



TUGAS AKHIR- AB 1956 409

**RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN PADA
PENYANGGA PEMANAS AKRILIK KETEBALAN
2MM.**

Oleh:

Lailatus Sahri Sarifah

NRP. 33212301008

Dosen Pembimbing 1

Abdul Hamid S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing 2

Mohammad Anas Fikri, S.T., M.T.

**PRODI D3 TEKNIK MESIN ALAT BERAT JURUSAN
REKAYASA MESIN DAN INDUSTRI POLITEKNIK
NEGERI MADURA**

2026

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Lailatus Sahri Sarifah
NRP : 33212301008
Program Studi : D3 Teknik Mesin Alat Berat
Jurusan : Rekayasa Mesin Dan Industri
Tahun Akademik : 2025/2026

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir saya dengan judul **Rancang Bangun Sistem Pendingin pada Penyangga Pemanas Akrilik Ketebalan 2mm** adalah original, belum pernah dibuat oleh pihak lain dan bebas dari plagiarisme.

Bilamana pada kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, saya bersedia dituntut dan di proses sesuai dengan penentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Sampang, 27 Juli 2026

Yang menyatakan



Lailatus Sahri Sarifah

NRP.33212301008

LEMBAR PERSETUJUAN SIDANG TUGAS AKHIR

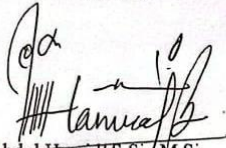
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Pendingin pada Penyangga Pemanas Akrilik ketebalan 2mm.
Penulis : Lailatus Sahri Sarifah
NRP : 33212301008
Jurusan : Rekayasa Mesin Dan Industri
Program Studi : Teknik Mesin Alat Berat

Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disetujui untuk mengikuti Seminar Hasil Tugas Akhir.

Ditandatangani di Sampang,

Menyetujui,

Pembimbing I



Abdul Hamid, S.Si., M.Si.
NIP. 198805172019031012

Koordinator Program Studi
D3 Teknik Mesin Alat Berat



Mohammad Anas Fikri, S.T., M.T.
NIPPPK. 197705222021211005

Pembimbing II



Mohammad Anas Fikri, S.T., M.T.
NIPPPK. 197705222021211005

Koordinator TA
D3 Teknik Mesin Alat Berat



Faizatur Rohmah, S.Si., M.Si.
NIPPPK. 199006062024212053

LEMBAR PENGESAHAN

Rancang Bangun Sistem Pendingin pada Penyangga Pemanas Akrilik Ketebalan 2mm

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Ahli Madya Teknik (A.Md. T.)

Pada

Jurusan Rekayasa Mesin dan Industri
Program Studi Teknik Mesin Alat Berat
Politeknik Negeri Madura

Oleh:

Lailatus Sahri Sarifah

NRP: 33212301008

Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal 29 Juli 2026
dan telah sesuai dengan ketentuan.

Disetujui Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Abdul Hamid, S.Si., M.Si (Pembimbing I)
2. Mohammad Anas Fikri, S.T., M.T. (Pembimbing II)
3. Lukman Hadiwijaya, S.T., M.T. (Penguji I)
4. Auliana Diah Wilujeng, S.T., M.T. (Penguji II)
5. Faizatur Rohmah, S.Si., M.Si. (Penguji III)

SAMPANG

Juli 2026

RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN PADA PENYANGGA PEMANAS AKRILIK KETEBALAN 2MM

Nama : Lailatus Sahri Sarifah

NRP : 33212301008

Pembimbing 1 : Abdul Hamid, S.Si., M.Si

Pembimbing 2 : Mohammad Anas Fikri, S.T., M.T

ABSTRAK

Proses bending akrilik memerlukan pengendalian temperatur yang baik agar kualitas hasil pembentukan tetap terjaga. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem pendingin pada penyangga pemanas akrilik ketebalan 2 mm menggunakan media air yang disirkulasikan secara terus-menerus. Sistem pendingin terdiri atas *reservoir*, pompa air celup, selang, dan *heat sink* yang dirancang untuk menyerap panas dari penyangga pemanas selama proses bending. Metode penelitian meliputi tahap perancangan alat, perakitan sistem, serta pengujian terhadap debit aliran air, head total pompa, temperatur *heater*, temperatur penyangga, dan temperatur air pada sistem pendingin. sistem menghasilkan debit aliran air sebesar 0,0263 L/s atau 1,58 L/menit dengan head total pompa sebesar 2 m. Penggunaan sistem pendingin mampu menurunkan temperatur rata-rata penyangga dari 39,45°C menjadi 30,47°C. Selain itu, temperatur air setelah melewati *heat sink* meningkat dari 28,4°C menjadi 29,3°C, laju perpindahan panas secara konduksi sebesar 22.230 W atau 22,23 kW. yang menunjukkan bahwa air berhasil menyerap panas dari penyangga pemanas.

Kata kunci : akrilik, bending, sistem pendingin, pendinginan air, pengendalian suhu

**RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN PADA
PENYANGGA PEMANAS AKRILIK KETEBALAN 2MM**

Nama : Lailatus Sahri Sarifah

NRP : 33212301008

Pembimbing 1 : Abdul Hamid, S.Si., M.Si

Pembimbing 2 : Mohammad Anas Fikri, S.T., M.T

ABSTRAK

The acrylic bending process requires proper temperature control to maintain product quality. This study aims to design and develop a cooling system for a 2 mm acrylic heater support using continuously circulating water as the cooling medium. The cooling system consists of a reservoir, submersible water pump, hose, and heat sink designed to absorb heat from the heater support during the bending process. The research method included system design, assembly, and performance testing by measuring the water flow rate, total pump head, heater temperature, support temperature, and water temperature within the cooling system. The experimental results showed that the system produced a water flow rate of 0.0263 L/s or 1.58 L/min with a total pump head of 2 m. The cooling system reduced the average support temperature from 39.45°C to 30.47°C. Furthermore, the water temperature increased from 28.4°C at the inlet to 29.3°C at the outlet of the heat sink, The conductive heat transfer rate is 22,230 W or 22.23 kW, indicating that the circulating water effectively absorbed heat from the heater support.

Keywords: *cooling system, heater support, acrylic, heat sink, water pump.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan kekuatan, kemampuan, dan kesabaran kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “*Rancang bangun Sistem Pendingin pada Penyangga Pemanas Akrilik Ketebalan 2mm*”

Terwujudnya tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan pihak yang telah mendorong dan membimbing penulis, baik tenaga, ide-ide, maupun pemikiran. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Yth. Ibu Laily Ulfiyah, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Madura.
2. Yth. Bapak Amin Jakfar, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan.
3. Yth. Ibu Faizatur Rohmah, S.Si., M.Si. selaku koordinator Tugas Akhir Politeknik Negeri Madura.
4. Yth. Bapak Abdul Hamid, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing 1 yang senantiasa memberikan kritik dan saran dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
5. Yth. Bapak Mohammad Anas Fikri, S.T., M.T. selaku ketua Jurusan Rekayasa Mesin dan Industri sekaligus dosen pembimbing 2 yang senantiasa memberikan kritik dan saran dalam pengerjaan tugas akhir ini.
6. Para dosen dan tenaga kependidikan Politeknik Negeri Madura yang telah melayani mahasiswa selama penulis menempuh pendidikan di sini.
7. Kepada kedua orang tua saya Abd. Azis dan Halimah. Terima kasih atas segala pengorbanan dan tulus kasih sayang yang telah diberikan kepada saya. Beliau

memang tidak sempat merasakan pendidikan dibangunku perkuliahan, namun mereka mampu senantiasa memberikan yang terbaik, tak kenal lelah mendoakan serta memberikan perhatian dan dukungan hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.

8. Kepada saudara saya, Lailatul Kodariyah. Terima kasih telah memmmberikan semangat, dukungan dan motivasi serta terima kasih telah senantiasa meluangkan waktunya untuk menjadi tempat dan pendengar terbaik penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Untuk teman-teman grup berlima, Himmatul Aulia, Surahmat Tegar Pratanu, Fahmi Achmad Maarif, dan Agung Setia Budi Hidayatullah terimakasih atas dukungan dan sarannya yang telah diberikan.
10. Untuk mereka yang tidak bisa penulis sebutkan namanya terimakasih telah mengajak penulis untuk sejenak merehatkan badan dan pikiran selama penulisan tugas akhir ini.
11. Untuk Salah satu teman spesial penulis, Kurinatul Jannah terimakasih telah selalu ada untuk penulis, memberi semangat, dukungan dan saran.
12. Terakhir untuk diri saya sendiri, Lailatus Sahri Sarifah yang telah menepikan ego dan memilih untuk kembali bangkit dan menyelesaikan semua ini. Terima kasih telah mengendalikan diri dari berbagai tekanan di luar keadaan dan tidak pernah menyerah.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan-perbaikan ke depan. Aamiin Yaa Rabbal Alaamiin.

