

ADSORPSI ION LOGAM Cu(II) MENGGUNAKAN MEMBRAN SELULOSA DARI BATANG PISANG TERMODIFIKASI POLIVINIL ALKOHOL (PVA)

THE ADSORPTION OF METAL ION Cu(II) USING CELLULOSE MEMBRANE FROM BANANA STEM MODIFIED BY POLYVINYL ALCOHOL (PVA)

Rina Yuliasari, Dhony Hermanto, Murniati

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram.

Jl. Majapahit No. 62 Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia.

Email : rinayuliasari2000@gmail.com

Abstrak

Logam Cu(II) merupakan jenis logam berat yang banyak ditemukan sebagai limbah dan bersifat racun jika keberadaannya berlebih, baik itu pada lingkungan maupun pada organisme. Metode adsorpsi dapat digunakan untuk mengatasi keberadaan logam Cu(II) yang berlebih. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengkarakterisasi membran selulosa termodifikasi PVA, menentukan kapasitas adsorpsi, permodelan isoterm, dan kinetika adsorpsi terhadap logam Cu(II). Metode isolasi selulosa yang digunakan pada penelitian ini yaitu delignifikasi (pelepasan lignin) menggunakan NaOH 10 % dan *bleaching* menggunakan H₂O₂ 30 %. Membran selulosa-PVA dibuat dengan komposisi 1:2, tanpa menggunakan agent/*crosslinker* pada pH 8. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik membran yang dihasilkan memiliki ketebalan 0,172 mm, nilai uji *swelling* sebesar 105,54 %, uji kuat tarik 2,7629 MPa, dan elongasinya 48,08 %. Kapasitas adsorpsi membran selulosa-PVA pada kondisi optimum sebesar 47,67 mg/g dengan persen penyisihan 92 %. Permodelan isoterm mengikuti jenis permodelan Freundlich dengan nilai R² sebesar 0,9057. Permodelan kinetika adsorpsi mengikuti permodelan pseudo orde II dengan nilai R² sebesar 0,9978.

Kata Kunci: Adsorpsi, logam Cu (II), membran selulosa, PVA

Abstract

Cu(II) metal is a type of heavy metal that is often found as waste and is toxic if it is present in excess, both in the environment and in organisms. The adsorption method can be used to overcome the presence of excess Cu(II) metal. This research was conducted with the aim of characterizing PVA-modified cellulose membranes, determining the adsorption capacity, isotherm modeling, and adsorption kinetics of Cu(II) metal. The cellulose isolation method used in this study was delignification (release of lignin) using 10 % NaOH and bleaching using 30 % H₂O₂. Cellulose-PVA membranes were made with a 1:2 composition, without using an agent/crosslinker at a pH of 8. The results showed that the characteristics of the resulting membrane had a thickness of 0.172 mm, a swelling test value of 105.54 %, a tensile strength test of 2.7629 MPa, and an elongation of 48.08 %. The adsorption capacity of the cellulose-PVA membrane at optimum conditions was 47.67 mg/g with a removal percentage of 92 %. The isotherm modeling follows the Freundlich modeling type with an R² value of 0.9057. Adsorption kinetics modeling follows a pseudo-order II model with an R² value of 0.9978.

Keywords: adsorption, heavy metal Cu (II), cellulose membrane, PVA

PENDAHULUAN

Limbah dari logam berat merupakan bentuk pencemaran pada lingkungan perairan. Keberadaan ion logam tembaga dalam lingkungan terutama pada lingkungan perairan dapat bersumber dari pembuangan limbah yang berasal dari industri pelapisan logam, tekstil, maupun cat (Kusuma, dkk. 2014). Logam Cu jika dikonsumsi oleh manusia dan keberadaannya berlebih dalam tubuh dapat mengakibatkan gangguan pencernaan, gangguan peredaran darah, gagal ginjal dan kematian (Siaka, dkk., 2016), dari bahaya yang ditimbulkan oleh limbah tembaga tersebut salah satu metode yang bisa digunakan untuk mengurangi kadar Cu yaitu metode adsorpsi.

Adsorpsi logam berat telah banyak dilakukan dengan berbagai jenis adsorben misalnya menggunakan selulosa dari tanaman. Penelitian yang dilakukan oleh Wardani dan Nirmala (2012) memanfaatkan selulosa daun nanas sebagai adsorben ion logam Cu menghasilkan daya optimum adsorpsi sebesar 69,07 %. Penelitian-penelitian lainnya sudah banyak menyatakan kegunaan selulosa dari bahan alam dapat dimanfaatkan sebagai adsorben, seperti penelitian yang dilakukan oleh Apriliani (2010) memanfaatkan ampas tebu sebagai adsorben dari air limbah, dan penelitian oleh Ischak, dkk. (2021) selulosa dari limbah kulit kacang tanah sebagai adsorben logam besi. Bahan alam lain yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat yaitu batang pisang, karena kandungan selulosa batang pisang sebesar 63-65 % (Lokantara, 2007). Serat selulosa yang belum dimodifikasi memiliki kemampuan adsorpsi logam berat yang rendah (Nafi`ah dan Primadevi, 2020). Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan modifikasi selulosa dalam bentuk membran agar dapat meningkatkan kemampuan adsorpsinya.

Adsorpsi dengan menggunakan membran memiliki kelebihan yaitu energi yang dibutuhkan rendah, dapat digunakan berulang, dapat berlangsung secara kontinyu, prosesnya dapat dikombinasikan dengan proses pemisahan yang lain, dan tidak menghasilkan limbah (Nunes, 2001). Membran memiliki kelemahan yaitu derajat pengembangannya tinggi, sensitif terhadap perubahan suhu dan ketahanan terhadap asam. Penambahan polimer kedalam bahan membran dapat meningkatkan kekuatan mekanik, ketahanan terhadap panas, *fluks*, dan selektivitas (Ernawati, 2014). Polimer yang dapat ditambahkan pada pembuatan membran yaitu polivinil alkohol (PVA).

