

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Pembengkokan Pipa (Bending)

Pembengkokan pipa (bending) merupakan proses pembentukan material pipa dengan cara memberikan gaya tertentu sehingga pipa mengalami perubahan bentuk sesuai sudut dan *radius* yang diinginkan tanpa memutus atau merusak struktur material. Proses bending banyak digunakan pada industri konstruksi, otomotif, perkapalan, perpipaan, dan manufaktur karena mampu menghasilkan bentuk pipa yang lebih *efisien* dibandingkan penyambungan menggunakan las. Dalam proses bending terjadi distribusi tegangan pada material. Bagian luar lengkungan mengalami tegangan tarik, sedangkan bagian dalam mengalami tegangan tekan. Apabila gaya yang diberikan melebihi batas elastis bahan, maka akan terjadi gradien permanen sehingga pipa mempertahankan bentuk hasil pembengkokan setelah beban dilepaskan (Al Amin dkk, 2024).



Gambar 2.1 Pembengkokan Pipa (Bending) (Shane, 2023)

2.1.1 Jenis material pipa

Material pipa merupakan bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan pipa untuk mengalirkan fluida seperti air, minyak, gas, uap, maupun bahan kimia. Pemilihan material pipa harus disesuaikan dengan kondisi operasi, seperti tekanan, temperatur, jenis fluida, serta lingkungan kerja. Setiap material memiliki karakteristik mekanik dan ketahanan yang berbeda sehingga memengaruhi umur pakai dan kinerja pipa, berikut adalah jenis material pipa sebagai berikut.

1. Pipa Baja Karbon (*Carbon Steel Pipe*)

Pipa baja karbon merupakan jenis pipa yang paling banyak digunakan dalam industri karena memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, mampu menahan tekanan besar. Material ini umumnya digunakan pada sistem perpipaan industri, konstruksi, dan saluran distribusi minyak maupun gas (Waworundeng dkk., 2024).



Gambar 2.2 Pipa Baja Karbon (Mushuang, 2025)

2. Pipa Baja Tahan Karat (*Stainless Steel Pipe*)

Pipa *stainless steel* dibuat dari paduan besi yang mengandung kromium sehingga memiliki ketahanan korosi yang sangat baik. Material ini banyak digunakan pada industri makanan, kimia, dan sistem perpipaan yang membutuhkan tingkat kebersihan tinggi (Wirfan dan Wirfan, 2024).



Gambar 2.3 Pipa Baja Tahan Karat (Mushuang, 2025)

3. Pipa Besi Cor (*Cast Iron Pipe*)

Pipa besi cor terbuat dari campuran besi dan karbon dengan kandungan karbon yang cukup tinggi. Material ini banyak digunakan pada saluran air dan sistem drainase karena memiliki ketahanan yang baik terhadap tekanan tanah (Facheruddin Bj, 2023).



Gambar 2.4 Pipa Besi Cor (Mandiri, 2022)

4. Pipa Tembaga (*Copper Pipe*)

Pipa tembaga banyak digunakan pada instalasi air bersih, sistem pendingin udara (AC), dan sistem refrigerasi. Material ini memiliki konduktivitas termal yang tinggi dan tahan terhadap korosi (Ashari, 2025).



Gambar 2.5 Pipa Tembaga (Rahayu, 2024)

5. Pipa Aluminium

Pipa aluminium memiliki bobot yang ringan namun tetap memiliki kekuatan yang cukup baik. Material ini sering digunakan pada industri otomotif, sistem *pneumatik*, dan konstruksi ringan (Zulfadli, 2022).



Gambar 2.6 Pipa Aluminium (Ibrahim, 2023)

6. Pipa PVC (*Polyvinyl Chloride*)

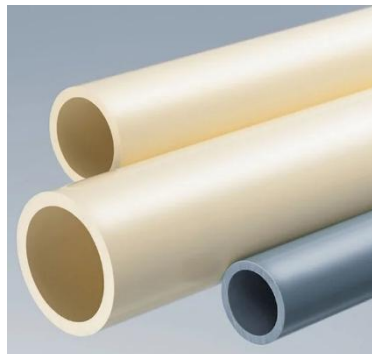
Pipa PVC merupakan jenis pipa plastik yang banyak digunakan untuk saluran air bersih, drainase, dan instalasi rumah tangga. Material ini ringan dan tahan terhadap korosi (Saputra dkk, 2025).



