

# ENERGI ALTERNATIF DENGAN MENGGUNAKAN REAKSI ELEKTROKIMIA

Asti Riani Putri<sup>1)</sup>, Anang Maruf<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup> Pendidikan Teknologi Informasi

STKIP PGRI Tulungagung Jalan Mayor Sujadi Timur No 7 Tulungagung, 66221

e-mail: [asti@stkipgriritulungagung.ac.id](mailto:asti@stkipgriritulungagung.ac.id)<sup>1)</sup>, [anangmarub65@gmail.com](mailto:anangmarub65@gmail.com)<sup>2)</sup>

## ABSTRAK

*Pentingnya sosialisasi tentang energi alternatif penghasil listrik yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari misalnya yang paling sederhana adalah menyalakan lampu digunakan sebagai penerangan di rumah walaupun tidak permanen tapi sangat efektif membantu apabila terjadi pemadaman listrik tiba-tiba. Mahalnya tarif listrik permeter membuat masyarakat kecil harus berfikir dua kali lipat untuk mengatur pengeluaran kebutuhan sehari-hari sehingga mendorong untuk menemukan energi alternatif yang dapat menghasilkan tegangan dan arus listrik serta ramah lingkungan. Melihat banyaknya produk deterjen di Indonesia menginspirasi untuk mengolah limbah hasil cucian pakaian atau benda yang bahkan air deterjen itu sendiri, karena selama ini limbah bekas cucian begitu saja sehingga dapat mencemari lingkungan, tujuan dari penelitian ini yaitu mengurangi pengaruh pencemaran lingkungan akibat limbah bekas cucian yang digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk menyalakan lampu penerangan di rumah atau bahkan di jalan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan reaksi kimia atau elektrolisis yang melibatkan seng dan karbon juga kandungan dalam air cucian deterjen. Hasil Penelitian ini nantinya dapat menghasilkan energi yang terbarukan serta dapat meringankan beban masyarakat untuk membayar listrik dari PLN serta pengembangan selanjutnya dibuat pembangkit mandiri pada setiap rumah sehingga masyarakat dapat berhemat listrik.*

**Keyword** : Tegangan, Arus, PLN, Elektrolisis

## ABSTRACT

*The importance of socialization of alternative energy generating electricity that can be utilized for everyday needs for example the simplest is turning on the lights used as lighting at home although not permanent but very effective help if happened power outage. The high electricity tariff permeter makes the small community should think twice as much to regulate the expenditure of daily needs so as to encourage to find alternative energy that can generate voltage and electric current and environmentally friendly. Seeing a lot of detergent products in Indonesia inspire to treat waste from laundry laundry or other objects even the detergent water itself, because during this waste of exhaust washed away so that it can pollute the environment, the purpose of this research is to reduce the influence of environmental schemes as a result of waste used to be used as an alternative energy source for lighting lamps at home or even on the road. Method used in this research is by chemical or electrolysis reaction involving zinc and carbon also content in detergent laundry water. produces renewable energy and can alleviate the burden of the community to pay for electricity from PLN and further development is made independent generators in every home so that people can save electricity.*

**Keywords**: Voltage, Current, PLN, Electrolysis.

## I. PENDAHULUAN

Pada masa kini banyak pabrik-pabrik industri yang menghasilkan berbagai macam produk-produk [1][2]. Terutama adalah produk deterjen, deterjen termasuk kedalam produk yang dapat menghasilkan limbah, dan limbah tersebut dapat mempengaruhi sumber daya alam dan lingkungan contohnya merusak alam, gangguan pencemaran, dan pencemaran terhadap air, tanah, dan udara. Limbah yang dihasilkan oleh deterjen sendiri pun tergolong limbah Residu [3].

Menurut UU Republik Indonesia No 23 tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang dimaksud dengan pencemaran lingkungan hidup yaitu; masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup, oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Demikian pula dengan lingkungan air yang dapat pula tercemar karena masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup atau zat yang membahayakan bagi kesehatan. Air dikatakan tercemar apabila kualitasnya turun sampai ke tingkat yang membahayakan sehingga air tidak bisa digunakan sesuai peruntukannya[4].

