

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi penyajian hasil penelitian serta pembahasan terhadap temuan yang diperoleh. Data hasil penelitian disusun secara sistematis sehingga mampu menggambarkan pencapaian penelitian dengan jelas. Selanjutnya, data hasil tersebut dianalisis dan diinterpretasikan berdasarkan kerangka teori serta tinjauan pustaka yang telah dibahas pada bab sebelumnya.

4.1 Hasil Fabrikasi Alat

Hasil proses fabrikasi alat *laser cutting* tertera pada gambar berikut



Gambar 4. 1 Fabrikasi Alat

Gambar di atas menunjukkan tampilan akhir dari prototipe mesin laser cutting yang telah berhasil difabrikasi. Mesin ini dirangkai dengan struktur rangka yang kokoh menggunakan profil aluminium,

yang bertujuan untuk menjaga kestabilan mesin selama proses pemotongan berlangsung. Pada bagian atas terlihat sistem laser head yang terhubung dengan mekanisme penggerak sumbu X dan Y yang memungkinkan pergerakan presisi mengikuti jalur potong yang telah diprogram. Sistem elektronik kendali terintegrasi di dalam panel kontrol, sedangkan pada sisi lainnya terpasang sistem pendingin (chiller) dan sistem pembuangan asap (exhaust) yang mendukung kelancaran dan keamanan proses pemotongan. Keseluruhan komponen ini terintegrasi dengan baik sehingga menghasilkan mesin laser cutting yang siap dioperasikan untuk proses pemotongan bahan uji.

4.2 Data Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan

Pengujian kekasaran permukaan dilakukan pada material akrilik dengan tiga variasi ketebalan, yaitu 2 mm, 5 mm, dan 10 mm. Pemotongan dilakukan dengan kecepatan tetap 10 mm/s dan variasi daya dari 20% hingga 100%. Parameter kekasaran yang diukur adalah Ra (*Roughness Average*) dan Rz (*Roughness Maximum*).

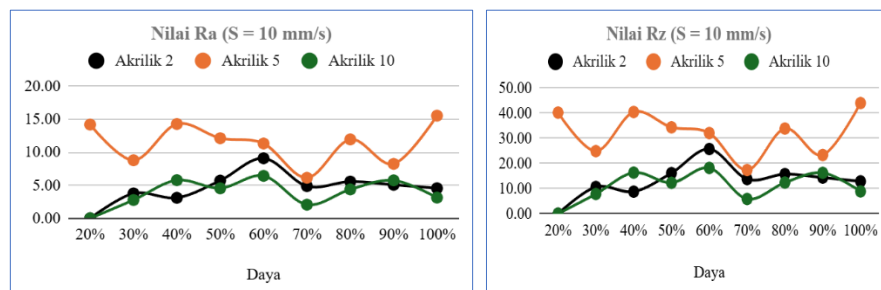
Tabel 4. 1 Ra akrilik (S = 10 mm/s)

Daya	Akrilik 2	Akrilik 5	Akrilik 10
20%	0.00	14.21	0.00
30%	3.77	8.80	2.77
40%	3.10	14.30	5.78
50%	5.71	12.14	4.55
60%	9.10	11.34	6.43
70%	4.87	6.14	2.06
80%	5.57	11.96	4.38
90%	5.08	8.25	5.75
100%	4.55	15.56	3.13

Tabel 4. 2 Rz akrilik (S = 10 mm/s)

Daya	Akrilik 2	Akrilik 5	Akrilik 10
20%	0.00	40.20	0.00
30%	10.64	24.88	7.84
40%	8.76	40.44	16.33
50%	16.15	34.35	12.29
60%	25.72	32.06	18.19
70%	13.76	17.35	5.84
80%	15.74	33.85	12.38
90%	14.35	23.33	16.24
100%	12.86	44.00	8.85

Berdasarkan data tabel diatas maka didapatkan grafik seperti di bawah ini.