Sampang, 21 Januari 2026

Lailatus Sahri Sarifah
33212301008

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	Error!
Bookmark not defined.	
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SIGKATAN DAN LAMBANG.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	7
2.2 Akrilik	10
2.3 Aluminium Profile	11
2.4 Alat Bending Akrilik.....	12
2.5 Sistem Pendingin	15
2.6 Pendinginan Cair (Water Cooling).....	16
2.7 Pengaruh Laju Aliran Air	17
2.8 Perpindahan Panas pada Sistem Pendingin Penyangga Bending	17
2.8.1 Rumus Suhu Pemanasan Akrilik.....	19
2.8.2 Rumus Debit Aliran Air Pendingin	19
2.8.3 Rumus Kecepatan Aliran Fluida Pendingin	19
2.8.4 Rumus Daya Pompa Air	20
2.9 Karakteristik Akrilik.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Tahapan Penelitian	22
3.2 Alat dan Bahan	23
3.2.1 Alat	23
3.2.2 Bahan	23
3.3 Desain dan Cara Kerja Alat	23
3.3 Proses Pengujian Alat.....	24
BAB IV PEMBAHASAN.....	28

4.1 Merancang dan Membangun Sistem Pendingin.....	28
4.2 Pengaruh Sistem Pendingin terhadap Temperatur Penyangga Pemanas Bending Akrilik.....	29
4.2.1 Data Perencanaan.....	29
4.2.2 Pengujian Sistem Pendingin.....	30
4.3 Pengujian Sistem Pemanas (Heater)	31
4.3.1 Perhitungan Energi Panas Heater	32
4.3.2 Perhitungan Waktu Pemanasan	33
4.4 Pengujian Temperatur Penyangga	34
4.5 Pengujian Sistem Pendingin pada Pemanas	35
4.5.1 Perhitungan Perpindahan panas.....	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Sebelumnya	7
Tabel 3. 1 waktu tekuk akrilik.....	26
Tabel 4. 1 Data Perencanaan	29
Tabel 4. 2 Data Hasil Pengukuran debit air	30
Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian Heater.....	31
Tabel 4. 4 Data Hasil Pengujian temperature penyangga	34
Tabel 4. 5 Data Hasil Pengujian sistem pendingin pada pemanas	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mesin Pemanas Dan Bending Akrilik	9
Gambar 2. 2 Akrilik 2mm.....	10
Gambar 2. 3 <i>Alumunium Profile</i>	11
Gambar 2. 4 Alat Bending.....	12
Gambar 2. 5 Karakteristik Akrilik (S-POLYTEC)	20
Gambar 3. 1 Flowchart.....	22
Gambar 3. 2 Desain Rancang Bangun Alat.....	23
Gambar 4. 1 Skema Rancangan Sistem Pendingin	28
Gambar 4. 2 Hasil Rancangan	28
Gambar 4. 3 grafik data pengujian <i>heater</i>	32
Gambar 4. 4 grafik pengujian temperature penyangga	34
Gambar 4. 5 grafik pengujian sistem pendingin pada pemanas	35

DAFTAR SIGKATAN DAN LAMBANG

PMMA	: <i>Polymethyl Methacrylate</i>
PID	: <i>Proportional-Integral-Derivative</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bending atau penekukkan secara umum adalah proses pemberian tekanan pada bagian yang telah ditentukan sehingga akhirnya terjadilah *deformasi* plastis pada bagian yang telah di tentukan tersebut, pada penelitian ini bending atau penekukkan adalah suatu proses pemberian gaya pada material akrilik yang telah di panaskan terlebih dahulu sehingga menghasilkan sudut lengkungan pada akrilik. Permasalahan yang sering terjadi secara luas umunya adalah hasil tekukan yang cacat mulai dari sudut yang tidak sesuai ataupun hasil tekukan yang terlihat buram bahkan bisa sampai menghitam karena pengaturan suhu yang tidak pas dan juga bisa disebabkan karena suhu panas yang tidak stabil[1].

Proses bending akrilik melibatkan pemanasan material hingga mencapai temperatur plastis agar dapat dibengkokkan sesuai bentuk yang diinginkan dalam pengujian mesin pemanas dan bending akrilik, temperatur pemanasan yang digunakan berkisar antara 150–155 °C, dan waktu pemanasan untuk ketebalan 2 mm dicatat antara 1–3 menit sebelum dilakukan pembengkokan. Selama proses tersebut, suhu komponen alat dan permukaan kerja meningkat secara signifikan sehingga jika tidak diatur dengan baik dapat menimbulkan gangguan kualitas produk, pembengkokan yang tidak presisi, serta kerusakan pada elemen pemanas maupun struktur mesin karena akumulasi panas berlebih hal ini tercermin dari kebutuhan kontrol temperatur yang konsisten untuk menghindari *deformasi* atau cacat bentuk pada akrilik[2].

Proses bending akrilik (PMMA) Plastik bening, ringan, dan kuat yang dikenal sebagai pengganti kaca yang lebih tahan pecah memerlukan pemanasan terkontrol untuk melunakkan lembaran sehingga dapat ditebuk sesuai sudut yang diinginkan. Untuk ketebalan tipis seperti 2 mm, rentang suhu pemanasan dan laju pendinginan sangat menentukan kualitas hasil. Pendinginan yang terlalu cepat atau tidak merata dapat menimbulkan retak halus, *warping* (*deformasi*), atau perubahan optik (*kekeruhan*).

Pada alat bending akrilik konvensional, sistem pendinginan sering kali belum menjadi perhatian utama. Padahal, pendinginan berperan penting dalam mengontrol laju penurunan suhu setelah proses pemanasan agar struktur material tetap stabil. Pendinginan yang terlalu cepat atau tidak merata dapat menyebabkan tegangan sisa (*residual stress*) pada akrilik yang berdampak pada menurunnya kualitas hasil bending serta umur pakai produk. Oleh karena itu, diperlukan sistem pendingin yang mampu menjaga suhu akrilik tetap terkendali setelah proses pemanasan.

Selain itu, beberapa studi dan laporan teknis tentang perancangan mesin bending akrilik menunjukkan implementasi berbagai konfigurasi pemanas (*tubular*, *roll*, atau *area heater*) dan perlunya prosedur pendinginan yang konsisten agar lembaran kembali ke keadaan kaku tanpa cacat. Oleh karena itu penelitian rancang bangun sistem pendingin yang terintegrasi dengan alat bending mempelajari pilihan media pendingin (kipas/blower, saluran udara terfokus, atau pendingin berbasis cair), tata letak saluran, serta strategi kontrol suhu/waktu menjadi penting untuk meningkatkan mutu produk, mengurangi scrap, dan mempercepat siklus produksi pada akrilik 2 mm[3].

Seiring perkembangan teknologi manufaktur, penelitian tentang rancang bangun alat bending akrilik terus berkembang,

termasuk integrasi sistem pendingin berbasis udara atau cairan. Sistem pendingin tersebut diharapkan dapat meningkatkan kualitas hasil bending, mengurangi cacat produk, serta meningkatkan keselamatan dan efisiensi kerja operator. Terutama pada akrilik ketebalan 2 mm yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan suhu, sistem pendingin menjadi komponen penting yang tidak dapat diabaikan.

Kendala pemanasan manual mengakibatkan temperatur pemanasan tidak merata untuk seluruh permukaan akrilik, sehingga berpengaruh terhadap kualitas hasil bending, temperatur yang terlalu tinggi mengakibatkan akrilik *Overheat*, meleleh dan sudut bending tidak sesuai, sedangkan temperatur pemanasan terlalu rendah mengakibatkan retak pada sudut bending. Kendala lainnya adalah waktu yang dibutuhkan untuk proses pemanasan akrilik secara manual dinilai cukup lama jika dibandingkan dengan dipanaskan dengan menggunakan mesin pemanas. Mesin pemanas dan bending yang sudah ada dipasaran biasanya diperuntukan bagi industri besar atau juga ada yang memiliki ukuran dibawah 1m sehingga dimensi akrilik yang dapat dipanaskan terbatas[2].

Pada penelitian sebelumnya Nugraha dkk, telah merancang dan membuat mesin pemanas dan bending akrilik skala UMKM (Usaha Mikro kecil dan Menengah) yang dapat digunakan hingga dimensi lebar 600 mm dan panjang tak terbatas, serta dapat memanaskan hingga ketebalan 10 mm dengan proses pemanasan yang kontinyu. Proses bending dilakukan pada akrilik berwarna bening dengan variasi ketebalan yang berbeda yaitu 2 mm, 3 mm dan 5 mm. Terdapat 3 sudut yang akan diaplikasikan pada proses bending akrilik pada penelitian ini yaitu 0° , 45° , dan 90° [2].