Gambar 2.7 Pipa PVC (Johnson, 2025)

7. Pipa CPVC (*Chlorinated Polyvinyl Chloride*)

CPVC merupakan pengembangan dari PVC yang memiliki ketahanan suhu lebih tinggi. Material ini banyak digunakan pada sistem distribusi air panas dan industri kimia (Kemal, 2025).



Gambar 2.8 Pipa CPVC (Ghalesari, 2024)

8. Pipa HDPE (*High Density Polyethylene*)

Pipa HDPE terbuat dari polietilena berdensitas tinggi yang memiliki sifat fleksibel dan tahan terhadap korosi. Material ini banyak digunakan pada jaringan air bersih, gas, dan saluran bawah tanah (Rohmannudin dkk, 2024).



Gambar 2. 9 Pipa HDPE (Rahayu, 2024)

9. Pipa *Galvanis*

Pipa *galvanis* merupakan pipa baja yang dilapisi seng (*zinc*) untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Material ini sering digunakan pada instalasi air dan konstruksi bangunan (Stefanus, 2026).



Gambar 2. 10 Pipa Galvanis (Utama, 2022)

2.1.2 Metode pembengkokan pipa manual

Proses pembengkokan pipa secara manual merupakan teknik fabrikasi logam yang mengandalkan kekuatan mekanis tangan dan alat bantu portabel tanpa bantuan mesin listrik atau hidrolik besar. Metode ini sangat fleksibel dan ideal untuk pekerjaan lapangan atau bengkel kecil. Agar penampang pipa tetap bulat sempurna dan tidak mengempis saat ditekuk, digunakan teknik tanpa pengisi dan

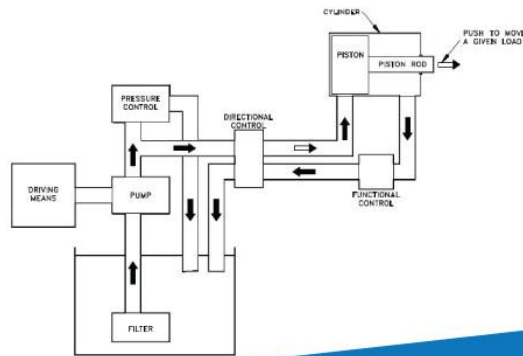
dengan pengisi. Teknik tanpa pengisi langsung memanfaatkan alur cetakan (bending *die*) yang presisi mengunci diameter luar pipa (Al Amin dkk, 2024).



Gambar 2. 11 Pembengkokan Pipa Manual (Shane, 2023)

2.1.3 Sistem Hidrolik

Sistem hidrolik adalah sistem penerusan daya dengan menggunakan fluida cair. Minyak mineral adalah jenis fluida yang sering dipakai. Prinsip dasar dari sistem hidrolik adalah memanfaatkan sifat bahwa zat cair tidak mempunyai bentuk yang tetap, namun menyesuaikan dengan yang ditempatinya. Zat cair bersifat inkompresibel, karena itu tekanan yang diterima diteruskan ke segala arah secara merata. Sistem hidrolik biasanya diaplikasikan untuk memperoleh gaya yang lebih besar dari gaya awal yang dikeluarkan. Fluida penghantar ini dinaikkan tekanannya oleh pompa yang kemudian diteruskan ke silinder kerja melalui pipa-pipa saluran dan katup-katup. Gerakan translasi batang piston dari silinder kerja yang diakibatkan oleh tekanan fluida pada ruang silinder dimanfaatkan untuk gerak maju dan mundur maupun naik dan turun sesuai dengan pemasangan silinder yaitu arah horizontal maupun vertikal (Kusuma Abi, 2021).



