

P2 = Panjang ukuran ukuran P1 ke p3 dari rumus ukuran ubend atau ukuran dari urutan langkah ke 2 dari proses bending.

rMatras = Jari-Jari Matras/dies bending yang digunakan yaitu 25 mm. rMatras ini ditujukan untuk memberi pemisah antara titik keras pada material dan titik lunak pada material, titik keras sebagai penahan material ketika dilakukan proses pembungkukan, sedangkan titik lunak sebagai titik yang akan dilakukan prosen peregangan atau pembungkukan.

pMatras = Panjang dies matras yang digunakan yaitu 58 mm. Untuk titik yang diarsir adalah titik yang akan dipanaskan. Jadi ketika melakukan pemanasan melebihi batas dari titik tersebut maka akan menimbulkan beberapa indikasi cacat berubah penyok, kerut di area bekas bending.

Pada saat melakukan eksperimen di penelitian ini menggunakan metode taguchi. Tujuan metode ini untuk meningkatkan kualitas produk dengan cara mengoptimalkan parameter dengan 3 variasi percobaan atau lebih walau jika nanti ada beberapa kendala atau faktor yang tidak bisa dikendalikan dengan fokus pada proses meskipun ada gangguan[11].Keunggulan metode Taguchi yaitu mengurangi jumlah eksperimen dibanding metode *full factorial* mengingat material yang digunakan cukup terbatas, mampu mengidentifikasi faktor *noise*, Meningkatkan kualitas proses dan cocok untuk optimasi proses manufaktur. Dengan memaksimalkan 4 suhu parameter untuk mendapatkan hasil yang makasimal, karena suhu yang digunakan adalah rentan suhu pemanasan terbaik untuk material tembaga.

Tabel 3. 1 Parameter Suhu

Percobaan	Temperatur (°C)
1	200°C-300°C
2	300°C-400°C
3	400°C-500°C
4	500°C-600°C

Metode Pemanasan

Saat proses pemanasan menggunakan sumbu api karburasi karena sumbu api ini ideal digunakan untuk *preheat* :

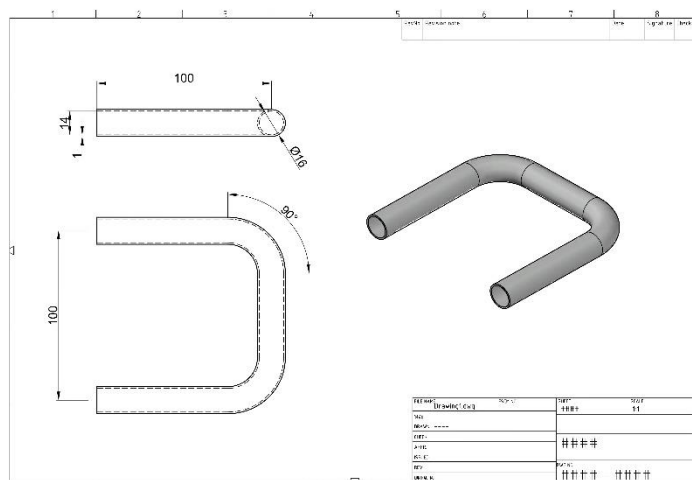


Gambar 3. 4 Sumbu Api Karburasi

Sumbu api ini ditandai dengan kadar asitilin lebih banyak dibandingkan oksigen. Terlihat jelas di gambar, mata api lebih panjang di bandingkan sumbu api oksidasi. Nyala api karburasi adalah nyala api dimana saat proses pemanasan kadar asitilin lebih banyak dibandingkan oksigen. Nyala api ini ideal digunakan untuk proses *preheat*.