Oleh karena itu, dalam penelitian ini diperlukan rancang bangun sebuah sistem pendingin terintegrasi pada alat bending

akrilik ketebalan 2 mm, yang tidak hanya mempercepat proses pendinginan tapi juga mengontrol laju penurunan suhu agar sesuai dengan karakteristik termal PMMA. Sistem ini diharapkan mampu meningkatkan kualitas hasil produk untuk mesin bending akrilik di PT. Dempo Laser Metalindo.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan yang ada pada latar belakang, maka rumusan masalah yang diberlakukan penulis pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem pendingin yang efektif pada penyangga pemanas akrilik ketebalan 2 mm untuk mengendalikan suhu selama proses pemanasan?.
2. Bagaimana meningkatkan kinerja sistem pendingin dalam menurunkan suhu akrilik selama proses pemanasan agar tidak terjadi *deformasi* berlebih?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah merupakan ruang lingkup masalah yang ingin dibatasi oleh penulis, oleh karena itu batasan masalah diperlukan supaya penulis bisa memberikan hasil yang maksimal adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi pada akrilik dengan ketebalan 2 mm.
2. Sistem pendingin yang dirancang hanya difokuskan pada proses pendinginan setelah atau selama proses bending, bukan pada sistem pemanasan akrilik.
3. Penelitian akan dilaksanakan di PT. Dempo Laser Metalindo.

1.4 Tujuan

Dengan demikian tujuan penelitian tugas akhir yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem pendingin yang efektif

pada penyangga pemanas akrilik ketebalan 2 mm untuk mengendalikan suhu selama proses pemanasan

2. Meningkatkan Kinerja sistem pendingin dalam menurunkan suhu akrilik setelah proses pemanasan agar tidak terjadi *deformasi* berlebih

1.5 Manfaat

Rancang bangun sistem pendingin pada penyangga pemanas akrilik ketebalan 2 mm bermanfaat untuk mengendalikan suhu saat proses bending sehingga mencegah kerusakan material, meningkatkan kerapian dan presisi hasil tekukan, serta menjaga kestabilan dimensi akrilik. Selain itu, sistem pendingin membantu memperpanjang umur alat, meningkatkan keselamatan kerja, dan mengurangi tingkat produk cacat sehingga proses produksi menjadi lebih efisien.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Pada tahap awal penelitian dilakukan beberapa studi literatur sebagai acuan penulis merancang dan membuat **“Sistem Pendingin pada Penyangga Pemanas Akrilik Ketebalan 2mm di PT. Dempo Laser Metalindo.**

Tabel 2. 1 Penelitian Sebelumnya

No	Sumber Reverensi	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Nugraha et al., 2024[2].	Pengujian Mesin Pemanas Akrilik untuk Proses Bending	Ketebalan akrilik: 2–10 mm; suhu pemanasan optimum akrilik 2 mm: 150–155 °C; waktu pemanasan: 1–3 menit; waktu bending: 30–120 detik; nilai springback: 0; kapasitas produksi: 90 lembar/jam (2 mm).
2.	Maulana, Fikri dkk., 2025[4].	Perancangan Sistem Pendingin pada Prototipe Mesin Injeksi	Durasi pendinginan efektif sekitar 32 detik hingga suhu akhir 41 °C.
3.	Amin, Hudaya & Wibowo, 2022[1].	Evaluasi Unjuk Kerja Mesin Roll Akrilik	Ketidakmerataan suhu menyebabkan <i>deformasi</i> dan retak mikro pada plastik tipis.

1. Nugraha et al. (2024) dalam penelitiannya yang berjudul Pengujian Mesin Pemanas Akrilik untuk Proses Bending menyimpulkan bahwa proses bending akrilik dengan ketebalan 2–10 mm memerlukan pengaturan suhu yang tepat. Untuk akrilik dengan ketebalan 2 mm, suhu pemanasan optimum berada pada rentang 150–155 °C dengan waktu pemanasan 1–3 menit dan waktu bending 30–

120 detik. Hasil pengujian menunjukkan tidak terjadi springback ($\text{nilaispringback} = 0$) serta kapasitas produksi mesin mencapai 90 lembar per jam untuk akrilik ketebalan 2 mm[2].

2. Maulana, Fikri dkk. (2025) melalui penelitian berjudul Perancangan Sistem Pendingin pada Prototipe Mesin Injeksi menyatakan bahwa sistem pendinginan yang dirancang mampu bekerja secara efektif dalam menurunkan suhu material. Sistem tersebut memiliki durasi pendinginan rata-rata sekitar 32 detik hingga mencapai suhu akhir sebesar 41 °C, sehingga menunjukkan bahwa pendinginan terkontrol berperan penting dalam menjaga stabilitas hasil pembentukan material[4].
3. Amin, Hudaya, dan Wibowo (2022) dalam penelitian Evaluasi Unjuk Kerja Mesin Roll Akrilik menemukan bahwa ketidakmerataan distribusi suhu selama proses pemanasan dan pembentukan akrilik dapat menyebabkan terjadinya *deformasi* serta munculnya retak mikro, terutama pada material plastik dengan ketebalan tipis. Temuan ini menegaskan pentingnya pengendalian dan pemerataan suhu dalam proses pembentukan akrilik[5].

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas aspek sistem pemanasan dan pendinginan dalam proses pembentukan akrilik. Nugraha dkk melakukan Pengujian Bending Akrilik Pada Mesin Pemanas Akrilik Tubular yang menguji parameter pemanasan dan hasil bending pada variasi ketebalan termasuk 2 mm, meskipun fokus utamanya pada pengendalian suhu pemanas dan waktu pemanasan, aspek kestabilan termal menjadi bagian penting dalam menghasilkan kualitas bending yang baik. Penelitian ini menunjukkan pentingnya pengendalian suhu pemanasan dan pendinginan setelah proses bending agar *deformasi* atau cacat tidak terjadi dalam material

akrilik setelah melewati titik termofomingnya[2].



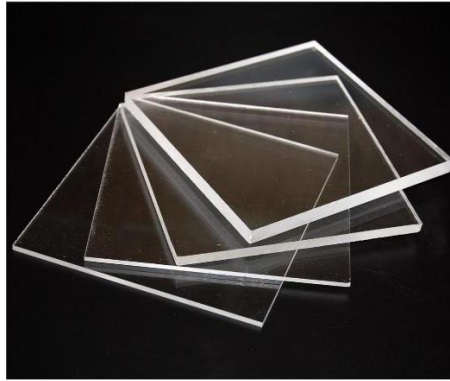
Gambar 2. 1 Mesin Pemanas Dan Bending Akrilik

Hasil pengujian diperoleh temperatur pemanasan akrilik antara 150-155°C, Waktu pemanasan akrilik untuk ketebalan 2-5mm adalah 1-3menit, Waktu bending 30-120 detik, Nilai bend allowance maks 44 mm untuk sudut 0° dan minimum 16 mm untuk sudut 90°. Semakin kecil sudut bending, nilai bend allowance semakin besar. Nilai springback rata-rata adalah 0, tidak terjadi penyimpangan terhadap garis bending. Kapasitas maksimum mesin adalah 90 akrilik perjam untuk ketebalan 2mm.

1. Spesifikasi mesin Bending Akrilik
 - a. Berat total mesin 120 kg
 - b. Motor listrik 25 Watt
 - c. Daya *Heater* Tubular 300 watt
 - d. Panjang conveyor 2 m
 - e. Tinggi meja 1 m
 - f. Temperatur Maksimal 400 °C
 - g. Luas penampang mesin 2 m²

- h. Torsi pulley conveyor 0,018 Nm
- i. Kecepatan conveyor 0,26 m/s
- j. Penutup ruang pemanas akrilik 30 cm x 60 cm
- k. Luas penampang ruang pemanas akrilik 120 cm x 60 cm

2.2 Akrilik



Gambar 2. 2 Akrilik 2mm

Akrilik atau *Polymethyl Methacrylate (PMMA)* merupakan salah satu material polimer termoplastik transparan yang banyak digunakan sebagai pengganti kaca karena memiliki tingkat kejernihan tinggi, massa jenis rendah, serta ketahanan yang baik terhadap cuaca dan sinar ultraviolet. PMMA dapat melunak ketika dipanaskan dan kembali mengeras setelah didinginkan tanpa mengalami perubahan struktur kimia, sehingga sangat cocok digunakan dalam proses pembentukan seperti bending, thermoforming, dan molding[3].

Beberapa karakteristik teknis akrilik antara lain, Kekuatan tarik menyebut PMMA memiliki kekuatan tarik tinggi dan tahan panas. PMMA sebagai material umum dengan sifat mekanik dan transparansi baik, ketahanan cuaca sangat baik untuk aplikasi luar ruangan, ketahanan terhadap goresan relatif rendah tanpa pelindung tambahan[6].

Dalam proses manufaktur, akrilik memiliki suhu

pelunakan (*softening temperature*) pada kisaran 100–120 °C, sehingga memungkinkan dilakukan proses pembungkukan tanpa merusak struktur material apabila suhu dikontrol dengan baik. Karakteristik ini menjadikan akrilik banyak digunakan dalam industri periklanan, otomotif, interior, dan peralatan rumah tangga.

Pada akrilik dengan ketebalan tipis, seperti 2 mm, sifat termal material menjadi lebih sensitif terhadap laju pemanasan dan pendinginan. Pendinginan yang terlalu cepat dapat menyebabkan *deformasi* dan tegangan sisa, sedangkan pendinginan yang terlalu lambat dapat menurunkan efisiensi proses produksi. Oleh karena itu, pengendalian suhu, khususnya pada tahap pendinginan, menjadi aspek penting dalam proses pembentukan akrilik.

