

Rancang Bangun Alat Pembersih Koin Menggunakan Ultrasonik 50 W 40 Khz

Amin Kausar^{1*}, Udin Komarudin²

^{1,2}Fakultas Teknik, Teknik Mesin Universitas Widyatama, Jl. Cikutra No. 204 A, Bandung 4015

^{1*}kausar.amin@widyatama.ac.id

Keywords: *Vibration, cavitation, ultrasonic cleaner, piezoelectric transducer, coins.*

Abstract

The need for effective metal cleaning methods is increasing, especially for small metal objects such as jewelry and coins. Manual methods are often less than optimal because they cannot reach narrow gaps and require more time. One alternative that is known to be effective is an ultrasonic cleaner, which utilizes high-frequency waves to produce cavitation so that dirt can be completely removed. This study aims to design, realize, and test the performance of an ultrasonic cleaner with a power of 50 W and a frequency of 40 kHz as an alternative method for small-scale metal cleaning. The system uses a piezoelectric transducer, an ultrasonic driver, and a stainless steel container as the cleaning medium. The test object is a Rp 500 coin with varying amounts of liquid soap solution and cleaning durations of 3 and 5 minutes. The research method uses a descriptive quantitative approach, with a visual cleanliness assessment based on a scale of 0–5 analyzed as a percentage. The measurement results using a CMAS 100-SL show transducer vibrations of 2.5–9.6 mm/s and the base of the container 1.0–10.3 mm/s. The aluminum foil test confirmed the presence of cavitation, while the effectiveness test showed an increase in cleanliness with increasing solution amount and cleaning duration, with the best results with 5 minutes of liquid soap. Thus, the 50 W 40 kHz ultrasonic cleaner proved effective and has the potential for further development as a practical and economical solution.

Kata kunci: *Getaran, kavitasi, pembersih ultrasonik, transduser piezoelektrik, uang logam.*

Abstrak

Kebutuhan akan metode pembersihan logam yang efektif semakin meningkat, terutama untuk benda logam kecil seperti perhiasan dan uang logam. Metode manual sering kurang optimal karena tidak mampu menjangkau celah sempit dan memerlukan waktu lebih lama. Salah satu alternatif yang dikenal efektif adalah pembersih ultrasonik, yang memanfaatkan gelombang frekuensi tinggi untuk menghasilkan kavitasi sehingga kotoran dapat dilepaskan secara menyeluruh. Penelitian ini bertujuan merancang, merealisasikan, dan menguji kinerja alat pembersih ultrasonik dengan daya 50 W dan frekuensi 40 kHz sebagai alternatif metode pembersihan logam skala kecil. Sistem menggunakan satu transduser piezoelektrik, driver ultrasonik, dan wadah stainless steel sebagai media pembersih. Objek uji berupa uang logam Rp 500 dengan

variasi jumlah larutan sabun cair serta durasi pembersihan 3 dan 5 menit. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif, dengan penilaian kebersihan secara visual berdasarkan skala 0–5 yang dianalisis dalam bentuk persentase. Hasil pengukuran menggunakan CMAS 100-SL menunjukkan getaran transduser 2,5–9,6 mm/s dan dasar wadah 1,0–10,3 mm/s. Uji aluminium foil menegaskan adanya kavitasi, sedangkan pengujian efektivitas menunjukkan peningkatan kebersihan seiring jumlah larutan dan durasi pembersihan, dengan hasil terbaik pada sabun cair 5 menit. Dengan demikian, alat pembersih ultrasonik 50 W 40 kHz terbukti efektif dan berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai solusi praktis dan ekonomis.

PENDAHULUAN

Sejak era revolusi industri, kebutuhan akan proses pembersihan yang efektif dan menyeluruh terus berkembang. Setiap industri memiliki metode pembersihan masing-masing, disesuaikan dengan jenis material dan tingkat kekotoran objek. Hingga kini, metode pembersihan masih menjadi bagian penting di berbagai sektor seperti industri berat, makanan, medis, tekstil, dan peralatan rumah tangga (Mason, 2016). Salah satu jenis benda yang membutuhkan perhatian khusus adalah logam berukuran kecil, seperti perhiasan, alat makan, atau komponen logam lain yang sering terpapar kotoran akibat penggunaan sehari-hari. Kontaminan berupa minyak, debu, atau residu lainnya seringkali sulit dibersihkan secara manual hanya dengan air atau sabun, karena metode tersebut membutuhkan lebih banyak waktu, tenaga, dan tidak selalu efektif menjangkau celah sempit. Kondisi ini menimbulkan kebutuhan akan metode pembersihan alternatif yang lebih efisien dan menyeluruh.

Salah satu teknologi yang dikenal cukup efektif adalah pembersih ultrasonik (*ultrasonic cleaner*). Alat ini bekerja dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik berfrekuensi tinggi yang dialirkan ke dalam larutan pembersih untuk menghasilkan gelembung-gelembung kavitasi. Gelembung tersebut terbentuk akibat turunnya tekanan di bawah tekanan uap jenuh dan pecah di permukaan objek yang direndam. Proses ini terbukti dapat meningkatkan efisiensi pembersihan karena mampu melepaskan kotoran dari permukaan maupun celah sempit secara merata (Jongen, 2022). Efektivitas metode ini tidak hanya bergantung pada intensitas gelombangnya, tetapi juga pada dua mekanisme penting dalam kavitasi. Pertama, gelembung kavitasi yang pecah di dekat permukaan menghasilkan semburan mikro yang dapat melonggarkan kotoran. Kedua, aliran akustik dari gelombang ultrasonik mengurangi lapisan cairan di sekitar objek, sehingga partikel kotoran lebih mudah terangkat (Mason, 2016). Teknologi pembersih ultrasonik bukanlah hal baru. Sejak 1950-an, teknologi ini telah digunakan secara luas di Amerika Serikat dan Inggris. Laporan *Macrosonics in Industry* menegaskan bahwa gelombang ultrasonik memiliki fungsi fisik yang

tidak dapat dicapai metode pembersihan konvensional. Oleh sebab itu, teknologi ini terus dikembangkan dan terbukti efektif untuk membersihkan oli, gemuk, serta partikel halus pada celah yang sulit dijangkau (Mason, 2016). Meskipun demikian, perangkat yang tersedia di pasaran umumnya memiliki spesifikasi tinggi, konsumsi daya besar, dan harga yang relatif mahal. Kondisi tersebut kurang sesuai untuk penggunaan skala individu maupun mahasiswa, sehingga perlu adanya rancangan alat dengan spesifikasi lebih sederhana, hemat energi, dan tetap efektif.

