

Analisis Penggunaan Cangkang Siput Gonggong sebagai Adsorben untuk Memperbaiki Kualitas Air

Bagas Rizki Ramadhan¹, Yuli Darta², Sugiyarto Sugiyarto³, Ilham Ary Wahyudie^{4*}
^{1,2,3} Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Jl. Timah Raya, Air Kantung, Sungailiat, Bangka

*Email: ilham@polman-babel.ac.id

Revisi 3 April 2024; Diterima 5 Mei 2024; publikasi Online 30 Juni 2024

Abstrak Limbah cair industri makanan umumnya menghasilkan cairan yang mengandung pH rendah. Air limbah tersebut dialirkan ke sungai sehingga air tercemar dan menjadi asam. Air dengan pH yang rendah tersebut dapat diperbaiki kualitasnya dengan menambahkan adsorben. Cangkang siput gonggong dapat digunakan sebagai adsorben dengan cara aktivasi. Aktivasi berguna meningkatkan muatan adsorpsi, sehingga energi adsorpsinya bisa dinaikkan. Proses aktivasi dilakukan menggunakan oven dengan temperatur 550°C, 650°C, dan 750°C. Serbuk yang digunakan adalah mesh 100, 150, dan 200. Metode analisis untuk mengetahui nilai optimal proses aktivasi sehingga menghasilkan karakter kualitas terbaik digunakan metode Taguchi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serbuk siput gonggong yang telah diaktivasi dapat meningkatkan pH air yang tercemar. Hasil optimasi dengan metode Taguchi diketahui bahwa nilai terbaik temperatur aktivasi berada pada suhu 550°C dengan ukuran serbuk mesh 150 ($\pm 89 \mu\text{m}$).

Kata kunci : Limbah cair, Siput Gonggong, Metode Taguchi, Optimasi

1. Pendahuluan

Limbah industri merupakan bagian dari lingkungan yang sangat dekat dari kehidupan contohnya adalah industri yang dihasilkan dari pabrik dan rumah tangga [1]. Bila penanganan yang dihasilkan dari limbah industri semacam industri yang dihasilkan rumah tangga yang dikelola dengan tidak tepat, sehingga limbah menyebabkan penurunan kualitas lingkungan di sekitarnya kemudian dapat menyebabkan kerugian terhadap ekosistem [2]. Limbah dari industri pabrik serta limbah cangkang dari siput gonggong dihasilkan dari tempat makan [1].

Pabrik dan produksi rumah tangga dapat berdampak negatif. Pabrik-pabrik yang bermunculan, dari pabrik besar hingga pabrik yang kecil mempunyai kesamaan yakni menciptakan limbah berbentuk cair yang mengandung logam berat [3]. Limbah tersebut berjumlah sangat besar hingga dapat mengakibatkan pencemaran dari lingkungan, dikarenakan mempunyai kemampuan yang sangat terbatas terhadap lingkungan dengan menghilangkan logam berat [4]. Dari beberapa kandungan yang berada pada limbah pabrik yang berkemungkinan sebagai faktor utama dalam pencemaran air karena mengandung logam berat yang berdampak terhadap masyarakat yang berada dan tinggal dilingkungan tersebut [5].

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar dari seluruh negara, yang terletak di kawasan Asia Tenggara [6]. Keanekaragaman hayati indonesia sangat tinggi salah satunya adalah kerang [7]. Salah satu sumber daya dari laut yang digunakan masyarakat bernilai ekonomis adalah kerang [8]. Masyarakat yang tinggal di sekitar memanfaatkan kerang untuk bahan makanan, bahan obat-obatan tradisional, serta bahan baku untuk pembuatan hiasan dekorasi [9].