Produksi deterjen Indonesia rata-rata per tahun sebesar 380 ribu ton. Sedangkan tingkat konsumsinya, menurut hasil survey yang dilakukan oleh Pusat Audit Teknologi di wilayah Jabotabek pada tahun 2002, per kapita rata-rata sebesar 8,232 kg. Berpedoman pada data Departemen Perindustrian selama tiga tahun terakhir, “maka laju

pertumbuhan konsumsi deterjen secara keseluruhan di Indonesia untuk masa depan rata – rata naik sebesar 10% per tahun” . Apabila survey itu telah dilakukan tahun 2002, maka berdasarkan data tersebut kita dapat menghitung tingkat konsumsi masyarakat Indonesia tahun 2016 naik sekitar 140 % yaitu rata – rata sebesar 11,5248 kg per kapita[5].

Dewasa ini masyarakat Indonesia sebagian besar mencuci pakaian menggunakan deterjen, jadi jika limbah–limbah dari bekas deterjen tersebut dibuang sembarangan tanpa ada pengolahan khusus maka akan semakin merusak lingkungan dan sumber daya alam di Indonesia, contohnya saja jika tanah tercemar nantinya pohon–pohon atau tumbuhan tidak akan bisa hidup karena sudah tercampur dengan zat–zat kimia yang terkandung dalam deterjen, dan apabila pohon–pohon dan tumbuhan tersebut sudah tidak bisa lagi tumbuh maka oksigen(O<sub>2</sub>) di alam ini akan berkurang karena tidak ada kerja fotosintesis dan akan menyebabkan pula gangguan pernafasan bagi manusia[6].

Pada kenyataannya masyarakat Indonesia membuang air limbah cucian langsung ke tanah tanpa melalui proses penyaringan terlebih dahulu, apabila hal ini terus menerus terjadi tidak dipungkiri air limbah cucian tersebut bisa meresap ke dalam tanah. Air tanah yang menjadi sumber air utama dalam kehidupan kita akan menjadi tercemar, jika kita mengkonsumsi air tersebut maka bisa menyebabkan penyakit kanker. Kanker ini diakibatkan oleh menumpuknya surfaktan di dalam tubuh manusia. Melalui proses elektrolisis, dengan penerapan voltase yang sesuai maka akan memecah gaya tarik menarik di antara dua muatan yang berlawanan ini. Produk yang terjadi berupa atom yang bermuatan yang kemudian disebut sebagai ion .

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### *Limbah Deterjen*

Air adalah senyawa yang penting bagi semua bentuk kehidupan yang diketahui sampai saat ini di Bumi, tetapi tidak di planet lain. Air menutupi hampir 71% permukaan Bumi. Terdapat 1,4 triliun kilometer kubik tersedia di Bumi. Namun sebagian air yang ada dipermukaan banyak tercemari oleh limbah[7].

Limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga). Di mana masyarakat bermukim, di sanalah berbagai jenis limbah akan dihasilkan. Ada sampah, ada air kakus (black water), dan ada air buangan dari berbagai aktivitas domestik lainnya (grey water). Salah satu kegiatan rutin rumah tangga adalah mencuci baju yang menggunakan deterjen.

Air Limbah (waste water) adalah kotoran dari masyarakat dan rumah tangga dan juga yang berasal dari industri, air tanah, air permukaan serta buangan lainnya. Dengan demikian Air Limbah Deterjen merupakan kotoran masyarakat dan rumah tangga yang berasal dari air rendaman pakaian yang dibuang

Deterjen adalah [HYPERLINK "https://id.wikipedia.org/w/index.php?title=Campuran\\_%28kimia%29&action=edit&redlink=1"](https://id.wikipedia.org/w/index.php?title=Campuran_%28kimia%29&action=edit&redlink=1) \o "Campuran (kimia) (halaman belum tersedia)" campuran berbagai bahan, yang digunakan untuk membantu pembersihan dan terbuat dari bahan-bahan turunan minyak bumi. Dibanding dengan sabun, deterjen mempunyai keunggulan antara lain mempunyai daya cuci yang lebih baik serta tidak terpengaruh oleh kesadahan air.deterjen adalah campuran berbagai bahan, yang digunakan untuk membantu pembersihan dan terbuat dari bahan-bahan turunan minyak bumi. Dibanding dengan sabun, deterjen mempunyai keunggulan antara lain mempunyai daya cuci yang lebih baik serta tidak terpengaruh oleh kesadahan air[4].

