

Pengaruh Jumlah Transduser Pieszoelektrik Terhadap Efektifitas Proses Pencucian Mangkuk menggunakan Metode Ultrasonik

Edilla¹⁾, Andreas Lokananta²⁾, and Syahrizal³⁾*

Politeknik Caltex Riau

Mechatronic study Program

Umbansari Street, Rumbai-Pekanbaru, Riau 28265, Indonesia

E-mail: edilla@pcr.ac.id

Abstrak

Wisata kuliner mie ayam dan bakso mudah dijumpai di sekitar kita. Biasanya para pedagang mie ayam dan bakso menggunakan mangkuk yang relatif sama yaitu mangkuk cap ayam jago. Umumnya para pedagang mie ayam dan bakso masih mencuci mangkuk-mangkuk secara manual. Oleh karena itu muncul ide untuk merancang alat pencuci mangkuk otomatis. Pencucian mangkuk menggunakan metode ultrasound. Proses dari alat pencuci mangkuk otomatis berawal dari mangkuk diumpan menggunakan konveyor. Mangkuk disemprot terlebih dahulu menggunakan pompa air yang diatur solenoid valve, kemudian mangkuk masuk ke dalam bak pencuci, air dalam bak akan digetarkan dengan frekuensi tinggi oleh ultrasound transducer. Getaran tersebut akan menggetarkan partikel air yang akan bergerak dengan kecepatan tinggi. Gerakan ini layaknya penggosokan manual pada mangkuk, sehingga melunturkan kotoran pada mangkuk. Setelah beberapa waktu, mangkuk dikeluarkan dari bak pencuci dan dibilas kembali dengan semprotan air yang diatur menggunakan solenoid valve. Mangkuk yang telah dibilas dioper menuju rak penyusun menggunakan konveyor. Kapasitas pencucian yang dihasilkan alat pencuci mangkuk otomatis ini adalah 12 mangkuk bersih per menit.

Kata kunci: mangkuk, ultrasound, pencucian

Abstract

Culinary tours of chicken noodles and meatballs are easily found around us. Usually, the sellers of chicken noodles and meatballs use a relatively similar bowl, namely a "Mangkuk Ayam Jago". Usually, the sellers wash the bowls manually. Therefore, came the idea to design an automatic bowl washing device. Washing the bowl using the ultrasound method. The process of an automatic bowl washer starts with a bowl fed using a conveyor. The bowl is sprayed first using a water pump that is set by the solenoid valve, then the bowl goes into the washing tub, the water in the tub will be vibrated with high frequency by ultrasound transducer. These vibrations will vibrate water particles that will move at high speed. This movement is like manual scrubbing on a bowl, so that it splashes dirt on the bowl. After a while, the bowl is removed from the washing tub and rinsed again with a water spray set using a solenoid valve. The rinsed bowl is passed to the compartment rack using a conveyor. The washing capacity produced by this automatic bowl washer is 12 clean bowls per minute.

Keywords: bowl, ultrasound, washing process

1. Pendahuluan

Para pedagang bakso dan mie ayam biasanya menggunakan mangkuk dengan ukuran yang relatif sama sebagai wadahnya, seperti mangkuk dengan cap gambar "Ayam jago". Mangkuk ini paling sering dijumpai karena sudah sejak lama mangkuk ini diproduksi dan digunakan. Mangkuk - mangkuk dagangan biasanya menumpuk setelah digunakan dan

memerlukan waktu yang cukup lama untuk mencuci mangkuk-mangkuk yang menumpuk tersebut. Jika

pencucian mangkuk dapat diotomatisasi tentu akan meringankan kerja para pedagang.

Rancangan alat pencuci mangkuk otomatis yang akan didesain ini menggunakan sistem ultrasound. Dengan menggunakan ultrasound, air yang dibutuhkan untuk proses pencucian mangkuk akan lebih hemat. Dari

segi harga untuk membangun alat pencuci mangkuk otomatis ini juga rendah dari harga jual mesin cuci piring modern saat ini. Dengan demikian, diharapkan alat ini dapat beroperasi di berbagai kalangan pedagang, karena alat ini menawarkan harga yang lebih rendah, dapat membersihkan noda makanan yang sulit dibersihkan, serta penggunaan air yang lebih hemat dari mesin cuci modern saat ini..

