

LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN
POLITEKNIK INDUSTRI ATMI



REKAYASA ALAT PEMBENGKOK PIPA REFRIGERAN
TEMBAGA SEMI OTOMATIS

Tim Peneliti:

F.X. Eko Arianto, M.T.	0427117301
Bambang Setiyawan, S.T., M.T.	0418038902
Agus Sulaeman	23011579
Gilang Jianari	23011590

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat
Politeknik Industri ATMI

2026

LEMBAR PENGESAHAN LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN

1.	Penelitian	
	a. Judul Penelitian	Rekayasa alat pembengkok pipa refrigerant tembaga semi otomatis
	b. Skema Penelitian	Mandiri
2.	Ketua Peneliti	
	a. Nama Lengkap	F.X. Eko Arianto, M.T.
	b. Jenis Kelamin	Laki-laki
	c. NPP/NIDN/NIDK	0427117301
	d. Pangkat/Golongan	IIIA
	e. Jabatan Fungsional	Ahli Madya
	f. Program Studi	Mesin Industri
	g. Bidang Ilmu	Manufaktur
3.	Anggota Peneliti I	
	a. Nama Lengkap	Bambang Setiyawan, S.T., M.T.
	b. NPP/NIDN/NIDK	
	c. Program Studi	Mesin Industri
	d. Bidang Ilmu	
4.	Anggota Peneliti II	
	a. Nama Lengkap	Agus Sulaeman
	b. NIM	23011579
	c. Program Studi	Mesin Industri
5.	Anggota Peneliti III	
	a. Nama Lengkap	Gilang Jianari
	b. NIM	23011590
	c. Program Studi	Mesin Industri
6.	Jumlah Mahasiswa yang terlibat	2
7.	Lokasi Penelitian	Politeknik Industri ATMI
8.	Institusi Mitra	PT. Udara Jadi Bersih
9.	Jangka Waktu Penelitian	1 tahun
10.	Biaya yang diusulkan	
	a. Sumber dari institusi	Rp 500.000
	b. Sumber lain	Rp 39.295.000 (PT. Udara Jadi Bersih)
	c. Jumlah Biaya	Rp 39.795.000

Cikarang, 4 Agustus 2026
Ketua Peneliti,



(F.X. Eko Arianto, M.T.)

Mengetahui,

Wakil Direktur IV

(Agatha Amidya, S.T., M.T.)



Kepala LPPM



(F.X. Eko Arianto, M.T.)

DAFTAR ISI

BAB I RINGKASAN	3
BAB II HASIL PENELITIAN.....	4
1.1 Cara Kerja Sistem	4
a. Proses Persiapan Material	4
b. Proses Pengaturan Sudut pada HMI	4
c. Proses Bending.....	5
d. Proses <i>Home Position</i>	5
1.2 Desain Produk.....	5
a. Desain Rangka Mesin	6
b. Desain Meja Kerja Mesin	7
c. Desain Jig Bending	8
d. Desain Sistem Penjepit Pipa	9
e. Desain Poros Bending.....	9
f. Desain Dudukan Motor dan Transmisi	10
g. Desain Panel Box.....	11
BAB III STATUS LUARAN.....	13
BAB IV KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN.....	15
BAB V RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA.....	16
DAFTAR PUSTAKA	17

BAB I

RINGKASAN

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab kebutuhan industri akan perlunya alat yang mampu melakukan pekerjaan pembengkokan (bending) pipa tembaga yang digunakan pada air humidifier unit (AHU) yang digunakan sebagai pendingin ruangan. Proses yang sekarang dilakukan adalah secara manual, hal tersebut menyebabkan hasil sudut pembengkokan kurang presisi dan tidak konsisten, serta memakan waktu pengerjaan yang lebih lama. Selain itu metode manual sering mengakibatkan kerusakan pada pipa, seperti penyok yang pada akhirnya menurunkan produktifitas kerja. Mesin yang akan dirancang akan memudahkan operator dalam pembengkokan pipa. Diharapkan mesin mampu melakukan proses pembengkokan lebih cepat dan hasil lebih baik, dengan penambahan motor listrik dan penyetel sudut pembengkokan pada jig yang sudah ada. Penelitian ini dilakukan dengan terutama melakukan modifikasi alat manual menjadi semi otomatis, di mana load dan unloading material masih dilakukan manual oleh operator. Metode pengerjaan dilakukan dengan menganalisa permasalahan yang ada dari proses manual kemudian menganalisa permintaan dari *customer* mengenai hasil yang diinginkan dan dimensi material yang akan diproses baru dilakukan proses perancangan alat dan setelah diverifikasi oleh *customer* dilanjutkan dengan proses pembuatan. Luaran yang diharapkan dari penelitian ini adalah alat bending yang berfungsi sesuai yang diharapkan serta publikasi hasil penelitian pada jurnal ilmiah.