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab kesenjangan tersebut dengan merancang dan membangun alat pembersih ultrasonik sederhana berdaya 50 W dan frekuensi 40 kHz, yang difokuskan pada pengujian objek berupa uang logam Rp 500. Pemilihan koin sebagai media uji didasarkan pada sifatnya yang sering terpapar kotoran, sulit dibersihkan secara manual, namun relevan sebagai representasi logam kecil dalam kehidupan sehari-hari. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa rancangan alat alternatif yang lebih praktis dan ekonomis, sekaligus menjadi dasar pengembangan pembersih ultrasonik skala kecil di masa mendatang.

METODE

▪ Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan **penelitian rekayasa (*engineering research*)** yang bertujuan untuk merancang, membuat, dan menguji kinerja alat pembersih ultrasonik dengan spesifikasi daya 50 W dan frekuensi 40 kHz. Penelitian ini menggunakan pendekatan **kuantitatif deskriptif**, karena data hasil pengujian alat berupa angka yang dianalisis secara numerik berdasarkan penilaian tingkat kebersihan objek uji. Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi efektivitas alat terhadap variasi parameter yang digunakan, yaitu jumlah larutan sabun dan durasi pembersihan.

▪ Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan tiga jenis variabel, yaitu **variabel bebas (*Independent*)**, **variabel terikat (*Dependent*)**, dan **variabel kontrol (*Controlled/Constant*)**. Masing-masing variabel memiliki peran penting dalam pengujian alat pembersih ultrasonik untuk mengetahui efektivitas pembersihan terhadap objek uji berupa uang logam.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Jenis Variabel	Nama Variabel	Deskripsi
Variabel bebas (<i>Independent</i>)	Jumlah larutan sabun, Durasi pembersihan	2 mL, 4 mL, 6 mL, dan 8 mL, 3 menit dan 5 menit
Variabel terikat (<i>Dependent</i>)	Efektivitas pembersihan	Dinilai menggunakan skala penilaian 0-5 dengan persentase, interval 20%
Variabel kontrol (<i>Controlled/Constant</i>)	Volume air, Jumlah objek uji, Jenis koin, Media pengotor, Jenis sabun, Posisi objek dalam wadah	Volume air 100 mL, 3 koin per pengujian, Uang logam Rp 500, Abu gosok + oli + air, Sabun cair merek <i>Sunlight</i> , Koin diletakkan rata di dasar wadah

▪ Spesifikasi Alat

Untuk mengetahui spesifikasi dari alat yang telah dibuat, dilakukan pengujian yang meliputi pengukuran dimensi, berat keseluruhan, getaran transduser, dan kapasitas wadah.

1. Dimensi Fisik

Berdasarkan gambar teknik dan hasil pengukuran langsung terhadap alat pembersih ultrasonik yang telah dibuat, diperoleh ukuran dimensi fisik:

- Panjang = 29 cm,
- Lebar = 19 cm,
- Tinggi = 37 cm.

Struktur keseluruhan dari alat ini membentuk bangun ruang balok, sehingga volume total secara fisik dapat dihitung menggunakan rumus volume balok, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \\
 \text{Volume} &= 29 \text{ cm} \times 19 \text{ cm} \times 37 \text{ cm} \\
 &= 20.387 \text{ cm}^3
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Selanjutnya, untuk memperoleh volume bersih (volume bagian dalam), dilakukan penyesuaian terhadap dimensi luar berdasarkan ketebalan material penyusun alat. Ketebalan kayu triplek yang digunakan adalah 1 cm, sedangkan alas bagian dalam terangkat karena frame bawah setinggi 1,7 cm. Penyesuaian masing-masing sisi dilakukan dengan menggunakan cara:

- Panjang dalam dikurangi 2 kali ketebalan dinding (kiri dan kanan),
- Lebar dalam dikurangi 2 kali ketebalan dinding (depan dan belakang),
- Tinggi dalam dikurangi ketebalan tutup atas dan tinggi alas dan tinggi alas bagian bawah.

Rumus penyesuaian menjadi:

$$\text{Panjang dalam} = \text{Panjang luar} - 2t \quad (2)$$

$$\text{Lebar dalam} = \text{Lebar luar} - 2t \quad (3)$$

$$\text{Tinggi dalam} = \text{Tinggi luar} - (t + h_f) \quad (4)$$

Keterangan:

1) t = ketebalan kayu = 1 cm

2) h_f = tinggi frame bawah = 1,7 cm

$$\text{Panjang dalam} = 29 \text{ cm} - 2(1 \text{ cm}) = 27 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar dalam} = 17 \text{ cm} - 2(1 \text{ cm}) = 15 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi dalam} = 36 \text{ cm} - (1 \text{ cm} + 1,7 \text{ cm}) = 33,3 \text{ cm}$$

$$\text{Volume dalam} = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Volume dalam} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \\ &= 27 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 33,3 \text{ cm} \\ &= 13.486,5 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Nilai ini mewakili kapasitas ruang efektif di dalam alat yang digunakan untuk menempatkan seluruh komponen internal, seperti wadah, rangkaian elektronik, dan sirkulasi udara.

2. Berat Keseluruhan



Gambar 1. Hasil Penimbangan Menggunakan Timbangan Analog

Untuk memperoleh nilai berat total atau keseluruhan alat secara sistematis, dilakukan proses penimbangan menggunakan timbangan analog rumah tangga yang memiliki

kapasitas maksimum 5 kg dan skala pembacaan 20 gram. Berat alat kemudian dibaca langsung dari jarum penunjuk timbangan. Secara umum, berat total alat ditentukan berdasarkan hasil observasi visual terhadap skala timbangan dan dapat dinyatakan dalam rumus:

$$\text{Berat total alat} = \text{Skala terbaca pada timbangan} + \text{Toleransi pembacaan} \quad (6)$$

Maka berat total alat adalah:

$$\text{Berat total alat} = 4,50 \text{ kg} + 0,03 \text{ kg} = 4,53 \text{ kg}$$



Gambar 2. Alat Pengukur Getaran - *SKF Machine Condition Advisor CMAS 100-SL*

3. Getaran Transduser

Pengujian getaran ini dilakukan dengan menggunakan alat pengukur getaran **SKF Machine Condition Advisor CMAS 100-SL**. yaitu alat portabel yang dirancang untuk memantau kondisi mesin melalui pengukuran getaran dan suhu permukaan secara bersamaan. Alat ini mampu mendeteksi indikasi awal kerusakan komponen seperti bantalan atau ketidakseimbangan melalui dua parameter utama, yaitu "*velocity*" (kecepatan getaran) dan "*enveloped acceleration*" (percepatan terbungkus) (SKF Reliability Systems, n.d.)

Penggunaan alat ini pada penelitian bertujuan untuk memperoleh data getaran transduser dan wadah secara kuantitatif untuk mendukung validitas hasil pembersihan ultrasonik.

Pengukuran dilakukan secara manual dengan menempelkan sensor ke transduser dan permukaan dasar wadah pembersih. Nilai getaran tidak bersifat tetap dan berubah-ubah selama alat dinyalakan.