2. Landasan Teori

A. Ultrasonic washer

Metode yang umumnya dikenal dalam hal membersihkan sisa-sisa makanan dari peralatan dapur dan peralatan makanan adalah pencucian menggunakan detergen kimia atau bahan pembersih serupa yang dikombinasikan dengan air panas atau semprotan air bertekanan tinggi. Dalam hal ini, jumlah air yang digunakan untuk melakukan proses pembersihan dan pembilasan relatif besar. Metode tersebut dianggap kurang efektif dalam hal pemakaian air, detergen, waktu dan tenaga. Dengan dikembangkannya metode pembersihan alternatif yang menggunakan prinsip ultrasonik, dimana cara kerja dari metode ini adalah menggunakan generator gelombang ultrasonik frekuensi tinggi untuk menggetarkan air didalam bak pencucian [1,2]. Getaran ini menggerakkan partikel-partikel air dengan kecepatan tinggi, yang menghasilkan gerakan penggosokan mekanis substansial pada peralatan cucian. Gerakan partikel ini secara efektif dapat melunturkan sisa-sisa makanan dari peralatan makan/dapur [3,4,5].



Gambar 1. Ultrasonic washer (www.ultrasonicllc.com)

B. Transduser Pieszoelektrik

Transduser piezoelektrik adalah alat yang memiliki kemampuan untuk mengkonversi energi mekanis

menjadi energi listrik ataupun sebaliknya. Transduser ini menghasilkan gelombang dengan frekuensi diatas 20kHz [6,7]. Transduser piezoelektrik adalah jenis transduser elektroakustik yang mengubah muatan listrik yang dihasilkan oleh bahan padat menjadi energi. Istilah “piezoelektrik” asal mulanya merupakan kata dari Bahasa latin yaitu piezein secara harafiah berarti diperas ataupun ditekan serta piezo yang memiliki arti didorong. Jacques dan Pierre Curie adalah dua sosok yang diakui sebagai penemu pertama kali bahan piezoelektrik yang tercatat ditemukan pada kurun waktu 1880-an [8].



Gambar 2 Transduser piezoelektrik (www.amazon.com)

C. Mangkuk Cap Ayam Jago

Mangkuk memang sejak awal diakui tidak lepas dengan sejarah Cina. Awal mula perkembangannya memang dimulai disana dan kemudian menyebar ke pelosok dunia. Penggunaan mangkuk memang sangat dekat dengan makanan atau kuliner. Mangkuk digunakan pada penyajian makanan yang cenderung berkuah seperti mie ayam, bakso, soto dan lainnya. Salah satu mangkuk yang terkenal luas penggunaannya adalah mangkuk bergambar ayam jago. Mangkuk yang bergambar ayam jago ini secara luas digunakan pada penyajian makanan yang cenderung berkuah tadi. Di Indonesia mangkuk ini berkembang dan digunakan secara luas sejak tahun 70-an. Mangkuk cap ayam jago ini menjadi salah satu ikon makanan ataupun kuliner yang kejayaannya masih tetap hidup hingga saat ini.

D. Solenoid valve

Solenoid valve pada prinsipnya adalah pengembangan lebih jauh dari sebuah katup/keran mekanik. Kebutuhan otomasi terkait pengatur aliran fluida membuat *solenoid valve* ini berkembang pesat. Secara teknis *solenoid valve* memiliki kemampuan untuk mengatur bukaan *valve* menggunakan arus listrik baik itu AC maupun DC. Prinsip kerja *solenoid valve* tidak terlepas dengan prinsip kerja elektromagnetik, hal inilah yang menjadikan bahwa disetiap *solenoid valve* pasti memiliki kumparan yang memiliki tugas mengkonversi arus listrik menjadi elektromagnetik dan pada akhirnya menghasilkan gerak/mekanisme membuka ataupun menutup *valve* [9,10].