Kata kunci: bending, AHU, pipa tembaga

BAB II

HASIL PENELITIAN

1.1 Cara Kerja Sistem

Mesin bending pipa tembaga semi otomatis ini bekerja dengan menggabungkan sistem mekanik, sistem penggerak motor, dan sistem kontrol berbasis PLC. Sistem kerja mesin dirancang agar proses pembengkokan pipa dapat dilakukan dengan lebih presisi, stabil, dan mudah dioperasikan dibandingkan proses manual. Secara umum, proses kerja mesin dimulai dari pemasangan pipa pada jig bending, dilanjutkan dengan pengaturan sudut bending melalui

HMI, kemudian proses pembengkokan, dan terakhir pengembalian posisi jig ke titik awal (home position). Berikut penjelasan tahapan kerja sistem pada mesin bending pipa tembaga semi otomatis.

a. Proses Persiapan Material

Proses pertama dilakukan dengan memasang pipa tembaga pada jig bending yang berada di atas meja kerja mesin. Setelah posisi pipa sesuai, operator melakukan penjepitan menggunakan sistem screw clamp agar posisi pipa tetap stabil dan tidak bergeser saat proses pembengkokan berlangsung. Sistem penjepit menggunakan baut M20 full drat yang berfungsi memberikan tekanan pada pipa sehingga material dapat terkunci dengan baik pada jig bending. Proses penjepitan ini sangat penting untuk menjaga kestabilan material agar hasil pembengkokan menjadi lebih presisi dan konsisten. Setelah proses pemasangan dan penjepitan selesai dilakukan, operator dapat melanjutkan ke tahap pengaturan sudut bending melalui HMI.

b. Proses Pengaturan Sudut pada HMI

Setelah pipa terpasang dengan baik, operator melakukan pengaturan sudut bending melalui Human Machine Interface (HMI). Pada tahap ini operator memasukkan nilai sudut pembengkokan sesuai kebutuhan proses bending. Data sudut yang dimasukkan melalui HMI akan dikirim ke PLC sebagai acuan penghentian putaran motor saat proses bending berlangsung. Sistem kontrol kemudian akan membaca nilai sudut tersebut dan mempersiapkan proses pembengkokan secara otomatis. Penggunaan HMI memudahkan

operator dalam melakukan pengaturan sudut bending tanpa harus melakukan penyetelan secara manual. Selain itu, pengaturan sudut melalui HMI juga membantu meningkatkan ketepatan dan konsistensi hasil pembengkokan pipa.

c. Proses Bending

Proses bending dimulai ketika operator menekan pedal pertama sebagai perintah untuk menjalankan mesin. Sinyal dari pedal akan diterima oleh PLC, kemudian PLC memberikan perintah kepada inverter (VFD) untuk menggerakkan motor set gearbox. Putaran dari motor diteruskan ke poros bending sehingga jig bending mulai berputar dan menarik pipa mengikuti bentuk jig. Selama proses pembengkokan berlangsung, rotary encoder yang dipasang pada poros akan membaca jumlah putaran secara *real-time* dan mengirimkan data sudut ke PLC. PLC akan terus memonitor sudut pembengkokan berdasarkan data dari rotary encoder. Ketika sudut bending yang telah ditentukan pada HMI tercapai, PLC akan memerintahkan inverter untuk menghentikan putaran motor secara otomatis sehingga proses pembengkokan berhenti dengan presisi. Dengan adanya sistem kontrol berbasis PLC dan rotary encoder, proses bending dapat berlangsung lebih stabil, aman, dan menghasilkan sudut pembengkokan yang lebih akurat dibandingkan proses manual.