Bahan-bahan yang terkandung dalam deterjenadalah sebagai berikut :

#### 1.Surfaktan

Surfaktan (surface active agent) merupakan zat aktif permukaan yang mempunyai ujung berbeda yaitu hidrofil (suka air) dan hidrofob (suka lemak). Bahan tersebut adalah penurun tegangan permukaan air sehingga dapat melepaskan kotoran yang menempel pada permukaan bahan. Secara garis besar, terdapat empat kategori surfaktan yaitu:

- a. Anionik :
  - Alkyl Benzene Sulfonate (ABS)
  - Linier Alkyl Benzene Sulfonate (LAS)
  - Alpha Olein Sulfonate (AOS)
- b. Kationik : Garam Ammonium
- c. Non ionik : Nonyl phenol polyethoxyle

d. Amphoterik : Acyl Ethylenediamines

## 2. Builder

Builder (pembentuk) untuk meningkatkan penghematan pencuci dari surfaktan dengan cara menon-aktifkan mineral penyebab kesadahan air.

a. Fosfat : Sodium Tri Poly Phosphate (STPP)

b. Asetat :

Nitril Tri Acetate (NTA)

Ethylene Diamine Tetra Acetate (EDTA)

c. Silikat : Zeolit

d. Sitrat : Asam Sitrat

## 3. Filler

Filler (pengisi) adalah bahan tambahan deterjen, hanya menambah kuantitas. Contoh Sodium sulfat.

## 4. Aditif

Aditif adalah bahan suplemen / tambahan saja, misalnya pewangi, pelarut, pemutih, pewarna, tidak berhubungan langsung dengan daya cuci deterjen. Additives ditambahkan lebih untuk maksud komersialisasi produk. Contoh : Enzim, Boraks, Sodium klorida, Carboxy Methyl Cellulose (CMC).

### *Sel Volta*

Sel volta adalah sel elektrokimia yang dapat menimbulkan arus listrik akibat adanya reaksi redoks dalam sel tersebut. Reaksi oksidasi terjadi pada anoda yang merupakan elektroda (-), sedangkan reaksi reduksi terjadi pada katoda yang merupakan elektroda (+).

Untuk memahami mekanisme sel volta, marilah kita lihat contoh klasik sel volta yang terdiri dari elektroda-elektroda Zn (seng) dan Cu(seng). Logam Zn yang tercelup dalam larutan ZnSO<sub>4</sub> (bening tak berwarna) merupakan anoda (tempat berlangsungnya oksidasi), sedangkan logam tembaga yang tercelup ke dalam larutan CuSO<sub>4</sub> (biru bening) merupakan katoda (tempat berlangsungnya reduksi) seperti nampak pada gambar berikut :

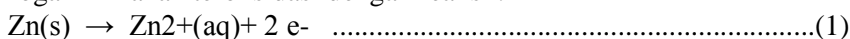


Gambar 1.sel volta

Kedua larutan dihubungkan oleh suatu “jembatan garam”. Masing-masing logam seng dan tembaga dihubungkan dengan voltmeter melalui kawat. Reaksi redoks yang terjadi adalah sebagai berikut :

### *Reaksi oksidasi di anoda*

Logam Zn akan teroksidasi dengan reaksi :



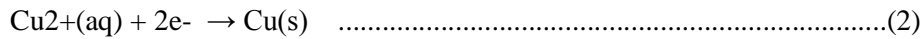
Elektron yang dihasilkan anoda akan dialirkan keluar melalui kawat, sehingga anoda dikatakan sebagai elektroda negatif. Sementara dalam larutan ZnSO<sub>4</sub> sudah terurai menghasilkan Zn<sup>2+</sup>(aq) + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(aq).

Terbentuk ion Zn<sup>2+</sup> dari hasil oksidasi menyebabkan larutan di anoda kelebihan ion positif.

*Reaksi reduksi di katoda*

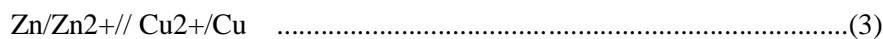
Larutan CuSO<sub>4</sub> di katoda awalnya sudah terurai menghasilkan Cu<sup>2+</sup>(aq) + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(aq).

Elektron yang dihasilkan anoda akan melewati voltmeter menuju katoda melalui elektroda Cu dan ditangkap oleh ion Cu<sup>2+</sup> yang ada dalam larutan sehingga terjadi reaksi :



Endapan Cu akan menempel di elektroda Cu. Dan dalam larutan ion positif menjadi berkurang atau katoda menjadi kelebihan ion negatif.