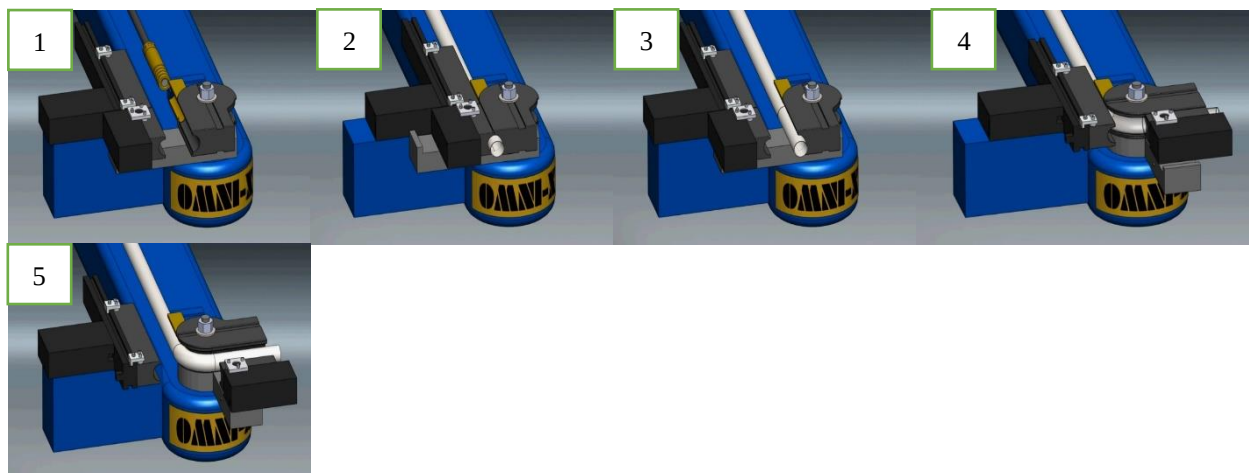
Metode Bending

Berikut gambar 2D dan 3D spesimen:



Gambar 3.5 Benda Kerja

Dari gambar tersebut metode yang digunakan yaitu pembungkakan dengan kompresi atau *Compression Bending* dengan cara menekan material terhadap alat pembentuk(die) dari satu sisi, biasanya digunakan pada pipa dengan sudut tertentu. Pada penelitian ini jenis *bending* yang digunakan berdasarkan bentuk “U” pada material pipa Cu-DHP R250. Dan berikut langkah-langkahnya :



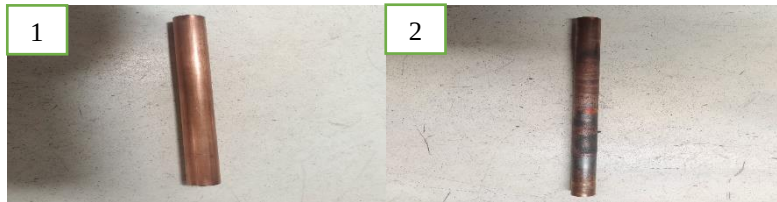
Gambar 3.6 Langkah-Langkah Proses Bending Dengan Kompresi

1. Pada gambar pertama menunjukkan 1 set *die bending* yang sudah dipasang dengan benar sesuai dengan diameter pipa yang dibutuhkan dengan mandrel sebagai penahan material pipa saat dilakukan proses *bending*, agar material pipa ketika dibungkakan tidak mengalami penyok.
2. Pada langkah kedua, pipa dimasukkan ke penahan atau stick.
3. Pada langkah ketiga, material ditekan oleh seluruh die bending, pada titik ini kekuatan tekan dari bending sendiri tergantung jenis dari mesin itu sendiri.
4. Pada gambar ke empat, die bending penekanan dilakukan terhadap material dari satu sisi membentuk radius 90°. Pada langkah ini terjadi gaya elongitas dari material pipa itu sendiri.
5. Pada langkah terakhir semua die bending melepaskan penekanan terhadap material, untuk kecepatan bending dan holding time bisa disesuaikan tergantung jenis mesin yang digunakan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil eksperimen yang didapat kita menggunakan pengumpulan data dengan dokumentasi untuk mengetahui setiap faktor dari keberhasilan maupun kegagalan eksperimen agar mendapatkan hasil yang maksimal.

