

JURNAL KIMIA UNAND

ISSN No. 2303-3401

Volume 10 Nomor 3

Agustus, 2021

*Media untuk mempublikasikan
hasil-hasil penelitian seluruh
dosen dan mahasiswa Kimia
FMIPA Unand*

Jurusan Kimia

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Andalas

Tim Editorial Jurnal Kimia Unand

Emil Salim, M.Sc, M.Si

Dr. Syukri

Prof. Dr. Adlis Santoni

Prof. Dr. Rahmiana Zein

Prof. Dr. Syukri Arief

Dr. Mai Efdi

Alamat Sekretariat

Jurusan Kimia FMIPA Unand

Kampus Unand Limau Manis, Padang – 25163

PO. Box 143, Telp./Fax. : (0751) 71 681

Website Jurnal Kimia Unand: www.jurnalsain-unand.com

Corresponding E-mail: salim_emil17@yahoo.com

syukri@fmipa.unand.ac.id

DAFTAR ISI

JUDUL ARTIKEL	Halaman
1. DEGRADASI ZAT WARNA <i>METHYL ORANGE</i> MENGGUNAKAN TiO_2/ZEOLIT KLINOPTILOLIT-Ca SECARA FOTOLISIS Niken Suherli, Zilfa, Rahmiana Zein	1-6
2. PEMURNIAN KATEKIN DARI GAMBIR Norman Ferdinal , Bustanul Arifin, Aldho Pramana Putra	7-10
3. KINERJA KARBON AKTIF SABUT KELAPA SEBAGAI ELEKTRODA KAPASITOR LAPIS RANGKAP LISTRIK Hermansyah Aziz, Olly Norita Tetra, Natasha Dwi Putri	11-19
4. STUDI KOMPUTASI INHIBISI KOROSI BESI OLEH MOLEKUL MORIN DAN TURUNANNYA Imelda, Emriadi, Iqbal Desriman	20-34
5. PEMANFAATAN KARBON AKTIF CANGKANG SAWIT (<i>Elaeis guineensis</i>) SEBAGAI ADSORBEN ION LOGAM Fe(III) DAN Cu(II) Yulizar Yusuf, Deswati , Dimas Adi Putra	35-41

DEGRADASI ZAT WARNA METHYL ORANGE MENGGUNAKAN TiO₂/ZEOLIT KLILOPTILOLIT-Ca SECARA FOTOLISIS

Niken Suherli^{1,*}, Zilfa¹, Rahmiana Zein¹

¹Laboratorium Kimia Analitik, Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

*Email: suherliniken@gmail.com

Abstrak: Penelitian tentang degradasi zat warna *Methyl Orange* menggunakan TiO₂/zeolite klinoptilolit-Ca secara fotolisis telah dilakukan. Pada penelitian ini digunakan zat warna *Methyl Orange* 6 mg/L. Zat warna tersebut didegradasi secara fotolisis dan ditentukan pengaruh variasi waktu dan massa katalis TiO₂/zeolit. Persentase degradasi *Methyl Orange* 6 mg/L terbesar didapat dengan menggunakan 1 g TiO₂/zeolit dan waktu penyinaran 90 menit dengan persentase degradasi 62,10%. Berdasarkan data tersebut dapat dikatakan bahwa TiO₂/zeolit mampu mendegradasi zat warna dengan baik.

Kata kunci: TiO₂/zeolit, *Methyl Orange*, Degradasi, Fotolisis

1. Pendahuluan

Permintaan tekstil yang meningkat dalam masyarakat menyebabkan banyak muncul sektor industri tekstil baru yang umumnya menggunakan zat warna dalam salah satu proses produksi. Sebagian besar warna dalam limbah dari industri tekstil melibatkan senyawa aromatik yang secara kimiawi stabil dan dapat berbahaya bagi kesehatan manusia dan juga lingkungan¹.

Molekul zat warna merupakan gabungan dari zat organik tidak jenuh dengan kromofor sebagai pembawa warna dan auksokrom sebagai pengikat warna dengan serat, salah satu contoh zat warna dan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *Methyl Orange*. *Methyl orange* merupakan senyawa berwarna penting yang digunakan dalam industri pewarnaan dan tekstil². *Methyl Orange* dapat memberikan beberapa efek berbahaya seperti: peningkatan detak jantung, muntah, syok, sianosis, penyakit kuning, quadriplegia, dan nekrosis jaringan pada manusia³. Zat warna tekstil dapat memberikan dampak negatif apabila zat warna tersebut dibuang secara langsung ke aliran sungai atau tidak diolah dengan baik sehingga masih mengandung zat yang berbahaya yang akan mengakibatkan pencemaran lingkungan dan berdampak buruk pada kesehatan manusia⁴.

Karena bahaya yang ditimbulkan maka limbah cair dari zat warna tekstil harus diolah sebelum dibuang ke saluran air. Limbah cair dari zat warna tekstil yang tidak diolah akan menjadi permasalahan yang semakin luas di bidang industri. Penanggulangan limbah zat warna ini dapat dilakukan dengan proses fotolisis dimana pada

proses ini terjadi penguraian senyawa menjadi senyawa sederhana yang tidak berbahaya seperti CO₂ dan H₂O dengan bantuan cahaya untuk mengaktifkan kerja katalis⁵.

Pada penelitian ini digunakan katalis TiO₂. TiO₂ atau Titanium Dioksida adalah fotokatalis yang efektif dan sudah cukup banyak digunakan pada beberapa penelitian sebelumnya karena kemampuannya untuk mengoksidasi yang kuat, stabilitas kimiawi, biaya rendah dan toksisitas yang lebih sedikit dengan *band gap* sekitar 3,2 eV⁶. Fotokatalisis menggunakan TiO₂ saja akan kurang maksimal karena TiO₂ memiliki luas permukaan yang relatif rendah sehingga diperlukan *support* katalis yang dapat meningkatkan hasil degradasi dari TiO₂⁷. Dalam meningkatkan hasil degradasi dapat digunakan *support* katalis untuk TiO₂ yaitu zeolit yang akan membentuk TiO₂/zeolit.

Zeolit merupakan salah satu sumber mineral yang banyak terkandung di bumi Indonesia, namun pemanfaatannya belum maksimal, di Indonesia zeolit dapat ditemukan dalam jumlah besar dalam bentuk hampir murni. Salah satu daerah yang menghasilkan zeolit adalah Sumatera Barat, bertepatan di daerah Lubuk Selasih, Kenagarian Batang Barus, Kecamatan Gunung Talang, Kabupaten Solok. Jenis zeolit yang ditemukan adalah jenis Klinoptilolit-Ca⁸. Zeolit alam mempunyai potensi yang cukup baik untuk pengolahan air dan limbah. Selain itu, berdasarkan sifatnya zeolit mempunyai kelebihan memiliki jumlah pori yang banyak, luas permukaan yang luas dan struktur kristal tiga dimensi yang kaku sehingga dapat meningkatkan kinerja TiO₂ untuk degradasi yang efisien⁹.

Berdasarkan uraian diatas penulis ingin melakukan penelitian mengenai degradasi terhadap zat warna *Methyl Orange* untuk mengurangi bahaya yang ditimbulkannya terhadap lingkungan. Metode yang digunakan untuk degradasi senyawa ini adalah fotolisis dengan menggunakan katalis TiO_2 /zeolit, dimana hasil degradasi akan dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Bahan kimia, peralatan dan instrumentasi

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Methyl Orange* (Merck), TiO_2 (Merck), Zeolit *Clinoptilolite-Ca* Lubuak Salasiah, air destilasi, HCl (Merck), NaCl (Merck), AgNO_3 (Merck).

Alat-alat yang digunakan adalah FTIR (*Fourier Transform Infrared*), spektrofotometer UV-Vis, kotak iridiasi yang dilengkapi lampu UV (*Luster BLB 10 W-TB*), sentrifus, magnetic stirrer, oven, furnace, dan peralatan gelas seperti beaker glass, test tube, gelas ukur, pipet tetes, corong, batang pengaduk, dan labu ukur.

2.2. Prosedur penelitian

2.2.1 Aktivasi Zeolit *clipnotilolit-Ca*

Zeolit sebanyak 250 g digerus halus dan diayak menggunakan ayakan 450 mesh. Zeolit 450 mesh diaktivasi menggunakan HCl 0,2 M dan distirer selama 30 menit, setelah 30 menit pH diukur dan dibilas dengan aquades sampai pH netral. Setelah pH netral zeolit disaring dan dioven selama 1 jam pada suhu 100°C dan didapatkan zeolit teraktivasi. Zeolit yang telah diaktivasi dijenuhkan dengan penambahan NaCl 0,1 M dan diaduk selama 1 jam,. Zeolit dipisahkan dari filtrat dengan proses penyaringan, filtrat dari zeolit diuji dengan AgNO_3 apabila masih terbentuk endapan putih maka zeolit dicuci dengan air destilasi hingga tidak terbentuk lagi endapan putih.

2.2.2 Preparasi Katalis TiO_2 /Zeolit *clipnotilolit-Ca*

100 g zeolit yang telah dijenuhkan dimasukkan ke dalam air destilasi dan diaduk selama 5 jam, lalu ditambahkan 4 g TiO_2 dengan perbandingan (1:25) secara bertahap sambil diaduk. Hasil pencampuran dipisahkan menggunakan penyaringan dan dikeringkan dengan oven pada temperatur 100°C . Katalis digerus sampai halus lalu diayak menggunakan pengayak 150 mesh. Hasil ayakan dikalsinasi pada temperatur 400°C selama 10 jam.

2.2.3 Penentuan Serapan Maksimum Senyawa *Methyl Orange*

Penentuan serapan maksimum dilakukan dengan membuat larutan *Methyl Orange* dalam beberapa variasi konsentrasi yaitu 2, 4, 6, 8 dan 10 mg/L dari larutan *Methyl Orange* 100 mg/L. Absorban *Methyl Orange* diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 300-800 nm.

2.2.4 Penentuan Pengaruh Waktu Degradasi *Methyl Orange* Tanpa Katalis

Penentuan pengaruh waktu degradasi tanpa katalis dilakukan dengan mengambil 20 mL *Methyl Orange* 6 mg/L lalu dimasukkan kedalam 6 petridis. Kemudian difotolisis dengan variasi waktu 30, 45, 60, 95 dan 105 menit dibawah lampu UV ($\lambda=365$ nm). Absorban setelah fotolisis diukur dengan spektrofotometer UV-VIS.

2.2.5 Penentuan Pengaruh Penambahan Jumlah Katalis TiO_2 /zeolit

Penentuan pengaruh penambahan jumlah katalis dilakukan dengan menimbang katalis TiO_2 /zeolit sebanyak 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 dan 1,2 g. Kemudian dimasukkan ke dalam 6 petridis yang berisi 20 mL *Methyl Orange* 6 mg/L dan difotokatalisis dibawah lampu UV ($\lambda=365$ nm) selama waktu optimum. Larutan disentrifus selama 15 menit dan diukur nilai absorbannya dengan spektrofotometer UV-VIS.

2.2.6 Penentuan Pengaruh Waktu setelah Penambahan Katalis TiO_2 /zeolit, TiO_2 dan Zeolit

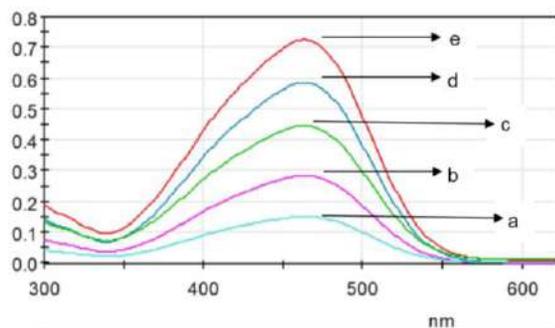
Penentuan pengaruh waktu setelah penambahan katalis TiO_2 /zeolit, TiO_2 dan zeolit dilakukan dengan mengambil 20 mL *Methyl Orange* 6 mg/L kemudian dimasukkan kedalam 6 petridis. Masing-masing petridis ditambahkan katalis dengan massa optimum, lalu difotokatalisis dengan variasi waktu 30, 45, 60, 75, 90 dan 105 menit dibawah lampu UV ($\lambda=365$ nm). Larutan disentrifus selama 15 menit dan diukur nilai absorbannya dengan spektrofotometer UV-VIS.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Pengukuran Serapan Maksimum *Methyl Orange*

Pada pengukuran *Methyl Orange* didapatkan puncak serapan maksimum pada panjang gelombang 463 nm seperti yang terlihat pada gambar 1^{10,11}. Panjang gelombang yang didapat pada pengukuran ini akan

digunakan untuk mengukur absorbansi larutan sebelum dan sesudah degradasi.