Gambar 2. 12 Sistem Hidrolik (Hydro, 2026)

2.2 Alat Bending Pipa Hidrolik Manual.

Alat bending pipa hidrolik manual adalah alat yang digunakan untuk membengkokkan pipa menjadi sudut atau bentuk tertentu dengan memanfaatkan tenaga hidrolik yang dioperasikan secara manual. Alat ini banyak digunakan pada pekerjaan konstruksi, manufaktur, dan instalasi perpipaan karena mampu menghasilkan pembengkokan yang lebih rapi, presisi, dan efisien. Fungsi utama alat ini adalah membentuk pipa sesuai kebutuhan tanpa merusak struktur materialnya (Maryanti dkk, 2020).



Gambar 2. 13 Bending Pipa Hidrolik Manual (Hidayat, 2019)

2.3 Macam-macam jenis Alat Bending Pipa Hidrolik

Alat bending pipa hidrolik merupakan alat yang digunakan untuk membengkokkan pipa dengan memanfaatkan tekanan fluida hidrolik sebagai sumber gaya. Penggunaan sistem hidrolik memungkinkan proses pembengkokan dilakukan dengan tenaga yang lebih kecil namun menghasilkan gaya tekan yang besar sehingga mampu membentuk lengkungan pipa dengan lebih mudah dan presisi. Berdasarkan konstruksi dan cara pengoperasiannya, alat bending pipa hidrolik dapat dibedakan menjadi beberapa jenis sebagai berikut.

2.3.1 Alat Bending Pipa Hidrolik Manual

Alat bending pipa hidrolik manual menggunakan dongkrak hidrolik yang dioperasikan dengan tenaga manusia melalui tuas pompa. Jenis ini banyak digunakan pada bengkel kecil, pekerjaan instalasi pipa, dan kegiatan praktikum karena konstruksinya sederhana, biaya relatif murah, serta mudah dipindahkan. Kapasitas pembengkokannya umumnya terbatas pada ukuran pipa tertentu sesuai spesifikasi alat (Farid dan Andi, 2022).



Gambar 2.14 Alat Bending Pipa Hidrolik Manual
(Hidayat, 2019)

2.3.2 Alat Bending Pipa Hidrolik Semi-Otomatis

Pada alat bending semi-otomatis, sistem hidrolik masih menjadi sumber tenaga utama, tetapi beberapa proses kerja seperti pengaturan sudut pembengkokan dan pengembalian posisi dilakukan dengan bantuan sistem mekanis atau kontrol sederhana. Jenis ini mampu meningkatkan produktivitas dan ketelitian dibandingkan alat hidrolik manual (Mochammad Ferdyan Permana, 2025).



Gambar 2.15 Alat Bending Pipa Hidrolik Semi-Otomatis
(Cao, 2023)

2.3.3 Alat Bending Pipa Hidrolik Otomatis *CNC*

Alat bending hidrolik otomatis menggunakan sistem kontrol elektronik yang terintegrasi dengan aktuator hidrolik. Operator hanya memasukkan parameter pembengkokan, seperti sudut dan radius lengkung, kemudian mesin akan bekerja secara otomatis. Jenis ini banyak digunakan pada industri manufaktur karena memiliki tingkat akurasi tinggi, waktu produksi lebih cepat, dan mampu menghasilkan bentuk lengkungan yang seragam (Widiyanto, 2023).



Gambar 2.16 Alat Bending Pipa Hidrolik Otomatis *CNC*
(Cao, 2023)

2.3.6 Hidrolik *Mandrel Pipe Bender*

Hidrolik *mandrel pipe bender* dilengkapi dengan mandrel yang ditempatkan di dalam pipa saat proses pembungkukan berlangsung. Fungsi *mandrel* adalah menjaga bentuk penampang pipa agar tidak penyok atau mengalami kerutan pada bagian dalam lengkungan. Jenis ini digunakan untuk pipa berdinding tipis yang membutuhkan kualitas lengkungan tinggi (Dakhore dan Kale, 2024).



Gambar 2.17 Hidrolik Mandrel Pipe Bender (Rafi, 2022)

2.3.4 Portable Hidrolik Pipe Bender

Portable hidrolik pipe bender adalah alat bending hidrolik yang dirancang dengan ukuran lebih kecil dan ringan sehingga mudah dibawa ke lokasi pekerjaan.

Alat ini sangat cocok digunakan untuk pekerjaan lapangan seperti instalasi perpipaan gedung, konstruksi, dan perawatan fasilitas industri (Farid dan Andi, 2022).