Proses Pemanasan



Gambar 4. 1 Spesimen Tembaga Cu DHP-R250

Terlihat jelas dari perbedaan dua material diatas, material pertama sebelum dilakukan proses pemanasan masih terlihat warna asli dari material tembaga, sedangkan material kedua terlihat material sudah mengalami oksidasi yang mengakibatkan warna material berubah.



Gambar 4. 2 Visual Dalam Material Cu DHP-R250

Terlihat jelas perbedaan terjadi dari kedua spesimen, yang pertama material terjadi oksidasi dengan ciri ciri perubahan penampilan, penurunan konduktivitas listrik, kerapuhan permukaan dapat menimbulkan retak maupun korosi, oksidasi juga dapat meningkatkan resistansi.

Pada gambar kedua menunjukkan material yang tidak teroksidasi, menunjukkan ciri ciri tampilan yang bening seperti material yang belum terjadi pemanasan, permukaan yang baik dan tidak rapuh, tidak menimbulkan korosi pada material, konduktivitas listrik masih sangat baik, dan tidak menimbulkan resistansi[12].

Dari hasil eksperimen pada parameter suhu pada tabel diatas, hasil yang didapat menunjukkan rentan suhu terbaik kisaran 400°C-500°C. Pada rentan suhu ini yang paling kecil menimbulkan faktor cacat seperti pecah maupun kerutan. Dan berikut sedikit penjelasan hasil dari eksperimen :

Tabel 4. 1 Hasil Eksperimen Proses Pemanasan Spesimen

No	Temperatur	Waktu(detik)	Temperatur yang di dapat	Hasil	Analisis
1	200°C-300°C	3-4			Pada suhu ini menunjukkan kurangnya daya <i>annealing</i> /pelunakan pada material tembaga, mengakibatkan pecah/mengalami pengerasan saat pembengkokan

2	300°C-400°C	6-7			Menunjukkan masih ada kerutan saat pembungkakan, yang mana proses pelunakan pada material kurang maksimal.
3	400°C-500-°C	9-10			Pada suhu ini menunjukkan suhu pemanasan terbaik untuk pelunakan material tembaga dengan menghasilkan unit yang maksimal.
4	500°C-600°C	12-13			Pada rentan suhu ini sudah terlihat material mulai menunjukkan ciri-ciri pelelehan pada material dan retak saat dilakukan proses pembungkakan.

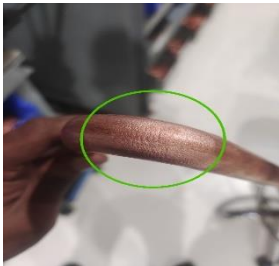
Proses Bending

Pada proses pembungkakan menggunakan 1 metode *bending* dengan kompresi dengan cara membungkakan material menggunakan gaya tekan dengan kompresi dari satu sisi untuk menghasilkan bentuk tertentu terutama dibagian dalam lengkungan[13].

Berikut adalah hasil dan pembahasan dari proses *bending* dengan dua variasi parameter, yaitu kecepatan *bending* dan waktu penahanan material setelah *bending*:

Tabel 4. 2 Hasil dan Analisis Proses Bending

No	Jenis Percobaan	Macam Jenis Waktu dan Kecepatan Percobaan bending dengan radius 90°	Hasil	Analisis
1	Parameter Kecepatan Bending	15000 / 4.6 detik/bending		Untuk kecepatan rendah seperti ini material dapat dibungkakan dengan baik dengan menghindari cacat yang akan ditimbulkan atau formability (kemampuan material untuk dibentuk tanpa cacat).