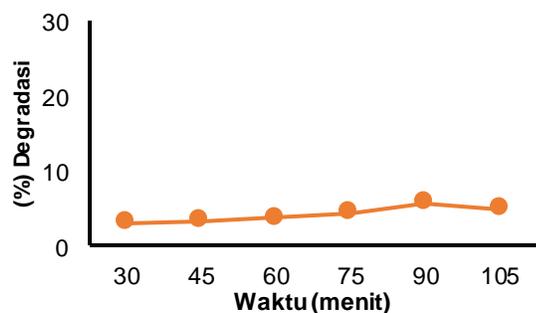


Gambar 1. Spektrum serapan *Methyl Orange* pada variasi konsentrasi (a) 2 mg/L, (b) 4 mg/L, (c) 6 mg/L, (d) 8 mg/L, (e) 10 mg/L

Dari data tersebut dapat dilihat hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi pada Persamaan regresi *Methyl Orange* yang didapatkan yaitu $y = 0,0719x + 0,0113$ dengan nilai $R^2 = 0,9988$.

3.2 Penentuan Pengaruh Waktu terhadap Persentase Degradasi *Methyl Orange* tanpa katalis

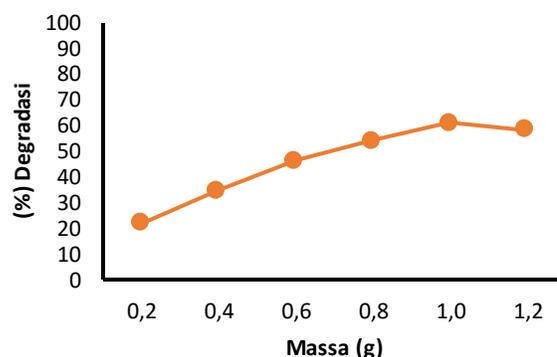
Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyinaran maka persentase degradasi yang didapat semakin besar, tetapi perubahan yang terjadi tidak signifikan. Hal ini karena semakin lama waktu penyinaran akan menghasilkan jumlah $\text{OH}\cdot$ yang semakin tinggi dan memberikan hasil degradasi yang lebih besar, tetapi perubahan yang terjadi tidak signifikan karena tidak adanya katalis untuk meningkatkan hasil degradasi¹². Pada penelitian ini persentase degradasi terbesar yang didapat untuk *Methyl Orange* 6 mg/L adalah 5,83 % dengan waktu optimum penyinaran selama 90 menit.



Gambar 2. Kurva pengaruh waktu penyinaran 20 mL larutan *Methyl Orange* 6 mg/L tanpa katalis.

3.3 Penentuan Pengaruh Jumlah Katalis $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ terhadap Persentase Degradasi *Methyl Orange*

Gambar 3 menunjukkan dimana semakin banyak jumlah katalis yang ditambahkan maka akan semakin tinggi persentase degradasi *Methyl Orange* yang didapat. Hal ini terjadi karena semakin meningkatnya situs aktif, jumlah foton yang terserap dan jumlah radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$) yang dihasilkan¹³. Pada penelitian ini didapatkan persentase degradasi terbesar untuk *Methyl Orange* 6 mg/L sebanyak 61,21 % dengan penambahan massa $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ sebanyak 1 gram untuk masing-masing zat warna.

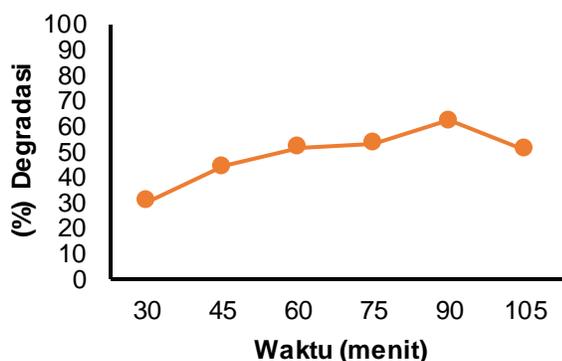


Gambar 3. Kurva pengaruh massa $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ terhadap persentase degradasi 20 mL larutan *Methyl Orange* 6 mg/L.

3.4 Penentuan Pengaruh Waktu Setelah Penambahan Katalis $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ terhadap Persentase Degradasi *Methyl Orange*

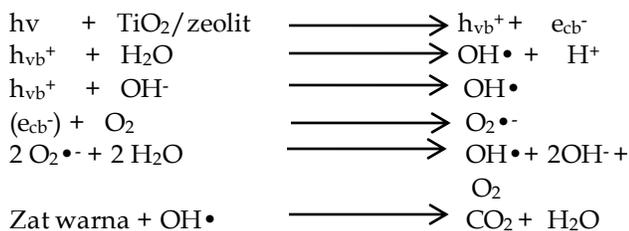
Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin lama waktu yang digunakan dalam proses penyinaran maka nilai persentase degradasi yang didapatkan semakin meningkat. Pada *Methyl Orange* 6 mg/L waktu optimum untuk radiasi yang didapatkan adalah 90 menit dengan persentase degradasi 62,10%.

Persentase degradasi cenderung meningkat seiring pertambahan waktu karena saat $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ disinari oleh sinar UV maka elektron pada semikonduktor akan mengalami eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi dan menghasilkan radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$) sebagai pengoksidasi zat warna yang akan didegradasi¹³, penambahan zeolit sebagai *support* katalis juga dilakukan sehingga dapat memperbesar luas permukaan dari TiO_2 untuk meningkatkan daya adsorpsi TiO_2 ¹⁴.



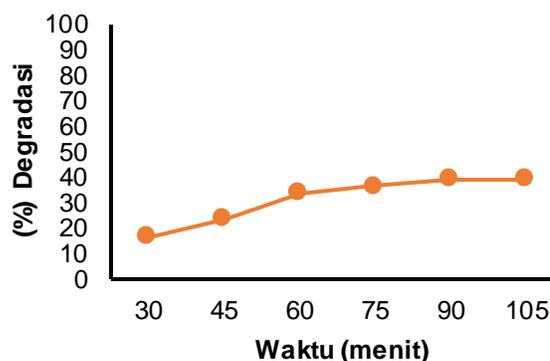
Gambar 4. Kurva pengaruh waktu dengan penambahan 1 g TiO₂/zeolit terhadap persentase degradasi 20 mL larutan *Methyl Orange* 6 mg/L.

TiO₂/zeolit ketika dikenai sinar UV yang bersesuaian atau melebihi energi celah pita dapat menyebabkan elektron mengalami eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi (menghasilkan e_{cb}⁻) yang menyebabkan adanya kekosongan atau hole (h_{cb}⁺) yang berperan sebagai muatan positif. Selanjutnya hole (h_{cb}⁺) akan bereaksi dengan hidroksida logam yaitu hidroksida titan yang terdapat dalam larutan membentuk radikal hidroksida logam sebagai oksidator kuat untuk mengoksidasi *Methyl Orange*. Mekanisme dari degradasi adalah sebagai berikut¹²:



3.5 Penentuan Pengaruh Waktu Setelah Penambahan Katalis TiO₂ terhadap Persentase Degradasi *Methyl Orange*

Gambar 6 menunjukkan semakin lama waktu yang digunakan dalam proses penyinaran maka akan semakin tinggi nilai persentase degradasi yang didapatkan. Pada *Methyl Orange* 6 mg/L didapatkan persentase degradasi terbesar yaitu 39,24% dengan waktu optimum radiasi 90 menit.

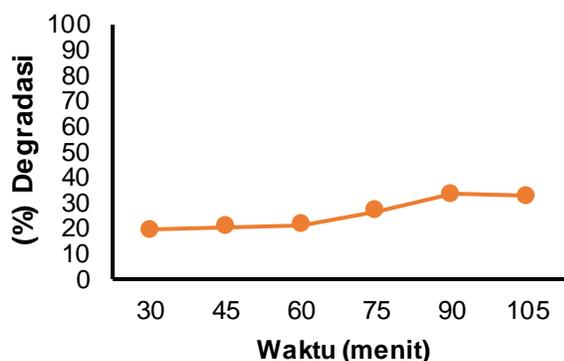


Gambar 5. Kurva pengaruh waktu dengan penambahan 0,038 g TiO₂ terhadap persentase degradasi 20 mL larutan *Methyl Orange* 6 mg/L.

Peningkatan hasil degradasi seiring bertambahnya waktu disebabkan karena semakin banyaknya foton yang berinteraksi dengan sistem dan menghasilkan lebih banyak elektron yang berpindah ke pita konduksi lalu elektron dan hole bereaksi dengan OH⁻ dan O₂ terlarut untuk menghasilkan spesies oksigen aktif, seperti radikal hidroksil dan radikal superoksida yang dapat mendegradasi senyawa organik. Semakin lama proses degradasi, maka jumlah OH[•] yang dihasilkan akan semakin tinggi dan menyebabkan efisiensi degradasi meningkat sampai akhirnya cenderung konstan¹³.

3.6 Penentuan Pengaruh Waktu Setelah Penambahan Zeolit terhadap Persentase Degradasi *Methyl Orange* dan *Rhodamine B*

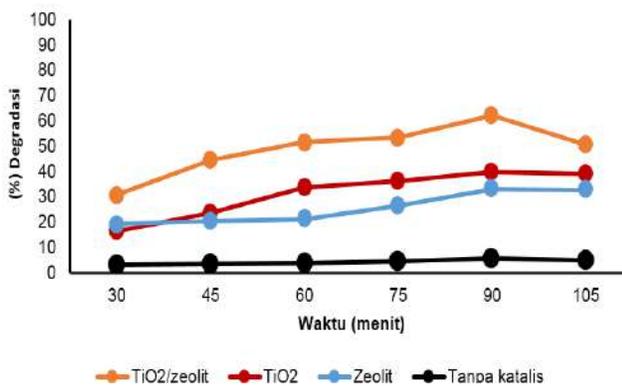
Gambar 6 menunjukkan semakin lama waktu penyinaran yang diberikan maka semakin besar persentase degradasi yang didapat. Pada *Methyl Orange* 6 mg/L didapatkan persentase degradasi tertinggi yaitu 33,18% dengan waktu optimum 90 menit. Pada proses degradasi dengan zeolit, proses yang terjadi hanya fotolisis karena tidak digunakannya katalis pada proses degradasi, zeolite pada degradasi ini berguna untuk proses adsorpsi dimana zeolit merupakan senyawa yang berperan sebagai adsorben yang baik¹⁴.



Gambar 6. Kurva pengaruh waktu dengan penambahan 0,962 g zeolit terhadap persentase degradasi 20 mL larutan

3.7 Perbandingan Persentase Degradasi *Methyl Orange* tanpa Katalis, Penambahan Katalis TiO₂, Zeolit, TiO₂/Zeolit

Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyinaran dilakukan maka akan semakin besar nilai persentase degradasi yang didapat selain itu nilai persentase degradasi juga meningkat dengan adanya penambahan katalis terhadap larutan. Persentase degradasi optimum yang didapat dari penyinaran tanpa katalis, TiO₂/zeolite, TiO₂ dan zeolit saja dengan waktu penyinaran 90 menit adalah 5,83%, 62,10%, 39,24% dan 33,18%.