Gambar 2.18 Portable Hidrolik Pipe Bender (Farid dan Andi, 2022)

2.3.5 Hidrolik *Rotary Draw Bender*

Hidrolik *rotary draw bender* menggunakan sistem hidrolik untuk menggerakkan cetakan (*die*) yang menarik pipa mengikuti radius tertentu. Metode ini menghasilkan lengkungan yang presisi dengan deformasi yang relatif kecil pada penampang pipa. Jenis ini sering digunakan pada industri otomotif, pembuatan rangka, dan sistem perpipaan khusus (Syarif dkk, 2024).



Gambar 2.19 Hidrolik rotary draw bender (Rafi, 2022)

2.4 Nama-nama komponen pada alat pembengkok pipa hidrolik

Alat bending pipa hidrolik adalah alat yang digunakan untuk membengkokkan pipa dengan memanfaatkan tekanan fluida hidrolik sebagai sumber tenaga. Alat ini mampu menghasilkan gaya tekan yang besar sehingga proses pembengkokan pipa menjadi lebih mudah, cepat, dan menghasilkan sudut lengkung yang lebih presisi dibandingkan metode manual. Dalam proses kerjanya, sistem hidrolik mendorong silinder hidrolik yang kemudian memberikan gaya pada pipa melalui cetakan (*dies*) sehingga pipa mengikuti bentuk lengkungan yang diinginkan. Untuk mendukung proses tersebut, alat bending pipa hidrolik terdiri dari beberapa komponen utama yang memiliki fungsi masing-masing. Berikut nama komponen komponennya.

2.4.1 Rangka (*Frame*)

Rangka merupakan struktur utama yang berfungsi sebagai penopang seluruh komponen alat bending. Rangka harus memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban dan gaya tekan selama proses pembengkokan pipa berlangsung (Hariyono, 2022).



Gambar 2.20 Rangka (Kurniawan, 2025)

2.4.2 Dongkrak Hidrolik

Dongkrak hidrolik merupakan sumber tenaga utama pada alat bending pipa hidrolik. Komponen ini bekerja dengan memanfaatkan tekanan fluida untuk menghasilkan gaya tekan yang besar sehingga mampu membengkokkan pipa (Muh dan Fhiral, 2020).



Gambar 2.21 Dongkrak Hidrolik
(Elvys Abadi Palinggi dan Yamar Bara, 2021)

2.4.3 Silinder Hidrolik

Silinder hidrolik berfungsi mengubah energi tekanan fluida menjadi gerakan linier. Gerakan ini digunakan untuk mendorong cetakan pembengkok sehingga pipa dapat dibentuk sesuai sudut yang diinginkan (Rohman, 2022).



Gambar 2.22 Silinder Hidrolik
(Petra, 2025)

2.4.4 Piston atau Ram

Piston adalah bagian yang bergerak keluar masuk di dalam silinder hidrolik. Komponen ini menerima tekanan fluida dan meneruskannya menjadi gaya tekan pada pipa melalui cetakan pembengkok (Rohman, 2022).



Gambar 2.23 Piston (Petra, 2025)

2.4.5 Tuas Pompa Hidrolik

Tuas pompa digunakan untuk mengoperasikan dongkrak hidrolik secara manual. Gerakan naik turun pada tuas akan memompa oli hidrolik sehingga menghasilkan tekanan yang diperlukan untuk proses pembengkokan(Siman dkk, 2022).



Gambar 2.24 Tuas Pompa Hidrolik (Simarmata, 2023)

2.4.6 Cetakan Pembengkok (Bending Die)

Bending die merupakan komponen yang berfungsi sebagai cetakan utama pembentuk lengkungan pipa. Bentuk dan ukuran die disesuaikan dengan diameter pipa yang akan dibengkokkan (F. A. Muh dkk, 2023).



Gambar 2.25 Cetakan Bending Die (Libkie, 2025)

2.4.7 Roller atau Penyangga Pipa

Roller berfungsi menopang pipa pada kedua sisi saat proses pembengkokan berlangsung. Komponen ini membantu menjaga posisi pipa agar tetap stabil dan menghasilkan lengkungan yang rapi (Butar-Butar dkk, 2024).