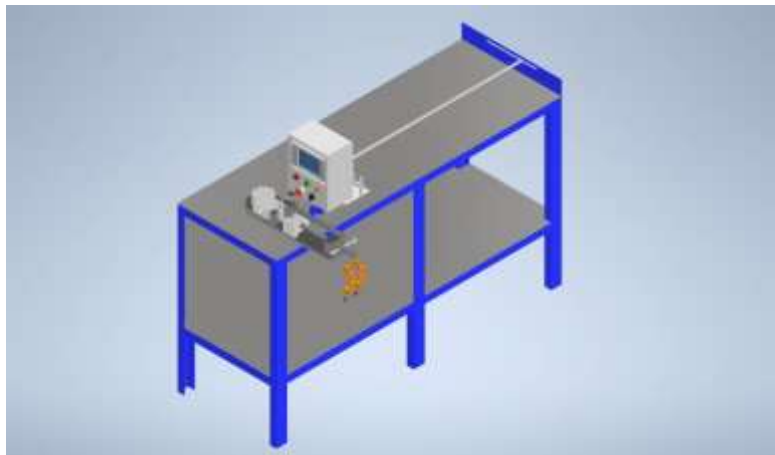
d. Proses Home Position

Setelah proses pembengkokan selesai, operator melepaskan penjepit dan mengambil pipa hasil bending dari jig. Selanjutnya operator menekan pedal kedua untuk mengembalikan posisi jig ke titik awal atau home position. Ketika pedal kedua ditekan, PLC akan memberikan perintah kepada motor untuk berputar ke arah sebaliknya sehingga jig bergerak kembali menuju posisi awal. Pada proses ini, inductive proximity sensor digunakan untuk mendeteksi posisi nol dari jig bending. Saat posisi awal terdeteksi oleh sensor, PLC akan menghentikan motor secara otomatis sehingga jig berhenti tepat pada posisi home position. Setelah posisi awal tercapai, mesin siap digunakan kembali untuk proses pembengkokan berikutnya. Dengan adanya sistem home position otomatis, posisi awal jig menjadi lebih konsisten, aman, dan memudahkan operator dalam pengoperasian mesin secara berulang.

1.2 Desain Produk

Desain produk pada mesin bending pipa tembaga semi otomatis dibuat menggunakan aplikasi Autodesk Inventor Pro 2025. Penggunaan aplikasi ini bertujuan untuk mempermudah proses perancangan, pembuatan part, serta proses assembly seluruh komponen mesin sebelum

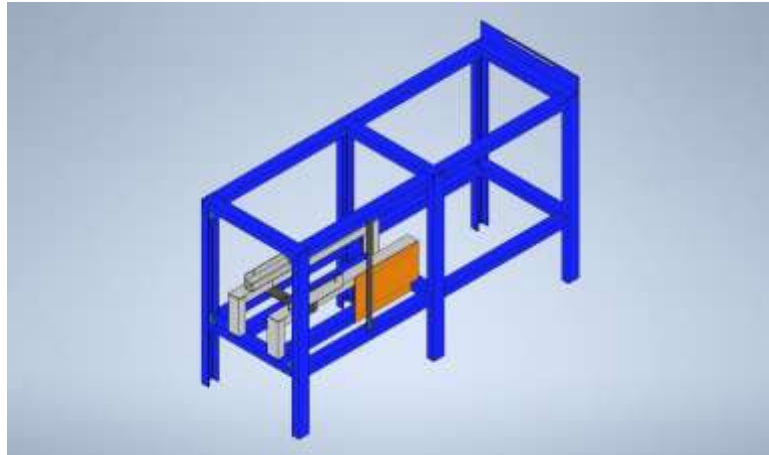
dilakukan proses fabrikasi. Dengan menggunakan Inventor Pro 2025, desain mesin dapat dibuat lebih detail sehingga memudahkan dalam proses pembuatan, pemasangan, dan evaluasi sistem kerja mesin. Hasil desain keseluruhan mesin bending pipa tembaga semi otomatis ditunjukkan pada Gambar di bawah ini. Desain tersebut memperlihatkan susunan komponen utama yang telah dirancang dan di-assembly sehingga membentuk satu kesatuan sistem yang siap untuk diproduksi dan dirakit. Mesin bending pipa tembaga semi otomatis dirancang dengan konsep assembly agar setiap komponen dapat dipasang dan dibongkar dengan mudah saat proses perawatan maupun perbaikan. Selain itu, desain dibuat dengan mempertimbangkan kestabilan konstruksi, keamanan operator, kemudahan pengoperasian, serta ketepatan proses pembengkokan pipa. Pada proses perancangannya, mesin terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terhubung sehingga mampu mendukung proses bending secara semi otomatis. Komponen utama tersebut meliputi desain rangka mesin, desain meja kerja mesin, desain jig bending, desain sistem penjepit pipa, desain poros bending, desainudukan motor dan transmisi, serta desain panel box.