Gambar 7. Perbandingan persentase degradasi 20 mL larutan *Methyl Orange* 6 mg/L tanpa katalis, 0,038 g TiO₂, 0,962 g zeolit, dan 1 g TiO₂/zeolit.

Berdasarkan hasil persentase degradasi yang didapat dengan melakukan variasi waktu optimum didapatkan hasil persentase degradasi terbesar dari penyinaran menggunakan katalis TiO₂/zeolit yang menunjukkan bahwa TiO₂ berhasil disupport oleh zeolit.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa katalis TiO₂/zeolit mampu meningkatkan persentase degradasi dari *Methyl Orange* dibandingkan katalis TiO₂ atau zeolit saja. Persentase degradasi tertinggi pada *Methyl Orange* 6 mg/L yaitu 62,10% yang didapatkan saat penyinaran selama 90 menit dengan penambahan 1 g TiO₂/zeolite.

Referensi

1. Nezamzadeh-Ejhieh A.; Moazzeni, N. Sunlight Photo Decolorization Of A Mixture Of Methyl Orange And Bromocresol Green By CuS Incorporated In A Clinoptilolite Zeolite As A Heterogeneous Catalyst. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2013. JIEC-1194 10.
2. Subkhan, M.; Awaluddin, A.; Presetya.; Siregar, S, S.; Anggraini, R. Degradasi Katalitik Zat Warna Metil Jingga Menggunakan Katalis Oksida Mangan Manganosite. *Jurnal Photon*. 2018.9 (1).
3. Nezamzadeh-Ejhie, A.; Karimi-Shamsabad, M. Comparison of photocatalytic efficiency of supported CuO onto micro and nano particles of zeolite X in photodecolorization of Methylene blue and Methyl orange aqueous mixture. *Applied Catalysis A: General*, 2014. 477: 83-92.
4. Zein, R.; Ramadhani, P.; Aziz, H.; Suhaili, R. Biosorben Cangkang Pensi (*Corbicula moltkiana*) Sebagai Penyenyempap Zat Warna Metanil Yellow Ditinjau dari pH dan Model Kesetimbangan Adsorpsi. *Jurnal Litbang Industri*. 2019.9: 15-22.
5. Riskiani, E.; Suprihatin, I.; Sibarani, J. Fotokatalis Bentonit-Fe₂O₃ Untuk Degradasi Zat Warna Remazol Brilliant Blue. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*. 2018. 7(1).
6. Gunnagol, R, M.; Rabinal, M, H, K. TiO₂-Graphene Nanocomposites for Effective Photocatalytic Degradation of Rhodamine-B Dye. *Chemistry Select*. 2018. 3: 2578-2585.
7. Andari, N, D.; Wardhani, S. Fotokatalis TiO₂/zeolit Untuk Degradasi Metilen Biru. *Chem. Prog*. 7(1): 9-14.

8. Zilfa.; Rahmayeni.; Stiadi, Y.; Adril. Utilization of Natural Zeolit *Clipnotilolite-Ca* as a Support of ZnO Catalyst for Congo-Red Degradation and Congo-Red Waste Applications with Photolysis. *Oriental Journal of Chemistry*. 2018. 34(2): 887-893
9. Nezamzadeh-Ejhieh, A.; Salimi, Z. Solar Photocatalytic Degradation Of O-Phenylenediamine By Heterogeneous CuO/X Zeolite Catalyst. *Journal of Desalination*. 2011. 280: 281-287.
10. Jaseela, P. K., Garvasis, J., & Joseph, A. Selective adsorption of methylene blue (MB) dye from aqueous mixture of MB and methyl orange (MO) using mesoporous titania (TiO₂) - poly vinyl alcohol (PVA) nanocomposite. *Journal of Molecular Liquids*, 2019. 286, 110908
11. Acedo-Mendoza, A. G.; Infantes-Molina, A.; Vargas-Hernández, D.; Chávez-Sánchez, C. A.; Rodríguez-Castellón, E.; Tánori-Córdova, J. C. Photodegradation of methylene blue and methyl orange with CuO supported on ZnO photocatalysts: The effect of copper loading and reaction temperature. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 2020. 119, 105257.
12. Zilfa.; Rahmayeni.; Zamarun, N. Utilization Natural Zeolyte From West Sumatera For TiO₂ Support in Degradation of Congo Red and A Waste Simulation by Photolysis. *Der Pharmacia Lettre*. 2017. 9: 1-10.
13. Safni.; Wahyuni, M, R.; Khoiriah.; Yusuf, Y. Photodegradation of Phenol using N-doped TiO₂ Catalyst. *Molekul*. 2019. 14(1): 6-10
14. Fatimah, I.; Sugiharto, E.; Wijaya, K.; Tahir, I.; Kamalia. Titanium Oxide Dispersed On Natural Zeolite (TiO₂/Zeolite) And Its Application For Congo Red Photodegradation. *Indo J Chem*. 2006. 6(1): 38-42

PEMURNIAN KATEKIN DARI GAMBIR

Norman Ferdinal^{1*}, Bustanul Arifin¹, Aldho Pramana Putra¹

¹Laboratorium Kimia Organik Bahan Alam, Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Andalas
Jurusan Kimia FMIPA Unand, Kampus Limau Manis, 25163
*E-mail: ferdinalnorman@yahoo.co.id

Abstrak: Isolasi senyawa katekin dari gambir telah dilakukan. Gambir yang telah dihaluskan diekstrak dengan metoda maserasi menggunakan pelarut metanol. Untuk pemurnian senyawa digunakan pelarut etil asetat, heksan, dan air. Hasil isolasi berupa serbuk berwarna putih sebanyak 4,933 g dari 76,993 g katekin kotor. Senyawa hasil isolasi ini memiliki titik leleh 175,8 – 177,4 °C dengan serapan maksimum pada panjang gelombang 280,10 nm. Senyawa ini memiliki gugus fungsi -OH, stretching C-O, C=C aromatis dan bending CH₂ pada pengukuran dengan spektrofotometri Infra Merah.

Kata Kunci: gambir, isolasi, katekin

1. Pendahuluan

Tanaman gambir (*Uncaria gambir*) merupakan salah satu diantara family Rubiceae (kopi-kopian) yang memiliki nilai ekonomi tinggi, yaitu dari ekstrak (getah) daun dan ranting mengandung asam katechu tannat (tanin), katechin, pyrocatecol, florisin, lilin, fixed oil. Kandungan utama gambir adalah asam katechu tannat (20-50%), katekin (7-33%), dan pyrocatecol (20-30%).

Asam catechu tannat (C₁₅H₁₂O₅) atau tanin merupakan anhidrat dari katekin. Tanin mudah berikatan dengan protein, karena mengandung sejumlah gugus hidroksil. Atom H pada gugus hidroksil tersebut sangat reaktif dan dapat membentuk ikatan hidrogen dengan protein.

Katekin (C₁₅H₁₄O₆) termasuk dalam golongan senyawa flavonoid, tidak berwarna dan dalam keadaan murni sedikit larut dalam air dingin tetapi sangat mudah larut dalam air panas, larut dalam alkohol dan etil asetat. Apabila katekin dipanaskan pada suhu

110°C atau dipanaskan pada larutan alkali karbonat, maka akan kehilangan satu molekul air dan berubah menjadi asam catechu tannat (C₁₅H₁₂O₅) atau tanin [1].

Kegunaan gambir secara tradisional adalah sebagai pelengkap makan sirih dan obat-obatan, seperti di Malaysia gambir digunakan untuk obat luka bakar, obat diare, disentri dan obat sakit kerongkongan. Secara modern gambir banyak digunakan sebagai bahan baku industri farmasi dan makanan [2,3].

Indonesia sebagai pemasok utama gambir dunia yaitu mencapai 80%, sebagian besar berasal dari daerah Provinsi Sumatera Barat dengan negara tujuan Banglades, India, Pakistan,

Taiwan, Jepang, Korea Selatan, Perancis dan Swiss [4]. Pemurnian katekin dari gambir akan menghasilkan katekin dengan mutu yang bagus sehingga meningkatkan nilai ekonomis dari produk gambir itu sendiri. Berdasarkan penelusuran literatur, peneliti sebelumnya telah melakukan isolasi katekin dari gambir dengan menggunakan pelarut etil asetat, heksan dan air, namun pengerjaannya dilakukan sampai 3 kali pengulangan [5,6,7]. Ada juga peneliti lain yang melakukan penelitian ini namun hasil katekin yang didapat kurang bagus yaitu katekin yang masih berwarna kuning [8,9]. Sedangkan secara literatur katekin itu berwarna putih. Oleh sebab itu perlu dicari metoda lain yang lebih sederhana dengan hasil yang lebih bagus tentunya.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah erlenmeyer, gelas piala, gelas ukur, pipet gondok, corong, wadah plastik, thermometer, hot plate, oven, neraca analitik, seperangkat alat distilasi, plat KLT (Kromatografi Lapis Tipis), aluminium foil, rotary evaporator (Heidolph Laborota 4000), spektrofotometer UV (Shimadzu PharmaSpec UV-1700), spektrofotometer IR FTIR (Thermo Scientific Nicolet iS10), lampu UV (λ = 254 dan 356 nm).

2.2 Bahan

Gambir (*Uncaria gambir*) diperoleh dari daerah Halaban, Payakumbuh. Gambir yang digunakan merupakan olahan dari daun gambir. Sebanyak 500 g digunakan untuk isolasi katekin.

Bahan kimia yang digunakan sebagai pelarut pada proses ekstraksi dan pemurnian adalah akuades, heksan (Brataco), etil asetat (Brataco), metanol (Brataco), I2 (Merck), dan sitroborat.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Isolasi Senyawa

Sebanyak 500 g sampel gambir yang telah dihaluskan, dimaserasi dengan metanol selama 3 hari (sambil diaduk sekali-sekali). Setelah itu disaring dan diuapkan pelarutnya dengan menggunakan rotari evaporator hingga didapatkan ekstrak kasar metanol.

Ekstrak kasar metanol ini dikering anginkan hingga kering sampai beberapa hari. Setelah kering ditambahkan akuades 800 mL dan disaring dengan kapas hingga didapatkan fraksi air. Fraksi air ini didinginkan didalam freezer, setelah itu disaring dengan kain tisu hingga didapatkan katekin kotor.

2.3.2 Pemurnian Senyawa

Katekin kotor dihaluskan dan dikering anginkan selama beberapa hari. Setelah kering dilarutkan dengan etil asetat dan disaring hingga didapatkan filtratnya. Filtrat ini ditambahkan heksan hingga mengendap semua larutan coklatnya dan didapatkan larutan katekin yang masih bewarna hijau (mengandung klorofil). Endapan dipisahkan dan larutannya ini dikeringkan dan setelah kering direndam dengan air. Larutan ini kemudian dipanaskan dipenangas air dengan suhu 40°C untuk menghilangkan klorofilnya. Kemudian larutan ini disaring dengan kapas hingga didapatkan larutan katekin yang bersih. Kemudian larutan ini didinginkan didalam freezer dan disaring dengan kain tisu hingga kita mendapatkan katekin bersih bewarna putih.

2.3.3 Uji kemurnian senyawa

Uji kemurnian senyawa katekin yang didapat dilakukan dengan metoda Kromatografi Lapis Tipis (KLT). Eluen yang digunakan adalah metanol dan etil asetat dengan perbandingan etil asetat dan metanol 8:2, 7:3, 5:5 dan methanol 100%. Penampak noda yang digunakan adalah uap I₂ dan sitroborat.

2.3.4 Karakterisasi

Karakterisasi pertama yang digunakan adalah penentuan titik leleh. Karakterisasi selanjutnya menggunakan spektrofotometer UV/VIS dan spektrofotometer IR.