- Getaran pada transduser: 2,5 mm/s hingga 9,6 mm/s.
- Getaran pada permukaan dasar wadah: 1,0 mm/s hingga 10,3 mm/s.

Hasil ini menunjukkan bahwa getaran dari transduser tersalurkan hingga ke dasar wadah. Nilai-nilai tersebut diambil dari hasil minimum dan maksimum selama pengukuran.

4. Kapasitas Wadah



Gambar 3. Volume Maksimal Air dalam Wadah

Kapasitas wadah untuk alat pembersih ultrasonik ini menggunakan dua pendekatan, yaitu berdasarkan perhitungan dimensi geometris dan berdasarkan hasil pengukuran langsung. Pertama, volume total geometris wadah dihitung menggunakan dimensi fisik yang diukur secara langsung, yaitu:

- Panjang = 26,5 cm,
- Lebar = 16,2 cm,
- Tinggi = 15 cm.

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \\ &= 26,5 \text{ cm} \times 16,2 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \\ &= 6.439,5 \text{ cm}^3 = 6,44 \text{ liter} \end{aligned} \quad (7)$$

Kedua, untuk mengetahui kapasitas volume maksimum air yang dapat diisi ke dalam wadah, dilakukan pengukuran langsung dengan mengisi air hingga hampir menyentuh bagian atas wadah, tepat di bawah lubang pengait mekanisme penarik. Berdasarkan pengukuran ini, diketahui bahwa wadah mampu menampung air hingga 2.100 mL (2,1 liter).

5. Konsumsi Daya

Konsumsi daya adalah jumlah energi listrik yang dibutuhkan alat untuk beroperasi dengan baik. Pada sistem pembersih ultrasonik ini, komponen utama yang membutuhkan suplai daya adalah kipas pendingin serta driver yang terhubung dengan transduser. Daya kipas pendingin tidak dicantumkan secara langsung dalam spesifikasi, sehingga perlu dihitung menggunakan rumus:

$$P = V \times I \quad (8)$$

Keterangan:

- 1) P = daya (Watt)
- 2) V = tegangan (Volt)
- 3) I = arus listrik (Ampere)

Diketahui bahwa kipas memiliki tegangan 220 V dan arus sebesar 0,10 A. Maka:

$$P = 220 \text{ V} \times 0,10 \text{ A} = 22 \text{ Watt}$$

Sementara itu, *driver* dan transduser bekerja secara terintegrasi, dengan konsumsi daya sebesar 50 W sesuai dengan spesifikasi pabrikan. Total konsumsi daya alat merupakan penjumlahan dari kedua komponen tersebut.

Tabel 2. Konsumsi Daya

Komponen	Spesifikasi	Daya (W)
Kipas Pendingin	220-240 V, 50/60 Hz, 0,10 A	22
<i>Driver</i> + Transduser	220 V, 40 kHz, 50 W	50
Total Konsumsi Daya		± 72

▪ Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dilakukan secara bertahap, dimulai dari perencanaan awal hingga pengujian dan evaluasi terhadap alat yang telah dibuat. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

1. Studi Literatur

Mengumpulkan referensi dan informasi yang relevan mengenai prinsip kerja pembersih ultrasonik, penggunaan transduser piezoelektrik, serta referensi teknis untuk rangkaian dan komponen pendukung lainnya.

2. Perancangan Desain Alat

Membuat rancangan desain alat dalam bentuk gambar teknik dua dimensi (2D) dan dalam bentuk tiga dimensi (3D), termasuk menentukan posisi transduser, dan konfigurasi sistem kelistrikan.

3. Pengumpulan Komponen dan Material

Menyusun daftar kebutuhan alat dan bahan, lalu membeli dan menyiapkan seluruh komponen dan material yang diperlukan untuk pembuatan dan perakitan alat.

4. Penyusunan Sistem Kelistrikan

Merakit sistem kelistrikan sesuai dengan skema yang telah dirancang, yang mencakup driver ultrasonik, kipas pendingin, saklar, dan kabel.

5. Uji Sistem Kelistrikan

Melakukan pengujian awal terhadap sistem kelistrikan yang telah dirakit untuk memastikan seluruh komponen beroperasi dengan baik sebelum dipasang ke dalam rangka alat.

6. Proses Pengerjaan Alat

Meliputi pembuatan rangka alat, pemasangan wadah, pemasangan transduser, integrasi sistem kelistrikan dan komponen pendukung ke dalam rangka hingga alat dapat digunakan sepenuhnya.

7. Pengujian Alat

Menguji alat yang telah selesai dibuat melalui beberapa pengujian, yaitu uji fungsional sistem, uji spesifikasi alat (dimensi, berat, getaran, dan kapasitas wadah), serta pengujian efektivitas pembersihan.

8. Pengujian Efektivitas Pembersihan

Melakukan uji coba terhadap efektivitas alat dalam membersihkan objek berupa uang logam Rp 500 dengan berbagai variasi jumlah larutan sabun dan durasi pembersihan

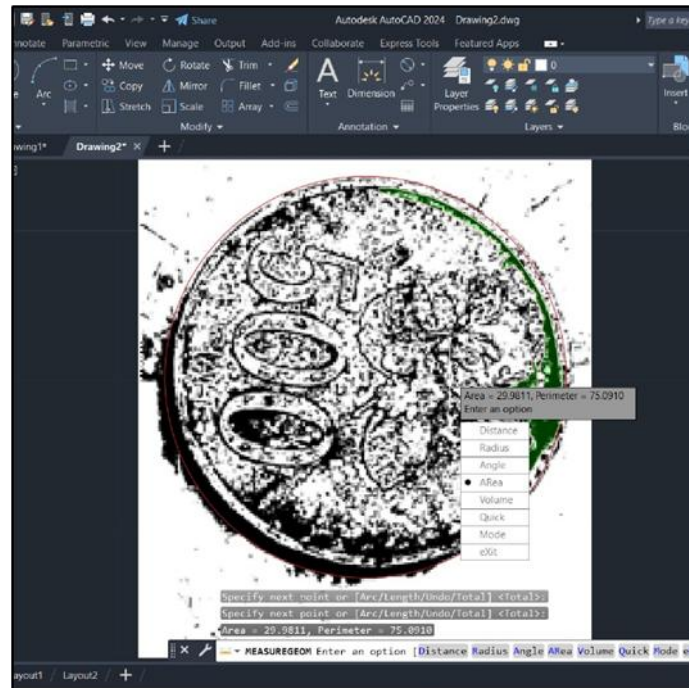
9. Analisis Hasil dan Evaluasi

Menganalisis hasil pengujian berdasarkan skor kebersihan, serta menyusun grafik dan perbandingan visual dari dokumentasi hasil.