2.3 Aluminium Profile



Gambar 2. 3 *Alumunium Profile*

Profil aluminium (*aluminium extrusion profile*) adalah komponen berbentuk penampang kontinu yang dibuat melalui proses ekstrusi, yaitu metode pembentukan logam di mana billet aluminium dipanaskan dan ditekan melalui cetakan berbentuk khusus untuk menghasilkan profil dengan bentuk cross-section tertentu. Proses ini memungkinkan pembuatan profil yang kompleks dan presisi tinggi sesuai gambar teknik yang dibutuhkan oleh berbagai sektor industri. Dalam penelitian pengaruh proses ekstrusi paduan aluminium 6063, dijelaskan bahwa variasi suhu pemanasan pada proses ekstrusi secara langsung mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik profil

aluminium yang dihasilkan, termasuk kekerasan permukaan.

Profil aluminium T-slot adalah produk hasil ekstrusi paduan aluminium yang memiliki alur berbentuk huruf “T” di sepanjang sisi penampangannya. Alur ini berfungsi sebagai jalur pemasangan komponen dengan mur T (T-nut) dan baut, sehingga memungkinkan perakitan struktur mekanik secara modular tanpa pengelasan. Profil ini sangat umum dipakai sebagai rangka mesin, struktur industri, rak, dan platform peralatan teknik karena mudah dirakit dan fleksibel. Aluminium memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi dibandingkan banyak logam lain sehingga mampu menghantarkan panas dengan efisien melalui struktur padatnya, sehingga aluminium profile T-slot cocok untuk digunakan dalam sistem pendinginan karena selain berfungsi sebagai rangka struktural, profil ini juga dapat memfasilitasi perpindahan panas dari sumber panas ke udara sekitar melalui konduksi dan konveksi[7].

Dalam penelitian yang membandingkan material logam, aluminium menunjukkan konduktivitas termal yang signifikan, artinya aluminium lebih efektif dalam menghantarkan panas dibanding baja, walaupun kurang dari tembaga. Hal ini membuat aluminium cocok untuk aplikasi yang memerlukan penyebaran panas.

2.4 Alat Bending Akrilik



Gambar 2. 4 Alat Bending

Alat bending akrilik merupakan suatu perangkat yang digunakan untuk membengkokkan material akrilik (polymethyl methacrylate/PMMA) dengan cara memanaskan bagian tertentu hingga mencapai kondisi plastis, kemudian dibentuk sesuai sudut atau radius yang diinginkan. Prinsip kerja alat ini didasarkan pada sifat termoplastik akrilik yang dapat melunak saat dipanaskan dan mengeras kembali setelah didinginkan tanpa mengalami perubahan struktur kimia[9].

Pada alat bending akrilik konvensional, proses pendinginan setelah pembengkokan sering dilakukan secara alami dengan memanfaatkan suhu lingkungan. Namun, metode ini dinilai kurang efektif, terutama pada akrilik dengan ketebalan tipis seperti 2 mm, karena pendinginan yang tidak merata dapat menyebabkan tegangan sisa, *deformasi*, dan ketidakstabilan sudut bending. Oleh karena itu, pengembangan alat bending akrilik modern mulai mengintegrasikan sistem pengendalian suhu dan pendinginan untuk meningkatkan kualitas hasil pembengkokan[10].

Penelitian oleh [9] menunjukkan bahwa penerapan sistem kontrol suhu pada alat penekuk akrilik dengan pengaturan suhu otomatis mampu meningkatkan presisi pembengkokan material serta mengurangi cacat visual pada produk akhir dibandingkan dengan metode manual yang tidak terkontrol, karena sistem kontrol seperti metode PID (*Proportional-Integral-Derivative*) dapat mempertahankan suhu pemanas pada set point yang diinginkan sesuai ketebalan material sehingga sudut lekukan yang dicapai lebih konsisten dan kerusakan material akibat over-heating dapat diminimalkan. Pada penelitian tersebut, alat penekuk dilengkapi dengan pengaturan suhu yang terhubung dengan elemen pemanas, di mana percobaan menunjukkan bahwa suhu optimal untuk beberapa ketebalan akrilik (misalnya 2 mm)

dapat dipertahankan secara stabil selama proses pembengkokan sehingga mengurangi *deformasi* tidak diinginkan pada akrilik akibat variasi suhu yang tidak terkendali.

Sementara itu, [5] dalam studi *Evaluasi Unjuk Kerja Mesin Roll Akrilik* menegaskan bahwa kestabilan temperatur selama proses bending sangat berpengaruh terhadap performa pembengkokan akrilik, terutama pada material dengan ketebalan tipis seperti 2 mm, di mana variasi suhu dapat menghasilkan perubahan energi yang signifikan dalam material yang berdampak pada kualitas hasil bend serta efisiensi kerja mesin. Faktor-faktor seperti temperatur pemrosesan (misalnya 90 °C – 100 °C pada mesin bending roll) dan distribusi panas di sepanjang permukaan akrilik menunjukkan bahwa kendali suhu yang baik berpotensi meningkatkan efisiensi pembengkokan serta mengurangi cacat pada permukaan material sepanjang proses berlangsung. Bersama-sama temuan ini menandakan bahwa dalam alat bending akrilik tidak hanya sistem pemanas yang berperan penting, tetapi pengendalian suhu keseluruhan termasuk upaya untuk mencegah pusat panas berlebih atau fluktuasi ekstrem selama dan setelah pemanasan diperlukan, sehingga sistem pendingin yang terkontrol menjadi bagian integral dari mesin tersebut agar bentuk hasil bending dapat dipertahankan secara optimal dan konsisten.

Dengan demikian, alat bending akrilik berperan penting dalam proses pembentukan material PMMA. Integrasi sistem pemanas dan pendingin yang tepat pada alat bending akrilik diharapkan dapat meningkatkan kualitas hasil bending, efisiensi proses, serta umur pakai produk, khususnya pada akrilik dengan ketebalan 2 mm.

2.5 Sistem Pendingin

Pada alat bending akrilik, sistem pendingin berperan penting setelah proses pemanasan karena suhu yang tinggi selama *deformasi* plastis akrilik cenderung menghasilkan tegangan sisa (*residual stress*) dan *deformasi* yang tidak diinginkan jika tidak dikembalikan secara bertahap ke kondisi termal yang stabil. pendinginan yang dilakukan secara bertahap dan merata dapat mengurangi akumulasi tegangan sisa di dalam material serta meningkatkan kualitas hasil bending dengan meminimalkan retak mikro dan distorsi geometris.

Sistem pendinginan pada alat bending merupakan suatu sistem yang dirancang untuk menghilangkan panas dari cetakan selama proses bending. Sistem ini sangat penting untuk mempercepat waktu siklus produksi, mencegah cacat produk, dan meningkatkan

kualitas hasil produksi. Ada (2) dua jenis utama sistem pendinginan, yaitu konvektif merupakan proses perpindahan panas melalui aliran fluida (biasanya udara atau air) yang mengalir di sekitar permukaan benda dan konduktif merupakan perpindahan panas melalui kontak langsung antara dua benda yang memiliki perbedaan suhu. Faktor yang mempengaruhi pendinginan meliputi jenis fluida pendingin, laju aliran fluida, suhu fluida, dan desain saluran pendingin[4].

Prinsip ini tercermin dari kajian pengujian bending akrilik yang dilakukan pada mesin pemanas akrilik, di mana pengendalian parameter suhu menjadi faktor penting dalam menentukan kualitas hasil bending untuk ketebalan tertentu seperti 2 mm; variasi temperatur yang tidak stabil selama pemanasan maupun setelah pemanasan dapat mempengaruhi distribusi energi dalam material sehingga berpotensi menyebabkan cacat permukaan dan deviasi dimensi yang tidak diinginkan. Dengan demikian, meskipun belum banyak

penelitian yang memfokuskan pada sistem pendingin eksplisit untuk alat bending akrilik dalam konteks industri kecil, kebutuhan akan kontrol suhu yang baik sepanjang siklus termal tetap menjadi hal yang krusial, yang pada gilirannya menandakan bahwa penggunaan strategi pendinginan terkontrol mampu menstabilkan suhu secara merata pasca pemanasan merupakan aspek penting dalam rancang bangun alat agar bentuk hasil bending dapat dipertahankan secara optimal[9].

2.6 Pendinginan Cair (Water Cooling) pada Peralatan Mesin

Pendekatan *water cooling* atau pendinginan cair pada peralatan mesin merupakan salah satu metode pendinginan aktif yang banyak digunakan dalam industri karena efisiensinya yang lebih tinggi dibandingkan pendinginan udara. Air sebagai media pendingin memiliki kapasitas panas spesifik yang tinggi sehingga mampu menyerap lebih banyak energi panas dari permukaan yang lebih panas dalam suatu waktu tertentu. Dalam sistem pendingin aktif, fluid cooling ini biasanya disirkulasikan menggunakan pompa air dengan laju aliran yang diatur sedemikian rupa agar distribusi panas merata sepanjang saluran pendingin. Penelitian dalam jurnal teknik mesin Indonesia juga menunjukkan bahwa variasi sistem pendinginan dapat mempengaruhi keseragaman suhu dan performa pendinginan suatu produk plastik, yang relevan jika sistem serupa diterapkan pada mesin bending akrilik untuk mengendalikan panas pasca-pemanasan material. Desain jalur pendingin yang tepat dan parameter aliran yang optimal sangat menentukan efektivitas sistem dalam menurunkan suhu secara cepat dan stabil sehingga proses pembentukan produk menjadi lebih terkontrol[10].