Gambar 4. 2 Grafik Ra dan Rz Akrilik

4.2.1 Pengaruh variasi daya laser terhadap tingkat kekasaran permukaan hasil pemotongan

Berdasarkan data hasil pengujian gambar grafik 4.2, terlihat bahwa variasi daya laser memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan material akrilik, dengan pola yang tidak linier melainkan membentuk kecenderungan kurva V atau U. Pada ketebalan 2 mm, permukaan paling halus dicapai pada daya 40% dengan nilai Ra 3,10 dan Rz 8,76, sementara pada daya di bawahnya (30%) dan di atasnya (50–100%) nilai kekasaran cenderung meningkat, menunjukkan bahwa daya yang terlalu rendah menyebabkan pemotongan tidak sempurna sedangkan daya yang terlalu tinggi memicu pelelehan berlebih dan pembentukan ulang tepi material. Untuk ketebalan 5 mm, titik optimal bergeser ke daya 70% dengan Ra 6,14 dan Rz 17,35, di mana pada daya rendah (20–40%) permukaan sangat kasar dengan Ra mencapai 14,30 dan Rz hingga 40,44, sedangkan pada daya 100% kekasaran kembali melonjak drastis dengan Ra 15,56 dan Rz 44,00, menandakan bahwa material yang lebih tebal membutuhkan energi lebih besar untuk memotong bersih namun tetap memiliki batas atas agar tidak terjadi overheating. Adapun untuk ketebalan 10 mm, meskipun data Ra tidak tersedia, nilai Rz terendah juga terjadi pada daya 70% yaitu sebesar 5,84, yang mengindikasikan bahwa daya 70% merupakan titik optimal untuk material tebal sekalipun.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa semakin tipis material, semakin rendah daya yang dibutuhkan untuk mencapai permukaan halus, dan setiap ketebalan memiliki rentang daya ideal yang sempit di mana keseimbangan antara energi pemotongan dan kualitas permukaan tercapai, sementara penyimpangan dari daya optimal baik ke arah bawah maupun atas akan menyebabkan permukaan menjadi lebih kasar akibat proses pemotongan yang tidak sempurna atau kerusakan termal berlebihan.

4.2.2 Pengaruh variasi ketebalan material terhadap tingkat kekasaran permukaan hasil pemotongan

Berdasarkan gambar grafik Ra dan Rz 4.2 diatas, ketebalan material berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan laser. Semakin tipis material, semakin halus permukaan yang dihasilkan. Pada daya optimal masing-masing, akrilik 2 mm mencapai Ra 3,10 (daya 40%), jauh lebih halus dibandingkan akrilik 5 mm yang hanya mencapai Ra 6,14 (daya 70%). Hal ini terjadi karena material tipis membutuhkan energi lebih sedikit, sehingga proses pemotongan lebih cepat dan panas lebih terkendali, mengurangi risiko pelelehan berlebih. Sebaliknya, material yang lebih tebal seperti akrilik 10 mm memerlukan daya lebih tinggi untuk menembus material, namun peningkatan daya ini meningkatkan risiko akumulasi panas berlebih yang justru memperburuk kualitas permukaan. Selain itu, material tebal menunjukkan fluktuasi kekasaran yang lebih tidak stabil antar variasi daya, menandakan bahwa material tebal memiliki rentang daya ideal yang lebih sempit untuk menghasilkan permukaan halus.

4.2.3 Pengaruh variasi material terhadap tingkat kekasaran permukaan hasil pemotongan

Berdasarkan data hasil pengujian, variasi material memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tingkat kekasaran permukaan hasil pemotongan laser. Terdapat tiga jenis material yang diuji, yaitu triplek 2 mm, microfiber 2 mm, dan papan kayu 12 mm, dengan kecepatan pemotongan tetap 10 mm/s./

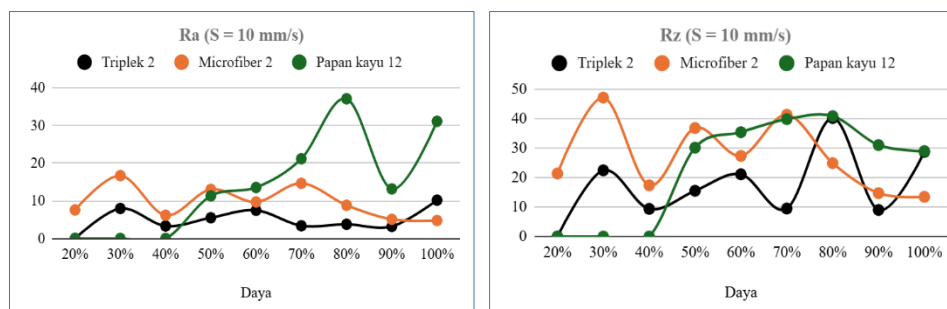
Tabel 4. 3 Ra Triplek, microfiber, papan kayu