▪ Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa tahapan yang sistematis. Pertama, objek uji berupa uang logam Rp 500 terlebih dahulu dikondisikan dengan tingkat kekotoran yang seragam. Hal ini bertujuan agar hasil pengujian dapat lebih objektif dan dapat dibandingkan antar variasi perlakuan. Selanjutnya, koin dibersihkan menggunakan alat pembersih ultrasonik dengan variasi perlakuan tertentu. Setelah proses pembersihan selesai, setiap koin difoto menggunakan kamera ponsel dengan jarak dan pencahayaan yang sama agar hasil dokumentasi lebih konsisten. Foto yang

diperoleh kemudian diubah ke mode hitam-putih untuk memperjelas perbedaan antara area bersih dan area kotor pada permukaan koin.



Gambar 4. Hasil Pengukuran Area Kotoran Koin (CAD)

Tahap berikutnya adalah analisis digital menggunakan perangkat lunak **Computer Aided Design (CAD)**. Melalui perangkat lunak ini, area total koin (A_{total}) dan area kotoran yang menempel (A_{kotoran}) dihitung secara kuantitatif dalam satuan luas (mm^2). Proses ini dilakukan dengan cara menandai batas area kotoran, kemudian perangkat lunak secara otomatis menghitung luasan yang terdeteksi.

Setelah nilai luasan diperoleh, persentase kebersihan koin dihitung menggunakan persamaan:

$$\% \text{ Kebersihan} = \left(1 - \frac{A_{\text{kotoran}}}{A_{\text{total}}} \right) \times 100\% \quad (9)$$

Keterangan:

- 1) A_{total} = luas total permukaan koin (mm^2)
- 2) A_{kotoran} = total luas area kotoran yang terdeteksi pada permukaan koin (mm^2)

Persamaan ini diturunkan dari konsep proporsi, dimana luas bersih koin diperoleh dari selisih antara luas total dan luas area kotoran ($A_{\text{total}} - A_{\text{kotoran}}$). Jika hasil selisih tersebut dibagi dengan A_{total} , maka didapatkan proporsi area bersih terhadap luas keseluruhan koin. Proporsi inilah yang kemudian dinyatakan dalam bentuk persentase. Dengan demikian, nilai 0% menunjukkan kondisi koin sepenuhnya kotor, sedangkan nilai 100% menunjukkan kondisi koin sepenuhnya bersih.

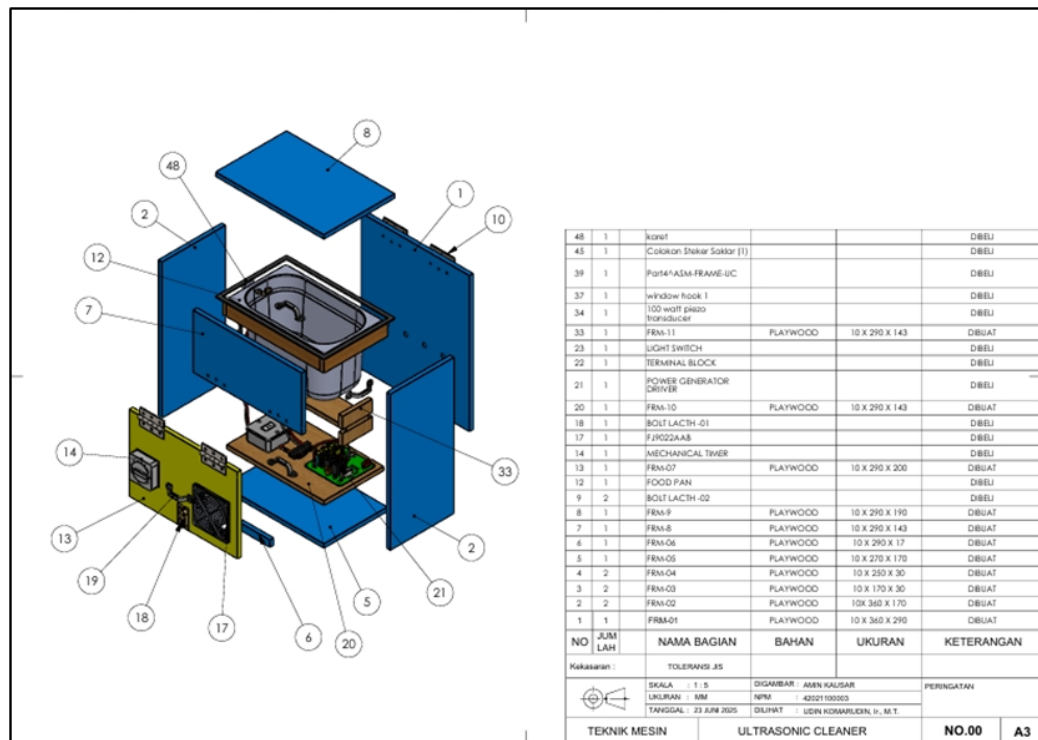
HASIL DAN PEMBAHASAN

▪ Perancangan dan Pembuatan Alat

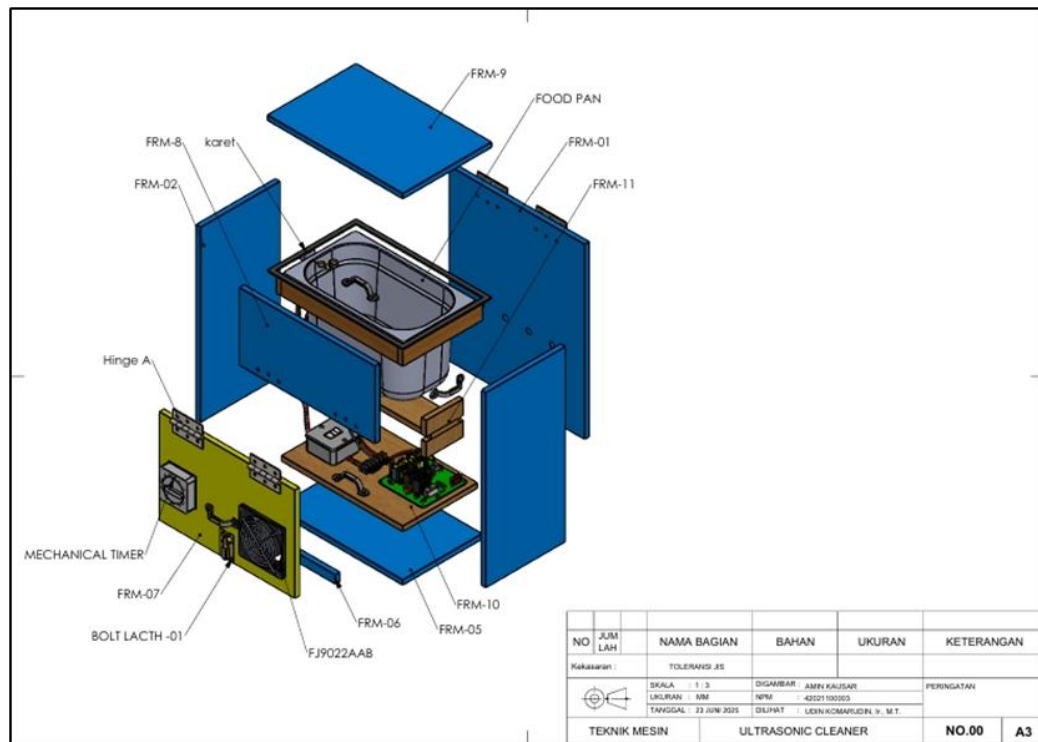
Alat pembersih ultrasonik ini dirancang untuk dapat dibuat secara sederhana namun tetap berfungsi secara optimal. Perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan ukuran, bentuk, susunan komponen, dan kemudahan dalam proses perakitan. Pembuatan alat dilakukan melalui beberapa tahapan, dimulai dari pembuatan rangka, penyusunan sistem kelistrikan, pemasangan komponen, hingga tahap akhir perakitan dan pengujian. Untuk memudahkan proses pembuatan, desain alat divisualisasikan terlebih dahulu dalam bentuk gambar teknik dua dimensi (2D) dan bentuk tiga dimensi (3D). Gambar teknik disusun untuk menunjukkan rancangan awal alat secara detail sebelum proses perakitan dilakukan.