Membran selulosa pada penelitian ini akan dimodifikasi menggunakan PVA. Polivinil alkohol memiliki gugus -OH yang dapat berperan sebagai agen porogen, sehingga adsorben lebih banyak menyerap ion logam (adsorbat). Polivinil alkohol juga tergolong sebagai salah satu material yang dapat larut dalam air. Polivinil alkohol dapat membentuk film yang sangat baik, memiliki sifat perekat, memiliki kekuatan tarik yang tinggi, PVA memiliki gaya adhesi yang tinggi sehingga sangat baik sebagai matriks komposit karena dapat meningkatkan sifat mekanis dan kekompakan dari komposit yang dihasilkan (Kroschwitz, 1998). Penelitian yang dilakukan oleh Marduansyah (2017) membuat membran kitosan-PVA berhasil menyerap ion logam Cr dengan konsentrasi yang terserap yaitu 4,76827 mg/L.

Berdasarkan uraian tersebut pada penelitian ini telah dilakukan adsorpsi ion logam Cu(II) menggunakan membran selulosa termodifikasi polivinil alkohol. Hal ini dilakukan untuk mengkarakterisasi membran selulosa dan kapasitas adsorpsi, pemodelan isoterm dan kinetika adsorpsi dari membran selulosa termodifikasi PVA sebagai adsorben ion logam

Cu(II) dalam skala laboratorium. Proses pembuatan membran termodifikasi PVA dipreparasi tanpa menggunakan agent/*crosslinker*. Penelitian ini juga diharapkan bisa menjadi referensi dan rujukan mengenai cara yang dapat digunakan untuk menanggulangi keberadaan ion logam Cu(II) pada perairan.

METODE PENELITIAN

Isolasi selulosa

Selulosa diisolasi melalui proses pelepasan lignin (delignifikasi) dan *bleaching* menggunakan metode yang dikembangkan oleh Sena, dkk. (2021) yang telah dimodifikasi, yaitu menggunakan NaOH 10 % dan H₂O₂ 30 %. Selulosa yang dihasilkan kemudian difiltrasi menggunakan kertas saring dan dicuci menggunakan akuades hingga diperoleh pH netral. Selulosa yang diperoleh kemudian dikeringkan di dalam oven dengan suhu 100 °C hingga mencapai berat konstan, dan dilanjutkan dengan karakterisasi menggunakan FTIR.

Pembuatan Membran Selulosa-PVA

Membran selulosa-PVA dibuat menggunakan metode yang dikembangkan oleh Hermanto, dkk. (2019) yang telah dimodifikasi. Membran selulosa-PVA dibuat dengan perbandingan 1:2 yaitu 5 mL selulosa ditambahkan 10 mL PVA dan ditambahkan 1 mL larutan HCl 32 % dan larutan NaOH 10 % hingga diperoleh pH = 8. Larutan yang telah terbentuk dicetak pada plat akrilik hingga terbentuk lapisan tipis. Lapisan tipis yang terbentuk (membran) dan menempel pada plat dibiarkan selama ± 72 jam atau 3 hari pada suhu kamar. Membran yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR.

Karakterisasi Membran

Pada tahap ini membran yang telah dicetak akan dikarakterisasi dengan uji *swelling*, ketebalan, dan beberapa sifat mekanik membran. Uji *swelling* membran dilakukan dengan memotong membran ukuran 2 × 2 cm² dan ditimbang untuk mengetahui berat awalnya. Membran kemudian direndam dalam akuades sebanyak 25 mL selama 4 jam. Setelah direndam, permukaan membran dikeringkan dan ditimbang beratnya sebagai berat akhir.

Ketebalan membran diukur menggunakan mikrometer sekrup dengan tingkat ketelitian 0,001 mm. Sifat mekanik membran yang diuji berupa kuat tarik dan elongasi diukur dengan memotong membran dengan ukuran 1 x 10 cm². Membran kemudian dijepitkan pada *autograph* dan diamati sampai putus. Nilai *load* (kuat tarik saat putus) dan elongasi (kekuatan regangan saat putus) yang dihasilkan kemudian dicatat.

Adsorpsi Logam Cu (II)

Optimasi pH

Larutan CuSO₄ dengan konsentrasi 50 ppm disiapkan sebanyak 20 mL dan diatur pH nya dari pH 3, 4, 5, 6 dan 7 menggunakan HCl dan NaOH untuk uji optimasi pH, ke dalam larutan tersebut ditambahkan membran selulosa-PVA dengan ukuran 1 × 2 cm² dan digojog dengan *shaker* selama 30 menit.

Optimasi Waktu Kontak

Larutan CuSO₄ diatur dengan konsentrasi dan pH optimum adsorpsi, ke dalam larutan tersebut ditambahkan membran selulosa-PVA dengan ukuran 1 × 2 cm² dan digojog dengan *shaker* dengan variasi waktu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit.

Isoterm Adsorpsi

Larutan CuSO₄ dengan konsentrasi 10, 20, 30, 40, dan 50 ppm disiapkan sebanyak 20 mL dan diatur pada pH optimum, ke dalam larutan tersebut ditambahkan membran selulosa-PVA dengan ukuran 1 × 2 cm² dan digojog dengan *shaker* selama 30 menit. Data yang diperoleh kemudian diolah dan dihitung nilai isotermnya berdasarkan permodelan Langmuir dan Freundlich.

Uji Interferensi

Membran ditambahkan dengan larutan sampel dengan perbandingan larutan Cu(II) dengan ion logam lain sebesar 1:10. Logam lain yang digunakan diambil berdasarkan kelas masing-masing logam tersebut pada klasifikasi asam-basa keras lunak. Logam yang digunakan diantaranya Cr(III), Ni(II), Fe(II), dan Hg(II). Larutan diatur pada pH, konsentrasi, dan waktu kontak optimum adsorpsi ion logam Cu(II), filtrat yang dihasilkan diukur absorbansinya menggunakan UV-Vis.

Analisis Spektrofotometer FTIR

Karakterisasi menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi apa saja yang terdapat pada sampel selulosa, dan membran selulosa-PVA. Proses karakterisasi menggunakan FTIR dilakukan pada kisaran panjang gelombang 400 - 4500 cm⁻¹ dengan metode pelet KBr.