a. Desain Rangka Mesin

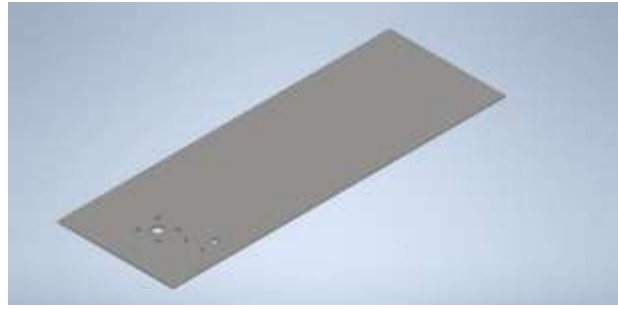
Rangka mesin pada mesin bending pipa tembaga semi otomatis dirancang sebagai struktur utama yang berfungsi untuk menopang seluruh komponen mekanik dan elektrik selama proses kerja mesin berlangsung. Pada perancangan ini, rangka menggunakan baja profil UNP ukuran $65 \times 42 \times 5$ mm karena memiliki konstruksi yang kuat, kokoh, serta mampu menahan beban dan getaran saat proses bending berlangsung. Desain rangka mesin yang dirancang menggunakan Autodesk Inventor Professional 2025 ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Desain rangka dibuat menyerupai meja kerja agar memudahkan operator dalam proses pemasangan material dan pengoperasian mesin. Bagian atas rangka digunakan sebagai kedudukan meja kerja, jig bending, poros bending, dan sistem penjepit pipa. Sedangkan bagian

bawah rangka dimanfaatkan sebagai tempat pemasangan motor set gearbox dan sistem kontrol mesin sehingga susunan komponen menjadi lebih ringkas dan stabil. Konstruksi rangka dirancang agar seluruh komponen mesin tetap sejajar selama mesin beroperasi sehingga proses pembengkokan dapat berlangsung lebih stabil dan presisi. Selain itu, desain rangka juga mempertimbangkan kemudahan proses pemasangan komponen dan perawatan mesin sehingga seluruh sistem dapat tersusun lebih rapi dan mudah dilakukan pengecekan maupun perbaikan apabila terjadi gangguan pada mesin.



b. Desain Meja Kerja Mesin

Meja kerja pada mesin bending pipa tembaga semi otomatis dirancang sebagai tempat pemasangan jig bending dan dudukan material pipa selama proses pembengkokan berlangsung. Pada perancangan ini, meja kerja menggunakan plat galvanis karena memiliki permukaan yang rata, cukup kuat, tahan terhadap korosi, serta mudah dilakukan proses fabrikasi. Desain meja kerja yang dirancang menggunakan Autodesk Inventor Professional 2025 ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Meja kerja dipasang pada bagian atas rangka mesin dan digunakan sebagai dudukan jig bending, sistem penjepit pipa, dan stopper bolt. Permukaan meja dirancang tetap rata agar posisi jig dan material dapat terjaga dengan stabil selama proses bending berlangsung sehingga hasil pembengkokan menjadi lebih presisi dan konsisten. Selain itu, pemasangan stopper bolt pada meja kerja berfungsi sebagai pembatas gerakan jig saat kembali ke posisi awal (home position). Dengan desain meja kerja yang stabil dan kokoh, proses pembengkokan pipa dapat berlangsung lebih aman, rapi, dan mengurangi getaran selama mesin beroperasi.