1. Desain Sistem dan Gambar Teknik

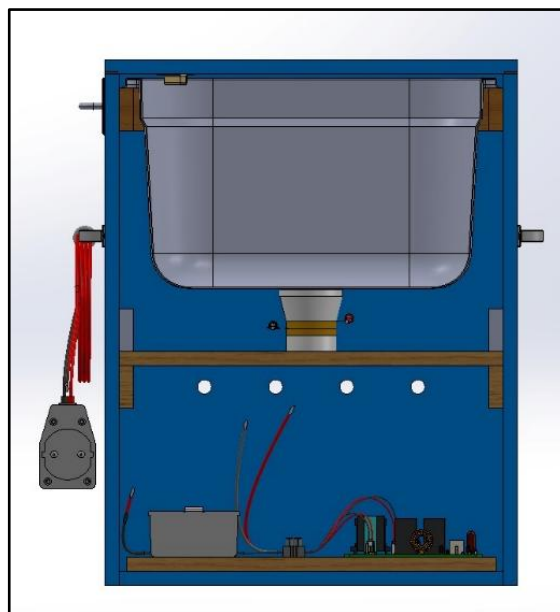
Tahap perancangan dilakukan sebelum tahap proses perakitan untuk memvisualisasikan bentuk dan susunan komponen secara keseluruhan. Proses perancangan ini mencakup pembuatan gambar teknik dua dimensi (2D) dan bentuk tiga dimensi (3D) dari alat. Gambar teknik digunakan sebagai acuan utama dalam proses pembuatan fisik, sedangkan tampilan tiga dimensi (3D) digunakan untuk melihat tampilan alat secara menyeluruh dan proporsional. Perangkat lunak *SolidWorks 2023* digunakan untuk merancang gambar sesuai dengan rancangan dan kebutuhan sistem yang telah ditentukan.



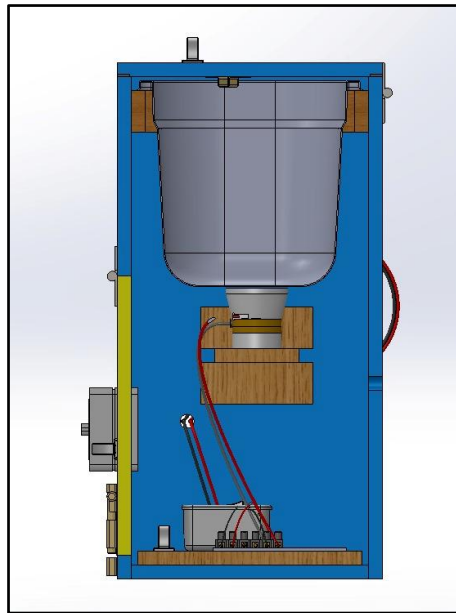
Gambar 5. Gambar Teknik - Rangkaian Komponen Alat (Bagian 1)



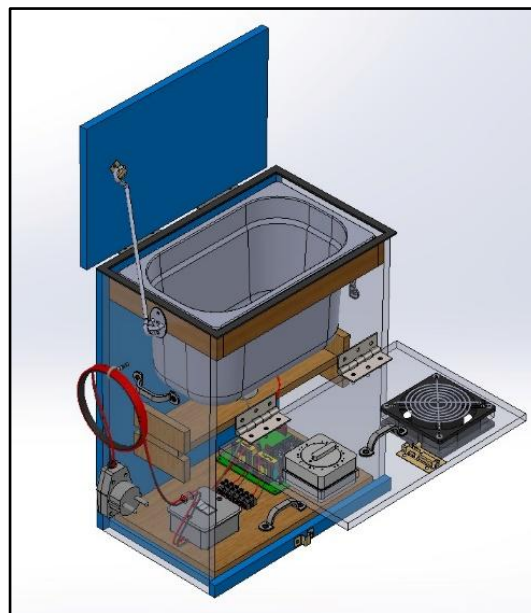
Gambar 6. Gambar Teknik - Rangkaian Komponen Alat (Bagian 2)



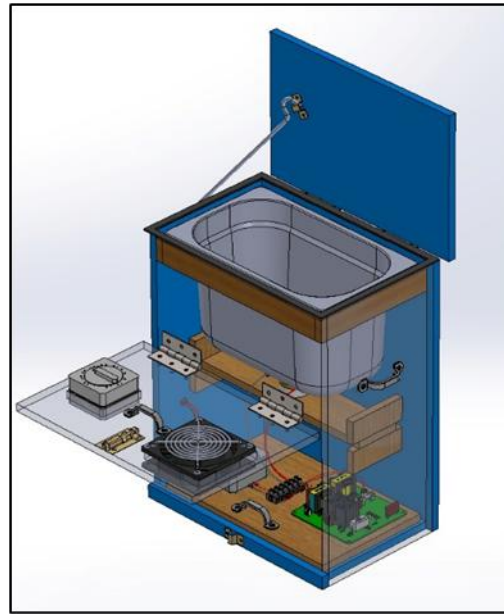
Gambar 7. Visualisasi Internal 3D Tampak Depan