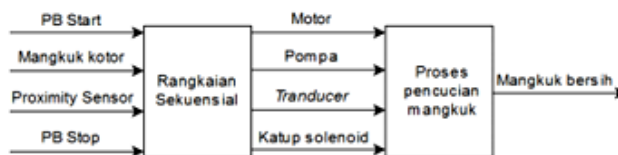
3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang diterapkan pada penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur pada penelitian dan produk yang sudah ada sebelumnya. Tahap berikutnya adalah melakukan proses desain alat yang berupa desain alat dan rangkaian elektronik pendukungnya. Tahapan berikutnya adalah pengujian alat serta melakukan revisi jika diperlukan tahapan akhir adalah melakukan pengujian lanjut, pengambilan data dan analisis data yang sudah diperoleh.

Penelitian yang dilakukan kali ini berfokus pada penggunaan frekuensi ultrasonik 22 Khz yang digunakan untuk membersihkan objek berupa mangkuk berbahan dasar porselen dan mengkaji efek jumlah transducer yang digunakan terhadap durasi dan kualitas proses pencucian mangkuk. Aspek lain yang menjadi perhatian adalah mempertimbangkan kapasitas, ukuran alat dan konsumsi daya saat operasional yang sesuai untuk segmen usaha kecil dan menengah.

A. Blok Diagram

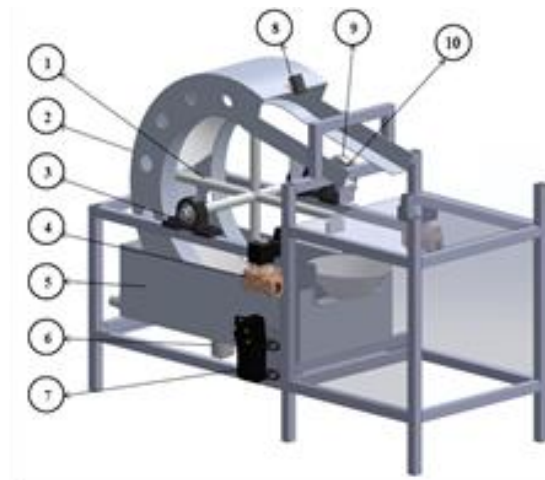
Secara garis besar alat ini dilengkapi dengan transducer piezoelektrik sebagai pembangkit getaran, sensor proximity untuk pendeteksian mangkuk, pompa air dan solenoid valve untuk mengatur aliran air pembilasan serta motor dan mekanisme lengan pendorong yang digunakan untuk mobilisasi mangkuk selama proses pencucian. Proses yang akan dilakukan pada alat ini dapat dilihat seperti pada blok yang ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3 Diagram blok sistem

B. Desain Alat

Pada penelitian ini akan dibuat prototype alat pencuci mangkuk menggunakan ultrasonik yang akan menjadi factor utama dalam pengujian efektivitas proses pencucian menggunakan metode ultrasonik. Adapun desain alat tersebut dapat dilihat seperti pada gambar 4 berikut.



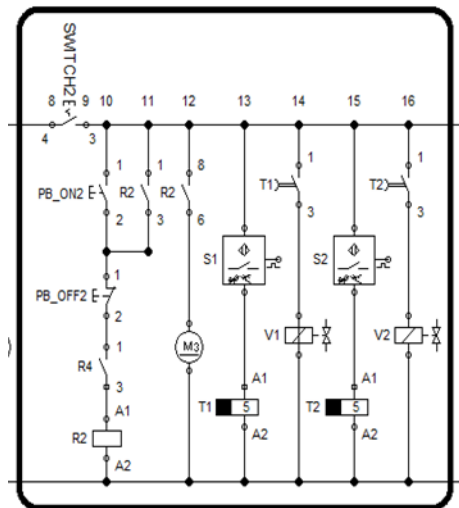
Gambar 4 Desain alat

Keterangan:

- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| 1. Lengan pendorong mangkuk | 6. Transducer ultrasonik |
| 2. Lintasan mangkuk | 7. Pompa Air 12VDC |
| 3. Pillow bearing | 8. Sensor infra merah |
| 4. Solenoid valve | 9. Motor DC Wiper |
| 5. Bak cuci mangkuk | 10. Water spray nozzle |

C. Rancangan Elektronika

Perancangan elektronika Alat Pencuci Mangkuk Otomatis menggunakan metode sekuensial. Sistem kerja rangkaian Alat Pencuci Mangkuk Otomatis, berawal dari penekanan SWITCH2 mengaktifkan rangkaian Alat Pencuci Mangkuk Otomatis. Saat PB_ON2 ditekan, motor(M3) aktif. Sensor infra merah(S1 dan S2) akan mendeteksi keberadaan mangkuk untuk mengaktifkan solenoid valve(V1 dan V2) untuk melakukan proses penyemprotan air pada mangkuk sesuai durasi waktu yang diatur pada timer(T1 dan T2). Rangkaian Alat Pencuci Mangkuk Otomatis ditandai dengan kotak hitam pada Gambar 5.



Gambar 5 Desain rangkaian alat

Adapun pengujian yang ingin dilakukan pada penelitian kali ini diantaranya adalah:

- (1) Pengujian durasi pencucian mangkuk dengan variasi jumlah transduser (1-4 transduser berfrekuensi 22 Khz)
- (2) Pengujian konsumsi daya alat

Dengan melakukan pengujian-pengujian ini diharapkan dapat digali lebih dalam performa dan kinerja alat yang sudah dibuat dan dapat mengukur dari target tujuan awal dilakukannya penelitian ini.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dengan melewati tahapan-tahapan proses perancangan, pembuatan serta assembly hasil alat pencuci makuk ini dapat dilihat seperti pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6 Realisasi alat pencuci mangkuk

A. Pengujian durasi pencucian mangkuk dengan 1 transduser

Pada pengujian ini data yang diambil adalah durasi yang dibutuhkan untuk membersihkan noda berupa saus kecap, minyak dan campuran antara saus kecap dengan minyak. Dalam proses pengambilan data juga ditetapkan variabel bebas yaitu jenis noda dan 2 variabel kontrol yaitu durasi setiap 5 detik proses pencucian dan penggunaan jumlah transduser ultrasonik yang digunakan.

Pengambilan data dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan jenis noda yang akan dioleskan pada mangkuk. Noda yang akan dioleskan yaitu, noda 1:saus sambal+kecap manis(masing-masing komposisi sama banyak), noda 2: minyak goreng, dan noda 3: campuran saus sambal+kecap manis+minyak goreng(komposisi sama banyak).
2. Mengoleskan noda ke sisi dalam mangkuk.
3. Melakukan penyemprotan sekali jalan terlebih dahulu sebelum pencucian.
4. Menghidupkan rangkaian 1 transduser.
5. Mencilupkan mangkuk yang telah melalui proses penyemprotan kedalam bak pencucian yang telah berisi 400ml larutan sabun cuci piring "Sunlight jeruk nipis" pada ± 19 liter air.
6. Saat mangkuk dicelupkan kedalam bak, stopwatch mulai menghitung. Setiap 5 detik sekali rangkaian transduser dan stopwatch dimatikan, lalu dilakukan pengecekan terhadap mangkuk, apakah sudah bersih atau tidak. Indikator bersih dalam proses pencucian ini adalah terasa kesat disaat jari digosokkan ke permukaan mangkuk.
7. Jika mangkuk sudah bersih, maka waktu yang tertera pada stopwatch dicatat.
8. Mengulangi pengujian dari langkah 1 dengan noda yang berbeda.
9. Mengulangi langkah 4 dengan menggunakan 2, 3, dan 4 transduser untuk setiap noda yang diuji.



Gambar 7 kondisi mangkuk setelah dioleskan noda 1, 2, 3 (dari kiri ke kanan)

Kriteria bersih didapat jika kondisi mangkuk tidak

lagi mengandung bahan pengotor baik itu secara visual maupun saat diraba dengan tangan.