		25000 / 3.7 detik/bending		Material masih mengalami cacat karena kecepatan masih terlalu tinggi saat pembungkukan atau Strain Rate Sensitivity(kepekaan terhadap kecepatan deformasi).
		35000 / 2.6 detik/bending		Untuk kecepatan seperti ini material mengalami <i>springback</i> (tembaga balik terlalu cepat). Hasil bungkukan tidak akurat, dan mengakibatkan Ductile Fracture(patah akibat deformasi berlebih maupun material ulet).
		1 detik/ bending		Pada waktu penahanan ini masih menimbulkan tembaga balik ke arah sebaliknya dan mengakibatkan radius bending tidak 90° sempurna karena tegangan tarik masih tinggi.
2	Waktu Penahanan material setelah bending	5 detik/bending		Dalam 5 detik waktu penahanan, material sudah dapat diposisikan diradius 90° dengan maksimal. Tahan terhadap deformasi tak merata.
		15detik/bending		Jika waktu penahanan teralu lama tembaga menjadi getas (brittle) akibat pertumbuhan butir berlebihan(grain growth), kekuatan mekanik menurun dan menimbulkan cacat seperti retak.

Output Eksperimen

Tujuan dari eksperimen ini untuk menghasilkan produk yang maksimal berupa:

- kesilinderitas dari pipa setelah pembungkukan meliputi diameter luar dan dalam pipa.
- ketebalan pipa setelah *bending*.
- Pipa berbentuk “U” dengan ukuran yang diinginkan, dan radius yang dicapai 90° .



Gambar 4. 4 Diameter Dalam Pipa



Gambar 4. 3 Diameter Luar Pipa

Gambar diatas menunjukkan diameter luar pipa dari salah satu sisi mengecil yang seharusnya 16 mm menjadi 15.07 mm.



Gambar 4. 5 Panjang dan Tinggi Ubend, Radius Ubend 90° , Ketebalan Pipa Ubend Setelah Bending

Setelah dilakukan pembungkukan lalu untuk mengecek diameter dilakukan proses pemotongan tepat di area dalam pembungkukan, menunjukkan material berkurang 0.01 mm. Ukuran yang didapat pada output sudah sesuai dengan *design* benda kerja. Radius Ubend sudah sesuai yaitu 90° . Dengan memperhatikan kecepatan *bending* maupun waktu penahanan setelah *bending*. Panjang dan tinggi ubend memenuhi kebutuhan yaitu 100mm x 100mm.

V. KESIMPULAN

- Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa saat proses *annealing*/pelunakan material Cu DHP-R250 dengan diameter 16 mm ketebalan 1mm, didapat suhu optimal pemanasan yaitu 400°C-500°C lebih tepatnya 480°C dan hasil yang didapat meminimalisir faktor terjadinya cacat pada material yaitu *over-annealed material*, terlalu lama dipanaskan membuatnya mudah retak dan cacat saat dibentuk dan kebalikannya *work-hardened material*, jika material sebelumnya tidak dipanaskan dengan cukup justru mengalami pengerasan akibat proses pemanasan sebelumnya, lalu retak maupun pecah saat dibengkokkan.
- Titik pemanasan untuk proses *bending* juga mengacu pada rumus yang tertera di penelitian ini yaitu PanjangUkuran-rMatras+pMatras. Sehingga pemanasan dapat dilakukan secara optimal.
- Material pipa tembaga Cu DHP-R250 perlu dilakukan *treatment* tambahan yaitu proses *annealed* atau pelunakan agar dapat memaksimalkan daya elastisitas dari pada material tersebut, tapi mencakup beberapa faktor penting saat proses pelunakan maupun pembengkokkan agar material dapat dibengkokkan dengan meminimalisir cacat. Beberapa faktor tersebut yaitu :
 1. Temperatur.
 2. Kecepatan pembengkokkan.
 3. Waktu penahan setelah proses pembengkokkan.
 4. Gas Forming untuk mencegah material terjadi oksidasi saat proses pemanasan.
- Sudut yang diinginkan yaitu 90°C mengacu pada gambar kerja, yang mana untuk mencapai radius yang diinginkan harus memperhatikan kecepatan saat proses pembengkokkan dan lamanya waktu penahanan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan syukur dan terimakasih kehadiran Allah SWT yang telah memudahkan segala urusan dalam penelitian ini