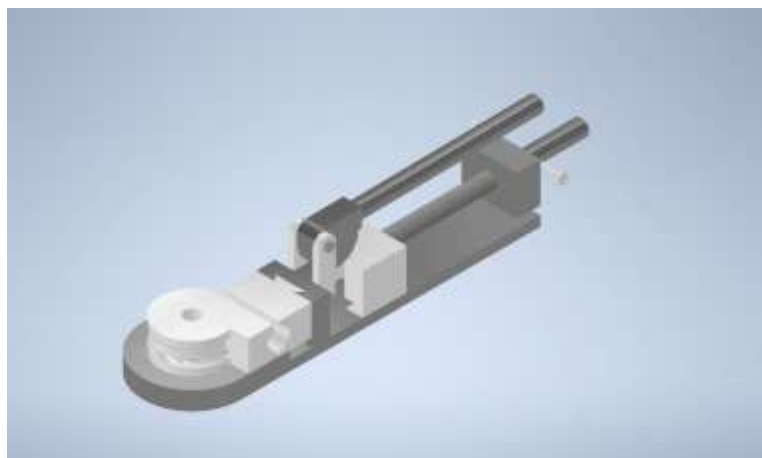


c. Desain Jig Bending

Jig bending pada mesin bending pipa tembaga semi otomatis dirancang sebagai komponen utama yang berfungsi untuk membentuk pipa sesuai radius dan sudut pembengkokan yang diinginkan. Pada mesin ini digunakan sistem rotary bending, di mana jig berputar mengikuti putaran poros bending sehingga proses pembentukan pipa dapat berlangsung secara lebih stabil dan presisi. Desain jig bending yang digunakan pada mesin ini ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

Jig bending yang digunakan merupakan jig dari alat bending manual sebelumnya yang masih sesuai dengan kebutuhan proses pembengkokan pipa tembaga. Penggunaan jig tersebut bertujuan untuk memanfaatkan komponen yang sudah tersedia tanpa mengurangi kualitas hasil bending yang dihasilkan. Selain itu, penggunaan jig lama juga membantu mempersingkat proses perancangan dan pembuatan mesin.

Jig dipasang pada poros bending dan dihubungkan langsung dengan motor set gearbox sebagai sistem penggerak utama. Saat proses bending berlangsung, pipa dijepit pada jig kemudian mengikuti arah putaran jig hingga mencapai sudut pembengkokan yang telah diatur pada sistem kontrol melalui HMI dan PLC.



Dengan penggunaan jig bending pada sistem semi otomatis ini, proses pembengkokan pipa menjadi lebih stabil, rapi, dan konsisten dibandingkan proses manual. Selain itu, sistem

penggerak otomatis juga membantu mempermudah proses kerja operator dan meningkatkan efisiensi proses bending.

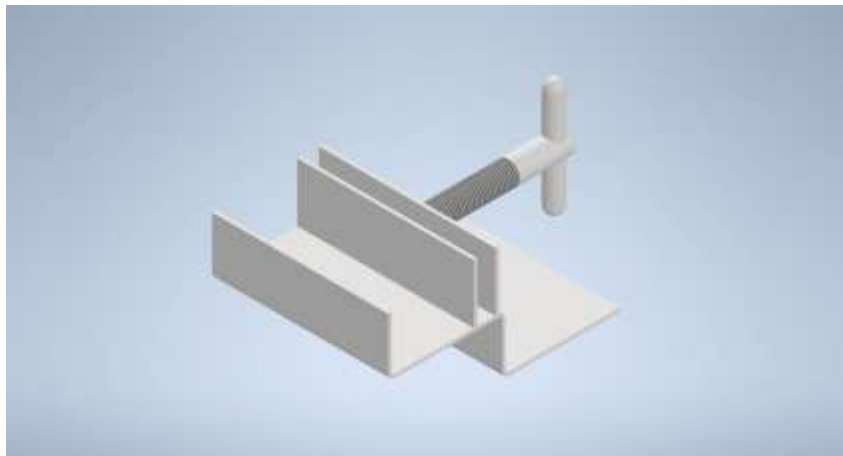
d. Desain Sistem Penjepit Pipa

Sistem penjepit pipa pada mesin bending pipa tembaga semi otomatis dirancang untuk menjaga posisi material tetap stabil selama proses pembengkokan berlangsung. Pada mesin ini digunakan mekanisme screw clamp dengan baut M20 full drat sebagai penekan material sehingga pipa dapat terkunci dengan baik saat proses bending dilakukan. Desain sistem penjepit pipa yang digunakan pada mesin ini ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

Dudukan penjepit dibuat menggunakan plat galvanis dan dipasang pada bagian meja kerja di dekat jig bending. Penggunaan plat galvanis dipilih karena memiliki konstruksi yang cukup kuat, tahan terhadap korosi, serta mudah dilakukan proses fabrikasi dan pemasangan pada mesin.