2.7 Pengaruh Laju Aliran Air terhadap Performa Pendinginan

Laju aliran air (*cooling water flow rate*) merupakan salah satu parameter kunci dalam sistem pendingin cair, karena menentukan berapa banyak energi panas yang dapat diangkut oleh media pendingin dalam satuan waktu. Nilai laju aliran yang optimal akan memastikan bahwa fluida mampu mengambil panas dari permukaan mesin secara efisien tanpa menyebabkan turbulensi berlebih yang dapat mengurangi kontak termal yang efektif antara media pendingin dan permukaan panas.

Variasi laju aliran juga terbukti mempengaruhi performa proses lain yang memerlukan kontrol suhu, seperti proses desalinasi, di mana kenaikan laju cooling water dapat berdampak langsung pada kebutuhan energi dan output produk. Prinsip ini analog dengan kebutuhan dalam mesin bending akrilik. pengaturan aliran air yang tepat melalui pompa akan membantu menjaga temperatur material setelah bending sehingga mencegah terjadinya cacat akibat cooling rate yang terlalu tinggi atau rendah. Dengan demikian, pemilihan pompa dan pengaturan sistem sirkulasi menjadi aspek desain penting yang mempengaruhi efektivitas pendinginan di seluruh siklus operasi mesin[10].

2.8 Perpindahan Panas pada Sistem Pendingin Penyangga Bending

Perpindahan panas secara konduksi pada penelitian ini terjadi ketika panas yang dihasilkan oleh *heater* merambat melalui pelat aluminium pada penyangga pemanas akrilik. Konduksi merupakan mekanisme perpindahan panas melalui suatu material padat tanpa disertai perpindahan massa. Panas akan mengalir secara alami dari bagian yang memiliki suhu lebih tinggi menuju bagian yang memiliki suhu lebih rendah

hingga tercapai keseimbangan suhu. [11].

Konduksi adalah perpindahan panas melalui suatu material padat tanpa disertai perpindahan zat. Energi panas berpindah dari daerah yang memiliki suhu lebih tinggi ke daerah yang memiliki suhu lebih rendah akibat tumbukan antarpartikel di dalam material.

$$Q = \frac{k \cdot A (T^1 - T^2)}{L}$$

Keterangan:

- Q = laju perpindahan panas (Watt)
k = konduktivitas termal material (W/m·K)
A = luas penampang perpindahan panas (m²)
ΔT = perbedaan suhu (°C atau K)
L = ketebalan material (m)

konduksi juga berperan dalam sistem pendingin alat bending, khususnya pada perpindahan panas dari elemen pemanas atau batang logam menuju saluran pendingin. Panas merambat melalui material padat akibat adanya perbedaan temperatur, sebelum akhirnya dilepaskan ke fluida pendingin. Kombinasi konduksi pada material padat dan konveksi pada fluida pendingin menjadi prinsip utama dalam perancangan sistem pendingin peralatan termal agar tidak terjadi panas berlebih dan kerusakan komponen[12].

Radiasi panas juga dapat terjadi dari permukaan komponen yang bersuhu tinggi ke lingkungan sekitar, meskipun kontribusinya relatif lebih kecil dibandingkan konduksi dan konveksi pada sistem pendingin berbasis fluida. Oleh karena itu, perancangan sistem pendingin yang baik pada alat bending harus mempertimbangkan jalur konduksi panas dan efektivitas

aliran fluida pendingin agar proses pendinginan berlangsung merata dan tidak menimbulkan *deformasi* pada material hasil bending[13].

2.8.1 Rumus Suhu Pemanasan Akrilik

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Keterangan:

Q = kalor yang diterima akrilik (J)

m = massa akrilik (kg)

c = kalor jenis akrilik ($J/kg \cdot ^\circ C$)

$\Delta T = T_p - T_{Awal}$

2.8.2 Rumus Debit Aliran Air Pendingin

$$Q_f = \frac{V}{t}$$

Keterangan:

Q_f = debit aliran (m^3/s)

V = volume air (m^3)

t = waktu (s)

2.8.3 Rumus Kecepatan Aliran Fluida Pendingin

$$v = \frac{Q_f}{A}$$
$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Keterangan:

v = kecepatan aliran (m/s)

D = diameter selang (m)

Q_f = debit aliran (m^3/s)

2.8.4 Rumus Daya Pompa Air

$$P = \rho \cdot g \cdot Q_f \cdot H$$

Keterangan:

P = daya pompa (W)

ρ = massa jenis air (1000 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

H = head pompa (m)

Q_f = debit aliran (m³/s)

2.9 Karakteristik Akrilik

Gambar 2.9 berikut ini merupakan Karakteristik dan data panas dari Akrilik yang merupakan material yang akan dipakai pada penelitian ini.

Mechanical properties:		
Tensile strength	ISO 527-2	70 MPa
Elongation at break	ISO 527-2	4%
Tensile modulus	ISO 527-2	3200 MPa
Flexural strength	ISO 178	115 MPa
Flexural modulus	ISO 178	3300 MPa
Impact strength Charpy	ISO 179-1	17 kJ/m ²
Notched impact strength Charpy	ISO 179-1	2 kJ/m ²
Ball indentation hardness	ISO 2039-1	235 MPa
Thermal properties:		
Vicat temperature (B 50)	ISO 306	105°C
Specific heat capacity	ISO 11357-4	1.47 J/gK
Linear thermal expansion	DIN 53752	7 K ⁻¹ x 10 ⁻⁵
Thermal conductivity	DIN 52612	0.18 W/m ² K
Continuous service temperature		70°C
Maximum temperature short-term		90°C
Degradation temperature		>280°C
Electrical properties:		
Surface resistivity	IEC 60093	3x10 ¹⁰ -3x10 ¹⁶
Volume resistivity	IEC 60093	1x10 ¹¹ -5x10 ¹³
Electrical strength	DIN IEC 60243-1	10 kV/mm
Dielectric strength	DIN IEC 60243-1	30 kV/mm
Dielectric dissipation factor 50 Hz / 1 KHz / 1 MHz	DIN 53483-2	0.06 / 0.04 / 0.02
Relative permittivity 50 Hz / 1 KHz / 1 MHz	DIN 53483-2	2.7 / 3.1 / 2.7
Typical properties:		
Forming temperature air pressure		140-160°C
Forming temperature vacuum		160-190°C
Density	ISO1183	1.19 g/cm ³
Moulding shrinkage		0.5-0.8%
Light transmission (3 mm)	DIN 5036-3 / EN ISO 13468-2	92%
Refractive index	ISO 489	1492 n _D ²⁰
Water absorption 24h / 23°C	DIN EN ISO 62 method 1	0.2%

Gambar 2. 5 Karakteristik Akrilik (S-POLYTEC)

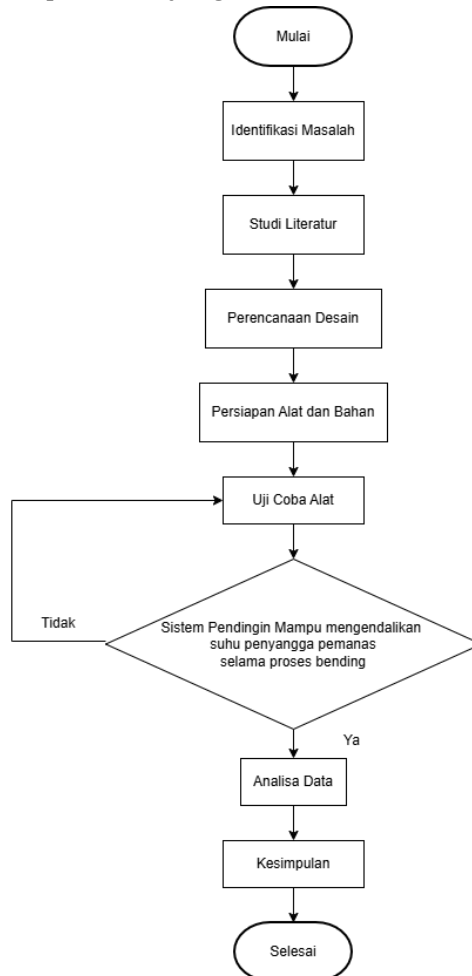
Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian berisi garis besar semua prosedur kerja atau alur penelitian yang dilaksanakan.