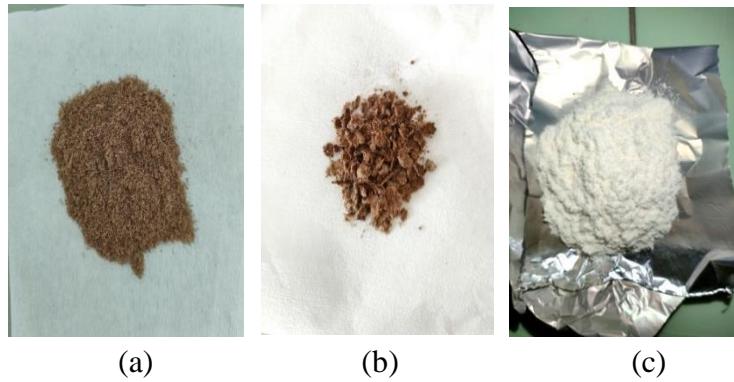
Analisis Spektrofotometer UV-Vis

Analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis dilakukan untuk mengetahui konsentrasi logam Cu(II) yang terdapat dalam sampel setelah dilakukan proses adsorpsi. Panjang gelombang yang digunakan Cu yaitu pada *range* 440-470 nm. Sebelum menganalisis filtrat, dilakukan kalibrasi menggunakan konsentrasi Cu(II) yang bervariasi yaitu 0, 10, 20, 30, 40 dan 50 ppm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

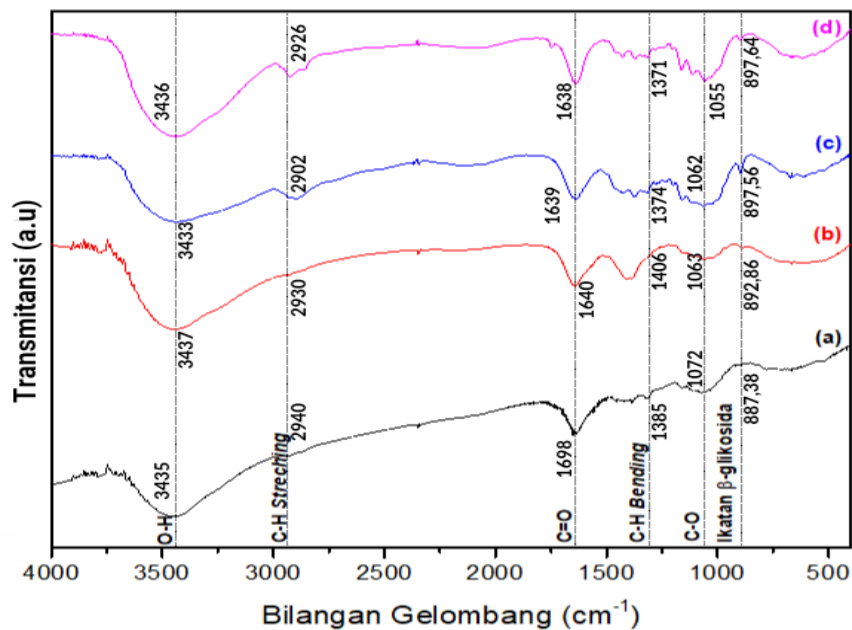
Isolasi Selulosa

Proses delignifikasi merupakan proses pada tahap isolasi selulosa yaitu serbuk batang pisang ditambahkan NaOH. Tahap isolasi selulosa proses delignifikasi bertujuan untuk mengurangi kadar lignin yang ada pada batang pisang. Natrium Hidroksida digunakan pada tahap ini akan memutuskan ikatan dasar pada lignoselulosa dan akan larut pada garam fenolat yang terbentuk akibat ikatan Na⁺ dengan senyawa lignin. Lignin yang larut pada larutan NaOH berwarna hitam. Proses ini menghasilkan larutan berwarna hitam yang mengindikasikan larutnya lignin pada larutan NaOH (Dewi, dkk., 2018). Proses isolasi selanjutnya yaitu *bleaching* difungsikan untuk menghilangkan kandungan lignin di dalam serat sehingga diperoleh tingkat kecerahan warna yang tinggi dan stabil. Proses *bleaching* menggunakan H₂O₂, dalam proses *bleaching* terjadi perubahan warna *pulp* dari warna coklat tua berubah menjadi warna kuning cerah mendekati putih. Selama proses pemanasan dihasilkan banyak gelembung akibat dari reaksi penguraian senyawa hidrogen peroksida tersebut menjadi oksigen dan air. Selulosa yang dihasilkan dari proses *bleaching* akan dihaluskan menggunakan blender dan diayak dengan ayakan 60 mesh. Proses penghalusan bertujuan untuk memperbesar area permukaan pada selulosa, sehingga dengan bertambahnya luas permukaan adsorben, maka jumlah ion yang terserap pada permukaannya semakin banyak.



Gambar 1. (a) Serbuk batang pisang (b) setelah delignifikasi (c) setelah *bleaching*

Berikut ini merupakan hasil karakterisasi FTIR dari batang pisang *pre treatment*, delignifikasi dan *bleaching* serta perbandingannya dengan selulosa komersil.

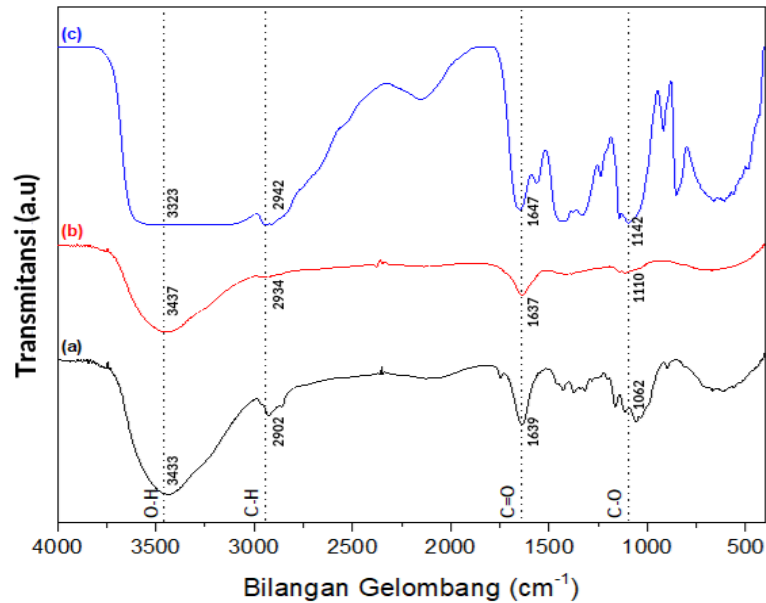


Gambar 2. Hasil spektra FTIR batang pisang *pre treatment*, delignifikasi, *bleaching* dan selulosa komersil