Kriteria belum bersih jika mangkuk yang diuji masih terlihat atau dapat dirasakan sisa bahan pengotornya

Tabel 1 Data hasil pencucian mangkuk dengan 1 tranduser

Pengujian ke-	Detik ke-	KS	M	KSM
1	5	Belum Bersih	Belum Bersih	Belum Bersih
	10	Bersih	Belum Bersih	Belum bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih
2	5	Belum Bersih	Belum Bersih	Belum Bersih
	10	Belum bersih	Belum Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih
3	5	Belum Bersih	Belum Bersih	Belum Bersih
	10	Bersih	Belum Bersih	Belum bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih
4	5	Belum Bersih	Belum Bersih	Belum Bersih
	10	Bersih	Belum Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih
5	5	Belum Bersih	Belum Bersih	Belum Bersih
	10	Bersih	Belum Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih

Ket: KS = kecap manis+saus sambal

M = minyak goreng

KSM = kecap manis+saus sambal+minyak goreng

B. Pengujian durasi pencucian mangkuk dengan 2 Tranduser

Data yang diperoleh setelah pengujian pencucian mangkuk sebanyak 5 kali untuk setiap noda menggunakan 2 tranduser dapat dilihat seperti pada

tabel 2.

Dari hasil pengujian diketahui noda KS luntur pada detik ke-5, kebersihan mangkuk 100%. Noda M belum luntur dari mangkuk pada detik ke-5 dan ke-10 setelah 5 kali percobaan. Mangkuk bersih 100% pada detik ke-15. Noda KSM belum luntur dari mangkuk pada detik ke-5. Kebersihan mencapai 80% dari 5 kali percobaan setelah mencapai detik ke-10. Setelah mencapai detik ke-15, kebersihan mangkuk 100%. Dari ketiga noda, rata-rata kebersihan mangkuk saat detik ke-5, 10 dan 15 dari 5 kali percobaan adalah 33.33%, 60% dan 100%.

Tabel 2 Data hasil pencucian mangkuk dengan 2 tranduser

Pengujian ke-	Detik ke-	KS	M	KSM
1	5	Bersih	Belum Bersih	Belum Bersih
	10	Bersih	Belum Bersih	Belum Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih
2	5	Bersih	Belum Bersih	Belum Bersih
	10	Bersih	Belum Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih
3	5	Bersih	Belum Bersih	Belum Bersih
	10	Bersih	Belum Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih
4	5	Bersih	Belum Bersih	Belum Bersih
	10	Bersih	Belum Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih
5	5	Bersih	Belum Bersih	Belum Bersih
	10	Bersih	Belum Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih

C. Pengujian durasi pencucian mangkuk dengan 3 Tranduser

Data hasil pengujian durasi pencucian dengan menggunakan 3 tranduser dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Data hasil pencucian mangkuk dengan 3 tranduser

Pengujian ke-	Detik ke-	KS	M	KSM
1	5	Bersih	Belum Bersih	Bersih
	10	Bersih	Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih
2	5	Belum Bersih	Belum Bersih	Bersih
	10	Bersih	Belum Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih
3	5	Belum Bersih	Belum Bersih	Bersih
	10	Bersih	Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih
4	5	Bersih	Belum Bersih	Belum Bersih
	10	Bersih	Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih
5	5	Bersih	Belum Bersih	Bersih
	10	Bersih	Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih

D. Pengujian durasi pencucian mangkuk dengan 4 Tranduser

Data hasil pengujian durasi pencucian dengan menggunakan 4 tranduser dapat dilihat pada tabel 4.