Gambar 2.26 Roller (Muh dan Fhiral, 2020)

2.4.8 Pin Pengunci (*Lock Pin*)

Lock pin digunakan untuk mengunci posisi roller atau cetakan pada lubang yang tersedia di rangka alat. Komponen ini sangat penting untuk menjaga keamanan dan kestabilan selama proses bending (Gusmal dkk, 2025).



Gambar 2.27 Lock Pin (Hidayat, 2019)

2.4.9 Pegas Pengembali (*Return Spring*)

Pegas pengembali berfungsi mengembalikan posisi piston atau komponen yang bergerak ke posisi semula setelah tekanan hidrolik dilepaskan (Yan Kondo dkk, 2024).



Gambar 2.28 Return Spring (Simbolon dan Gultom, 2021)

2.4.10 Tangki Oli Hidrolik

Tangki oli merupakan tempat penyimpanan fluida hidrolik yang digunakan sebagai media penghantar tekanan dalam sistem hidrolik (Siman dkk, 2022).



Gambar 2. 29 Tangki Oli Hidrolik (Lesmana dan Zhakendry, 2025)

2.4.11 Katup Pelepas Tekanan (*Release Valve*)

Katup pelepas tekanan berfungsi untuk melepaskan tekanan hidrolik setelah proses bending selesai sehingga piston dapat kembali ke posisi awal dengan aman (Petra, 2025).



Gambar 2.30 Katup Pelepas Tekanan (Haryanto dkk, 2020)

2.4.12 Selang dan Saluran Hidrolik

Selang hidrolik berfungsi menyalurkan oli bertekanan dari pompa menuju silinder hidrolik. Komponen ini harus mampu menahan tekanan tinggi agar sistem bekerja dengan baik (Dendy Orlando, 2024).



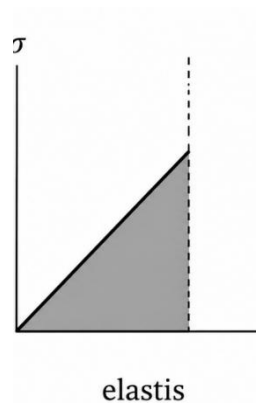
Gambar 2.31 Selang Hidrolik (Rohman, 2022)

2.5 Deformasi pada Pembebanan Bending

Deformasi merupakan perubahan bentuk atau dimensi suatu benda akibat pembebanan. Deformasi dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Deformasi Elastis

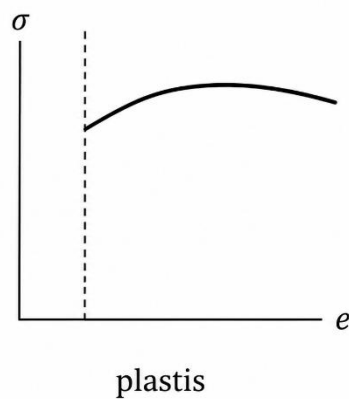
Deformasi elastis adalah perubahan bentuk sementara pada material akibat adanya gaya luar. Setelah gaya dilepaskan, material akan kembali ke bentuk dan ukuran semula. Perubahan ini mengikuti tegangan berbanding lurus dengan regangan (Rumbyarso dkk, 2025).



Gambar 2.32 Deformasi Elastis (Widianto, 2023)

2. Deformasi Plastik

Deformasi plastik adalah perubahan bentuk permanen yang terjadi setelah material melewati batas elastis atau titik luluh. Setelah beban dilepaskan, material tidak dapat kembali ke bentuk semula. Deformasi plastik dimanfaatkan dalam berbagai proses manufaktur seperti penempaan, pembentukan logam, rolling, ekstrusi, dan pembengkokan pipa (Mahyuddin, 2023).



Deformasi Plastik (Widianto, 2023)

2.6 Pengujian Lengkung

Pengujian lengkung (bending) merupakan metode pengujian mekanik yang digunakan untuk mengetahui kemampuan suatu material atau komponen dalam

menahan beban lentur. Pengujian dilakukan dengan memberikan gaya pada benda uji hingga terjadi kesepakatan tertentu atau sampai mengalami kegagalan (Abrar & Irfa'i, 2025).



Gambar 2. 33 Pengujian Lengkung (Rizki, 2020)