Berdasarkan hasil analisa menggunakan spektrofotometer FTIR yang terlihat pada Gambar 2, maka dapat diketahui bahwa terlihat perubahan yang signifikan antara serbuk batang pisang *pre treatment* hingga terbentuknya selulosa setelah melalui tahapan delignifikasi dan *bleaching*. Pada serbuk batang pisang *pre treatment* terlihat pergeseran bilangan gelombang dengan puncak gelombang dengan 3435; 2940; 1698; 1072; dan 1385 cm⁻¹ yang masing-masing menunjukkan keberadaan gugus hidroksil (-OH), ikatan C-H *stretching*, ikatan C=O, C-O dan C-H *bending*. Setelah delignifikasi, menunjukkan adanya serapan dengan puncak gelombang 3437 cm⁻¹ (gugus -OH) dan 1640 cm⁻¹ (ikatan C=O). Sampel setelah *bleaching* menunjukkan adanya pergeseran bilangan gelombang dengan puncak gelombang 3433 cm⁻¹ (gugus -OH), 2902 cm⁻¹ (ikatan C-H), 1639 cm⁻¹ (C=O), 1062 cm⁻¹ (C-O), dan munculnya serapan khas dari selulosa pada puncak gelombang 897,56 cm⁻¹ yang merupakan serapan khas untuk ikatan β-glikosida selulosa. Serapan gelombang yang serupa juga dapat dilihat pada selulosa komersil. Selulosa komersil memiliki serapan bilangan

gelombang pada $3436,11\text{ cm}^{-1}$ (gugus fungsi -OH), $2926,08\text{ cm}^{-1}$ (ikatan C-H), $1638,39\text{ cm}^{-1}$ (gugus C=O), dan $1055,39\text{ cm}^{-1}$. Hasil analisis gugus fungsi antara selulosa batang pisang dengan selulosa komersil menunjukkan serapan bilangan gelombang pada daerah yang sama, menunjukkan bahwa pada penelitian ini selulosa dari batang pisang berhasil diisolasi.

Pembuatan Membran Selulosa-PVA



Gambar 3. Hasil spektra FTIR (a) selulosa hasil isolasi, (b) PVA, dan (c) membran selulosa-PVA

Berdasarkan hasil analisa menggunakan spektrofotometer FTIR yang terlihat pada Gambar 3 maka dapat diketahui bahwa terlihat beberapa kemiripan serapan bilangan gelombang antara membran dan material penyusunnya. Karakterisasi gugus fungsi dan ikatan pada selulosa ditunjukkan oleh serapan puncak bilangan 3433 cm^{-1} (gugus -OH), 2902 cm^{-1} (ikatan C-H), 1639 cm^{-1} (gugus C=O), dan 1060 cm^{-1} (gugus C-O). Karakterisasi gugus fungsi dan ikatan pada PVA ditunjukkan oleh serapan puncak bilangan 3437 cm^{-1} (gugus -OH), 2934 cm^{-1} (ikatan C-H), $1627,69\text{ cm}^{-1}$ (gugus C=O), dan $1110,44\text{ cm}^{-1}$ (gugus C-O). Secara umum antara selulosa dan PVA memiliki kesamaan penyusun gugus fungsi, yakni gugus fungsi hidroksil (-OH).

Pada membran selulosa-PVA terdapat serapan pada puncak gelombang 3323 cm^{-1} (gugus -OH) dengan pita serapan melebar, 2942 cm^{-1} (ikatan C-H), serapan pada puncak gelombang 1647 cm^{-1} yang merupakan indikasi dari keberadaan gugus C=O . Pada puncak gelombang 1094 cm^{-1} merupakan indikasi dari keberadaan gugus C-O . Meskipun dari gambar terlihat perbedaan yang cukup signifikan namun bilangan gelombang membran selulosa-PVA puncak serapannya hampir sama dengan selulosa maupun PVA murni. Campuran antara selulosa dan PVA akan membentuk ikatan hidrogen intramolekul dan intermolekul dikarenakan gugus (-OH) yang terdapat pada selulosa maupun PVA. Selulosa dan PVA memiliki gugus penyusun utama yaitu gugus hidroksil (-OH) yang akan berinteraksi dengan logam Cu(II) . Membran selulosa-PVA memiliki gugus hidroksil yang bermuatan negatif akan mudah berikatan oleh Cu(II) yang bermuatan positif.

Karakterisasi Membran Selulosa-PVA

Tabel 1. Hasil analisis beberapa parameter karakterisasi membran selulosa-PVA

Parameter	Nilai
Uji <i>Swelling</i>	105,54 %
Ketebalan	0,172 mm
Kuat Tarik	2,7629 Mpa
Elongasi	48,08 %

Uji *swelling* bertujuan untuk mengetahui kemampuan membran dalam menyerap air. *Swelling* pada membran menunjukkan bahwa terdapat rongga diantara ikatan didalamnya (Muljani, dkk., 2018). Berdasarkan pada Tabel 1, nilai *swelling* dari membran selulosa-PVA tergolong rendah yaitu hanya sebesar 105,54 % ini menunjukkan bahwa membran selulosa-PVA memiliki sifat hidrofilik. Sifat hidrofilik ini dikarena adanya gugus -OH yang berikatan dengan molekul air melalui ikatan hidrogen, sehingga menyebabkan membran selulosa-PVA mudah mengembang (Jie dkk., 2003). Ketebalan dari membran sangat mempengaruhi karakteristik mekanik membran yang lain, yaitu kuat tarik dan elongasinya. Semakin seragam ketebalan membran maka akan semakin baik, dan dalam hal ini nilai rata-rata ketebalan membran selulosa-PVA yang dihasilkan yaitu sebesar 0,172 mm. Kuat tarik (*tensile strength*) adalah gaya tarik maksimum yang mampu ditahan sebuah film/membran hingga terputus (Astuti, 2008). Membran yang memiliki kuat tarik yang besar maka memiliki kemampuan untuk menahan kerusakan mekanik yang lebih besar pula. Nilai kuat tarik dan elongasi dari membran selulosa-PVA yaitu masing-masing sebesar 2,7629 Mpa dan 48,08 %.