Jembatan garam berisi larutan KNO<sub>3</sub> akan terurai menghasilkan K<sup>+</sup>(aq) + NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(aq). Dia berfungsi menetralkan kelebihan ion positif pada anoda dengan melepaskan ion NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dan menetralkan ion negatif pada katoda dengan melepaskan ion K<sup>+</sup>. maka dari itu elektron terus mengalir secara berkesinambungan. Aliran elektron inilah akan menghasilkan arus listrik dengan berlawanan arah, dimana anoda sebagai kutub negatif dan katoda sebagai kutub positif. Jika dituliskan notasi sel adalah sebagai berikut:



Kemampuan terjadinya reaksi reduksi suatu atom atau ion ditunjukkan dengan nilai potensial elektroda standart (E<sub>o</sub>). Makin tinggi nilai E<sub>o</sub> atom makin mudah dia mengalami reaksi reduksi, dan sebaliknya makin rendah nilai E<sub>o</sub> akan makin sukar mengalami reaksi reduksi ( mudah mengalami oksidasi). Reaksi berlangsung spontan, dapat mengalirkan elektron ( listrik) jika elektroda yang digunakan sebagai anoda lebih mudah mengalami oksidasi dibanding katoda [3].

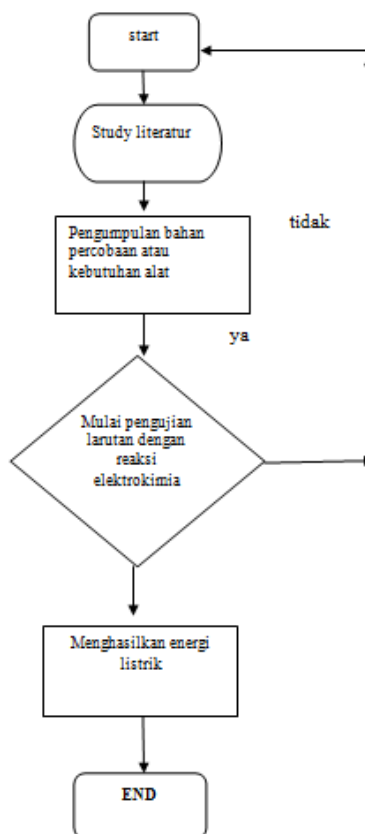
Pembuatan sel volta harus terdiri dari dua buah elektroda dan larutan elektrolit. Dua buah elektroda tersebut bertindak sebagai elektroda positif dan elektroda negatif. Elektroda positif dibuat dari bahan yang mudah mengalami reaksi oksidasi, biasanya berupa logam Zn. Sedangkan elektroda negatif dari bahan yang mudah mengalami reaksi reduksi. Jika menggunakan elektroda karbon (inert), maka ion dalam larutan harus mudah mengalami reduksi. Dari uraian tersebut pada dasarnya kita dapat membuat sel volta dari bahan yang ada di sekitar, atau bahan bekas yang sesuai .

*Baterai Dari Limbah deterjen*

Baterai deterjen yang kami rangkai menggunakan elektroda Zn sebagai anoda dan karbon ( C ) sebagai katoda. Logam Zn (seng) mempunyai nilai E<sub>o</sub> = - 0,762 V sehingga dia sering dipilih sebagai anoda karena mempunyai nilai E<sub>o</sub> rendah yang berarti mudah mengalami reaksi oksidasi. Adapun larutan yang kami gunakan adalah limbah deterjen yang masih memungkinkan digunakan. Deterjen mengandung berbagai macam larutan elektrolit sehingga di dalam air akan terurai menghasilkan ion positif dan negatif . Beberapa macam senyawa elektrolit yang terdapat dalam deterjen antara lain natrium sulfat dan natrium khlorida.

**III. METODE PENELITIAN***Flowchart pembuatan alat*

Penerapan program merupakan tahap dimana penulis menerapkan urutan tahap dari pembuatan alat Dengan memperhatikan keuntungan, konsekuensi dan mengikuti tahapan-tahapan yang ada di dalam metode Waterfall dengan baik maka peluang untuk mendapatkan sistem yang berkualitas menjadi semakin besar.