Siput gonggong adalah jenis yang termasuk dalam gastropoda, masyarakat yang berada dipesisir sering mencari dan mengkonsumsi serta para wisatawan domestik dan internasional sering juga mengkonsumsinya [10]. Siput gonggong tersebut dapat dikonsumsi. Tetapi, pemanfaatan siput tersebut hanya bagian dalam yaitu bagian lunaknya yang dapat dijadikan sebagai bahan makanan. Akan tetapi cangkang kerang merupakan limbah. Limbah sisa yang diperoleh dari siput tersebut dapat menimbulkan dampak negatif terhadap permasalahan lingkungan. Penggunaan dari limbah cangkang tersebut, belum mampu dikelola dengan baik, biasanya dari limbah cangkang tersebut digunakan oleh masyarakat setempat untuk dijadikan sebagai bahan kerajinan tangan saja.

Limbah dari cangkang siput gonggong dapat digunakan sebagai adsorben guna menyerap bahan yang mengandung logam berat, dari berbagai hasil penelitian limbah cangkang siput gonggong bisa digunakan

untuk penghilang senyawa yang bersifat racun dari limbah cair yang digunakan sebagai bahan rumah tangga, menghasilkan berbagai kandungan logam berat [11]. Siput gonggong tersebut mengandung senyawa (CaCO_3) sering disebut kalsium karbonat. (CaCO_3) kalsium karbonat adalah bahan yang dibutuhkan untuk proses pelenyapan senyawa yang bersifat racun semacam fosfat serta limbah yang mengandung logam.

Kalsium oksida (CaO) adalah bagian pengaktif sebagai pengadsorpsi senyawa yang bersifat beracun diperoleh dari hasil senyawa (CaCO_3) kalsium karbonat [12]. Untuk mendapatkan adsorben dari siput tersebut dari hasil kekuatan adsorpsi yang bernilai tinggi diperlukan proses aktivasi pada adsorben [13]. Aktivasi ataupun pengaktifan cangkang siput tersebut berguna untuk melepaskan unsur yang dapat menutupi permukaan dari permukaan adsorben, memperluas dan menaikkan permukaan dari adsorben [14]. Cangkang siput tersebut di aktivasi berguna meningkatkan muatan adsorpsi. Dari kondisi pertama, cangkang siput tersebut mempunyai kekuatan adsorpsi dihasilkan sedikit namun dilalui proses aktivasi, energi adsorpsinya bisa dinaikan [15]. Dari riset tersebut menggunakan aktivasi fisika yaitu dengan cara pemanasan disebabkan pada cangkang siput gonggong mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) dimana bagus untuk digunakan sebagai adsorben [16]. Metode aktivasi fisika dengan cara pemanasan bisa menghasilkan senyawa pengaktif berupa kalsium oksida (CaO) [17].

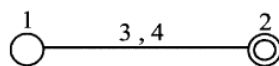
Dari permasalahan diatas, aktivasi dari limbah cangkang siput tersebut berguna mengatasi pencemaran terhadap air yang mengandung logam berat yaitu dengan menggunakan metode adsorpsi dikarenakan ramah lingkungan dan penggunaannya sangat simpel sehingga berguna dan sebagai solusi alternatif pemecahan masalah lingkungan serta menaikkan nilai dari penggunaan limbah cangkang siput tersebut menjadi adsorben berguna dalam mengurangi pencemaran air. Selain digunakan untuk membuat kualitas air yang mengandung logam berat, powder siput gonggong yang sudah di aktivasi juga dapat digunakan di limbah cair pembuatan tahu. Limbah cair pembuatan tahu ini sering kali di temui dikarenakan, banyak sekali tempat industri tahu yang ada, seiring banyaknya industri tahu tersebut mengakibatkan lingkungan menjadi tercemar. Tempat yang paling terdampak dari pencemaran tersebut adalah aliran sungai dikarenakan, banyaknya oknum produsen tahu yang membuang limbah cair ke sungai. Hal ini yang membuat air sungai dapat tercemar dan menyebabkan hewan air yang berada di dalam air tersebut mati dan menghilang dari habitat.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan serbuk siput gonggong untuk meningkatkan pH air yang tercemar oleh limbah cair pembuatan tahu, dan mengetahui nilai optimal dari pembuatan serbuk siput tersebut, serta untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh dari pengaktifasian tersebut.