Adsorpsi Logam Cu (II)

Optimasi Adsorpsi Logam Cu (II)

Tabel 2. Data perbandingan hasil optimasi pH dan waktu kontak

Optimasi pH		Optimasi Waktu Kontak		
pH	Q (mg/g)	t (menit)	Q (mg/g)	Persen <i>Removal</i> (%)
3	18,88	30	46,52	89,78
4	21,19	60	47,67	92
5	23,52	90	45,37	87,56
6	10,82	120	44,21	85,34
7	9,67	150	43,06	83,12

a. Optimasi pH

Nilai pH larutan sangat mempengaruhi adsorpsi ion logam, karena pH tidak hanya mempengaruhi kelarutan ion logam dan muatan dari permukaan adsorben tetapi juga bentuk ion yang terdapat dalam larutan tersebut (Panday, dkk., 1985). Molekul adsorben secara kimiawi dianggap memiliki sisi aktif atau gugus fungsional yang mampu berinteraksi dengan logam. Saat proses adsorpsi dengan pertukaran ion, maka proses adsorpsi yang terjadi dipengaruhi oleh banyaknya proton dalam larutan yang bersaing dengan ion logam pada permukaan adsorben, sehingga pada pH asam yaitu dibawah pH 5, jumlah proton (H^+) akan melimpah, sehingga mengakibatkan peluang terjadinya pengikatan logam oleh adsorben relatif kecil atau disebut efisiensi penyerapannya menurun (Taty, dkk., 2003). Kapasitas adsorpsi dari membran paling tinggi terjadi pada pH 5 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 23,52 mg/g yang selanjutnya turun kembali di pH 6 dan 7. Hal ini terjadi dikarenakan pada

pH yang lebih tinggi kelarutan dari ion logam akan mengalami penurunan dan memungkinkan terjadinya pengendapan (Wang dan Chen, 2006).

b. Optimasi Waktu Kontak

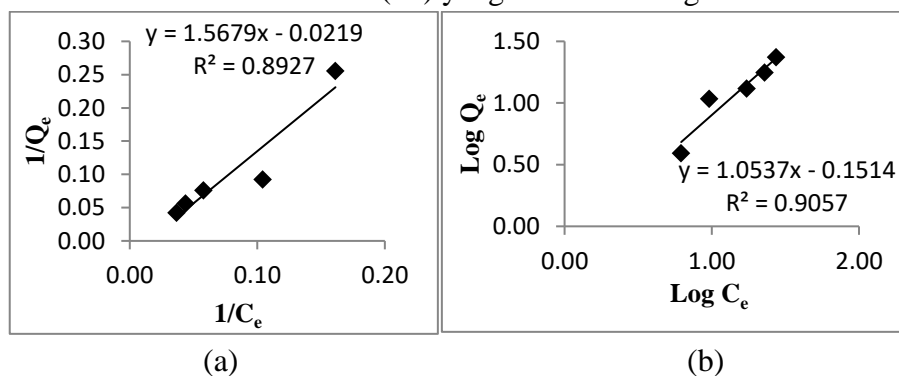
Berdasarkan hasil optimasi pada waktu kontak 30 menit memiliki nilai kapasitas adsorpsi logam Cu(II) sebesar 46,52 mg/g, yang selanjutnya mengalami peningkatan pada waktu kontak 60 menit dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 47,67 mg/g. Nilai kapasitas adsorpsi selanjutnya turun diwaktu kontak 90, 120, dan 150 menit. Waktu kontak 60 menit merupakan kondisi optimum proses adsorpsi, pada kondisi ini proses adsorpsi telah mencapai kondisi maksimum hingga titik jenuhnya (Zian, 2016). Hal ini bersesuaian dengan teori, yang mana menurut Lelifajri (2010), adsorpsi logam Cu(II) akan semakin meningkat seiring dengan penambahan waktu kontak, hingga pada waktu tertentu akan mencapai batas maksimum yang selanjutnya efektivitas adsorpsi akan kembali turun.

Kapasitas Adsorpsi Logam Cu (II)

Penentuan kapasitas adsorpsi terhadap ion logam Cu(II) oleh membran selulosa-PVA dilakukan pada kondisi optimum pH, dan waktu kontak. Setelah dilakukan perhitungan diketahui bahwa kapasitas adsorpsi membran selulosa termodifikasi PVA terhadap ion logam Cu(II) sebesar 47,67 mg/g dengan persen *removal* sebesar 92. Angka ini lebih besar jika dibandingkan dengan adsorpsi menggunakan material selulosa yang dilakukan oleh Wardani dan Nirmala (2012) menggunakan selulosa dari daun nanas hanya mampu mengadsorpsi 69,07 %. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi ion logam Cu(II) dengan menggunakan membran selulosa-PVA lebih baik dalam mengadsorpsi dibandingkan hanya menggunakan selulosa saja.

Isoterm Adsorpsi Membran Selulosa-PVA

Isoterm adsorpsi logam Cu(II) oleh membran dilakukan dengan tujuan untuk menentukan kapasitas adsorpsi adsorben terhadap adsorbat. Penentuan model isoterm adsorpsi dilihat dari nilai koefisien kolerasi (R^2) yang mendekati angka 1.