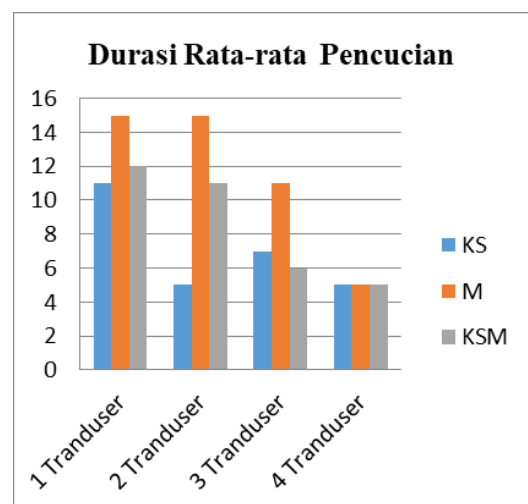
Tabel 4 Data hasil pencucian mangkuk dengan 3 tranduser

Pengujian ke-	Detik ke-	KS	M	KSM
1	5	Bersih	Bersih	Bersih
	10	Bersih	Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih
2	5	Bersih	Bersih	Bersih

	10	Bersih	Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih
3	5	Bersih	Bersih	Belum Bersih
	10	Bersih	Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih
4	5	Bersih	Bersih	Bersih
	10	Bersih	Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih
5	5	Bersih	Bersih	Bersih
	10	Bersih	Bersih	Bersih
	15	Bersih	Bersih	Bersih

Dari serangkaian pengujian tersebut selanjutnya dioleh nilai rata-rata durasi pencucian mangkuk dengan variasi jumlah tranduser. Hasil nilai rata-rata tersebut dapat dilihat seperti pada gambar 8.

Data grafik tersebut dapat dilihat bahwa durasi pencucian menggunakan 4 tranduser adalah yang tercepat untuk ketiga noda. Namun jika dilihat pada grafik 3 tranduser, performa pencucian mangkuk noda kecap saus menurun, waktu rata-rata pencucian adalah 7 detik, sedangkan pada grafik 2 tranduser, waktu rata-rata pencucian adalah 5 detik. Hal ini disebabkan oleh proses penyiraman pertama sebelum mangkuk dicuci kurang konsisten, karena proses suplai mangkuk dilakukan menggunakan tangan.



Gambar 8 Grafik durasi rata-rata pencucian mangkuk

Jika menggunakan pengumpan, arah dan ketinggian mangkuk akan lebih konsisten, agar proses penyemprotan menjadi maksimal. Pada grafik 4

tranduser, performa kembali naik, sehingga tercapai waktu rata-rata pencucian 5 detik.

Durasi pencucian noda minyak tidak mengalami perubahan di 2 tranduser, namun mengalami peningkatan di 3 tranduser, dari sebelumnya 15 detik menjadi 11 detik. Dan di 4 tranduser mencapai 5 detik.

Performa pencucian noda kecap saus minyak meningkat seiring bertambahnya pemakaian tranduser, dari 12 detik, 11 detik, 6 detik dan berakhir di 5 detik.

E. Kapasitas alat

Jumlah mangkuk yang dapat dibersihkan bergantung pada berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk membersihkan mangkuk tersebut. Hal ini berikutnya menentukan berapa kecepatan motor yang digunakan untuk mendorong mangkuk tersebut selama proses pencucian. Berdasarkan data durasi sebelumnya dan pengujian yang telah dilakukan maka RPM motor yang memenuhi untuk durasi pencucian adalah sebesar 3 rpm. Karena pendorong mangkuk ada 4, maka setiap 1 rotasi motor, mangkuk yang dapat dikeluarkan sebanyak $4 \times 4 \text{ buah} = 12 \text{ buah/menit}$. Sehingga secara teknis dapat disimpulkan bahwa kapasitas alat dalam penelitian ini adalah 12 mangkuk per menit.

F. Pengujian konsumsi daya alat

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar konsumsi daya alat dan pada akhirnya bermuara pada besaran biaya operasional alat.

Hasil pengukuran arus menggunakan multimeter pada saat alat ini bekerja adalah sebesar 1,93 A. hasil pengukuran ini dilakukan dengan mengukur arus pada kaber power supply utama alat pencuci mangkuk ini, sehingga arus yang terukur adalah arus total rangkaian. Tegangan yang digunakan tegangan AC sebesar 220V, sehingga untuk mendapatkan daya, arus dikali tegangan, $1,93\text{A} \times 220\text{V} = 424,6 \text{ Watt} = 0,4246 \text{ kW}$.