2. Metode

2.1. Rancangan Percobaan

Cangkang siput gonggong yang digunakan berasal dari sisa pengolahan siput gonggong. Pada pengolahan tersebut, siput gonggong hanya diambil isinya untuk dijadikan bahan makanan camilan sedangkan cangkangnya dibuang dan menjadi limbah. Rancangan eksperimen yang digunakan menggunakan metode Taguchi. Variabel bebas pada penelitian ini sebanyak 3 faktor yakni suhu, dan ukuran serbuk. Suhu yang digunakan sebanyak 3 level yaitu 550°C , 650°C , dan 750°C . Sedangkan ukuran serbuk yang digunakan terdiri dari 3 level yaitu serbuk dengan mesh 100, 150, dan 200. Berdasar pada perhitungan faktor dan level maka matrik orthogonal yang tepat adalah $L_9(3^4)$. Secara berturut-turut, standar grafik linier $L_9(3^4)$ dan tabel matrik orthogonal standar $L_9(3^4)$ ditunjukkan pada gambar dan tabel di bawah ini.



Gambar 1. Grafik Linier $L_9(3^4)$

Berdasar pada gambar 1 di atas, ditunjukkan bahwa faktor 1 diletakkan pada kolom 1 sedangkan faktor 2 diletakkan pada kolom 2. Jika interaksi dianalisis maka interaksi antara faktor 1 dan 2 dimasukkan pada kolom 3 dan 4.

Tabel 1. Standar Matrik Orthogonal L₉(3⁴)

Run	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Faktor	A	1	1	1	2	2	2	3	3	3
	B	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	C	1	2	3	2	3	1	3	1	2
	D	1	2	3	3	1	2	2	3	1

Pada tabel 1 di atas disampaikan bahwa level faktor A pada percobaan 1 hingga 3 adalah level rendah atau level 1. Pada percobaan 2 hingga 6 level faktornya adalah pada medium atau level 2. Sedangkan pada 3 percobaan terakhir level faktornya adalah level tinggi atau level 3. Begitu pula untuk faktor B telah ditentukan level untuk dilakukan eksperimen sesuai standarnya.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang siput gonggong sedangkan alat-alat penelitian terdiri dari porselen mortar, ayakan, cawan krusibel, oven pemanas, timbangan digital, dan gelas ukur.

2.3. Pengujian

Pengujian terhadap respon berupa derajat keasaman (pH). Hal ini untuk mengetahui nilai perubahan yang terdapat dalam sampel. Uji pH dilakukan dengan cara mencampur serbuk cangkang yang sudah di aktivasi dengan air limbah cair dalam satu wadah. Selanjutnya air tersebut di uji menggunakan pH meter.

2.4. Analisis Hasil Pengujian

Hasil pengujian sampel dianalisis menggunakan metode Taguchi. Dalam metode tersebut analisis yang dilakukan adalah analisis berdasar pada karakter kualitas. Nilai pH pada penelitian ini memiliki karakter kualitas nominal is best sehingga persamaan yang digunakan untuk rasio Signal to Noise (S/N Ratio). S/N rasio merupakan alat untuk mengidentifikasi faktor yang diperkirakan dapat mempengaruhi respon. Taguchi telah memberikan persamaan transformasi pengulangan sekelompok data kedalam suatu nilai lain yang merupakan ukuran variasi dari kelompok data tersebut. Transformasi tersebut ditunjukkan dalam persamaan 1 dengan satuan rasio *Signal to Noise* adalah *decible* (dB).

$$Rasio \frac{S}{N} = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{v} \right) \dots\dots\dots (1)$$

Analisis ragam digunakan untuk menganalisis keragaman atau variasi suatu respon. Pada metode Taguchi digunakan analisis varians dua arah yakni data percobaan yang setidaknya terdiri dari dua faktor dengan minimal dua level. Persamaan yang digunakan dalam analisa ragam ditunjukkan pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Analisis Sidik Ragam 2 Arah