REFERENSI

- [1] S. B. Wicaksono dan M. Basuki, "Analisis Teknis dan Ekonomis Cold Storage Pendingin Ikan Kapasitas 61 Ton Dengan Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Vapor Compression Pada KM Natuna," no. Senastitan Iv, hal. 1–7, 2024.
- [2] Guntner, "GUNTNER," guntner.com. Diakses: 3 Juli 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://guntner.com/>
- [3] B. M. Gaelogoy *et al.*, "ANALISIS SISTEM PENDINGIN DENGAN PENAMBAHAN PIPA KAPILER," vol. 6, no. 3, hal. 1–7, 2023, doi: <https://doi.org/10.24176/crankshaft.v6i3.11164>.
- [4] E. Yuliana, "AFoSJ-LAS (All Fields of Science J-LAS)," vol. 1, no. 1, hal. 44–53, 2021.
- [5] Mochammad Karim Al Amin *et al.*, "Rancang Bangun Alat Pembengkok Pipa (Pipe Bending Tools) Untuk Produk Project Base Learning Meja dan Kursi," *J. Teknol. Marit.*, vol. 7, no. 1, hal. 1–12, 2024, doi: 10.35991/jtm.v7i1.3.
- [6] P. S. Tjahjanti PH, Iswanto, Widodo E, "Examination of Thermoplastic Polymers for Splicing and Bending," *Nano Hybrids Compos. Trans Tech Publ.*, vol. 38, hal. 87–97, 2023, doi: <https://doi.org/10.4028/p-8myjhn>.
- [7] J. Ariksha, Y. Setiawan, K. Kadriadi, A. Amiruddin, dan A. B. Pratama, "Rancang Bangun Mesin Pemotong Pipa Dengan Las Oxy Acetylene," *Mach. J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, hal. 13–17, 2023, doi: 10.33019/jm.v9i1.3914.
- [8] A. Aisyah *et al.*, "Analisis Pengaruh Biaya Produksi Terhadap Laba Kotor : Literature Review Artikel Terindeks Sinta," *Trending J. Ekon. Akunt. dan Manaj.*, vol. 2, no. 2, hal. 367–374, 2024.
- [9] I. Iswanto, E. Widodo, A. Akbar, dan A. K. Putra, "Perbandingan Induction Hardening dengan Flame Hardening pada Sifat Fisik Baja ST 60," *Mek. Maj. Ilm. Mek.*, vol. 19, no. 2, hal. 90, 2020, doi: 10.20961/mekanika.v19i2.43203.
- [10] C. TANG, "Environmentally friendly antiagglomerants: a promising solution for gas hydrate plugging and corrosion risk management in oil and gas pipelines," *Energy & Fuels*, vol. 38.8, hal. 6738–6752, 2024.
- [11] A. Gilbran, Y. Oktriadi, dan E. Yudo, "Analisis Pengaruh Parameter Terhadap MRR Pada Benda Kerja di Mesin CNC Turning dengan Metode Taguchi," *J. Inov. Teknol. Terap.*, vol. 2, no. 1, hal. 9–14, 2024, doi: 10.33504/jitt.v2i1.134.
- [12] J. Teknik, M. Universitas, S. Ageng, dan M. Novrindah, "STUDI PERILAKU OKSIDASI SIKLIK PADUAN Ti-6Al-5Nb- 3Zr-1Sn UNTUK APLIKASI MATERIAL BILAH KOMPRESOR BERTEKANAN TINGGI PADA MESIN PESAWAT," 2024.
- [13] T. R. Sanjaya, R. D. Anjani, dan N. Burhan, "Analisis Kekuatan Bending Akibat Variasi Arus Pengelasan SMAW Pada Sambungan Pipa Api 5L GR . B SCH 80," vol. IX, no. 3, hal. 9848–9856, 2024.

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.