Daya	Triplek 2	Microfiber 2	Papan kayu 12
20%	0.00	7.58	0.00
30%	7.96	16.69	0.00
40%	3.31	6.16	0.00
50%	5.50	13.03	11.31
60%	7.48	9.69	13.53
70%	3.36	14.64	21.17
80%	3.77	8.82	37.10
90%	3.19	5.08	13.16
100%	10.17	4.77	31.11

Tabel 4. 4 Rz Triplek, microfiber, papan kayu

Daya	Triplek 2	Microfiber 2	Papan kayu 12
20%	0.00	21.42	0.00
30%	22.50	47.21	0.00
40%	9.39	17.40	0.00
50%	15.55	36.86	30.19
60%	21.15	27.40	35.46
70%	9.51	41.38	39.89
80%	40.27	24.92	40.90
90%	9.03	14.75	31.07
100%	28.76	13.49	29.02

Berdasarkan data tabel diatas maka didapatkan grafik Ra dan Rz material triplek, microfiber dan papan kayu.



Gambar 4. 3 Grafik Ra dan Rz Variasi Material

Berdasarkan data hasil pengujian, variasi material sangat berpengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan laser. Pada ketebalan yang sama (2 mm), triplek menghasilkan permukaan lebih halus (R_a 3,19) dibandingkan microfiber (R_a 4,77) karena struktur serat kayu alami lebih stabil daripada microfiber yang mengandung resin. Selain itu, material tipis (2 mm) jauh lebih halus dibandingkan material tebal (12 mm) dengan R_a 11,31, karena material tebal membutuhkan daya tinggi yang memicu panas berlebih dan memperburuk permukaan. Daya optimal berbeda tiap material: triplek 2 mm pada 90%, microfiber 2 mm pada 100%, dan papan kayu 12 mm pada 50%. Secara keseluruhan, triplek 2 mm merupakan material paling halus, sedangkan papan kayu 12 mm paling kasar.

4.2.4 Daya optimal kekasaran permukaan

Tabel 4. 5 Daya optimal Akrilik

Material (mm)	Kecepatan (mm/s)	Daya Optimal	Ra Terendah	Rz Terendah
Akrilik 2	10	40 %	3,10	8,76
Akrilik 5	10	70 %	6,14	17,35
Akrilik 10	10	70 %	Tidak terpotong	5,84
Triplek 2	10	90%	3,19	9,03
Microfiber	10	100%	4,77	13.49
Papan kayu	10	50%	11,30	29.02

Daya optimal untuk setiap material pada kecepatan pemotongan 10 mm/s, yaitu daya yang menghasilkan nilai R_a dan R_z terendah (permukaan

paling halus). Untuk material akrilik, semakin tebal material maka daya optimal yang dibutuhkan semakin tinggi, yaitu akrilik 2 mm pada daya 40%, sedangkan akrilik 5 mm dan 10 mm pada daya 70%. Pada material kayu, triplek 2 mm mencapai permukaan paling halus pada daya 90% dengan Ra 3,19, microfiber 2 mm pada daya 100% dengan Ra 4,77, dan papan kayu 12 mm pada daya 50% dengan Ra 11,30. Secara keseluruhan, akrilik 2 mm merupakan material yang paling halus (Ra 3,10), sedangkan papan kayu 12 mm adalah yang paling kasar (Ra 11,30), yang menunjukkan bahwa jenis material dan ketebalannya sangat mempengaruhi daya optimal dan kualitas permukaan hasil pemotongan laser.

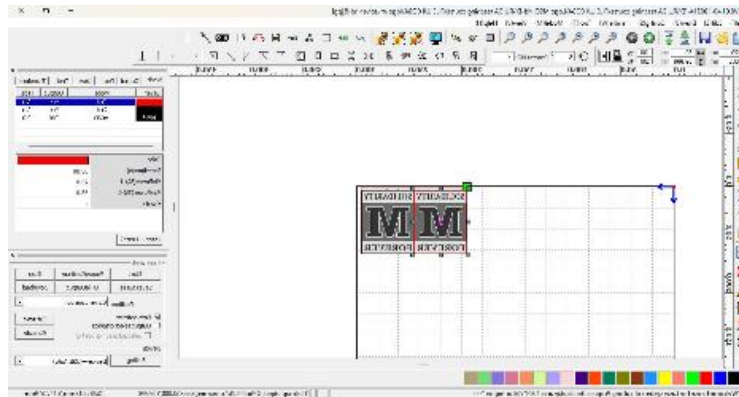
4.3 Realisasi Produk

Berdasarkan hasil rundingan yang telah dilaksanakan oleh anggota tim tugas akhir, diperoleh kesepakatan bahwa produk yang dibuat adalah gantungan kunci dengan desain M-Solver. Produk tersebut dipilih dengan mempertimbangkan aspek fungsional, tingkat kerumitan proses manufaktur, serta kemampuannya untuk merepresentasikan konsep desain yang telah direncanakan. Selanjutnya proses realisasi produk yang tertera pada gambar dibawah.