Sumber Variasi	Derajat kebebasan (Dk)	Jumlah kuadrat (Jk)	Rerata kuadrat	F-Hitung
Faktor A	level A-1	SS _A	MS _A = SS _A /level A-1	MS _A /MS _E
Faktor B	level B-1	SS _B	MS _B = SS _B /level B-1	MS _B /MS _E
Error	(N-1) – (level A-1) – (level B-1)	SS _E	MS _E = SS _E /(N-1) – (level A-1) – (level B-1)	
Total	N-1	SS _T		

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \dots\dots\dots (2)$$

$$SS_B = \sum_{i=1}^b \left(\frac{B_i^2}{n_{Bi}} \right) \dots\dots\dots (3)$$

$$SS_T = \sum y^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B \dots\dots\dots (5)$$

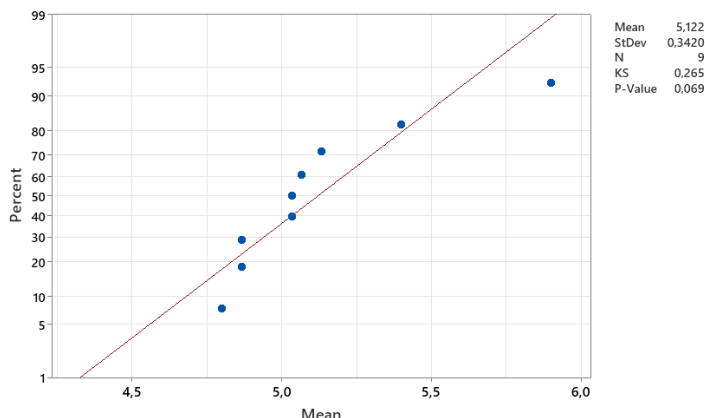
3. Hasil dan Diskusi

Rancangan percobaan dan hasilnya ditampilkan pada tabel 3. berikut ini. Level tiap faktor pada percobaan ke-1 hingga ke-9 sesuai dengan standar matrik ortogonal $L_9(3^4)$. Setiap percobaan dilakukan replikasi sebanyak 3 kali. Replikasi merupakan pengulangan eksperimen (*repeat run*) setiap kombinasi faktor secara independen. Sehingga jumlah run sebanyak 27.

Tabel 3. Nilai Respon Derajat Keasaman Sampel

Run	Faktor		Nilai pH Pada Replikasi Ke-		
	Suhu	Serbuk	1	2	3
1	1	1	5,9	5,9	5,9
2	1	2	5,4	5,4	5,4
3	1	3	5,2	5,1	5,1
4	2	1	5,3	5,0	4,9
5	2	2	5,1	5,0	5,0
6	2	3	5,1	5,0	5,0
7	3	1	4,9	4,8	4,7
8	3	2	4,9	4,9	4,8
9	3	3	4,9	4,9	4,8

Nilai respon derajat keasaman (pH) terlebih dahulu diuji kenormalan datanya. Uji kenormalan data dilakukan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov (KS). Berikut ini gambar grafik sebaran data yang dihasilkan dari uji KS. Berdasar pada uji KS tersebut dihasilkan nilai KS sebesar 0,265 dengan nilai P sebesar 6,9%. Nilai P lebih besar dari tingkat signifikansi 5% artinya distribusi data sampel memenuhi asumsi normalitas atau data terdistribusi secara normal.



Gambar 2. Nilai Probabilitas Kenormalan Data

Analisis sidik ragam digunakan untuk menguji variasi data dan pengaruh faktor-faktor terhadap respon. Tabel 4 berikut ini merupakan hasil dari analisis sidik ragam terhadap rerata data respon percobaan yang telah dilakukan. Berdasar pada nilai P faktor suhu dapat dijelaskan bahwa dengan nilai P lebih besar dari 5% menunjukkan bahwa faktro suhu tersebut tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai derajat keasaman. Demikian pula faktor ukuran serbuk tidak berpengaruh secara signifikan terhadap respon. Artinya jika kedua faktor yang diteliti tidak berpengaruh terhadap respon maka terdapat faktor lain yang mempengaruhi respon namun pada penelitian ini belum diuji faktor lain tersebut.