Gambar 2. Flowcart pembuatan alat

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Persiapan Eksperimen

Pada tahap ini kami berpikir tentang alat dan bahan yang diperlukan untuk melaksanakan eksperimen ini. Hal ini diperlukan untuk merencanakan kegiatan apa saja yang akan kami lakukan agar dapat membantu mewujudkan masyarakat Indonesia hemat energi dengan mengubah air limbah deterjen menjadi energi terbarukan.

##### Eksperimen

Di tahap ini kami melakukan percobaan terhadap 3 jenis deterjen yang banyak digunakan untuk mencuci pakaian. Tentunya dalam sebuah penelitian memerlukan alat dan bahan . Kami menggunakan alat dan bahan sebagai berikut :

Tabel 1. Bahan Yang Dibutuhkan

NO	ALAT DAN BAHAN	JUMLAH
	SENG	1
	KARBON	1
	DETERJEN	1
	AVO METER	1
	GELAS UKUR	1
	PENGADUK KACA	1
	TIMBANGAN DIGITAL	1

Dari alat dan bahan di atas, kami melakukan eksperimen dengan 3 jenis deterjen. Pada percobaan pertama kami mencoba dengan melarutkan 100ml air dan 0,5gr deterjen pada setiap merek di gelas ukur, kemudian kami aduk dengan pengaduk kaca secara merata. Langkah selanjutnya adalah mencelupkan ujung dari elektroda. Elektroda yang kami gunakan adalah Seng dan Karbon, seng sebagai kutub anoda dan karbon sebagai kutub katoda. Selanjutnya kami melakukan pengukuran tegangan dan arus dengan menggunakan AVO meter sebagai alat pengukurannya. Dari hasil pengukuran itu kami mendapatkan data sebagai berikut

Tabel 2.Ukuran Dalam Gram

NO.	Merk Deterjen	JUMLAH(gram)	Tegangan	Arus
1.	RINSO	0,5	1 V	2 mA
2.	DAIA	0,5	0,7 V	0,56 mA
3.	SOKLIN	0,5	0,8 V	1 mA

Berkean dengan data diatas, kami menyimpulkan bahwa deterjen merk Rinso yang memiliki tegangan dan arus paling tinggi dibanding deterjen yang lainnya. Tentunya dalam sebuah prototipe memerlukan alat dan bahan . Kami menggunakan alat dan bahan sebagai berikut :

Tabel 3.Jumlah alat

ALAT & BAHAN	JUMLAH
Elektroda karbon dari baterai bekas	6
Seng dari baterai bekas	6
Tang Kombinasi	1
Gunting	1
Timbangan Digital	1
Avo Meter	1
Kabel	Secukupnya
LED	4
Wadah Plastik	1
Cutter	1
Air Limbah Deterjen	100ml
Obeng	1

#### Langkah Kerja Membuka Baterai:

- Buka baterai bekas menggunakan obeng , kemudian
- Congkel penutup cell baterai dengan obeng secara hati – hati
- Bersihkan pasta yang ada didalam pasta hingga bersih
- Kemudian ambil karbon yang ada di dalam baterai
- Selanjutnya gunting seng dengan hati – hati agar menjadi seperti ini



Gambar 3.Seng



Gambar 4.Karbon

#### Langkah Kerja Melubangi wadah:

- Pilih wadah yang mempunyai sekat – sekat seperti ini



Gambar 5.sekat

- Lubangi setiap sekat dengan bentuk seperti ini agar menjadi rangkaian seri, lalu



Gambar 6.sekat yang dilubangi

- Pasang karbon dan seng ditiap tiap lubang yang sudah dibuat



Gambar 7.sekat yang diberi

### B. Pelaksanaan Eksperimen

Pada tahap ini dilakukan pemrosesan data yang telah dirinci pada tahap persiapan Eksperimen. Perhitungan sederhana yang dilakukan pada bagian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa keterhematan pengelolaan air limbah deterjen untuk mewujudkan masyarakat Indonesia hemat energi.