2.3.4.1 Metoda Ciba-Geigy untuk penentuan kadar katekin

Katekin ditimbang sebanyak 50 mg, dilarutkan dengan etil asetat didalam labu ukur 50 mL. Larutan ini diletakan kedalam ultrasonic bath selama 5 menit kemudian disaring. Dibuang 15 mL filtrat hasil penyaringan pertama dan teruskan penyaringan. Dipipet 2 mL filtrat ke dalam erlenmeyer 100 mL dan tambahkan 50 mL etilasetat. Larutan ini diletakan kedalam ultrasonic bath selama 5 menit lalu diukur serapannya dengan spektrofotometer UV. Spektrum yang didapatkan kemudian diolah dan didapatkan jenis senyawa yang telah diisolasi [2].

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Maserasi

Hasil ekstraksi 500 g gambir dengan metoda maserasi, diperoleh ekstrak kasar metanol yang sudah dikering anginkan sebanyak 349,831 g. Dari ekstrak kering sebanyak 349,831 g ini diperoleh katekin kotor 239,841 g yang masih bewarna coklat.

3.2 Pemurnian Senyawa

Dari hasil pemurnian katekin kotor sebanyak 76,993 g dengan menggunakan pelarut etil asetat, heksan dan air diperoleh katekin bewarna putih yang sesuai dengan literatur sebanyak 4,933 g dengan rendemen 3,073 %. Katekin yang didapat diuji kemurniannya menggunakan KLT dengan beberapa perbandingan eluen dan penampak noda uap I₂ dan sitroborat. Hasil KLT dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1 Hasil uji kemurnian senyawa menggunakan KLT berbagai eluen.

No.	Eluen	Rf	
		Uap I ₂	Sitroborat
1	etil asetat : metanol (8 : 2)	0,75	0,75
2	etil asetat : metanol (7 : 3)	0,78	0,78
3	etil asetat : metanol (5 : 5)	0,82	0,82
4.	metanol 100%	0,85	0,85

Dari data diatas dapat dinyatakan bahwa senyawa hasil isolasi telah murni karena noda yang muncul telah tunggal. Senyawa tersebut dapat disimpulkan bersifat relatif polar karena dengan ditingkatkannya kepolaran eluen nilai Rfnya meningkat.

3.3 Karakterisasi Senyawa Hasil Isolasi

Untuk memastikan senyawa hasil isolasi yang didapatkan telah murni maka dilakukan

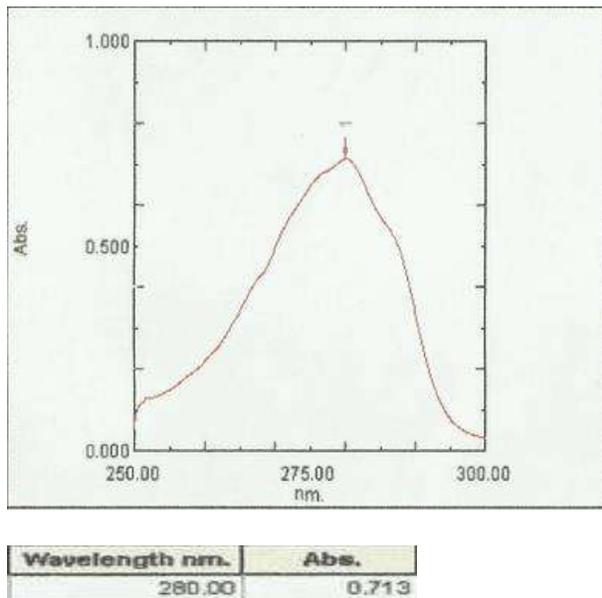
pengujian titik leleh, spektroskopi UV dan Spektroskopi Inframerah.

3.3.1 Titik leleh

Dari hasil pengujian titik leleh didapatkan titik leleh dari kristal adalah 175,8 - 177,4 °C. Berdasarkan rentang nilai titik leleh < 2 maka dapat diindikasikan senyawa hasil isolasi telah murni.

3.3.2 Spektroskopi UV

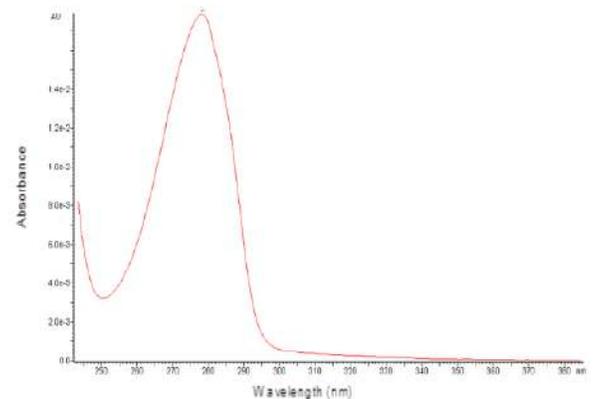
Karakterisasi senyawa hasil isolasi dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-1700 Series. Spektrum UV diperoleh dengan melewati cahaya dengan panjang gelombang tertentu melalui larutan encer senyawa tersebut dalam pelarut yang tidak menyerap cahaya pada panjang gelombang tersebut. Spektrum UV yang dihasilkan dengan menggunakan pelarut etil asetat memberikan serapan maksimum pada panjang gelombang 280,10 nm yang dapat dilihat pada Gambar



Gambar 1. Spektrum UV senyawa hasil isolasi dengan pelarut etil asetat

Umumnya senyawa yang mempunyai transisi $\sigma - \sigma^*$ mengabsorpsi cahaya pada panjang gelombang 150 nm, senyawa yang mempunyai transisi $\pi - \pi^*$ (tidak berkonjugasi) mengabsorpsi cahaya pada panjang gelombang 190 nm, sedangkan senyawa yang mempunyai transisi $n - \pi^*$ mengabsorpsi cahaya pada panjang gelombang 300 nm.

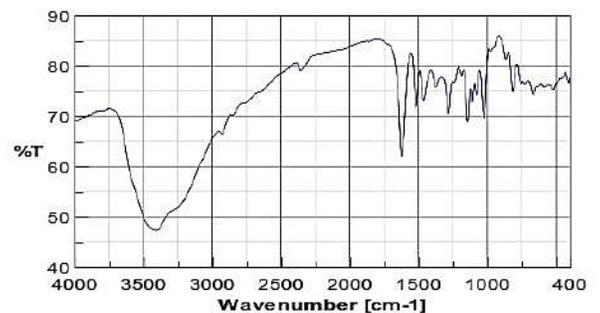
Berdasarkan penjelasan diatas pita serapan maksimum yang diperoleh dari spektrum UV yaitu 280,10 nm menandakan adanya eksitasi elektron dari $\pi - \pi^*$. Untuk lebih memastikan bahwa hasil yang didapatkan merupakan senyawa katekin maka spektrum UV senyawa hasil isolasi dibandingkan dengan spektrum UV senyawa katekin dari literatur [10]. Dari perbandingan spektrum ini dapat dinyatakan bahwa senyawa hasil isolasi ini telah murni dengan serapan standar sama yaitu pada bilangan gelombang 280 nm. Spektrum pembanding tersebut dapat diamati pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum UV senyawa katekin literatur.

3.3.3 Spektroskopi Inframerah

Karakterisasi senyawa hasil isolasi memperlihatkan beberapa serapan penting yang terlihat pada gambar berikut.

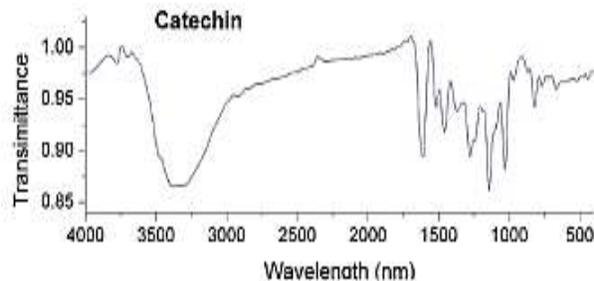


Gambar 3. Spektrum Inframerah senyawa hasil isolasi.

Pada spektrum memperlihatkan bilangan gelombang 3393,37 , 1628,40 , 1522,59 , 1468,23 , 1289,85 , dan 1052,99 cm-1. Indikasi beberapa pita serapan penting yaitu pita serapan -OH pada vibrasi regangan 3393,37 cm-1, regangan - OH bebas ini didukung oleh adanya vibrasi ulur C-O pada daerah 1052,99 cm-1. Pada daerah 1628,40 cm-

1 menandakan adanya C=C aromatis, sedangkan pada daerah 1468,23 cm⁻¹ ada tekuk C-H dari CH₂.

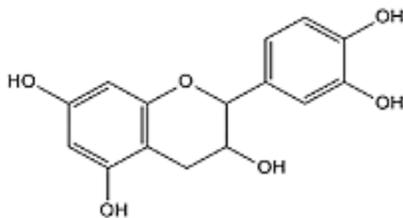
Untuk lebih memastikan bahwa hasil yang didapatkan merupakan senyawa katekin maka spektrum IR senyawa hasil isolasi dibandingkan dengan spektrum IR senyawa katekin dari literatur [11]. Spektrum pembandingan tersebut dapat diamati pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektrum IR senyawa katekin dari literatur

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa senyawa hasil isolasi dari gambir ini merupakan senyawa golongan flavonoid yaitu katekin yang berwarna putih.



Gambar 5. Struktur katekin

Metoda untuk pemurnian katekin ini lebih sederhana dari peneliti sebelumnya. Katekin yang didapatkan sebanyak 4,933 g dengan rendemen 3,073%. Senyawa hasil isolasi ini memiliki titik leleh 175,8- 177,4°C dan serapan maksimumnya pada panjang gelombang 280 nm.

Referensi

1. Thorpe, J. F.; Whiteley, M. A.: Thorpe's Dictionary of Applied Chemistry. Fourth edition. Vol II. Longmans Green and Co. London 1921, 434-438.
2. Nazir, M.: Gambir: Budidaya, Pengolahan dan Prospek Diversifikasinya. Yayasan Hutanku 2000, 125-126.

3. Suherdi, A. D.; Syamsu, H.: Budidaya dan pasca panen gambir serta permasalahannya. Biro Bina Pengembangan Sarana Perekonomian 1991, 47.
4. Djanun, L. N. C.: Peluang ekspor gambir dipasar Internasional. BPEN, Depperindak 1998, 47.
5. Ferdinal, N.; Nazir, N.: Studi Pemurnian Gambir Untuk Mendapatkan Catechin Murni. Prosiding Seminar Nasional Gambir 2001.
6. Ferdinal, N.: Pemurnian Catechin Dari Gambir Koto Panjang Pesisir Selatan. Jurnal Riset Kimia Vol.5 No. 1 2011, 40-45.
7. Ferdinal, N.: Isolasi Dan Karakterisasi Catechin Dari Gambir. Prosiding Seminar Nasional Kimia Dan Pendidikan Kimia 2011.
8. Rahmawati, N.; Bakhtiar, A.; Putra, D. P.: Isolasi Katekin dari Gambir (*Uncaria gambir*(Hunter).Roxb) untuk Sediaan Farmasi dan Kosmetik. Jurnal Penelitian Farmasi Indonesia 2012, 6-10.
9. Muchtar, H.; Yusmeiarti.; Yeni, G.: Pengaruh Jenis Absorban Dalam Proses Isolasi Katechin Gambir. Jurnal Riset Industri Vol. 2 No.1 2008, 14-23.
10. File:Spectre UV-vis catechine.PNG, https://en.wikipedia.org/wiki/File%3ASpectre_UV-vis_catechine.PNG
11. Sheng Geng, Sharui Shan, Hanjun Ma, Benguo Liu* : Antioxidant Activity and α -Glucosidase Inhibitory Activities of the Polycondensate of Catechin with Glyoxylic Acid, PLOS ONE DOI:10.1371/journal.pone.0150412, 2016, 1-10.