Saat proses bending berlangsung, baut penjepit memberikan tekanan pada pipa agar material tidak bergeser mengikuti putaran jig bending. Dengan posisi material yang tetap stabil, proses pembengkokan dapat berlangsung lebih rapi dan menghasilkan sudut bending yang lebih presisi dan konsisten.

Penggunaan sistem penjepit dengan mekanisme manual juga memudahkan operator dalam proses pemasangan dan pelepasan material karena tekanan penjepit dapat disesuaikan dengan ukuran pipa yang digunakan pada proses pembengkokan.



e. Desain Poros Bending

Poros bending pada mesin bending pipa tembaga semi otomatis dirancang sebagai penerus putaran dari motor set gearbox menuju jig bending. Pada perancangan ini digunakan poros berbahan S45C dengan diameter 45 mm karena memiliki kekuatan mekanik yang baik

serta mampu menahan beban puntir selama proses pembungkukan berlangsung. Desain poros bending yang digunakan pada mesin ini ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

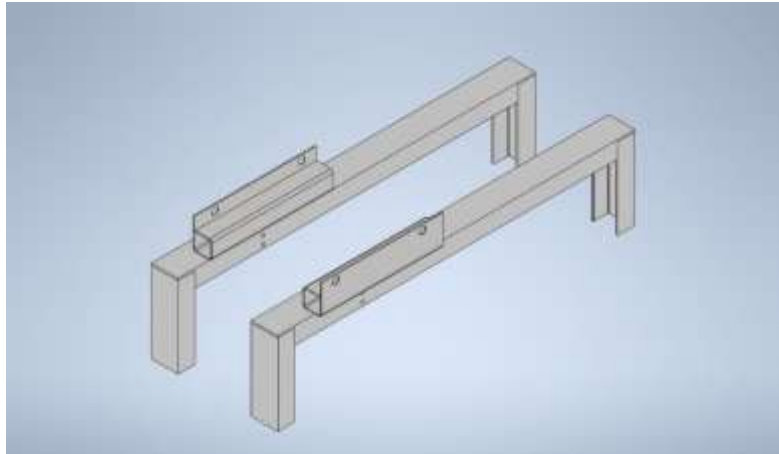
Poros dipasang pada sistem bearing menggunakan pillow block bearing agar putaran poros tetap stabil dan gesekan selama mesin beroperasi dapat dikurangi. Penggunaan pillow block bearing juga membantu menjaga posisi poros tetap sejajar sehingga putaran jig bending menjadi lebih halus dan stabil.

Pada saat motor set gearbox beroperasi, putaran diteruskan langsung ke poros bending sehingga jig dapat berputar mengikuti arah putaran motor. Dengan sistem tersebut, proses pembungkukan pipa dapat berlangsung lebih stabil, presisi, dan mengurangi getaran selama proses bending dilakukan.



f. Desain Dudukan Motor dan Transmisi

Dudukan motor pada mesin bending pipa tembaga semi otomatis dirancang sebagai tempat pemasangan motor set gearbox yang digunakan sebagai penggerak utama mesin. Pada perancangan ini, dudukan motor dibuat menggunakan baja profil UNP dengan ukuran yang sama seperti rangka mesin agar konstruksi menjadi lebih kuat, stabil, dan mampu menahan beban motor selama mesin beroperasi. Desain dudukan motor set gearbox dan sistem transmisi yang digunakan pada mesin ini ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