4.3.1 Proses realisasi desain produk

a. Pendesainan Gantungan Kunci.

Proses pendesainan gantungan kunci dilakukan sebagai bentuk pemilihan bentuk desain paling sesuai, selain dari bentuk desain ukuran hasil produk juga diatur pada proses ini. Parameter pemotongan seperti daya maksimal, daya minimal, kecepatan potong diatur pada proses ini, termasuk pada urutan pemrosesan, parameter diatur agar ketika proses cutting dapat terpotong sampai terlepas, juga proses scanning atau graving sesuai kedalaman yang dimana tidak terlalu dalam dan terlalu dangkal.



Gambar 4. 4 Desain untuk Akrilik



Gambar 4. 5 Proses Desain Akrilik M solver

- b. Persiapan alat dan bahan uji yang akan digunakan dalam proses pengujian.

Proses persiapan alat dan bahan, apakah alat dan bahan sudah tersedia dan siap pakai, berdasarkan tabel kelengkapan, dibawah :

Tabel 4. 6 Persiapan Alat dan Bahan

No	Alat/Bahan	Fungsi	Checklist
1	Mesin <i>laser cutting</i> CO2 50W	Media Pemotongan	✓
2	Akrilik 5mm	Spesimen	✓
3	Laptop	Input Desain	✓
4	Penggaris	Alat ukur specimen	✓

5	Air	Pendingin <i>laser tube</i>	✓
6	Water Pump	Komponen pendingin <i>laser tube</i>	✓
7	Air Pump	Komponen untuk menyingkirkan asap hasil pembakaran pada specimen saat proses pemotongan	✓
8	Exhaust	Komponen penghisap asap hasil pembakaran	✓
9	Kabel USB to USB	Kabel penghubung laptop ke mesin <i>laser cutting</i>	✓

- c. Pemeriksaan kondisi awal alat, meliputi pengecekan sistem mekanik, kelistrikan, serta sambungan antar komponen.

Tabel 4. 7 Sistem mekanik, kelistrikan

No	Komponen	Kondisi	Keterangan
1	Mesin <i>Laser Cutting</i>	Baik	Tidak ada masalah
2	<i>Water pump</i>	Baik	Tidak ada masalah
3	<i>Air Pump</i>	Baik	Tidak ada masalah
4	<i>Exhaust</i>	Baik	Tidak ada masalah
5	<i>Cermin Reflector 1</i>	Kurang baik	Perlu dibersihkan dikarenakan kotoran akibat asap pemotongan
6	<i>Cermin reflector 2</i>	Baik	Tidak ada masalah
7	<i>Cermin reflector 3</i>	Baik	Tidak ada masalah

8	<i>Laser Head</i>	Baik	Tidak ada masalah
9	Kabel <i>USB to USB</i>	Baik	Tidak ada masalah
10	Socket Utama	Baik	Tidak ada masalah
11	Laser fokus	Kurang baik	Laser menyebar atau tidak fokus dikarenakan asap hasil pemotongan
12	Panel ruida	Baik	Tidak ada masalah
13	Gerak <i>axis</i>	Baik	Tidak ada masalah
14	<i>Limit axis</i>	Baik	Tidak ada masalah
15	Kabel penghubung setiap komponen kelistrikan	Baik	Tidak ada masalah

- d. Pengoperasian alat sesuai dengan prosedur kerja yang telah dirancang.

Dengan demikian, setiap langkah dari persiapan material, pengaturan parameter pemotongan, hingga proses laser cutting berjalan secara sistematis dan terkontrol. Hal ini bertujuan untuk memastikan keselamatan operator, menjaga kualitas hasil pemotongan, serta mencapai efisiensi dan presisi yang diharapkan dari mesin laser cutting yang dikembangkan dalam penelitian ini.