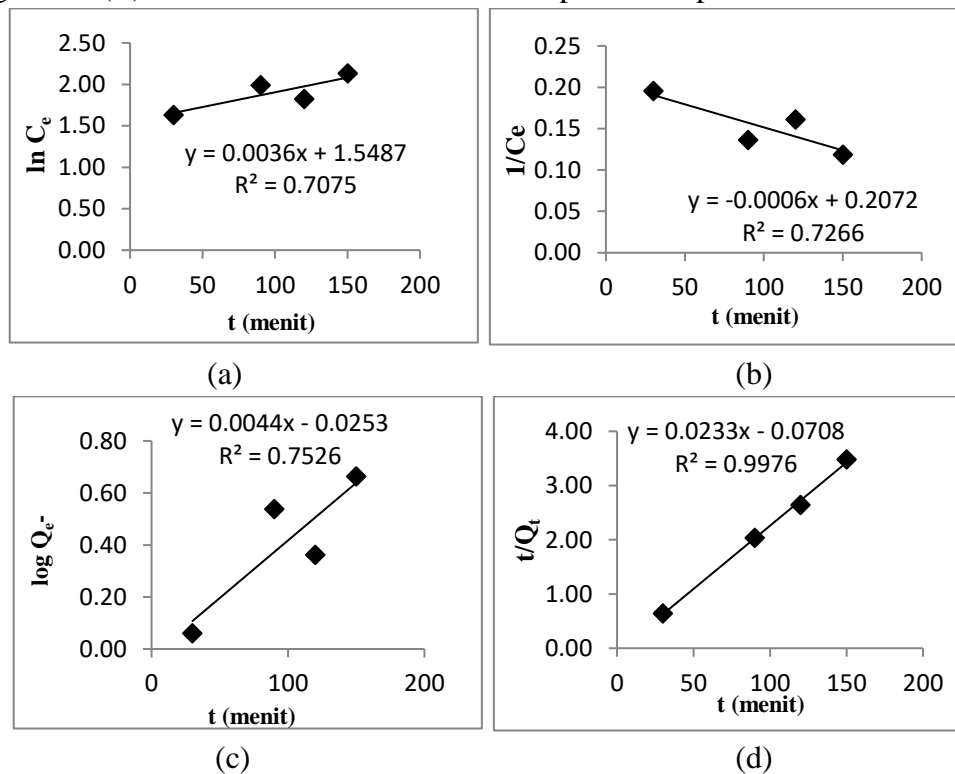
Gambar 4. Jenis isoterm adsorpsi

Jika dilihat dari data nilai R^2 pada Gambar 4, maka pemodelan isoterm yang paling cocok untuk adsorpsi logam Cu(II) oleh membran selulosa-PVA adalah isoterm Freundlich, dengan nilai $R^2 = 0,9057$ maka adsorpsi diasumsikan berlangsung secara fisika. Mekanisme adsorpsi secara fisika memungkinkan terjadinya ikatan antar ion logam yang terdapat pada larutan, selain ikatannya dengan adsorben. Kedua ikatan tersebut hanya terikat oleh gaya *van der Waals* sehingga ikatan antara adsorbat dengan adsorben sangat lemah. Hal ini memungkinkan adsorbat mudah bergerak hingga akhirnya berlangsung proses adsorpsi pada

banyak lapisan (*multilayer*) dan situs-situs aktif pada permukaannya bersifat heterogen. Pembentukan lapisan *multilayer* dan heterogenitas pada permukaan membran diasumsikan terjadi disebabkan oleh dominasi dari situs aktif berupa gugus -OH yang dimiliki oleh setiap material penyusun pada membran dalam penelitian ini, yaitu selulosa dan PVA.

4.3.3 Kinetika Adsorpsi Membran Selulosa-PVA

Kinetika Adsorpsi merupakan faktor penting dalam proses adsorpsi karena dapat menunjukkan tingkat kecepatan penyerapan adsorben terhadap adsorbatnya. Kemampuan penyerapan dapat dilihat pada laju adsorpsinya, dalam hal pengujian terhadap laju adsorpsi yang dilakukan melalui penentuan orde reaksi secara eksperimen. Adapun grafik kinetika adsorpsi logam Cu (II) oleh membran selulosa-PVA dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Kinetika Adsorpsi

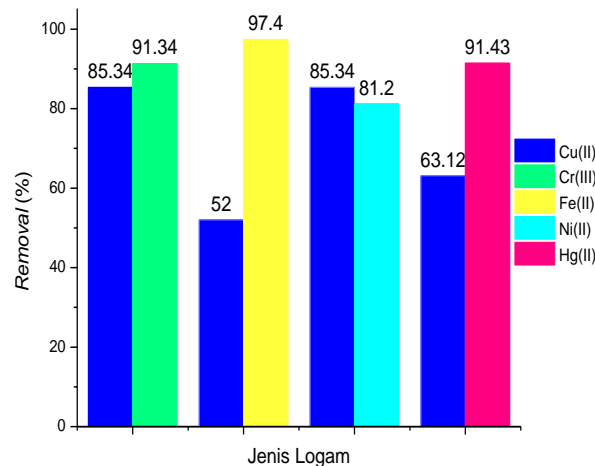
Tabel 3. Data hasil penentuan model kinetika adsorpsi

Model Kinetika	Parameter	
	R^2	K
Orde I	0,7075	$- 3,6 \times 10^{-3} \text{ menit}^{-1}$
Orde II	0,7266	$- 0,6 \times 10^{-3} \text{ g.mg}^{-1}.\text{menit}^{-1}$
Pseudo Orde I	0,7526	$-0,27 \times 10^{-3} \text{ menit}^{-1}$
Pseudo Orde II	0,9976	$-7,66 \times 10^{-3} \text{ g.mg}^{-1} . \text{menit}^{-1}$

Berdasarkan keempat grafik tersebut dan data dari Tabel 3 adsorpsi ion logam Cu(II) menggunakan membran selulosa-PVA sesuai dengan *pseudo* orde II karena pada orde tersebut memiliki nilai konstanta kolerasi (R^2) yang paling tinggi yaitu 0,9976 dengan nilai konstanta sebesar $-7,66 \times 10^{-3} \text{ g.mg}^{-1}.\text{menit}^{-1}$. Oleh karena itu, pada penelitian laju adsorpsi ion logam Cu(II) menggunakan membran selulosa-PVA diasumsikan bahwa laju adsorpsi dipengaruhi oleh konsentrasi reaktan yang terlibat. Nilai regresi (R^2) yang mendekati 1 maka semakin bagus hasil adsorpsinya (Atkints, 1990).