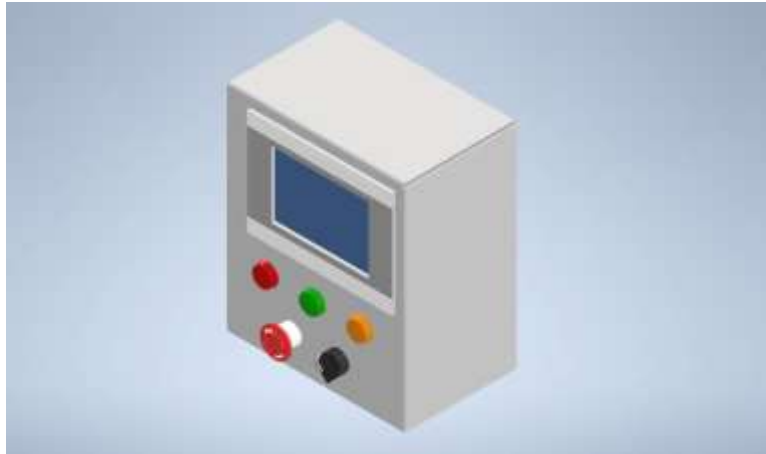
Dudukan motor dipasang pada bagian bawah rangka dan disesuaikan dengan posisi motor set gearbox serta jalur transmisi menuju poros bending. Penggunaan baja profil UNP dipilih karena memiliki kekuatan yang baik, mudah dilakukan proses pengelasan, serta mampu membantu mengurangi getaran yang terjadi saat proses bending berlangsung.

Sistem transmisi pada mesin ini menggunakan hubungan langsung antara motor set gearbox dan poros bending melalui kopling. Penggunaan sistem transmisi langsung bertujuan untuk menghasilkan putaran yang lebih stabil, mempermudah proses pemasangan, serta memudahkan perawatan komponen transmisi.

Saat motor set gearbox beroperasi, putaran motor diteruskan langsung menuju poros bending sehingga jig dapat berputar secara stabil selama proses pembengkokan pipa berlangsung. Dengan sistem transmisi tersebut, proses bending dapat dilakukan dengan lebih halus dan membantu meningkatkan kestabilan kerja mesin.

g. Desain Panel Box

Panel box berfungsi sebagai tempat penyimpanan dan pengaturan komponen kelistrikan pada mesin bending pipa tembaga semi otomatis. Panel ini dirancang agar seluruh sistem kelistrikan dapat tersusun dengan rapi, aman, dan mudah saat dilakukan proses pemeriksaan maupun perawatan. Desain panel box pada mesin bending pipa semi otomatis ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Di dalam panel box terdapat beberapa komponen utama seperti, terminal block, human machine interface (HMI), serta programmable logic controller (PLC) yang digunakan untuk mengontrol kerja mesin. Selain itu, pada bagian depan panel juga dilengkapi tombol pengoperasian dan indikator sebagai media kontrol operator.

Desain panel box dibuat menyesuaikan kebutuhan sistem kontrol mesin serta mempertimbangkan keamanan instalasi listrik dari gangguan seperti korsleting dan beban berlebih. Dengan adanya panel box, sistem kelistrikan mesin menjadi lebih terorganisir dan mempermudah proses pengoperasian mesin.

Dengan penggunaan panel box, sistem kontrol dan kelistrikan pada mesin dapat bekerja dengan lebih terorganisir, aman, dan membantu mempermudah proses pengoperasian mesin bending pipa tembaga semi otomatis.

BAB III

STATUS LUARAN

Sesuai jadwal yang telah direncanakan pada proposal penelitian maka pada bulan ke 7 adalah proses pembuatan alat sesuai tabel jadwal berikut:

Tabel 1 Jadwal

No	Nama Kegiatan	Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Studi literatur	√	√										
2	Perancangan sistem			√	√	√							
3	Pembuatan alat						√	√	√	√			
4	Uji fungsional										√		
5	Analisis dan optimasi										√	√	√
6	Dokumentasi			√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

Pada tahap ini proses pengerjaan meliputi pembuatan rangka dan pembelian komponen yang diperlukan. Hingga bulan ke 7 dari mulainya penelitian (Agustus 2026) pengerjaan yang sudah dan sedang dilakukan adalah:

1. Pembuatan desain final 3D dan 2D.
2. Pembelian komponen.
3. Pembuatan rangka.

Proses pembuatan rangka sudah diselesaikan dan sedangkan dilakukan proses pembuatan tutup samping dan meja bagian atas yang akan menjadi dudukan alat *bending*.



Gambar 1 Rangka mesin

Rangka alat ini akan menjadi dukungan untuk motor listrik dan alat *bending* manual yang akan diubah menjadi semi otomatis dengan mengganti tenaga manusia dengan motor listrik.