KINERJA KARBON AKTIF SABUT KELAPA SEBAGAI ELEKTRODA KAPASITOR LAPIS RANGKAP LISTRIK

Hermansyah Aziz¹, Olly Norita Tetra¹, Natasha Dwi Putri*

¹Laboratorium Kimia Fisika, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang, 25163 Indonesia

*Email: putrinatashadwi@gmail.com

Abstrak : Dalam penelitian ini karbon aktif disintesis dari limbah sabut kelapa yang belum banyak dimanfaatkan. Proses aktivasi menggunakan aktivator KOH dengan perbandingan massa 1:2 (sabut kelapa : KOH) dan dikarbonisasi secara satu tahap pada suhu 400°C selama 2 jam. Karbon aktif sabut kelapa memiliki luas permukaan spesifik sebesar 1,2561 m²/g, volume pori sebesar 0,004235 cm³/g, dan diameter pori sebesar 20,1256 nm. Nilai kapasitansi maksimum sebesar 18,83 mF dan konduktivitas maksimum sebesar 4,65x10⁻⁴ cm⁻¹Ω⁻¹ didapatkan dengan ukuran plat elektroda 3 x 9 cm², frekuensi 100 Hz, tebal rangkaian 1,27 mm, konsentrasi larutan elektrolit H₃PO₄ 0,25 N, dan waktu pengisian selama 30 menit.

Kata kunci : Karbon aktif sabut kelapa, kapasitor lapis rangkap listrik, kapasitansi, aktivator KOH

1. Pendahuluan

Seiring bertambahnya waktu kemajuan di bidang teknologi semakin meningkat, salah satunya adalah teknologi elektronik. Peralatan elektronik tentunya sangat dibutuhkan oleh manusia untuk membantu pekerjaan sehari - hari. Peralatan elektronik tentunya membutuhkan energi, selama ini sumber energi berasal dari air, angin, dan cahaya matahari, namun tetap saja masih dirasa kurang optimum [1]. Untuk memenuhi kebutuhan energi dibutuhkan peralatan penyimpan energi, salah satunya adalah baterai. Tetapi baterai hanya mampu menyimpan energi dalam jumlah yang kecil dan berbahaya bagi lingkungan karena menghasilkan limbah B3. Oleh sebab itu orang - orang pada saat ini banyak beralih menggunakan kapasitor lapis rangkap listrik [2][3].

Kapasitor lapis rangkap listrik merupakan peralatan penyimpan energi yang dapat diisi dan dikosongkan dalam hitungan menit serta dianggap lebih ramah lingkungan karena menggunakan elektroda karbon yang berasal dari biomassa [4]. Karbon secara luas digunakan sebagai elektroda kapasitor lapis rangkap listrik karena stabilitasnya yang bagus dan harganya yang relatif murah [5].

Sabut kelapa memiliki kandungan lignin (45,84%), selulosa (43,44%), hemiselulosa (0,25%) pektin (3,00%) dan abu (2,22%) [6]. Kandungan lignin yang tinggi memberikan keuntungan dalam pembuatan karbon aktif karena 60% kandungan lignin adalah karbon[4].

KOH merupakan salah satu senyawa yang banyak digunakan. Sampai saat ini telah banyak karbon aktif dari biomassa yang diaktivasi menggunakan KOH seperti beligo [7], serbuk kayu [8], ampas kopi [9] dan buah delima [5].

Dalam pembuatan kapasitor lapis rangkap listrik, larutan elektrolit merupakan salah satu komponen yang penting. Larutan yang berbeda akan memberikan jumlah muatan dan ukuran ion yang berbeda dan menyebabkan nilai kapasitansi yang didapatkan juga berbeda [10].

Sejauh ini belum banyak dilaporkan penggunaan karbon aktif sabut kelapa sebagai bahan elektroda kapasitor lapis rangkap listrik. Karbon aktif sabut kelapa umumnya digunakan sebagai adsorben logam - logam berat pada air dan udara [4]. Pada penelitian penggunaan karbon aktif sabut kelapa sebagai bahan elektroda kapasitor lapis rangkap listrik akan dipelajari lebih lanjut.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *stirrer* (IKA'C-MAGHS4), *furnace* (Nabertherm), oven (Nabertherm), kabel buaya, neraca analitis (Mettler PM4000), mikrometer sekrup digital (Krisbow 06000780678) dan peralatan gelas laboratorium lainnya. Peralatan instrumen yang digunakan adalah charger (Handphone Nokia 5V), LCR-Meter (SANWA LCR700), Multimeter (SANWA CD800a), SEM- EDX (Jeol JSM-6510LA), FTIR (Shimadzu8400) dan SAA (Surface Area Analyzer) (Autosorb-1).

2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah sabut kelapa (yang diambil dari pedagang kelapa di kota padang, Kalium Hidroksida (KOH) (Merck), Asam Klorida (HCl) (Merck), Asam Pospat (H₃PO₄) (Merck), Polivinil Alkohol (PVA), plat tembaga, kaca, lem kertas, aluminium voil, dan akuades.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Preparasi Karbon Aktif Sabut Kelapa

Sabut kelapa dipotong kecil - kecil, dibersihkan, dan dicuci menggunakan akuades kemudian dikeringkan pada suhu $\pm 110^{\circ}\text{C}$ sampai didapatkan berat konstan. Sabut kelapa yang telah kering dihaluskan menggunakan gerinder sampai didapatkan bubuk sabut kelapa. 5 gram bubuk sabut kelapa direndam dalam 80 mL larutan KOH 1 N, diaduk selama 4 jam kemudian disaring, dicuci menggunakan akuades beberapa kali dan dikeringkan. Untuk proses aktivasi 1 gram bubuk sabut kelapa yang telah diperlakukan dengan KOH 1 N ditambahkan 2 gram KOH dalam 5 mL akuades, diaduk selama 15 menit kemudian disaring dan dikeringkan [9]. Bubuk sabut kelapa dikarbonisasi pada suhu 400°C selama 2 jam. Karbon yang didapatkan dihaluskan dan diayak menggunakan saringan $45\ \mu\text{m}$, kemudian dicuci menggunakan HCl sampai didapatkan pH netral dan dilanjutkan pencucian menggunakan akuades beberapa kali. Karbon yang didapatkan akan digunakan sebagai bahan elektroda kapasitor lapis rangkap listrik.

2.3.2 Karakterisasi Karbon Aktif Sabut Kelapa

Karbon aktif sabut kelapa dikarakterisasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), *Surface Area Analyzer* (SAA) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

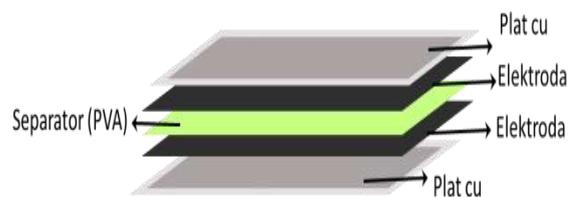
2.3.3 Pembuatan Separator

1 gram PVA $((\text{CH}_2\text{CHOH})_n)$ dilarutkan dengan 20 mL larutan H_3PO_4 dengan konsentrasi 0,1 N. Campuran distirrer pada suhu 50°C diatas *hot plate* sampai homogen. Setelah homogen, campuran dituangkan kedalam *petridish* dan dibiarkan sampai kering secara alami. Langkah yang sama dilakukan untuk konsentrasi larutan H_3PO_4 0,2 N, 0,25 N, 0,3 N, 0,4 N, 0,5 N.

2.3.4 Pembuatan Plat Elektroda Superkapasitor

Tembaga dibersihkan agar tidak ada pengotor yang menempel. Plat tembaga dipotong dengan ukuran $3 \times 3\ \text{cm}^2$, $3 \times 5\ \text{cm}^2$, $3 \times 7\ \text{cm}^2$ dan $3 \times 9\ \text{cm}^2$ sebanyak dua buah plat untuk masing - masing ukuran. Plat tembaga tersebut ditimbang dan massanya dicatat. Karbon aktif dengan massa tertentu direkatkan pada permukaan plat tembaga menggunakan lem kertas. Rangkaian kapasitor lapis rangkap disusun dengan kedua elektroda disusun seperti *sandwich* yang dipisahkan oleh separator PVA (Polivinil Alkohol) yang mengandung larutan elektrolit H_3PO_4 di bagian tengahnya (Gambar 1). Kemudian rangkaian tersebut dijepit dengan

penjepit kertas dan kaca agar tidak lepas dan dihubungkan dengan arus listrik.



Gambar 1. Rangkaian Superkapasitor Metoda Plat

2.3.5 Pengukuran Sifat-sifat Listrik dari Rangkaian Superkapasitor

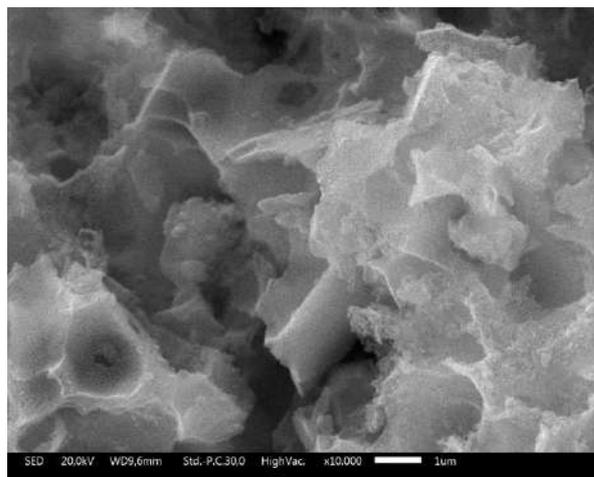
Pengukuran sifat listrik dilakukan untuk mengetahui nilai kapasitansi (C), induktansi (L), dan resistensi (R) menggunakan alat LCR-Meter serta mengetahui nilai arus (A) dan tegangan (V) menggunakan multimeter.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Kacang Tanah dan Karbon Limbah Baterai

3.1.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Morfologi permukaan karbon aktif sabut kelapa dapat diamati menggunakan peralatan SEM dan memberikan gambaran mendetail mengenai bentuk pori pada karbon aktif. Gambar 2 menunjukkan pori - pori pada permukaan karbon aktif sabut kelapa mulai terbentuk akibat perlakuan aktivasi fisika dan kimia. Pori - pori yang terbentuk memiliki kedalaman yang dangkal dan diameter pori yang besar, hal ini diakibatkan penggunaan gas oksigen pada saat proses karbonisasi yang dapat merusak pori yang terbentuk.



Gambar 2. Hasil karakterisasi SEM karbon aktif sabut kelapa dengan perbesaran 10.000 kali pada suhu karbonisasi 400°C selama 2 jam dan ukuran partikel $45\ \mu\text{m}$

3.1.2 Energi Dispersive X-Ray (EDX)

Karakterisasi EDX dilakukan untuk menganalisa unsur-unsur yang terkandung di dalam karbon aktif sabut kelapa. Hasil karakterisasi EDX terhadap karbon aktif sabut kelapa terdapat dalam Tabel 1

Berdasarkan Tabel 1 terlihat karbon aktif sabut kelapa mengandung unsur karbon (C), oksigen (O), silikon (Si), kalium (K), dan aluminium (Al). Komposisi unsur C dengan % massa paling tinggi menandakan aktivator KOH mendegradasi ikatan - ikatan karbohidrat pada sabut kelapa dengan baik. Unsur O berasal dari gugus fungsi dan air yang dihasilkan dari reaksi antara aktivator dengan sabut kelapa. Untuk unsur kalium berasal dari sisa aktivator yang masih terdapat dalam karbon aktif, sedangkan untuk unsur silikon dan aluminium kemungkinan berasal dari mineral-mineral yang terkandung dalam pada bahan dasar yang digunakan.