Uji Interferensi Adsorpsi

Uji interferensi adsorpsi digunakan untuk mengetahui pengaruh keberadaan ion lain terhadap adsorpsi ion logam Cu(II). Prosesnya digunakan 4 jenis logam berbeda. Pengujian ini dilakukan dengan menambahkan larutan logam lain ke dalam larutan logam Cu(II) dengan perbandingan 1:10 dan melihat bagaimana pengaruhnya terhadap nilai kapasitas adsorpsi logam Cu(II), dan perbandingan nilai kapasitas adsorpsi keduanya.

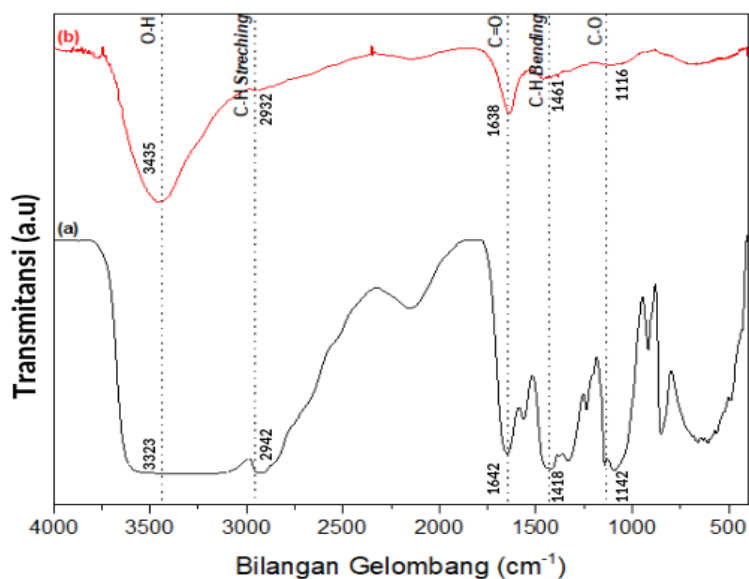


Gambar 6. Grafik perbandingan persen *removal* adsorpsi ion logam Cu(II) dengan logam lain

Berdasarkan grafik pada Gambar 6, dapat dilihat bahwa dari beberapa jenis kompetitor logam yang digunakan menunjukkan hasil yang berbeda. Ion logam Cr(III) tergolong dalam asam keras, sedangkan ion logam Cu(II) tergolong asam *borderline*, sehingga ion Cr(III) lebih kuat berinteraksi dengan gugus $-OH$ pada membran yang tergolong dalam basa keras berdasarkan teori *Hard Soft Acid Base* (HSAB). Berdasarkan teori asam basa keras lunak, asam keras memiliki kecenderungan untuk berinteraksi dengan basa keras, begitu pula sebaliknya. Oleh karena itu, pada uji selektivitas, logam Cr(III) mampu menginterferensi adsorpsi logam Cu(II) oleh membran. Ion logam Fe(II) dan Ni(II) tergolong dalam asam *borderline* dalam teori HSAB, dan berdasarkan hasil uji selektivitas ion logam Fe(II) dan Ni(II) menunjukkan kemampuannya dalam menginterferensi membran dalam mengadsorpsi logam Cu(II). Ion logam Hg(II) yang tergolong asam lemah juga menunjukkan kemampuannya dalam menginterferensi adsorpsi logam Cu(II). Sehingga rekomendasi dalam adsorpsi ion logam Cu(II) selanjutnya, jika dalam larutan kemungkinan mengandung ion logam Cr(III), Fe(II), Ni(II) atau Hg(II) maka sebaiknya direduksi lebih dahulu dengan pengompleks lain, sehingga adsorpsi logam Cu(II) bisa lebih optimal.

Mekanisme Adsorpsi Logam Cu(II)

Berdasarkan hasil analisa FTIR yang bisa dilihat pada Gambar 7 dan interpretasi ikatan berdasarkan bilangan gelombang pada Tabel 4, maka dapat dilihat bahwa terdapat pergeseran puncak bilangan gelombang antara membran sebelum dan sesudah proses adsorpsi. Gugus fungsi yang mengalami pergeseran bilangan gelombang dapat diasumsikan merupakan gugus yang berperan dalam proses adsorpsi (Fauzi dan Utami, 2018).



Gambar 7. Hasil spektrum FTIR (a) membran selulosa-PVA sebelum adsorpsi (b) membran selulosa-PVA setelah adsorpsi

Tabel 4. Perbandingan spektrum, FTIR membran sebelum dan sesudah adsorpsi

Sampel	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)				
	O-H	C-H <i>stretching</i>	C=O	C-H <i>bending</i>	C-O
Sebelum Adsorpsi	3323	2942,5	1647	1418,77	1142,83
Setelah Adsorpsi	3435	2932	1638	1461	1116

Berdasarkan hasil interpretasi pada Tabel 4 Vibrasi ulur O-H terlihat pada bilangan gelombang 3435 cm⁻¹, regangan pada gugus karbonil C=O terlihat pada bilangan gelombang 1638 cm⁻¹, C-H *stretching* pada bilangan gelombang 2932 cm⁻¹, C-H *bending* pada bilangan gelombang 1461 cm⁻¹, dan C-O pada bilangan gelombang 1116 cm⁻¹. Perubahan yang terjadi pada puncak gelombang tersebut menunjukkan adsorpsi adsorbat Cu(II) oleh adsorben diasumsikan terjadi secara fisika baik itu melalui kompleksasi, interaksi elektrostatik yang lemah dan gaya *Van der Waals*, hal ini juga didukung dengan tidak munculnya serapan bilangan gelombang baru pada spektrum FTIR setelah adsorpsi.