Tabel 4. Analisis Sidik Ragam Rerata

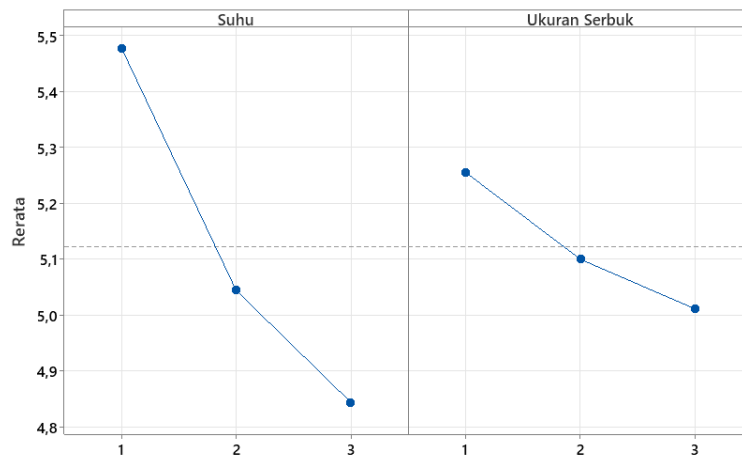
Sumber Variasi	Derajat kebebasan	Jumlah kuadrat	Rerata kuadrat	F-Hitung	Nilai P
Suhu	2	0,629	0,314	5,86	0,06
Ukuran Serbuk	2	0,092	0,046	0,86	0,49
Residual Error	4	0,215	0,054		
Total	8	0,936			

Analisis sidik ragam terhadap nilai karakteristik kualitas respon ditunjukkan pada tabel 5. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai P yang lebih besar dari 5% artinya bahwa kedua faktor juga tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai derajat keasaman. Hal ini memperkuat bahwa terdapat faktor lain yang mempengaruhi respon diluar faktor suhu dan ukuran serbuk.

Tabel 5. Analisis Sidik Ragam Rasio S/N

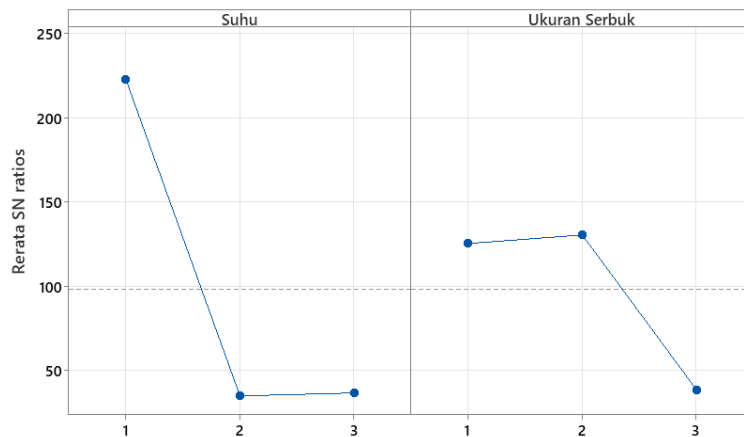
Sumber Variasi	Derajat kebebasan	Jumlah kuadrat	Rerata kuadrat	F-Hitung	Nilai P
Suhu	2	69590	34795	4,01	0,111
Ukuran Serbuk	2	15920	7960	0,92	0,470
Residual Error	4	34713	8678		
Total	8	120223			

Analisis terhadap level faktor yang dapat mempengaruhi nilai derajat keasaman ditunjukkan dengan grafik pada gambar 3 berikut ini. Berdasar pada gambar tersebut dapat dijelaskan bahwa level 1 faktor suhu merupakan level yang paling berpengaruh terhadap nilai rerata derajat keasaman. Demikian pula level 1 pada faktor ukuran serbuk juga menjadi level yang berpengaruh terhadap rerata respon. Namun demikian perlu pula menganalisis pengaruh utama level faktor-faktor tersebut terhadap nilai rasio S/N.