Adapun besarnya dana yang sudah dihabiskan hingga saat ini sebagai berikut:

Tabel 2 Penggunaan data

NO	NAMA PART	SPESIFIKASI	Qty	HARGA	TOTAL
1	Rangka utama	Besi UNP 65x42x5mm (6 m)	4	372.000	1.488.000
2	Alas meja	Plat galvanis 3 mm (2,4x1,2 m)	2	3.470.000	6.940.000
3	Motor set gearbox 160	NMRV 130-3 kW- 4 HP	1	12.980.000	12.980.000
4	Ball roller hexagonal	Stainless steel – C-BCHL 10	4	101.000	404.000
5	Bearing	Ball bearing 6209	1	105.000	105.000
6	Pillow block bearing	UCF 209 Merk ASB	1	105.000	105.000
7	Shaft S45C	58x1000 mm	1	565.000	565.000
8	Penutup rangka	Plat galvanis 15 mm (2,4x1,2 m)	2	1.700.000	3.400.000
9	Baut, mur dan ring	M10x25	2	10.000	20.000
10	Baut, mur dan ring	M10x30	18	5.000	90.000
11	Baut, mur dan ring	M10x20	4	7.000	28.000
12	Baut, mur dan ring	M8x25	10	2.500	25.000
13	Baut, mur dan ring	M8x8	10	2.000	20.000
14	Baut baja full drat	M20x200 mm	1	60.000	60.000
15	Cat besi anti karat	Nippon Bodelac 2-1 (biru)	1	140.000	140.000
16	Alas meja	Plat galvanis 5 mm (2,4x1,2 m)	1	3.820.000	3.820.000
					30.190.000

BAB IV

KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN

Selama dilaksanakan proses penelitian ini tidak ada kendala yang signifikan, hanya sedikit keterlambatan datangnya beberapa barang yang dibutuhkan. Akan tetapi karena jadwal pelaksanaan yang relatif longgar maka tidak mengganggu jadwal lainnya.

BAB V

RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA

Bila pembuatan rangka sudah dilakukan maka pembuatan rangka selesai dilakukan. Ada beberapa hal yang akan dilakukan setelah pembuatan rangka hingga alat siap untuk diuji yaitu:

1. Pemasangan alat bending pada meja atas.
2. Pembuatan poros penghubung motor ke alat *bending*.
3. Instalasi motor.
4. Pemasangan komponen dan rangkaian elektrik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sularso dan Kiyokatsu Suga. (2004). Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin. Jakarta: Pradnya Paramita.
2. Adi, Daru Y. (2010). Dasar Perancangan dan Pemilihan Elemen Mesin Jilid 1. Cikarang: Politeknik ATMI Cikarang.
3. Tosin, Rijanto. (2012). Mekanika Teknik Bahan: Dimensi, Beban dan Bahan. Cikarang: Politeknik ATMI Cikarang.
4. Sudibyo, B. (2012). Kekuatan dan Tegangan Ijin. Surakarta: ATMI Press.
5. Copper Development Association. (2020). Copper Tube Handbook. New York: CDA.
6. Japanese Standards Association. (2020). JIS G3101: Rolled Steels for General Structure. Tokyo: Japanese Standards Association.
7. SKF Indonesia. (2021). Panduan Bearing dan Pillow Block untuk Mesin Industri. Jakarta: SKF Indonesia.
8. Haroen, A. (2018). Dasar-Dasar PLC: Pengertian, Fungsi, dan Aplikasi. Yogyakarta: Deepublish.
9. Bolton, W. (2021). Programmable Logic Controllers. Oxford: Newnes. Omron Indonesia. (2022). Panduan Rotary Encoder dan Proximity
10. Sensor. Jakarta: Omron Electronics Indonesia. Schneider Electric Indonesia. (2022). Panduan Miniature Circuit
11. Breaker (MCB) dan Variable Frequency Drive (VFD). Jakarta: Schneider Electric Indonesia.
12. Siemens Indonesia. (2022). Modul PLC dan HMI untuk Aplikasi Industri. Jakarta: Siemens Indonesia.
13. Politeknik ATMI Cikarang. (2023). Modul Perancangan Mesin dan Sistem Otomasi Industri. Cikarang: Politeknik ATMI Cikarang.
14. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2020). Shigley's Mechanical Engineering Design (11th ed.). McGraw-Hill Education.