KESIMPULAN

Membran selulosa-PVA yang dibuat dengan perbandingan 1:2 memiliki nilai uji *swelling* sebesar 105,54 %, nilai ketebalan 0,109 mm, kuat tarik 2,7629 Mpa, dan nilai elongasi sebesar 48,08 %. Kapasitas adsorpsi membran selulosa-PVA terhadap logam Cu(II) pada kondisi optimum sebesar 47,67 mg/g. Pemodelan isoterm adsorpsi logam Cu(II) oleh membran mengikuti jenis pemodelan isoterm Freundlich dengan nilai R² sebesar 0,9057. Pemodelan kinetika adsorpsi mengikuti pemodelan pseudo orde II dengan nilai R² sebesar 0,9976.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis tujukan kepada kedua dosen pembimbing skripsi, Bapak Dhony Hermanto dan Ibu Murniati yang selama penelitian hingga penyusunan artikel ini telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis. Kepada Ketua Laboratorium Kimia Lanjut dan Kimia Analitik, serta seluruh petugas dan laboran yang telah banyak membantu menyediakan fasilitas dan lingkungan kerja yang baik selama proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriliani, A., 2010, Pemanfaatan Arang Ampas Tebu sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu, dan Pb dalam Air Limbah, Skripsi, Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Jakarta.
- Astuti, B.C., 2008, Pengembangan Edible Film Kitosan dengan Penambahan Asam Lemak dan Esensial Oil: Upaya Perbaikan Sifat Barrier dan Aktivitas Antimikroba, Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Atkins, P. W. 1990. Kimia Fisika Edisi ke IV. Jakarta: Erlangga.
- Dewi, I.A., Azzimatul, I., dan Susinggih, W., 2018, Optimization on Pulp Delignification from Nypa Palm (*Nypa fruticans*) Petioles Fibre of Chemical and Microbiological Methods. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 187.
- Ernawati, E., 2014, Pembuatan Membran Selulosa Asetat Termodifikasi Zeolit Alam Lampung untuk Pemisahan Etanol-Air Secara Pervaporasi, *Chimia et Natura Acta* 2(1): 101-104.
- Fauzi, A.F., dan Utami, L., 2018, Effect of pH on Biosorption Ion Cd(II) in Solution Using Lengkuas Merah (*Alpinia galanga*), *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology* 1(1): 31-36.
- Hermanto, D., Mubasir, Siswanta, D., Kuswandi, B., 2019, Synthesis of e-Chitosan Polyelectrolyte Complex (PEC) Membran and Its Physical Mechanical Properties, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 22(1): 11-16.
- Ischak, N.I., Fazriani, D., dan Botutihe, D.N., 2021, Ekstraksi dan Karakterisasi selulosa dari Limbah Kulit Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.) sebagai Adsorben Ion Logam Besi, *Jambura Journal of Chemistry* 3(1): 27-36.
- Jie, L., Nguyen, Q., Zhou, J., dan Ping, Z.H., 2003, Polyvinil Alcohol/Polyvinil Pyrrolidone Interpenetrating Polymer Network: Synthesis and Pervaporation Properties, *Journal of Applied Polymer Science*, 89: 2808-2814.
- Kroschwitz, J. L., 1990, Concise Encyclopedia of polymer Science and Engineering. USA : John Wiley & Sons, Inc.
- Kusuma, I. D. G. D. P., Wiratini, N. M., dan Wiratma, I. G. L., 2014, Isoterm Adsorpsi Cu²⁺ Oleh Biomassa Rumput Laut *Eucaema Spinosum*, *E-Journal, Kimia Visvitalis Universitas Pendidikan Ganesha* 2(1): 1-10.
- Lelifajri, 2010, Adsorpsi Ion Logam Cu(II) Menggunakan Lignin dari Limbah Serbuk Kayu Gergaji, *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* 7(3): 126-129.
- Lokantara, P., 2007, Analisis Arah Dan Arah Perlakuan Serat pelepah pisang. Serta Rasio Epoxy Hardener Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit Serat Epoxy 2(1): 15-21.
- Marduansyah, M., 2017, Pembuatan membran Kitosan Polivinil Alkohol sebagai Adsorben untuk Menurunkan Kadar Logam Nikel (Ni) dan Krom (Cr), Skripsi, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Muljani, S., Kurnia, A.K., Luluk, N., Ayu, R.A., dan Nur, H., Sintesis Membran Kitoosan Silika dari Geothermal Sludge, *Jurnal Teknik Kimia* 13(1): 22-26.

- Nafi`ah, R., dan Primadevi, S., 2020, Sintesis Membran Selulosa Termodifikasi Na₂EDTA dari Bagase Tebu untuk Adsorpsi Logam Pb, Jurnal Keperawatan dan Kesehatan Masyarakat 9(3): 272-281.
- Nunes, P.S., 2001, Membran Technology in the chemical industry. New York : Jon Willey and Sons.
- Panday, K.K., Prasad, G., and Singh, V.N., 1985, Copper (II) Removal from Aqueous Solutions by Fly Ash, Water Research 19(7): 869-873.
- Sena, P.T., Putra, G.P.G., dan Suhendra, L., 2021, Karakterisasi Selulosa dari Kulit Batang Kakao (*Theobroma cacao L.*) pada Berbagai Konsentrasi Hidrogen Peroksida dan Suhu Proses Bleaching, Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri 9(3): 288-299.
- Siaka, I. M., Suastuti, N. G. A. M. D. A., dan Mahendra, I. P. B., 2016, Distribusi Logam Berat Pb dan Cu Pada Air Laut, Sedimen, dan Rumpun Laut di Perairan Pantai Pandawa, Jurnal Kimia, Bali: Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana 10 (2): 190-196.
- Taty, C., Fauduet, V.C.H., Porte C., dan Delacrix, A., 2003, Removal of Cd(II) and Pb(II) Ions from Aqueous Solution by Adsorption onto Swadust of Pinus Sylvestris, Journal Hazard Mater, 121-142.
- Wang, H., Fang, Y., dan Yan, Y., 2001, Surface modification of chitosan membrans by alkane vapor plasma, Muter Chem 11:911-918.
- Wardani, A. Y. dan Nirmala, W., 2012, Pemanfaatan Daun Nanas (*Ananas Comosus*) sebagai Adsorben Logam Ag dan Cu pada Limbah Industri Perak di Kota Gede Yogyakarta, Pelita 7(1): 89-96.
- Zian, Ulfin, I. dan Harmani, 2016, Pengaruh Waktu Kontak pada Adsorpsi Remazol Violet 5R Menggunakan Adsorben Nata de Coco, Sains dan Seni ITS, 5(2).