Gambar 3. Pengaruh Utama Terhadap Rerata

Pengaruh utama level faktor terhadap rasio S/N ditunjukkan pada gambar 4 di bawah ini. Pada gambar tersebut dapat dijelaskan bahwa level 1 faktor suhu memiliki nilai rerata rasio S/N yang paling berpengaruh dibandingkan dengan kedua level lainnya. Namun untuk faktor ukuran serbuk, level 2 merupakan level paling berpengaruh terhadap rerata rasio S/N. Hal ini berbeda dengan level faktor ukuran serbuk yang berpengaruh terhadap rerata.



Gambar 4. Pengaruh Utama Terhadap Rerata Rasio S/N

Dalam metode Taguchi, rasio signal to noise digunakan sebagai identifikasi berbagai faktor yang diuji dan diprediksi akan mempengaruhi suatu respon. Perhitungan rasio tersebut memperhatikan kuadrat rerata dan kuadrat varian. Kuadrat rerata sebagai signal sedangkan kuadrat varian sebagai noise/gangguan. Sehingga Taguchi menyarankan rasio signal to noise sebagai karakteristik kualitas. Dengan demikian dalam metode Taguchi, karakteristik kualitas yang mempertimbangkan rerata dan varian ini dijadikan acuan dalam analisis pengaruh utama. Sehingga dalam hal ini, level pengaruh utama yang dipilih menurut metode Taguchi adalah level 1 untuk faktor suhu dan level 2 untuk faktor ukuran serbuk yang menghasilkan nilai rasio S/N paling besar. Artinya nilai optimal untuk mendapatkan pH yang terbaik adalah pada suhu 550°C dengan ukuran serbuk pada mesh 150.

Prediksi nilai rasio S/N untuk pengaturan suhu 550°C dengan ukuran serbuk pada mesh 150 adalah 40,77. Sedangkan nilai rata-rata pH adalah 5,13. Persamaan regresi yang didapatkan dari data eksperimen adalah $5,12 + 0,356 \text{ Suhu } 1 - 0,078 \text{ Suhu } 2 - 0,278 \text{ Suhu } 3 + 0,133 \text{ Ukuran Serbuk } 1 - 0,022 \text{ Ukuran Serbuk } 2 - 0,111 \text{ Ukuran Serbuk } 3$.

Nilai determinasi (R^2) sebesar 71,13%. Nilai tersebut dapat diartikan bahwa sekitar 28,87% persamaan tersebut tidak sesuai dengan keadaan sebenarnya. Namun demikian nilai R^2 sebesar 71,13% cukup memberi keyakinan bahwa persamaan sudah cukup baik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada pembahasan terhadap eksperimen yang telah dilakukan dapat diketahui, bahwa serbuk siput gonggong dapat meningkatkan pH air yang tercemar oleh limbah cair pembuatan tahu yang mengakibatkan kandungan pada air menjadi asam. Nilai optimal proses pemanasan terdapat pada suhu 550°C dengan ukuran serbuk 150 (89µm). Nilai ini akan memberikan respon pH rata-rata sebesar 5,13 terhadap air limbah dan hal ini akan memperbaiki kualitas air limbah.