Gambar 3. 1 Flowchart

3.2 Alat dan Bahan

Pelaksanaan penelitian ini diperlukan beberapa alat dan bahan sebagai pendukung dalam proses pengambilan data alat tersebut. Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

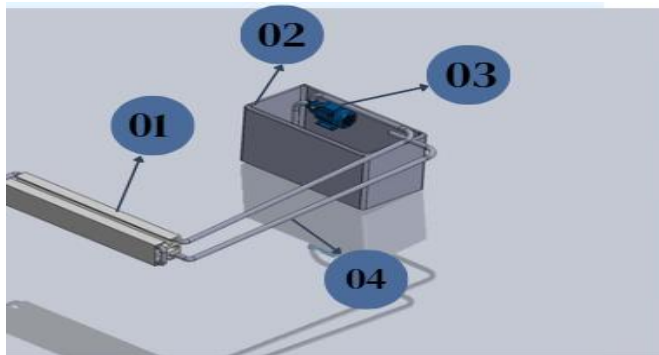
3.2.1 Alat

Pada perancangan tugas akhir ini dibutuhkan berbagai macam alat yang tepat agar proses perancangan dan sistem kerja alat yang akan dibuat sesuai dengan yang diinginkan. Alat yang digunakan adalah penggaris baja, jangka sorong, kunci kombinasi, Multimeter, Termometer digital.

3.2.2 Bahan

Berdasarkan perencanaan dalam proses pembuatan alat tugas akhir tersebut, diperlukan bahan-bahan yang digunakan untuk menunjang proses perakitan sistem pendingin pada alat bending akrilik. Bahan-bahan yang digunakan meliputi pelat akrilik ketebalan 2 mm, rangka aluminium, elemen pemanas, pompa air, selang pendingin, *reservoir* air, baut dan mur, serta komponen pendukung lainnya.

3.3 Desain dan Cara Kerja Alat



Gambar 3. 2 Desain Rancang Bangun Alat

Keterangan:

1. *Heat sink*
2. *Reservoir*
3. Pompa air
4. Selang air

Prinsip kerja alat ini dimulai ketika elemen pemanas memanaskan pelat akrilik hingga mencapai suhu plastis yang sesuai untuk proses bending. Setelah proses pembengkokan selesai, sistem pendingin diaktifkan dengan cara mengalirkan air dari *reservoir* menggunakan pompa air menuju saluran pendingin yang berada di sekitar area pemanasan. Air pendingin yang mengalir akan menyerap panas dari permukaan akrilik dan komponen pemanas melalui proses perpindahan panas secara konveksi. Selanjutnya, air yang telah menyerap panas akan kembali ke *reservoir* untuk didinginkan dan disirkulasikan kembali secara berulang. Dengan mekanisme tersebut, suhu akrilik dapat diturunkan secara bertahap dan merata sehingga kualitas hasil bending menjadi lebih baik.

3.3 Proses Pengujian Alat

Untuk pengujian rancang bangun sistem pendingin pada penyangga pemanas akrilik ketebalan 2mm terdapat beberapa persiapan yang harus dilakukan sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.



2. mengisi reservoir dengan air hingga ketinggian yang ditentukan.



3. Memasang colokan *heater* ke stop kontak dan menyalakan *heater*.
4. Menunggu hingga *heater* mencapai suhu yang diinginkan.
5. Meletakkan akrilik pada alat kemudian memulai proses bending.



6. Menghidupkan sistem pendingin bersamaan dengan proses bending.
7. Mencatat suhu pemanas pada waktu 30 detik, 60 detik, dan 120 detik.
8. Melakukan pengujian sebanyak tiga kali.
9. Menghitung nilai rata-rata suhu hasil pengujian dan menyajikannya dalam bentuk tabel serta grafik.
10. Menganalisis hasil untuk mengetahui kinerja sistem pendingin.

Tabel 3. 1 waktu tekuk akrilik

Ketebalan Akrilik	Waktu Pemanasan (siap untuk tekuk)	Waktu Bending (penekukan)
1,5 mm	21–30 detik	-
2 mm	3–24 detik (delay)	~30 detik
3 mm	3–30 detik (delay)	~43 detik

Temperature sekitar penyangga pemanas saat proses pemanasan tanpa menggunakan sistem pendingin berkisar antara 30 – 50,3 °C. Namun setelah penyangga disediakan sistem pendingin, temperature pada penyangga berkisar antara 30 – 30,3 °C.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB IV

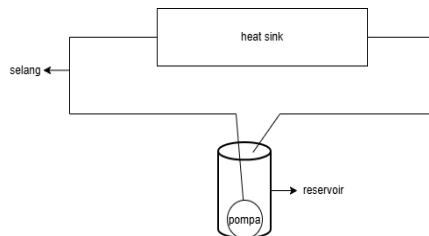
PEMBAHASAN

4.1 Merancang dan Membangun Sistem Pendingin

Sistem pendingin dirancang dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menggunakan air sebagai media pendingin yang ditampung di dalam *reservoir*.
2. Air dipompa menggunakan *submersible pump* dengan daya listrik 60 watt dan debit 3000 liter/jam melalui selang menuju *heat sink* untuk menyerap panas dari penyangga pemanas
3. Kemudian dialirkan kembali ke *reservoir* sehingga membentuk sirkulasi air secara terus-menerus selama proses bending akrilik.

Secara skematik dan hasil rancangan dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4. 1 Skema Rancangan Sistem Pendingin



Gambar 4. 2 Hasil Rancangan

4.2 Pengaruh Sistem Pendingin terhadap Temperatur Penyangga Pemanas Bending Akrilik

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap sistem pendingin yang telah dirancang untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menurunkan dan menjaga temperatur penyangga pemanas selama proses bending akrilik. Pengujian dilakukan dengan membandingkan temperatur penyangga sebelum dan sesudah sistem pendingin dioperasikan.

Media pendingin yang digunakan berupa air yang disirkulasikan menggunakan pompa menuju saluran pendingin pada penyangga. Air yang telah menyerap panas kemudian kembali menuju *reservoir* sehingga terjadi sirkulasi secara terus-menerus.



4.2.1 Data Perencanaan

Tabel 4. 1 Data Perencanaan

Parameter	Nilai
Fluida	Air
Massa jenis air (ρ)	1000 kg/m ³
Percepatan gravitasi (g)	9,81 m/s ²
Diameter dalam pipa	0,36 mm = 0,00036 m
Tinggi meja (h_{meja})	80 cm = 0,8 m
Tinggi hisap pompa (h_s)	56 cm = 0,56 m
Tinggi air dalam tangki	23 cm
Volume pengujian	20 liter
Waktu pengujian	10 detik
Efisiensi pompa	70%

4.2.2 Pengujian Sistem Pendingin

Sebelum dilakukan pengujian sistem pendingin, terlebih dahulu dilakukan pengukuran debit air yang dihasilkan pompa. Debit aliran merupakan salah satu parameter yang menentukan kemampuan sistem pendingin dalam menyerap panas dari penyangga pemanas.

Tabel 4. 2 Data Hasil Pengukuran debit air

Pengujian	Waktu	Liter
1	3,76	100 ml
2	3,92	100 ml
3	3,71	100 ml

Dengan nilai rata-rata=3,80 detik

1. Debit air dihitung menggunakan Persamaan (2.8).

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{V}{t} \\
 &= \frac{100 \text{ ml}}{3,80 \text{ detik}} \\
 &= \frac{0,0001 \text{ m}^3}{3,80 \text{ detik}} \\
 &= 2,631 \text{ m}^3/\text{s} \\
 &= 0,0263 \text{ L/s} \\
 &= 1,58 \text{ L/menit}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

Q = debit aliran (m^3/s)

V = volume air (m^3)

t = waktu (s)

2. Luas Penampang Pipa

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\pi D^2}{4} \\
 &= \frac{3,14 \times 0,00036^2}{4} \\
 &= 0,000000406 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

3. Kecepatan Aliran Air

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{2,631 \text{ m}^3/\text{s}}{0,000000406 \text{ m}^2} = 6,48 \text{ m/s}$$

4. Head Total Pompa

$$\begin{aligned} h_t &= h_s + h_d + h_f \\ &= 0,56 + 0,64 + 0,8 \\ &= 2 \text{ m} \end{aligned}$$

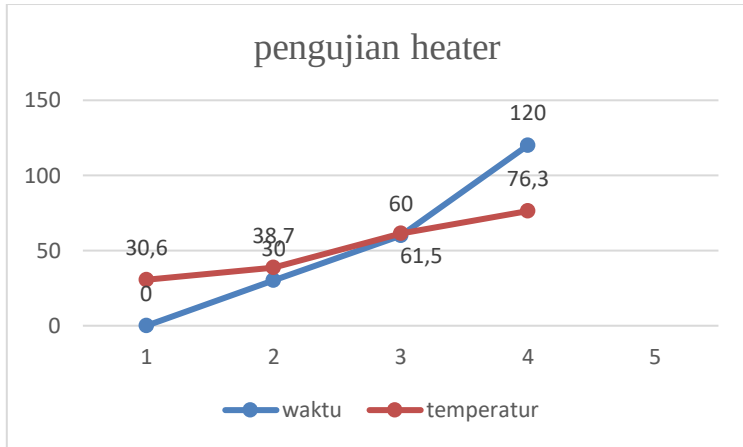
Berdasarkan Tabel 4.1 Pengujian debit air dilakukan sebanyak tiga kali dengan volume 100 mL dan diperoleh waktu rata-rata 3,80 detik. Dari hasil tersebut diperoleh debit air sebesar 0,0263 L/s atau 1,58 L/menit. Selanjutnya dihitung kecepatan aliran air sebesar 6,48 m/s dan head total pompa sebesar 2 m. Hasil ini menunjukkan bahwa pompa mampu mensirkulasikan air dengan baik sehingga sistem pendingin dapat bekerja secara optimal.