Gambar 8. Visualisasi Internal 3D Tampak Samping



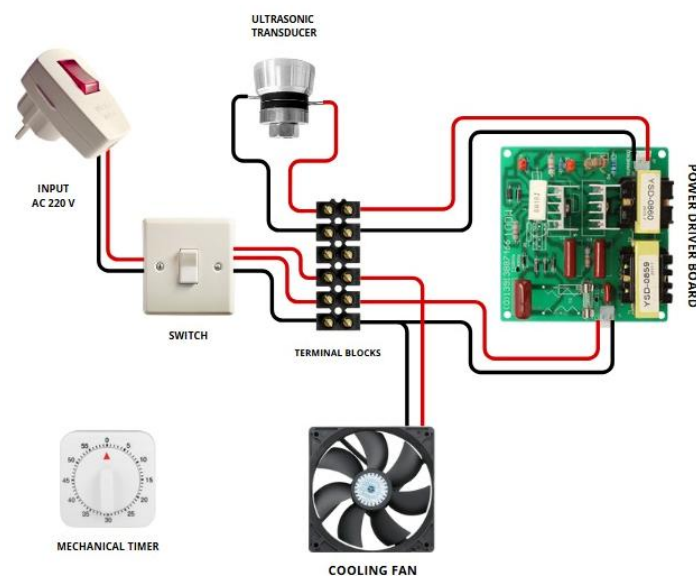
Gambar 9 Visualisasi Internal 3D Tampak Kiri



Gambar 10. Visualisasi Internal 3D Tampak Kanan

▪ Sistem Kelistrikan

Mencakup pengaturan aliran listrik dari sumber utama hingga ke komponen seperti driver ultrasonik dan kipas pendingin. Rangkaian dimulai dari sumber listrik (AC 220 V), yang kemudian dialirkan ke saklar *on/off* utama. Saklar ini berfungsi untuk mengatur aliran listrik menuju driver ultrasonik. Sementara itu, kabel kipas pendingin (AC) tidak diatur melalui saklar *on/off* tersebut, melainkan langsung terhubung ke steker arde yang tersambung ke sumber listrik. Meskipun demikian, kabel kipas tetap dimasukkan ke dalam jalur saklar agar lebih tertata dan rapi secara fisik.



Gambar 11. Diagram Sistem Kelistrikan

▪ Proses Pengerjaan Alat

Proses ini mencakup seluruh rangkaian kegiatan mulai dari pembuatan rangka, pemasangan komponen, hingga tahap akhir pemasangan karet *door seal* (*finishing*).

1. Pemotongan Papan Kayu

Tahap pertama dimulai dengan pemotongan papan kayu triplek sesuai dengan ukuran rangka yang telah direncanakan. Proses ini dilakukan secara manual menggunakan gergaji. Pemotongan dilakukan dengan hati-hati agar ukuran antar sisi simetris dan memudahkan proses perakitan di tahap berikutnya.

2. Perakitan Rangka

Potongan kayu yang telah disiapkan kemudian dirakit untuk membentuk kerangka utama alat. Proses perakitan menggunakan lem dan paku kayu agar struktur rangka kuat dan stabil. Setelah dirakit, dilakukan uji coba untuk memastikan rangka mampu menopang wadah dan komponen lainnya.

3. Pemahatan untuk Komponen Tambahan

Untuk menyesuaikan penempatan kipas dan *timer* mekanik, bagian pintu pada rangka dipahat. Pemahatan dilakukan dengan pahat kayu, kemudian dirapikan menggunakan gergaji agar bentuk lubangnya sesuai dengan ukuran komponen yang akan dipasang.

4. Pengampelasan Kasar

Rangka secara keseluruhan diampelas menggunakan amplas kasar, terutama pada bagian yang masih tajam dan kasar. Tujuannya agar permukaan kayu menjadi lebih halus dan siap untuk dilanjutkan ke proses pendempulan.

5. Pendempulan Rangka

Setelah diampelas, bagian-bagian yang tidak rata dilapisi dengan dempul kayu menggunakan skrap. Untuk bagian-bagian sempit seperti sudut dan celah kecil, digunakan *cotton bud* agar dempul tersebar merata dan rapi.

6. Pengampelasan Halus

Setelah dempul mengering, dilakukan pengampelasan kembali dengan amplas halus untuk meratakan permukaan kayu dan menghasilkan tampilan akhir yang lebih bersih sebelum di cat.

7. Rangkaian Sementara

Rangka yang telah dipotong, dirakit, didempul, dan dipahat kemudian dirangkai sementara. Tujuannya adalah untuk memastikan posisi dan kesesuaian semua komponen sebelum dilakukan pemasangan permanen.

8. Alas untuk Penataan Sistem Kelistrikan

Kayu tambahan dipotong dan disiapkan sebagai alas untuk meletakkan rangkaian listrik seperti *driver*, saklar utama, dan kabel. Alas ini dibuat terpisah dari rangka utama agar mudah ditarik keluar saat akan melakukan perawatan atau penggantian komponen. Penataan dilakukan dengan rapi agar setiap komponen tetap stabil dan tidak mudah bergeser selama alat digunakan.

9. Pemasangan Seluruh Komponen Pendukung dan Pembuatan Lubang

Seluruh komponen pendukung seperti engsel pintu, slot kunci, dan tarikan laci dipasang menggunakan obeng dan sekrup. Pemasangan ini dilakukan setelah struktur utama selesai dan posisi lubang sudah sesuai. Selain itu, proses pembuatan lubang tambahan dilakukan menggunakan bor, yaitu pada bagian belakang rangka untuk menyediakan sirkulasi udara untuk membuang hawa panas dari dalam alat, serta pada sisi samping rangka untuk jalur keluarnya kabel listrik yang terhubung ke sumber daya eksternal.

10. Pengecatan Alat dan Pembersihan Komponen

Seluruh permukaan (luar) alat di cat menggunakan kuas dan cat kayu agar tampilan yang lebih rapi dan memberikan perlindungan pada rangka. Untuk menjangkau bagian yang sempit dan membersihkan komponen yang tidak seharusnya terkena cat, digunakan *cotton bud* dan *thinner*.

11. Hasil Akhir Setelah Pengecatan

Setelah proses pengecatan dan pembersihan selesai, tampilan alat menjadi lebih rapi dan bersih. Pemilihan warna biru dan kuning disesuaikan dengan warna identitas Universitas Widyatama. Pada bagian bawah alat digunakan warna hijau sebagai kombinasi dari kedua warna tersebut, memberikan kesan kontras yang tetap serasi, meskipun letaknya tidak terlalu terlihat. Pemilihan kombinasi warna ini memberikan kesan unik dan berbeda pada hasil akhir alat.

12. Pemasangan Karet (*Door Seal*)

Karet jenis *door seal* dipasang pada dua bagian, yaitu pada bagian atas sebagai penutup agar lebih rapat dan mampu meredam suara dan getaran saat alat ditutup, sekaligus menopang wadah agar tidak licin. Karet juga dipasang pada bagian dasar alat untuk menjaga permukaan kayu tidak bergesekan langsung dengan lantai, memberikan kestabilan, dan meredam getaran.