Tabel 1. Komposisi unsur yang terkandung didalam karbon aktif sabut kelapa

Unsur	Berat (%)
C	67,70
O	26,00
Si	3,34
K	2,55
Al	0,03

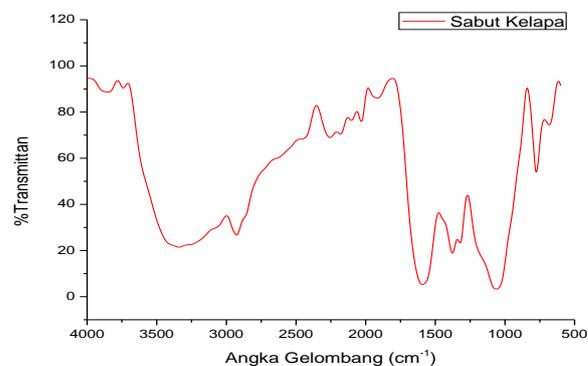
Menurut standar nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995 tentang karbon aktif, karbon aktif yang baik memiliki kadar karbon minimal 65%, dan dalam penelitian ini kadar karbon yang didapatkan sebesar 67,70% yang menandakan bahwa karbon aktif sabut kelapa memenuhi syarat sebagai karbon aktif [11]. Semakin banyak unsur karbon yang terkandung maka semakin banyak muatan yang akan tersimpan, karena yang berperan menyimpan muatan dalam kapasitor lapis rangkap listrik adalah karbon[12].

3.1.3. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

FTIR dilakukan untuk menentukan gugus fungsi yang terdapat pada permukaan karbon aktif sabut kelapa, hasil spektrum FTIR ditunjukkan pada Gambar 3

Permukaan karbon aktif mengandung beberapa gugus fungsi dan tidak akan pernah terlepas dari oksigen kecuali dipanaskan diatas suhu 950°C dalam keadaan vakum [13]. Spektrum FTIR karbon aktif sabut kelapa pada angka gelombang 3339,97 cm⁻¹ menunjukkan adanya

stretching OH hidroksil. Pada angka gelombang 2926,67 cm⁻¹ menunjukkan adanya stretching metilena (>CH₂). Pada angka gelombang 1992,95 cm⁻¹ menunjukkan adanya stretching C=C pada cincin aromatik. Angka gelombang 1322,08 cm⁻¹ menunjukkan adanya bending OH dan angka gelombang 1062,21 cm⁻¹ menunjukkan adanya stretching C-O alkil yang tersubsitusi eter [14].

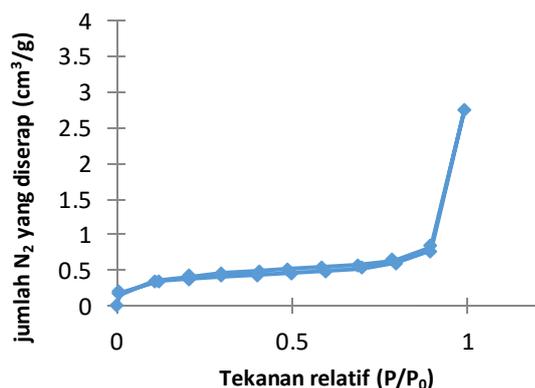


Gambar 3. Spektrum FTIR karbon aktif sabut kelapa

3.1.4 Surface Area Analyzer (SAA)

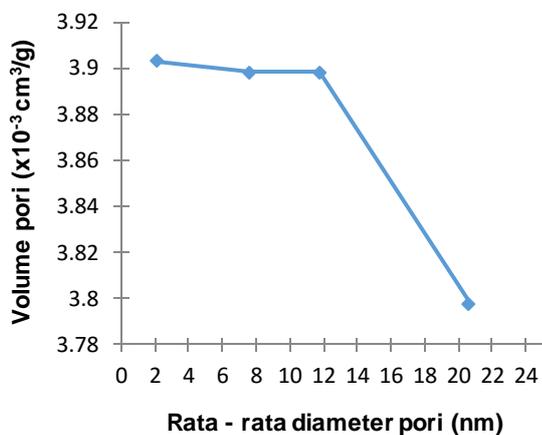
Analisa SAA dilakukan untuk menentukan luas permukaan, ukuran pori, volume pori dan adsorpsi serta desorpsi dari karbon aktif. Analisa ini menggunakan alat Surface Area Analyzer dengan metode Brunauer Emmet Teller-Barret Joyner Halenda (BET-BJH). Analisa dengan metode BET dilakukan untuk menentukan luas permukaan spesifik dari karbon aktif sabut kelapa dan jenis kurva isothermnya. Metode BJH dilakukan untuk mengetahui volume pori dan ukuran pori dari karbon aktif sabut kelapa. Berdasarkan hasil analisa BET dan BJH didapatkan luas permukaan spesifik dari karbon aktif sabut kelapa sebesar 1,2516 m²/g, volume pori sebesar 0,004235 cm³/g dan rata - rata diameter pori sebesar 20,1256 nm. Kurva isotherm BET dari karbon aktif sabut kelapa dapat dilihat pada gambar 4

Berdasarkan gambar 4 terlihat bahwa kurva isotherm BET menunjukkan bahwa karbon aktif yang terbentuk memiliki struktur mesopori dan ditunjukkan oleh loop histerisis pada tekanan relatif (<0,1P/P₀<0,9). Pada tekanan relatif rendah, hanya terjadi sedikit penyerapan sampai pada tekanan relatif P/P₀ = 1 terjadi penyerapan yang tinggi yang membuktikan bahwa karbon aktif yang terbentuk merupakan tipe IV [15] dan didukung oleh data SEM yang memperlihatkan diameter pori yang besar.



Gambar 4. Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi N₂ karbon aktif sabut kelapa

Gambar 5 menunjukkan semakin besar diameter pori maka volume pori yang terbentuk juga semakin kecil. Karbon aktif dengan diameter yang kecil (mikropori) memberikan kinerja yang baik sebagai elektroda kapasitor lapis rangkap listrik [16], tetapi kombinasi struktur mesopori dan mikropori akan memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan struktur mikropori saja. Berdasarkan gambar terlihat diameter pori berada di rentang 2 – 21 nm yang menandakan karbon aktif yang terbentuk memiliki struktur mesopori dan didukung juga oleh hasil karakterisasi SEM dan kurva BET.



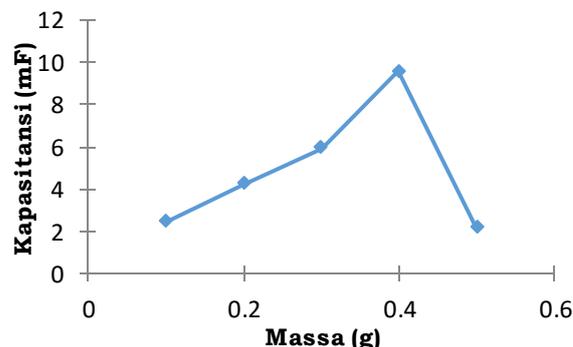
Gambar 5. Hubungan antara rata - rata diameter pori dengan volume pori

3.2 Pengukuran Sifat-Sifat Listrik

3.2.1 Pengaruh variasi massa karbon aktif terhadap kinerja elektroda kapasitor lapis rangkap listrik

Massa karbon merupakan salah satu parameter yang menentukan banyaknya muatan yang tersimpan di dalam karbon aktif dan akan membentuk lapis rangkap listrik, oleh karena itu dilakukan pengukuran nilai kapasitansi terhadap karbon aktif sabut kelapa yang digunakan sebagai elektroda kapasitor lapis rangkap listrik. Variasi

massa karbon aktif juga dilakukan untuk mendapatkan ketebalan optimum dari rangkaian kapasitor lapis rangkap listrik.



Gambar 6. Pengaruh variasi massa terhadap nilai kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik

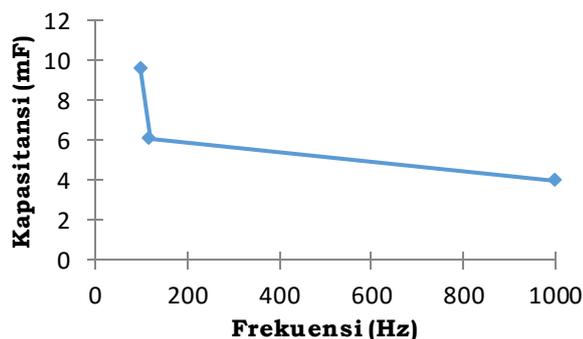
Gambar 6 memperlihatkan bahwa nilai kapasitansi meningkat dengan bertambahnya massa karbon aktif yang digunakan sampai pada massa 0,4 g dan menurun pada massa 0,5 g. Naiknya nilai kapasitansi terjadi karena semakin banyak karbon aktif yang digunakan maka semakin tebal plat elektrodanya yang terbentuk dan semakin banyak muatan yang tersimpan untuk membentuk lapis rangkap listrik. Sedangkan menurunnya nilai kapasitansi pada massa 0,5 diakibatkan karena apabila plat terlalu tebal akan menyebabkan jarak tempuh muatan akan semakin jauh, sehingga tidak banyak muatan yang tersimpan dan nilai kapasitansi menurun [17]. Nilai kapasitansi maksimum didapatkan pada massa 0,4 g sebesar 9,63 mF dengan ketebalan optimum 1,27 mm

3.2.2 Pengaruh frekuensi terhadap nilai kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik

Perubahan frekuensi yang digunakan akan menyebabkan perubahan pada nilai kapasitansi dari kapasitor lapis rangkap listrik. Semakin besar frekuensi yang diberikan mengakibatkan lebih banyak gelombang yang ditransmisikan, sebelum kapasitor terisi penuh arah arus listrik sudah berbalik sehingga terjadi pengosongan muatan secara cepat. Hal ini menyebabkan kemampuan kapasitor dalam menyimpan muatan berkurang [18].

Gambar 7 menunjukkan nilai kapasitansi yang paling optimum adalah pada nilai frekuensi rendah. Pada frekuensi 1000 Hz nilai kapasitansi yaitu 4,01 mF, nilai kapasitansi ini meningkat menjadi 9,63 mF pada frekuensi 100 Hz. Kapasitansi mencapai nilai maksimum pada frekuensi rendah karena pada frekuensi rendah

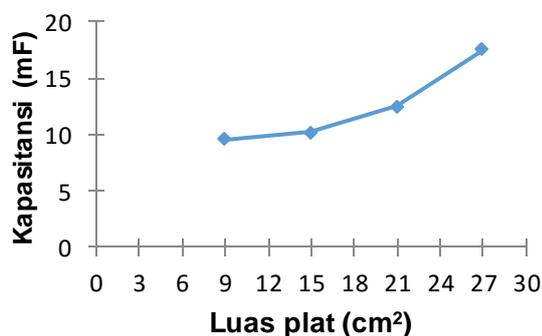
ion-ion elektrolit lebih mudah berpindah menuju elektroda membentuk lapis rangkap listrik [19].



Gambar 7. Pengaruh variasi frekuensi terhadap nilai kapasitansi dari kapasitor lapis rangkap listrik

3.2.3 Pengaruh variasi luas plat elektroda terhadap nilai kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik

Luas plat elektroda berbanding lurus dengan nilai kapasitansi [20], hal ini dikarenakan semakin banyak karbon aktif yang terdapat dalam rangkaian menyebabkan semakin banyak muatan yang tersimpan di dalam pori karbon dan semakin banyak lapis rangkap listrik yang terbentuk.

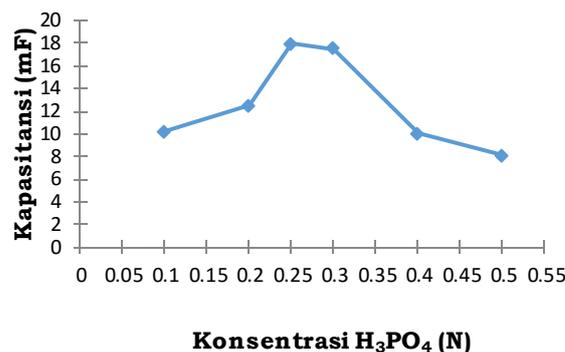


Gambar 8. Pengaruh variasi luas plat elektroda terhadap nilai kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik

Pada gambar 4.7 terlihat semakin besar luas plat elektroda yang digunakan semakin besar nilai kapasitansinya. Nilai kapasitansi maksimal didapatkan pada plat elektroda dengan ukuran 3x9 cm² yaitu sebesar 17,53 mF

3.2.4 Pengaruh konsentrasi larutan elektrolit H₃PO₄ terhadap nilai kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik

Konsentrasi larutan elektrolit dapat mempengaruhi kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik.