4.3 Pengujian Sistem Pemanas (*Heater*)

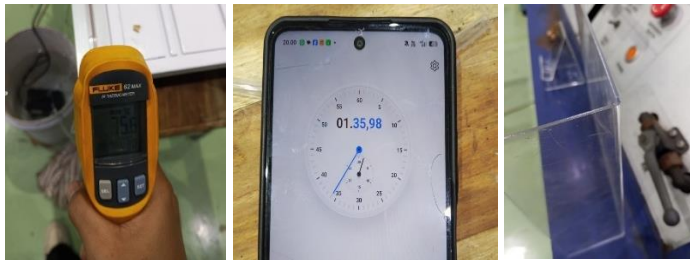
Pengujian sistem pemanas dilakukan untuk mengetahui kemampuan *heater* dalam menghasilkan temperatur yang diperlukan pada proses bending akrilik. Pengujian dilakukan menggunakan termometer.

Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian Heater

waktu	temperatur
0	30,6
30	38,7
60	61,5
120	76,3



Gambar 4. 3 grafik data pengujian *heater*



4.3.1 Perhitungan Energi Panas *Heater*

Energi panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur akrilik dihitung menggunakan Persamaan rumus (2.8).

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Keterangan:

Q = Energi panas (J)

m = Massa akrilik (kg)

Cp = Kalor jenis akrilik = 1470 J/kg.K

ΔT = Perubahan temperatur (°C)

digunakan akrilik ukuran:

Panjang = 297 mm

Lebar = 210 mm

Tebal = 2 mm

$$\begin{aligned}\text{Volume} \quad V &= 0,21 \times 0,29 \times 0,002 \\ &= 0,00012 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Massa jenis akrilik

$$\rho = 1190 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Sehingga} \quad m = \rho V$$

$$\begin{aligned}m &= 1190 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,00012 \text{ m}^3 \\ m &= 0,1428\end{aligned}$$

Temperatur awal = 30°C

Temperatur akhir = 76,3°C

$$\begin{aligned}Q &= 0,1428 \times 1470 \times (76,3 - 30) \\ Q &= 9.719 \text{ Joule}\end{aligned}$$

Jadi energi panas yang dibutuhkan untuk memanaskan akrilik adalah sebesar 9,71 kJ.

4.3.2 Perhitungan Waktu Pemanasan

Daya Pemanas yang digunakan $P = 120 \text{ Watt}$

$$\begin{aligned}\text{Maka waktu pemanasan} \quad t &= \frac{Q}{P} \\ t &= \frac{9,71 \text{ kJ}}{120 \text{ watt}} \\ &= 80,9 \text{ detik}\end{aligned}$$

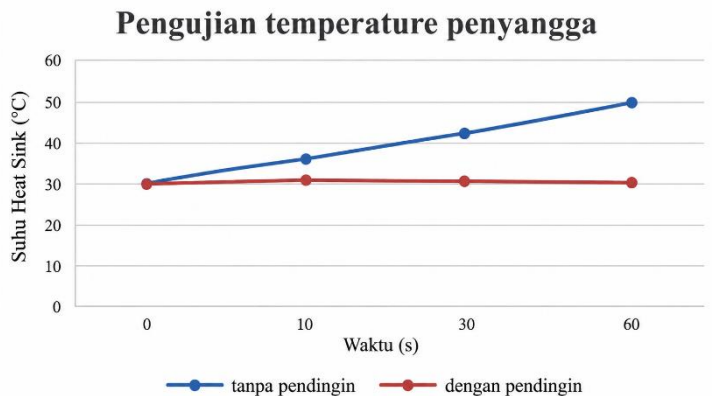
Berdasarkan pengujian, suhu *heater* meningkat dari 30,6°C menjadi 76,3°C dalam waktu 120 detik. Dari hasil perhitungan diperoleh energi panas yang dibutuhkan untuk memanaskan akrilik sebesar 9,71 kJ. Dengan daya *heater* 120 Watt, waktu pemanasan yang dibutuhkan sekitar 80,9 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa *heater* mampu memanaskan akrilik dengan baik untuk proses bending.

4.4 Pengujian Temperatur Penyangga

Pengujian temperatur penyangga dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem pendingin dalam menjaga kestabilan suhu penyangga pemanas selama proses bending akrilik. Pengujian dilakukan dengan membandingkan temperatur penyangga pada kondisi tanpa menggunakan sistem pendingin dan menggunakan sistem pendingin.

Tabel 4. 4 Data Hasil Pengujian temperature penyangga

waktu	tanpa pendingin	dengan pendingin
0	30	30
10	35,1	30,9
30	42,4	30,7
60	50,3	30,3



Gambar 4. 4 grafik pengujian temperature penyangga

Berdasarkan hasil pengujian, temperatur penyangga tanpa sistem pendingin terus meningkat dari 30°C menjadi 50,3°C dalam waktu 60 detik. Sedangkan dengan sistem pendingin, temperatur penyangga tetap stabil di sekitar 30°C. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem pendingin mampu menjaga suhu penyangga tetap rendah sehingga panas tidak

menyebarkan berlebihan ke penyangga selama proses bending akrilik. Namun, pada penggunaan *heater* dengan daya 120 W, suhu maksimum penyangga yang diperoleh masih berada pada kisaran 50,3°C. Temperatur tersebut belum memengaruhi proses pembengkokan akrilik secara signifikan sehingga penggunaan sistem pendingin belum menjadi kebutuhan utama pada mesin bending akrilik dengan daya pemanas tersebut. Dengan demikian, sistem pendingin lebih sesuai diterapkan pada mesin bending akrilik dengan daya pemanas yang lebih besar atau pada penggunaan secara terus-menerus yang menyebabkan akumulasi panas lebih tinggi.

4.5 Pengujian Sistem Pendingin pada Pemanas

Mengetahui apakah sistem pendingin mampu mensirkulasikan air dan menjaga temperatur penyangga.

Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian sistem pendingin pada pemanas

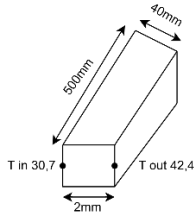
pengujian	liter	air masuk	air keluar	waktu	suhu penyangga
1	1	28,2	28,2	39,89	28,01
2	1	28,3	29,1	39,93	30,21
3	1	28,6	29,9	35,96	32,3
4	1	28,6	30,2	39,91	33,04

Gambar 4. 5 grafik pengujian sistem pendingin pada pemanas

Berdasarkan hasil pengujian sistem pendingin menunjukkan bahwa air mengalami kenaikan suhu sekitar 0,9°C setelah melewati *heat sink* karena menyerap panas dari pemanas. Waktu sirkulasi rata-rata yang diperoleh adalah 28,9 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem pendingin mampu menyerap dan mengalirkan panas dengan baik sehingga membantu menjaga temperatur pemanas tetap stabil selama proses bending.

4.5.1 Perhitungan Perpindahan panas

Energi panas berpindah dari daerah yang memiliki suhu lebih tinggi ke daerah yang memiliki suhu lebih rendah akibat tumbukan antarpartikel di dalam material.



$$Q = \frac{k \cdot A (T^1 - T^2)}{L}$$

$$k = 190 \text{ W/m.k}$$

$$A = 0,020 \text{ m}^2$$

$$T^1 = 42,4^\circ\text{C}$$

$$T^2 = 30,7^\circ\text{C}$$

$$L = 2 \text{ mm} = 0,002 \text{ m}$$

$$A = 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$$

$$= 2000 \text{ mm}^2$$

$$= 20.000 \times (10^{-3})^2$$

$$= 20.000 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$= 25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$= 0,020 \text{ m}^2$$

$$Q = \frac{190 \text{ W/m.k} \times 0,020 \text{ m}^2 (42,4^\circ\text{C} - 30,7^\circ\text{C})}{0,002 \text{ m}}$$