▪ **Pengujian Alat**

Setelah alat dirakit dan semua komponen dipasang, dilakukan pengujian awal untuk memastikan bahwa alat dapat digunakan sesuai dengan rencananya dan memenuhi fungsinya. Pengujian ini memeriksa sistem kelistrikan, fungsi saklar, operasi *driver*, dan aktivitas transduser saat diberikan tegangan. Selain itu, pemeriksaan tambahan dilakukan untuk memastikan bahwa kipas pendingin menyala dan berfungsi dengan baik untuk menjaga suhu di dalam rangka alat.

Pengujian dilakukan secara bertahap. Pertama steker arde disambungkan ke sumber listrik dan dinyalakan. Kemudian, karena kipas langsung terhubung ke sumber listrik tanpa melalui saklar utama, kipas otomatis menyala. Setelah itu, saklar utama dinyalakan untuk mengaktifkan *driver* dan transduser. Saat transduser diaktifkan, wadah diletakkan di atas permukaannya dan diisi air secukupnya untuk mengamati getaran ultrasonik yang terlihat dari riak atau gelombang halus di permukaan air dan dapat dirasakan sebagai getaran ringan.

Penyesuaian dilakukan jika ada hambatan atau ketidaksesuaian, seperti mengecek kembali sambungan kabel, posisi transduser, atau sistem kelistrikan. Untuk menguatkan hasil pengujian awal ini, dilakukan juga pengujian menggunakan aluminium foil. Tujuan dari pengujian ini adalah melihat pengaruh getaran dan fenomena kavitasi pada permukaan cairan secara langsung. Aluminium foil dimasukkan ke dalam wadah berisi air dan alat dijalankan selama empat menit. Waktu ini dipilih berdasarkan hasil rata-rata dari dua variasi durasi pembersihan yang akan dilakukan.

▪ **Analisis Hasil Pengujian Alat**

Berdasarkan hasil pengujian alat yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa seluruh sistem dapat berjalan sesuai dengan fungsinya. Komponen kelistrikan seperti saklar utama, *driver*, dan kipas pendingin menyala dengan baik setelah disambungkan ke sumber listrik. Transduser juga merespons dan menghasilkan getaran saat dinyalakan, yang ditandai dengan adanya riak di permukaan air dan getaran yang terasa saat disentuh langsung.

Hasil pengujian dengan aluminium foil menunjukkan adanya perubahan permukaan berupa lekukan halus, menandakan bahwa fenomena kavitasi telah terjadi. Meskipun demikian, kekuatan getaran yang dihasilkan masih belum terlalu besar, namun cukup untuk membuktikan bahwa alat dapat bekerja.



Gambar 12. Aluminium Foil Sebelum Pengujian



Gambar 13. Aluminium Foil Setelah Pengujian

Kemungkinan hal ini disebabkan oleh penggunaan satu transduser dan karakteristik wadah yang cukup tebal, sehingga getaran tidak tersebar merata dan tidak terlalu maksimal. Meskipun demikian, alat dinilai sudah dapat menjalankan fungsinya dan siap digunakan untuk tahap pengujian objek.

▪ Pengujian Pembersihan Objek

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas alat pembersih ultrasonik yang dikembangkan dalam membersihkan permukaan logam dari kotoran. Objek yang digunakan dalam pengujian ini adalah uang logam Rp 500. Pemilihan ini didasarkan pada alasan bahwa koin merupakan benda logam yang umum digunakan dan mudah ditemukan dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, uang logam nominal Rp 500 lebih mudah diperoleh dalam jumlah banyak dan umumnya memiliki tingkat kekotoran yang cukup tinggi karena digunakan lebih sering daripada koin nominal lainnya. Data hasil pengujian kemudian digunakan untuk mengevaluasi efektivitas alat pembersih ultrasonik dalam membersihkan permukaan logam pada berbagai variasi pengujian. Adapun variasi yang diuji terdiri dari:

- 1) Volume air: 100 mL (tetap).
- 2) Jumlah larutan sabun: 2 mL, 4 mL, 6 mL, dan 8 mL.
- 3) Durasi pembersihan: 3 menit dan 5 menit.

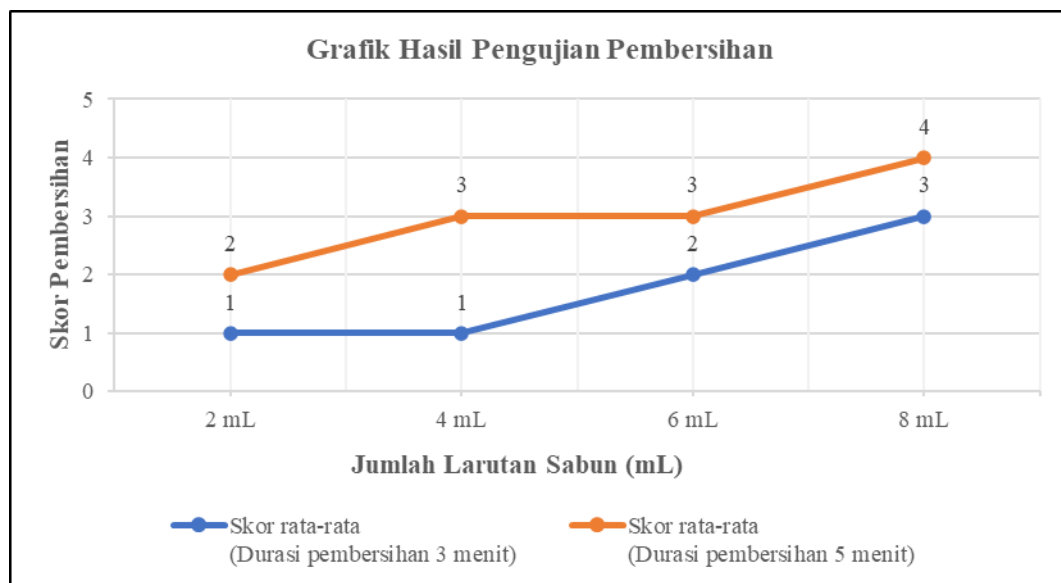
Setiap pengujian dilakukan pada tiga koin berbeda yang telah dikondisikan kekotorannya secara seragam. Penilaian kebersihan menggunakan skala penilaian 0-5 yang merepresentasikan persentase kebersihan permukaan koin, dengan interval 20% pada setiap level, kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan skor akhir pada masing-masing pengujian. Perhitungan skor rata-rata dilakukan menggunakan rumus:

$$\text{Rata - rata (Mean)} = \frac{(\text{Jumlah semua nilai data})}{(\text{Banyaknya data})} \quad (10)$$

$$\text{Skor rata - rata} = \frac{(\text{Skor Koin 1} + \text{Skor Koin 2} + \text{Skor Koin 3})}{3}$$

▪ **Grafik Hasil Pengujian Pembersihan**

Setiap garis pada grafik mewakili rata-rata skor dari tiga koin uji untuk satu kombinasi pengujian. Grafik ini memudahkan untuk melihat perbandingan dan kecenderungan hasil antar variasi, serta menunjukkan bahwa peningkatan jumlah larutan sabun dan durasi pembersihan dapat memengaruhi tingkat kebersihan koin.