#### Analisis Keterhematan Pengelolaan Air Limbah Deterjen

Dari eksperimen yang telah kami lakukan, kami mengukur keterhematan pengelolaan air limbah deterjen. Kami berupaya untuk mengurangi beban masyarakat terhadap energi listrik sekaligus untuk mengurangi dampak-dampak negatif dari air limbah deterjen. peneliti telah mencoba 6 cell deterjen rinso dan di seri untuk mendapatkan tegangan 5v, dengan tegangan tersebut kami menggunakan led untuk uji coba ketahanan led. Dan hasilnya kami menguji led 3 hari sebelumnya dan ternyata led yang diuji belum mati, kita bisa bayangkan dengan memanfaatkan air limbah deterjen kita bisa hemat banyak energi contohnya saja untuk penerangan rumah. Tidak bisa dipungkiri bahwa energi yang sering kita gunakan adalah untuk lampu, dalam sehari kita meyalakan lampu dari 8 jam sampai 12 jam per hari, belum kalau kita menyalakan lampu tersebut pada siang hari. Jika kita hitung perbulan kita menggunakan lampu sekitar 12 jam x 30 hari = 360 jam/bulan. Dengan menggunakan air limbah deterjen kita bisa menghemat minimal 3 hari untuk pengeluaran daya energi. Jadi daya yang kita keluarkan tidak terlalu banyak.

Jika di hitung perbulan adalah

$$\begin{aligned} \text{jam} \times 30 \text{ hari} \times 5 \text{ watt} &= 1800 \text{ watt} = 1,8 \text{ kwh} \\ 1,8 \text{ kwh} \times \text{Rp } 1041 \text{ per kWh} &= \text{Rp } 1873,8/\text{bulan} \end{aligned}$$

Pengeluaran itu jika hanya menggunakan 1 lampu saja, apabila dalam satu rumah menggunakan 5 sampai 10 lampu tinggal di kalikan Rp 1873.8. jadi jika penggunaan lampu di dalam sebuah rumah tangga di ganti dengan pengelolaan air limbah deterjen penuh maka pengeluaran daya akan berkurang untuk energi daya lampu. Itu akan membantu masyarakat Indonesia untuk berhemat energi listrik dari PLN.

## V. KESIMPULAN

Dengan teknik pengolahan limbah air deterjen yang kami lakukan mempunyai pengaruh dalam masyarakat untuk penghematan listrik PLN, yakni dengan membuat kolam limbah penampungan air deterjen sisa cucian, kita dapat menghasilkan tegangan 1 volt, arus listrik 0,002 Ampere untuk setiap cell, jika kita membuat lebih banyak cell dan kita susun seri paralel kita pasti akan mendapatkan tegangan dan arus yang lebih besar, berkenaan dengan itu selain dapat menghemat listrik, penggunaan teknik itu juga dapat mengurangi limbah air deterjen yang sering kali mencemari sungai di sekitar rumah kita

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Sukmana and F. Rozi, "Decision Support System on Computer Maintenance Management System Using Association Rule and Fisher Exact Test One Side P-Value," *Telkomnika*, vol. 15, no. 4, pp. 1841–1851, 2017.
- [2] F. Sukmana and F. Rozi, "REKOMENDASI SOLUSI PADA SISTEM COMPUTER MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM MENGGUNAKAN ASSOCIATION RULE , FISHER EXACT TEST ONE SIDE P-VALUE DAN DOUBLE ONE SIDE P-VALUE," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 4, no. 4, pp. 213–220, 2017.
- [3] M. M. Vrvic, "Potential of pure and mixed cultures of *Cladosporium cladosporioides* and *Geotrichum candidum* for application in bioremediation and detergent industry," pp. 529–536, 2018.
- [4] R. Saraswat, V. Verma, S. Sistla, and I. Bhushan, "Evaluation of alkali and thermotolerant lipase from an indigenous isolated *Bacillus* strain for detergent formulation," *Electron. J. Biotechnol.*, vol. 30, pp. 33–38, 2017.
- [5] A. A. Abojassim, H. H. Abd, D. N. Hamed, and A. A. Abdullah, "ScienceDirect Study of radioactivity levels in detergent powders samples by gamma spectroscopy," *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, vol. 7, no. 4, pp. 532–535, 2014.
- [6] G. Mayank, C. Fuchen, and K. Masanori, "Analysis of Reactions Determining Current Efficiency in Electrochemical Machining," *Procedia CIRP*, vol. 68, no. April, pp. 511–516, 2018.
- [7] A. Ferancova, M. Hattuniemi, S. Pääkkönen, P. Tervo, A. Sesay, J. Rätty, and V. Virtanen, "Electrochemical impedance spectroscopy for monitoring of alkaline phosphatase reaction with substrate," *Procedia Technol.*, vol. 27, pp. 315–316, 2017.