$$Q = \frac{44,46 \text{ Watt}}{0,002 \text{ m}}$$

$$Q = 22.230 \text{ Watt}$$

$$Q = 22,23 \text{ kW}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Hukum Fourier diperoleh laju perpindahan panas secara konduksi sebesar 22.230 W. Nilai tersebut menunjukkan bahwa panas dari *heater* dapat dihantarkan dengan baik melalui pelat aluminium menuju sistem pendingin. Hal ini dipengaruhi oleh konduktivitas termal aluminium yang tinggi, sehingga panas dapat menyebar dengan cepat. Dengan adanya sistem pendingin, panas yang merambat melalui aluminium dapat diserap oleh air sirkulasi sehingga suhu penyangga tetap lebih stabil selama proses bending akrilik.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat dirumuskan kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pendingin pada penyangga pemanas akrilik menggunakan media air yang disirkulasikan melalui pompa, selang, dan *heat sink* berhasil dirancang dan berfungsi dengan baik. Hasil pengujian menunjukkan pompa mampu menghasilkan debit air sebesar 0,0263 L/s atau 1,58 L/menit dengan head total pompa sebesar 2 m, sehingga sirkulasi air berlangsung secara stabil.
2. Sistem pendingin mampu menjaga temperatur penyangga tetap stabil selama proses bending akrilik. Hasil pengujian menunjukkan temperatur rata-rata penyangga tanpa sistem pendingin sebesar 39,45°C, sedangkan dengan sistem pendingin sebesar 30,47°C. Selain itu, temperatur air keluar lebih tinggi dibandingkan temperatur air masuk, yang menunjukkan bahwa air berhasil menyerap panas dari pemanas sehingga sistem pendingin bekerja secara efektif.
3. sistem pendingin mampu menjaga temperatur penyangga tetap stabil selama proses bending akrilik. Namun, pada penggunaan *heater* dengan daya 120 W, kenaikan temperatur penyangga masih relatif rendah sehingga proses bending tetap dapat dilakukan tanpa mengalami panas berlebih. Dengan demikian, penggunaan sistem pendingin pada kondisi ini belum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja alat. Sistem pendingin diperkirakan akan lebih bermanfaat apabila diterapkan pada mesin bending akrilik dengan kapasitas atau daya pemanas yang lebih besar, di mana akumulasi panas pada penyangga

cenderung lebih tinggi sehingga memerlukan pengendalian suhu yang lebih efektif.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penggunaan pompa dengan kapasitas aliran yang lebih besar agar proses pendinginan menjadi lebih optimal.
2. Perlu ditambahkan sensor temperatur digital agar proses pemantauan suhu dapat dilakukan secara real time.
3. Perlu dilakukan pengujian dengan variasi debit air dan kapasitas *reservoir* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap efektivitas sistem pendingin.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

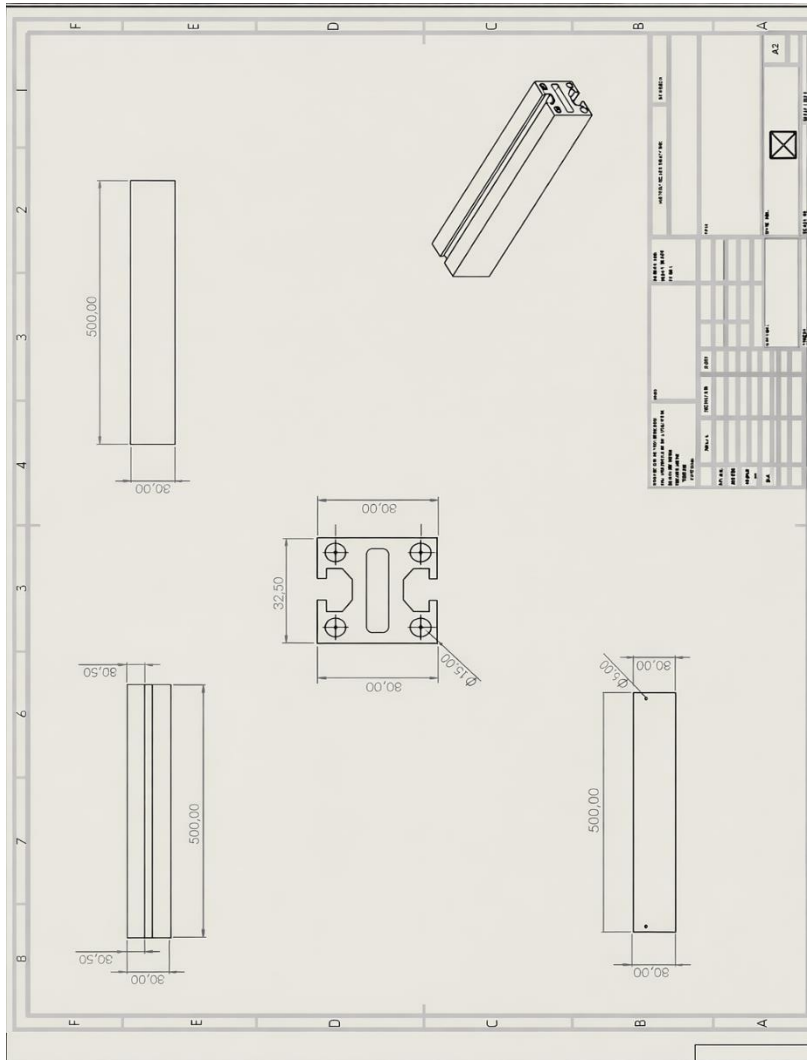
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jaya, R. D., Karmin, & Mardiana. (2025). *Optimalisasi Mesin Bending Akrilik Dengan Variasi*. *Machinery: Jurnal Teknologi Terapanj*, 6(1), 28–37.
- [2] N. Nugraha, M. P. Sirodz, M. . Dzarrghifa, and G. S.S.W, “*Pengujian Bending Akrilik Pada Mesin Pemanas Akrilik Tubular*,” *J. Rekayasa Energi dan Mek.*, vol. 4, no. 1, p. 57, 2024, doi: 10.26760/jrem.v4i1.57.
- [3] N. Nugraha, M. Khenbakti, R. Rakha, T. Siswanto, M. Muraz, and R. Munajat, “*Rancang Bangun Mesin Pemanas Akrilik Tipe Turbular Skala Industri Kecil*,” *Met. J. Sist. Mek. dan Termal*, vol. 5, no. 1, pp. 23–32, 2021, doi: 10.25077/metal.5.1.23-32.2021.
- [4] F. Maulana, S. Mulyono, and M. Muslimin, “*Perancangan Sistem Pendingin pada Prototipe Mesin Injeksi Molding Double Barrel*,” *J. Mek. Terap.*, vol. 5, no. 3, pp. 120–128, 2025, doi: 10.32722/jmt.v5i3.7056.
- [5] A. Amin, A. Z. Hudaya, and R. Wibowo, “*Evaluasi Unjuk Kerja Mesin Roll Akrilik*,” *J. Crankshaft*, vol. 5, no. 2, pp. 49–62, 2022, doi: 10.24176/crankshaft.v5i2.8783.
- [6] C. Pasaribu, R. Utami, and S. M. Arviansyah, “*Daya Tarik Estetika dan Ketahanan dalam Desain Produk Akrilik di Kreasi Group*,” *J. Penelit. Inov.*, vol. 5, no. 4, pp. 2861–2874, 2025, [Online]. Available: <https://jurnal-id.com/index.php/jupin>
- [7] L. Tembaga and A. D. A. N. Besi, “*() I,2)*,” vol. 24, no. 2, pp. 49–54, 2022.
- [8] B. S. Prassojo, B. Priyadi, and M. Rifa’i, “*Alat Penekuk Akrilik dengan Suhu yang dapat Dikontrol*

- menggunakan Metode PID,*” *J. Elkolind*, vol. 8, no. 2, 2021, [Online]. Available:
<http://dx.doi.org/10.33795/elkolind.v8i2.222>
- [9] A. B. Prasetyo, “*COOLING UNIFORMITY ANALYSIS of INJECTION MOLDING PLASTIC PRODUCTS WITH COOLING SYSTEM VARIATIONS USING CFD METHOD,*” *J. Penelit. Saintek*, vol. 25, no. 2, pp. 173–183, 2020, doi: 10.21831/jps.v25i2.34574.
- [10] H. Novita Sari et al., “*Analisa Proses Perpindahan Panas Konveksi Pada Mesin Pengering Rempah-Rempah Otomatis,*” *J. Mekanova Mek. Inov. Dan Teknol.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–5, 2023.
- [11] D. Santi, S. Yulianti, and A. Meidinariasty, “*Analisis Laju Perpindahan Panas Pada Alat Tray Dryer Tenaga Surya dalam Proses Pengeringan Ikan Asin,*” *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 7, no. 3, pp. 21537–21543, 2023.
- [12] N. Lamanja, “*Suhu Dan Kalor (Perpindahan Kalor Secara Konduksi ,*” vol. 4, no. No. 2, pp. 643–649, 2025.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

LAMPIRAN





Lailatus Sahri Sarifah dilahirkan di Sampang, 23 Agustus 2005. Anak dari Bapak Abd. Azis dan Ibu Halimah. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis mulai menuntut ilmu di SDN Polagan 3 pada tahun (2011-2017), melanjutkan ke SMPN 3 Sampang pada tahun (2017-2020), dan melanjutkan ke SMAN 2 Sampang pada tahun (2020-2023). Pada tahun 2023 penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Politeknik Negeri Madura Jurusan Rekayasa Mesin dan Industri, Program Studi D3 Teknik Mesin Alat Berat selama 3 tahun (2023-2026). Selama di Politeknik Negeri Madura.