Gambar 4. 6 Proses Pengoperasian alat

e. Pengamatan proses kerja alat selama pengujian berlangsung.

Pengamatan proses kerja alat selama pengujian berlangsung dilakukan secara cermat dan sistematis untuk mengevaluasi kinerja mesin laser cutting yang telah dirancang. Setiap tahapan proses, mulai dari persiapan material, pengaturan parameter pemotongan, hingga hasil akhir pemotongan, diamati dan dicatat guna memastikan bahwa alat berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Pengamatan ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi kendala teknis yang mungkin muncul selama pengoperasian, sehingga dapat dilakukan perbaikan dan penyempurnaan pada prototipe mesin laser cutting untuk mencapai hasil yang akurat, stabil, dan andal.



Gambar 4. 7 Pengamatan proses kerja

f. Pencatatan dan pengumpulan data yang dihasilkan selama proses pengujian.

Tabel 4. 8 Proses Pengujian

No	Parameter	Keterangan	Catatan
1	Waktu pemrosesan	25 menit 31 detik	Tidak Ada
2	Daya	50% kekuatan daya gravir ; 55% kekuatan daya potong	55% daya potong kurang efisien untuk pemotongan karena memerlukan 5x repetisi sampai terpotong.
3	Kehalusan pemotongan	Kasar	Kekuatan daya potong berpengaruh pada kekasaran hasil pemotongan, semakin dalam pemotongan semakin kasar
4	Kehalusan graving	Sedikit kasar	Tidak Ada
5	Hasil Akhir	Baik	Tidak Ada

- g. Evaluasi hasil pengujian untuk mengetahui kinerja alat dan kesesuaian dengan tujuan perancangan.

Melalui serangkaian pengujian pada berbagai ketebalan material, data yang diperoleh dianalisis untuk menilai aspek akurasi, stabilitas, dan keandalan mesin laser cutting yang telah dibuat. Evaluasi ini juga bertujuan untuk memastikan bahwa prototipe yang dikembangkan mampu memenuhi kebutuhan praktikum, pelatihan, maupun produksi skala kecil, serta memberikan dasar bagi perbaikan dan pengembangan lebih lanjut agar mesin laser cutting dapat berfungsi secara optimal sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 4. 8 Evalausi Hasil Pengujian

4.3.2 Hasil realisasi produk

Hasil realisasi produk berupa prototipe mesin laser cutting yang telah berhasil dirancang dan dibangun berdasarkan tahapan perancangan sebelumnya. Realisasi produk merupakan implementasi dari seluruh rancangan ke dalam bentuk fisik yang siap dioperasikan, mulai dari pemilihan komponen, fabrikasi, perakitan, hingga integrasi sistem secara keseluruhan.

Untuk menguji kemampuan mesin yang telah direalisasikan, dilakukan proses pemotongan pada material akrilik dengan produk berupa gantungan kunci berbentuk huruf "M" yang merepresentasikan inisial "M solver". Desain produk dibuat menggunakan perangkat lunak desain vektor, kemudian dikonversi menjadi G-code yang dapat dibaca oleh sistem kendali mesin. Proses pemotongan dilakukan dengan pengaturan parameter mesin seperti daya laser, kecepatan potong, dan jarak fokus yang disesuaikan dengan karakteristik material akrilik agar hasil pemotongan optimal.

Hasil pemotongan menunjukkan kualitas yang baik dengan permukaan halus, tepi bersih, serta dimensi yang sesuai dengan desain. Tidak ditemukan cacat seperti gerinda atau terbakarnya tepi material, yang menandakan bahwa parameter pemotongan telah sesuai dan mesin mampu berfungsi dengan presisi tinggi. Selain itu, waktu pemotongan yang relatif singkat menunjukkan efisiensi mesin untuk produksi skala kecil.



Gambar 4. 9 Hasil Pengujian



Gambar 4. 10 Dokumentasi dengan alat

Keberhasilan pembuatan gantungan kunci akrilik ini membuktikan bahwa prototipe mesin laser cutting yang dikembangkan mampu menghasilkan produk berkualitas dan dapat diaplikasikan untuk praktikum, pelatihan, maupun produksi skala kecil seperti kerajinan akrilik dan suvenir. Hasil realisasi produk ini menjadi dasar bagi pengujian kinerja mesin pada sub-bab berikutnya untuk mengevaluasi akurasi, stabilitas, dan keandalan alat secara lebih mendalam.