Daftar Pustaka

- [1] N. Mellyanawaty, M. Nofiyanti, E. Ibrahim, A. Salman, N. Nurjanah, N. dan Mariam, "Sosialisasi Pengelolaan Limbah Dapur serta Program 3R (Reuse, Reduce, Recycle) Bagi Pemilik Rumah Makan dan Jasa Boga di Wilayah Kota Tasikmalaya", *J. Abdimas Umtas*, vol. 1, no. 2, 2018.
- [2] B. Korbafo, E. Naisali, dan H. Metboki, "Pemanfaatan Limbah Industri Masyarakat Desa Oelami Kecamatan Bikomi Selatan", *J. Altifani Penelit. Dan Pengabd. Kpd. Masy*, vol. 2, no. 6, pp. 664–669, 2022.
- [3] R. Maisyarah dan A.O. Shofiyah, "Sintesis CaO Dari Cangkang Kerang Ale-ale (Meretrix Meretrix) Pada Suhu Kalsinasi 900 °C", *J. Kim. Khatulistiwa*, vol. 8, no.1, pp 32–35, 2019.
- [4] A. Falah, S. Purnomo, dan P.W. Suryanto, "Analisis Logam Berat Cu dan Pb Pada Air dan Sedimen dengan Kerang Hijau (*P. viridis*) di Perairan Morosari Kabupaten Demak", *J. Maquares*, vol. 7, no. 2, pp. 222–226, 2018.
- [5] C. Hanifah, N.N. Rudiyan, dan S. Ain, "Analisis Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) di Sungai Silandak, Semarang", *J. Maquares*, vol. 8, no. 3, pp. 257– 264, 2019.
- [6] Dinas kelautan dan Perikanan, "Statistik Perikanan Tangkap kabupaten Demak", Dinas Kelautan

- dan Perikan Kabupaten Demak. 2018.
- [7] B. D. Rokhmadhoni dan R. .A. Marsono, “Kulit Kerang Sebagai Media Alternatif Filter Anaerobik Untuk Mengolah Air Limbah Domestik”, *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, pp. 8–12, 2019.
- [8] B. Dharma, *Siput dan Kerang Indonesia Indonesian Shell*, PT.Sarana Graha, 1992.
- [9] Soeharmoko, “Inventaris Jenis Keckerangan Yang di Konsumsi Masyarakat di Kepulauan Riau”, *J. Din. Marit*, vol. 2, no. 1, pp. 45–52, 2010.
- [10] F. Susiana, S. Muhammad, dan S. Lestari, “Potensi dan Pola Pemanfaatan Siput Gonggong di Perairan Pulau Kapal Desa Tembeling Kecamatan Teluk Bintang Kabupaten Bintang”, *J. Akuatik lestari*, vol. 3, no. 2, pp. 1–10, 2020.
- [11] M. A. Susanti, S. Pratiwia, dan F. D. Nugraha, “Analisis Kandungan Logam Berat Pb dan Kelimpahan Mikroplastik di Estuari Sungai Baturusa Provinsi Kepulauan Bangka Belitung”, *J. Fish. Mar. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 104–114, 2022.
- [12] H. Ryan, “Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Batubara Indonesia dengan Metode Aktivasi Fisika dan Karakteristiknya”, 2008, Universitas Indonesia, Jakarta.
- [13] R. Aisyahlika, S. Z. Firdaus, dan M. L. Elvia, “Kapasitas adsorpsi arang aktif cangkang bintaro (Cerbera odollam) terhadap zat warna sintesis reactive red 120 dan reactive blue-198”, *J. Pendidik. Dan Ilmu Kim*, vol. 2, no. 2, pp.148–155, 2018.
- [14] Y. Afriani, F. Mustari, dan Tiandho, “Pengaruh Lama Pemanasan Terhadap Karakteristik Kristal Kalsium dari Limbah Cangkang Kerang”, *J. Edu Mat Sains*, vol. 2, pp.189–200, 2018.
- [15] A. Suhala, *Bahan Galian Industri*, Pus. Penelit. dan Pengemb. Teknol. Miner, 1997, Bandung.
- [14] I. .A. Wahyudie, R. Soenoko W. Suprpto, and Y. S. Irawan, *Conference Series: Materials Science and Engineering 494*, Malang, 2019.
- 15] M. Mustakimah, M. Suzana ,Y. Saikat, “Decomposition Study of Calcium Carbonate in Cockle Shell”, *J. Eng. Sci. Tecnol*, vol 7, 2012.
- [14] I. A. Wahyudie, R. Soenoko W. Suprpto, and Y. S. Irawan, “Enhancing hardness and wear resistance of ZrSiO₄-SnO₂/Cu₁₀Sn composite produced by warm compaction and sintering”, *Metalurgija*, vol. 59, no. 1, pp. 27–30, 2020.