Gambar 14. Grafik Hasil Pengujian Pembersihan

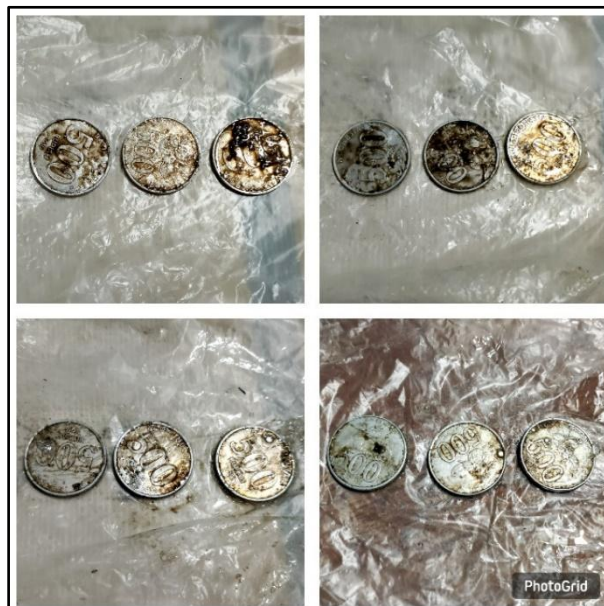
Hasil pengujian menunjukkan bahwa durasi pembersihan 5 menit memberikan skor kebersihan yang lebih tinggi dibandingkan durasi pembersihan 3 menit, pada semua variasi jumlah larutan sabun yang diuji. Hal ini menunjukkan bahwa durasi pembersihan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efektivitas alat.

Selain itu, grafik juga menunjukkan bahwa peningkatan jumlah larutan sabun dari 2 mL hingga 8 mL cenderung meningkatkan skor pembersihan, baik pada durasi pembersihan 3 menit maupun durasi pembersihan 5 menit. Pada durasi pembersihan 3 menit, skor mulai mengalami peningkatan signifikan setelah jumlah larutan sabun mencapai 6 mL, sedangkan pada durasi pembersihan 5 menit peningkatan skor tampak konsisten sejak awal, meskipun terjadi stagnasi sementara pada jumlah 6 mL. Kenaikan skor yang kembali terjadi pada 8 mL menunjukkan bahwa efek pembersihan sabun akan lebih optimal apabila disertai dengan durasi pembersihan yang cukup. Dengan demikian, kombinasi jumlah larutan sabun 8 mL dan durasi pembersihan 5 menit merupakan kombinasi terbaik dalam menghasilkan skor pembersihan tertinggi. Namun, penggunaan 6 mL larutan sabun dengan durasi pembersihan 5 menit juga telah memberikan hasil yang baik dan dapat dijadikan alternatif yang lebih efisien.

▪ Perbandingan Visual Hasil Pengujian Pembersihan

Perbandingan visual dilakukan untuk melihat perbedaan hasil pembersihan objek uang logam berdasarkan durasi pembersihan yang digunakan. Untuk mempermudah observasi, dokumentasi hasil pengujian disusun dalam bentuk grid gambar, yang dikelompokkan berdasarkan durasi pembersihan, yaitu 3 menit dan 5 menit. Setiap grid menampilkan hasil pembersihan dari empat variasi jumlah larutan sabun (2 mL, 4 mL, 6 mL, dan 8 mL), sehingga memudahkan dalam membandingkan tingkat kebersihan secara visual antar kondisi yang diuji.

1. Perbandingan Durasi Pembersihan 3 Menit



Gambar 15. Perbandingan Visual Hasil Pembersihan Durasi Pembersihan 3 Menit

2. Perbandingan Durasi Pembersihan 5 Menit



Gambar 16. Perbandingan Visual Hasil Pembersihan Durasi Pembersihan 5 Menit

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan dalam beberapa hal:

1. Alat pembersih koin menggunakan ultrasonik berdaya 50 W dan frekuensi 40 kHz berhasil dirancang dan direalisasikan menggunakan satu buah transduser piezoelektrik, *driver* ultrasonik, dan wadah *stainless steel* sebagai media pembersih. Alat ini memiliki desain yang sederhana, hemat daya, dan mampu membersihkan uang logam Rp 500 dengan media air dan sabun cair. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa getaran yang dihasilkan memiliki rentang antara 2,5-9,6 mm/s pada transduser dan 1,0-10,3 mm/s pada permukaan dasar wadah, dengan berat total sebesar 4,53 kg. Validitas fungsional dilakukan melalui uji aluminium foil dan pengamatan visual skor kebersihan objek uji.
2. Hasil pengujian efektivitas pembersihan menunjukkan bahwa variasi jumlah larutan sabun cair dan durasi pembersihan berkorelasi dengan peningkatan tingkat kebersihan objek uji. Semakin besar jumlah larutan sabun dan semakin lama durasi pembersihan, maka skor visual kebersihan cenderung meningkat berdasarkan skala 0 hingga 5. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan antara kondisi sebelum dan sesudah pembersihan menggunakan alat yang telah dirancang.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan kendala yang ditemukan selama proses perancangan dan pengujian, saran-saran ini dapat dipertimbangkan untuk pengembangan selanjutnya:

1. Sistem perlu dikembangkan agar dapat mengatur atau mengubah frekuensi transduser secara fleksibel, disesuaikan dengan jenis objek yang dibersihkan.
2. Penggunaan lebih dari satu transduser disarankan, dengan dukungan driver berdaya lebih besar agar hasil pembersihan dapat lebih merata dan optimal.
3. Penyempurnaan sistem kelistrikan antar komponen perlu dilakukan guna meningkatkan keamanan dan keandalan alat.
4. Pemilihan dan pemasangan kabel, terutama pada sambungan terminal transduser, harus diperhatikan agar tidak mudah putus atau mengalami gangguan saat digunakan.
5. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk menguji efektivitas alat terhadap objek lain dengan bentuk dan tingkat kekotoran yang lebih kompleks.

REFERENSI

- Jongen, W. (2022). Fruit and vegetable processing. *Fruit and Vegetable Processing*, 1–21. <https://doi.org/10.1533/9781855736641>
- Mason, T. J. (2016). Ultrasonic cleaning: An historical perspective. *Ultrasonics Sonochemistry*, 29, 519–523. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.05.004>
- SKF Reliability Systems. (n.d.). *SKF Machine Condition Advisor CMAS100-SL*.