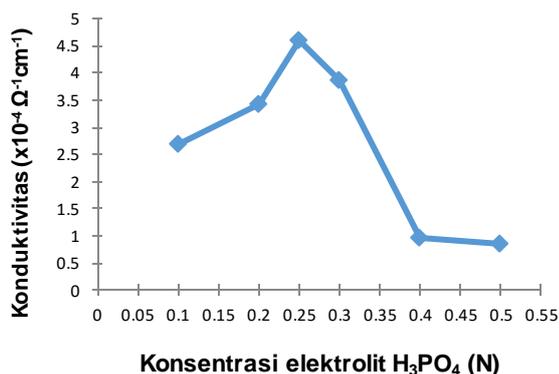


Gambar 9. Pengaruh variasi larutan elektrolit H₃PO₄ terhadap nilai kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik

Gambar 9 menunjukkan nilai kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik meningkat untuk konsentrasi 0,1; 0,2 dan 0,25 N kemudian turun pada konsentrasi 0,3 N sampai 0,5 N. Nilai kapasitansi maksimum didapatkan pada konsentrasi larutan elektrolit 0,25 N sebesar 17,73 mF. Naiknya nilai kapasitansi pada konsentrasi 0,1 sampai 0,25 N disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi maka akan semakin banyak muatan yang terserap ke dalam pori - pori karbon dan membentuk lapis rangkap listrik sedangkan turunnya nilai kapasitansi pada konsentrasi 0,3 sampai 0,5 N disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi larutan elektrolit semakin banyak muatan yang bergerak di dalamnya, sehingga saat proses pengisian muatan - muatan ini akan bergerak lambat dan menyebabkan penumpukan pada antar muka elektrolit dan pemisah. Terjadinya penumpukan ini mengakibatkan sulitnya muatan tersebut untuk kembali ke separator dan kemudian akan mengganggu transport muatan ke masing - masing elektroda. Suasana asam dari larutan elektrolit juga dapat menyebabkan kerusakan pada pori karbon aktif sehingga akan semakin sedikit muatan yang tersimpan [21][22].

3.2.5 Pengaruh konsentrasi larutan elektrolit H₃PO₄ terhadap konduktivitas elektroda superkapasitor

Konsentrasi elektrolit mempengaruhi nilai konduktivitas dari suatu elektroda superkapasitor. Nilai konduktivitas ini diperoleh dari perbandingan tebal plat elektroda terhadap nilai resistansi dan luas plat elektroda.

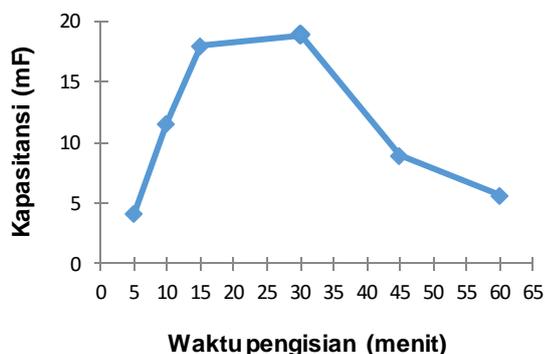


Gambar 10. Pengaruh konsentrasi larutan elektrolit H₃PO₄ terhadap nilai konduktivitas dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik

Gambar 10 menunjukkan bahwa nilai konduktivitas dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik meningkat dari konsentrasi 0,1 sampai konsentrasi 0,25 N dan turun untuk konsentrasi 0,3 sampai 0,5 N. Konduktivitas merupakan kemampuan suatu materi untuk menghantarkan arus listrik, semakin tinggi konsentrasi larutan elektrolit maka semakin cepat kemampuan untuk menghantarkan muatan dari separator menuju elektroda dan menyebabkan terjadinya penumpukan muatan yang menuju permukaan elektroda. Penumpukan muatan ini akan menyebabkan proses pengisian dan pengosongan terganggu. Peningkatan konsentrasi larutan elektrolit akan meningkatkan mobilitas ion namun dengan meningkatnya mobilitas ion dapat menyebabkan proses pengisian dan pengosongan kapasitor lapis rangkap listrik [22].

3.2.6 Pengaruh variasi waktu pengisian terhadap nilai kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik

Waktu pengisian merupakan waktu yang dibutuhkan untuk perpindahan muatan dari separator menuju elektroda dan membentuk lapis rangkap listrik. Lamanya waktu pengisian akan mempengaruhi nilai kapasitansi.



Gambar 11. Pengaruh variasi waktu pengisian terhadap nilai kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik

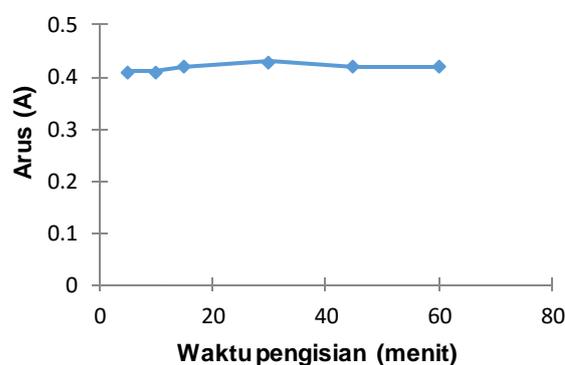
Gambar 11 menunjukkan bahwa nilai kapasitansi meningkat seiring bertambahnya waktu pengisian, namun terjadi penurunan setelah waktu pengisian 30 menit. Nilai kapasitansi maksimum didapatkan pada lama waktu pengisian 30 menit sebesar 18,83 mF, menurunnya nilai kapasitansi setelah waktu pengisian 30 menit diakibatkan karena semakin lama waktu yang digunakan untuk proses pengisian akan menyebabkan terjadinya perubahan mekanik pada separator PVA (*swelling*) karena adanya kenaikan suhu. Perubahan mekanik pada separator menyebabkan muatan tidak dapat bergerak menuju elektroda dan terjadi penumpukan sehingga akan menurunkan nilai kapasitansi dari kapasitor lapis rangkap listrik [21].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tumimomor (2018) karbon aktif sabut kelapa yang diaktivasi menggunakan KOH dan digunakan sebagai elektroda kapasitor lapis rangkap listrik memiliki nilai kapasitansi spesifik yang cukup besar yaitu 53,70 F/g [23]. Pada penelitian kali ini nilai kapasitansi yang didapatkan relatif kecil, perbedaan nilai kapasitansi yang cukup jauh ini dapat disebabkan oleh perbedaan aliran gas dan suhu yang digunakan pada saat proses karbonisasi.

3.2.7 Pengaruh variasi waktu pengisian terhadap sifat listrik kapasitor lapis rangkap listrik

3.2.7.1 Pengaruh waktu pengisian terhadap arus listrik

Pengukuran arus listrik dilakukan untuk mengetahui jumlah arus masuk ataupun arus keluar dalam membentuk lapis rangkap listrik pada waktu pengisian.



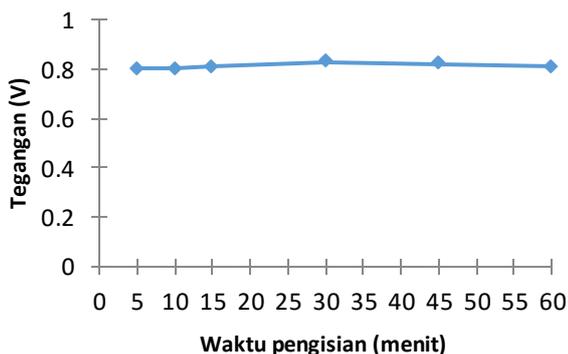
Gambar 12. Pengaruh waktu pengisian terhadap arus listrik dari kapasitor lapis rangkap listrik

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa nilai arus relatif konstan walaupun waktu pengisian ditingkatkan (data pada lampiran 10). Hal ini menandakan bahwa resistansi kapasitor lapis

rangkap listrik yang telah dirakit dapat menjaga arus yang keluar konstan. Diketahui juga bahwa kapasitor lapis rangkap listrik tidak mengeluarkan arus sekaligus melainkan mengeluarkan arus secara konstan [22][24].

3.2.7.2 Pengaruh waktu pengisian terhadap tegangan listrik

Pengukuran tegangan listrik dilakukan untuk mengetahui besar beda potensial pada waktu pengisian dalam membentuk lapis rangkap listrik.



Gambar 13. Pengaruh variasi waktu pengisian terhadap tegangan listrik dari kapasitor lapis rangkap listrik

Gambar 13 menunjukkan bahwa nilai tegangan listrik yang dihasilkan kapasitor lapis tangkap listrik relatif konstan walaupun waktu pengisiannya ditingkatkan. Ini menandakan telah terbentuk dipol yang sempurna pada elektroda kapasitor lapis rangkap listrik dalam membentuk lapis rangkap listrik [25].

3.2.8 Hubungan kapasitansi, jumlah muatan dan jumlah elektron kapasitr lapis rangkap listrik

Tabel 2. Hubungan kapasitansi, jumlah muatan dan jumlah elektron pada variasi konsentrasi elektrolit H₃PO₄ dari elektroda superkapasitor.

Konsentrasi elektrolit H ₃ PO ₄ (N)	Kapasitansi (mF)	Jumlah muatan (x 10 ³ Coulomb)	Jumlah elektron (x10 ²⁰ e ⁻)
0,1	10,20	984	61,424
0,2	12,49	1.205	75,215
0,25	17,73	1.710	106,770
0,3	17,53	1.692	105,566
0,4	10,01	966	60,280
0,5	8,13	784	48,959

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa karbon dari sabut kelapa yang diaktivasi menggunakan KOH dan proses karbonisasi langsung dapat digunakan sebagai elektroda kapasitor lapis rangkap listrik.

Jumlah muatan dihitung berdasarkan persamaan Faraday dan jumlah elektron berhubungan dengan bilangan avogadro. Nilai kapasitansi akan berbanding lurus dengan jumlah muatan dan jumlah elektron.

Tabel 4.2 menunjukkan semakin tinggi kapasitansi maka jumlah muatan dan jumlah elektron juga akan semakin meningkat. Jumlah muatan maksimum didapatkan pada konsentrasi larutan elektrolit 0,25 N sebesar 1.710 x 10³ Coulomb dan jumlah elektron maksimum juga didapatkan pada konsentrasi 0,25 N sebesar 106,770 x 10²⁰ e⁻.

Nilai kapasitansi, jumlah muatan dan jumlah elektron meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan elektrolit H₃PO₄, namun pada konsentrasi 0,3 N terjadi penurunan terhadap nilai kapasitansi, jumlah muatan dan jumlah elektron. Hal ini terjadi karena adanya penumpukan elektron disekitar permukaan elektroda akibat banyaknya elektron yang dihasilkan pada konsentrasi larutan elektrolit yang lebih tinggi [26]

Hasil karakterisasi SEM menunjukkan mulai terbentuknya pori - pori pada karbon aktif, berdasarkan hasil karakterisasi EDX didapatkan persen C sebesar 67,70% dengan struktur mesopori, luas permukaan spesifik 1,2561 m²/g, volume pori 0,004235 cm³/g dan diameter pori

rata - rata sebesar 20,156 nm yang didukung dengan data BET dan BJH. Karbon aktif sabut kelapa memiliki kinerja yang baik sebagai elektroda kapasitor lapis rangkap listrik dilihat dari hasil pengukuran LCR - meter yang memberikan nilai kapasitansi maksimum sebesar 18,83 mF dan nilai konduktivitas maksimum sebesar $4,56 \times 10^{-4} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$. Nilai kapasitansi dan konduktivitas maksimum didapatkan dengan ukuran karbon $45 \mu\text{m}$, ukuran plat elektroda $3 \times 9 \text{ cm}^2$, tebal rangkaian 1,27 mm, konsentrasi larutan elektrolit H_3PO_4 0,25 N dan waktu pengisian 30 menit.