Tarif PLN berdaya 1,3 kVA untuk bulan September 2022 adalah Rp 1.444,70/kWh. Dengan ini dapat dihitung harga pemakaian daya alat pencuci mangkuk otomatis, perhitungan sebagai berikut:

Biaya per jam:

$$= \text{Tarif PLN} \times \text{Daya Alat}$$

$$= \text{Rp } 1.444,70 \text{ kWh} \times 0,4246 \text{ kW} = \text{Rp } 613,41/\text{h}$$

Jika dianggap alat pencuci mangkuk bekerja 8 jam sehari selama 30 hari maka $\text{Rp } 613,41/\text{h} \times 8 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} = \text{Rp } 147,220/\text{bulan}$

5. Kesimpulan

Setelah rangkaian kegiatan pengujian dan analisa data yang diperoleh maka pada penelitian ini ada beberapa poin penting yang dapat disimpulkan diantaranya adalah: Saat menggunakan 1 tranduser durasi rata-rata pencucian mangkuk untuk semua noda secara umum adalah 12,6 detik. Saat menggunakan 2 tranduser durasi rata-rata pencucian mangkuk untuk semua noda secara umum adalah 10,3 detik. Saat menggunakan 3 tranduser durasi rata-rata pencucian mangkuk untuk semua noda secara umum adalah 8 detik. Saat menggunakan 4 tranduser durasi rata-rata pencucian mangkuk untuk semua noda secara umum adalah 5 detik. Kapasitas alat pencucian mangkuk ini adalah 12 mangkuk per menit. Total konsumsi daya berdasarkan pengukuran menggunakan multimeter adalah 0,4246 kW dan biaya operasional selama 1 bulan adalah Rp 147,220.

Pengembangan ke depannya untuk penelitian ini adalah melakukan kajian lebih lanjut tentang efektifitas proses pencucian dengan menggunakan frekuensi lain ataupun untuk objek pembersihan yang lain seperti kain ataupun peralatan makan/memasak dari logam.

Acknowledgment

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan ucapan terimakasih kepada Politeknik Caltex Riau khususnya BP2M PCR yang telah memfasilitasi dan mendukung kegiatan penelitian yang penulis lakukan.

References

- [1] Timothy J. Mason, Ultrasonic cleaning: An historical perspective, Ultrasonics Sonochemistry, Volume 29, 2016,
- [2] F.J. Fuchs, - Ultrasonic cleaning and washing of surfaces, Editor(s): Juan A. Gallego-Juárez, Karl F. Graff, Power Ultrasonics, Woodhead Publishing, 2015,
- [3] Evans, D. United States Patent (19). *United States Patent*, (19) 1993.
- [4] S.B. Awad, R. Nagarajan, Chapter 6 - Ultrasonic Cleaning, Developments in Surface Contamination and Cleaning, William Andrew Publishing, 2010,
- [5] Bram Verhaagen, Thijs Zanderink, David Fernandez Rivas, Ultrasonic cleaning of 3D printed objects and Cleaning Challenge Devices, Applied Acoustics, Volume 103, Part B, 2016.
- [6] Muflikhun Muhammad dkk, Metrologi Dalam Industri Manufaktur, UGM Press, 2022
- [7] Sendari Siti, Wirawan Made, Nasrulloh

Mukhammad, Sensor Transducer, Ahlimedia Book, 2021

[8] S Tadigadapa and K Mateti, Piezoelectric MEMS sensors: state-of-the-art and perspectives, IOP Publishing Ltd, 2009.

[9] Junginger, S., Thurow, K. Devices and Systems for Laboratory Automation. Germany: Wiley.2022.

[10] Haney, Robert. Solenoid Control, Testing, and Servicing: A Handy Reference for Engineers and Technicians. United States, McGraw-Hill Education, 2012.