Referensi

1. Burke, A.: Ultrasupercapacitors: Why, How, and Where is The Technplogy. *Journal of Power Science* 2000,9(1), 37-50.
2. Xu, T.; Wang, W.; Gordin, M.L.; Wang, D.; Choi, D.: Lithium-ion Batteries for Stationary Energy Storage. *Energy Storage Technologies* 2010,62(9), 24-30.
3. Kötzt, R.; Carlen, M.: Principles and Application of Electrochemical Capacitors. *Electrochemical Acta* 2000,45, 2483-2498.
4. Sesuk, T.; Tammawat, P.; Somton, K.; Limthongkul, P.; Kobsiriphat, W.: Activated Carbon Derived from Coconut Coir Pith as High Performance Supercapacitor Electrode Material. *Journal of Energy Storage* 2019, 25, 1-9.
5. Zang, J.; Tian, T.; Yang, G.; Jia, S.; Zhou, S.; Xu, H.; Wang, Y.: A Facile Preparation of Pomegranate-like Porous Carbon by Carbonization and Activation of Phenolic Resin Prepared via Hydrothermal Synthesis in KOH Solution for High Performance Supercapacitor Electrodes. *Advanced Powder Technology* 2019, 1-8.
6. Anggraini, V. Shear Strength Improvement of Sandy Soil Using Coconut Fiber. *International Journal of Civil Engineering and Technology* 2016,7(3), 2.
7. Yu, D.; Ma, Y.; Chen, M.; Dong, X.: KOH Activation of Wax Gourd-Derived Carbon Materials with High Porosity and Heteroatom Content for Aqueous or All-Solid-State Supercapacitors. *Journal of Colloid Interface Science* 2019, 537, 569-578.
8. Yang, L.; Feng, Y.; Cao, M.; Yao, J.: Two-Step Preparation of Hierarchical Porous Carbon from KOH-Activated Wood Sawdust for Supercapacitor. *Material Chemical Physic* 2019, 238.
9. Chiu, Y.H.; Lin, L.Y.: Effect of Activating Agent for Producing Activated Carbon using A Facile One-Step Synthesis with Waste Coffee Grounds for Symmetric Supercapacitor. *Journal of The Taiwan Institute of Chemical Engineers* 2019,101,177-185.
10. Borenstein, A.; Hanna, O.; Attias, R.; Luski, S.; Brousse, T.; Aurbach D.: Carbon-based composite materials for supercapacitor electrodes: a review. *Journal of Material Chem* 2017,5, 12653-12672.
11. Sahara, E.; Sulihingtyas, W.D.; Mahardika, I P.A.S.: Pembuatan dan Karakterisasi Arang AKktof dari Batang Tanaman Gumitir (*Tagetes erecta*) yang Diaktivasi dengan H_3PO_4 . *Jurnal Kimia* 2017, 11(1), 1-9
12. Jamilatun, S.; Setyawan, M.: Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya untuk Penyerapan Asap Cair. Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta 2014, 12(1), 1-14.
13. Marsh, H.; Reinoso, F.R.: Activated Carbon. Elsevier Science 2006.
14. Nandiyanto, A.B.D.; Oktiani, R.; Raghadita, R.: How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology* 2019, 4(1), 97-118
15. Thommes, M.; Kaneko, K.; Neimark, A.V.; Olivier, J.P.; Reinoso, R.F.; Rouquerol, J.; Sing, K.S.W.: Physisorption of Gases, with Special Reference to The Evaluation of Surface Area and Pore Size Distribution (IUPAC Technical Report). *IUPAC Technical Report* 2015,87(9-10), 1051-1069.
16. Ghosh, S., Santhosh, R., Jeniffer, S., Raghavan, V., Jacob, G., & Nanaji, K. et al.; Natural biomass derived hard carbon and activated carbons as electrochemical supercapacitor electrodes. *Scientific Reports*. 2019,9, 16315.
17. Fristina, R.: Pemanfaatan Kertas Karbon Sebagai Bahan Elektroda pada Superkapasitor, *Skripsi*. Fakultas MIPA, Universitas Andalas. 2016.
18. Juhiswari, Yuyun: Efek Ukuran Bulir Terhadap Kapasitansi Superkapasitor Dengan Elektroda Dari Komposit Ekstrak Pasir Besi Dan Arang Aktif Dari Kulit Biji Mete. *Skripsi*, FKIP Universitas Haluoleo: Kendari 2016.
19. Grandys, P.; Rika, D.; Istria, P.R.; Ahmad, F.; Amanda, P.: Analisis Luas Permukaan Arang Aktif Dengan Menggunakan Metode BET (SAA). Universitas Negeri Semarang: Semarang, 2004.
20. Pradana, H. Y.; Sintesis rGO/Glukosa dengan Variasi Perbandingan Massa dan

Proses Eksfoliasi Secara Kimia Untuk Bahan Elektroda Superkapasitor. *Skripsi*. Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Noverber, Surabaya, 2017.

21. Perdana, Y.A.: *Performance* Karbon Aktif dari Limbah Cangkang Kelapa Sawit sebagai Bahan Elektroda Superkapasitor, *Skripsi*. FMIPA, Universitas Andalas. 2017.
22. Fitriana, V. N., Diantoro, N., Nasikhudin: Sintesis dan Karakterisasi Superkapasitor Berbasis Nanopartikel Berbasis Nanopartikel TiO₂/C. *Skripsi*. FMIPA, Universitas Negeri Malang, 2014.
23. Tumimomor, F.R.; Palilingan, S.C.: Pemanfaatan Karbon Aktif dari Sabut Kelapa sebagai Elektroda Superkapasitor. *FULLERENE Journal of Chemistry* 2018, 3(1), 13-18.
24. Kaiwen, Z.; Yuanyuan, L.; Ming, Z.: The Porous Carbon Derived From Water Hyacinth With Well-Designed Hierarchical Structure For Supercapaitors. *Journal of Power Sources*. 2017, 366:270-277.
25. Aliza, R.: Pengaruh Suhu Pembakaran terhadap Performance TiO₂/C Berpendukung Keramik Sebagai Elektroda Superkapasitor. *Skripsi*, FMIPA Universitas Andalas. 2015.
26. Waltrip, B.; Seifert, F.: A Programmable Capacitor for Inductance Measurement. *IEEE Transaction on Instrumental and Measurement* 2017, 99, 1-7.

STUDI KOMPUTASI INHIBISI KOROSI BESI OLEH MOLEKUL MORIN DAN TURUNANNYA

Imelda¹, Emriadi¹, Iqbal Desriman^{1,*}

¹Laboratory of Electrochemical/Photochemical, Chemistry Department of Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Andalas University, Campus of Limau Manis, Padang 25163

*Email : iqbaelpoxc@gmail.com

Abstract: One of the serious problems in the industrial sector is the corrosion of metals or alloys, which causes enormous property losses. Metal damage due to corrosion also causes environmental damage which is a major concern in the metal industry, especially in acidic media. The use of organic inhibitors is the right solution for the prevention of metal corrosion because it is more environmentally friendly. In this study, a computational study was conducted to analyze the inhibition ability of iron anti-corrosion by 6 morine derivatives with gas and ethanol solvent phases using the Density Functional Theory (DFT) method with the base set B3LYP / 6-31G. The quantum chemical parameters obtained from the optimization results are the optimal geometric structure, EHOMO, ELUMO, dipole moment (DM), and total energy. From the EHOMO and ELUMO values obtained, the ionization potential (I), electron affinity (A), bandgap (ΔE), electronegativity (χ), hardness (η), softness (σ), electrophilicity (ω), nucleophilicity are calculated. (ϵ). Then the optimization of the Fe atom is also performed to obtain the value of charge transfer (ΔN), ΔE Back donation, and interaction energy ($\Delta\psi$). From the calculation of these quantum chemical parameters, 3 gas-phase inhibitors were selected to be optimized with the Fe atom so that the values of Eads, Ebinding, enthalpy (ΔH), free energy Gibbs (ΔG), and entropy energy (ΔS) were selected which indicates that inhibitor 2 (substituted) groups R1 (-CH3) and R2 (-CH3)) have better anti-corrosion inhibition ability than inhibitors 1,3,4,5, and 6.

Keywords : DFT, Morine, Inhibition, Iron

1. Pendahuluan

Salah satu masalah serius di sektor industri adalah korosi logam atau paduan, yang menyebabkan kerugian properti yang sangat besar[1]. Kerusakan logam akibat korosi juga menyebabkan kerusakan lingkungan yang menjadi perhatian utama dalam industri logam, terutama di media asam. karena itu, ada permintaan yang tinggi untuk mengembangkan metode pencegahan korosi atau mengurangi laju korosi[2].

Pendekatan yang paling ramah lingkungan dan hemat biaya untuk mencegah logam terhadap korosi adalah dengan menggunakan inhibitor organik[3]. Efisiensi penghambatan suatu inhibitor dalam lingkungan tertentu sangat dipengaruhi oleh struktur kimia dan interaksinya dengan permukaan logam. Banyak senyawa organik heterosiklik yang mengandung nitrogen, belerang, oksigen, fosfor dan elektron π dikenal sebagai penghambat korosi baja yang efektif, karena mereka terserap pada permukaan logam dan membentuk film penghalang yang

efektif[4]. Secara umum diasumsikan bahwa molekul organik dapat diadsorpsi pada permukaan logam melalui beberapa gugus aktif seperti heteroatom yang mengandung atom O, N, S, P, -C=O, -OH, ikatan rangkap dua atau tiga cincin aromatic[5]. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa sebagian besar inhibitor organik mengurangi laju korosi melalui adsorpsi pada permukaan logam dan kinerja penghambatan dengan keberadaan atom-atom yang mempunyai pasangan elektron bebas mengikuti urutan $O < N < S < P$ [6].

Kimia komputasi merupakan cabang ilmu kimia yang menggunakan hasil kimia teori yang diterjemahkan ke dalam program komputer untuk menghitung sifat-sifat molekul dan perubahannya. Kimia komputasi juga dapat melakukan simulasi terhadap sistem-sistem besar seperti molekul protein dan kristal cair. Sifat molekul yang dapat dihitung yaitu struktur atom, energi, perubahan energi, muatan, momen dipol, kereaktifan, frekuensi getaran, dan besaran spektroskopi. Metode perhitungan

dalam kimia komputasi yang paling banyak digunakan adalah metode *Density Functional Theory* (DFT) karena hasil penelitiannya yang akurat mendekati hasil eksperimen[7].

Beberapa penelitian secara komputasi tentang inhibisi korosi besi telah banyak dilakukan diantaranya yaitu efisiensi inhibisi korosi dan adsorpsi N-dimetil-4 - (((1-metil-2-fenil-2,3-dihidro-1H-pyrazol4-il) imino) metil) - *N-alkylbenzenaminium bromide* pada baja karbon dalam asam klorida[8], dan studi kimia eksperimental dan komputasi dari dua senyawa imidazol sebagai inhibitor korosi untuk baja ringan dalam larutan HCl[2].

Salah satu senyawa organik yang berpotensi menjadi inhibitor korosi adalah morin. Morin adalah senyawa organik yang banyak terdapat pada tumbuhan seperti kulit dan daun nangka, daun jambu biji dll. Senyawa morin merupakan senyawa golongan flavonoid dan polifenol yang mengandung elektron π berkonyugasi cincin aromatik dan atom oksigen. Pada farmakologis morin dilaporkan memiliki sifat antioksidan, inhibitor oksidasi, anti inflamasi[9]. Berdasarkan strukturnya, morin memiliki atom O dan elektron π berkonyugasi sehingga potensial digunakan sebagai inhibitor korosi.

Berdasarkan uraian tersebut maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian secara komputasi menggunakan metode DFT tentang efisiensi senyawa morin dan turunannya sebagai inhibitor korosi besi (Fe).

2. Metodologi Penelitian

2.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu seperangkat PC komputer dan perangkat lunak (*software*) Gaussian 16 W dan Gauss View 6.0

2.2 Molekul

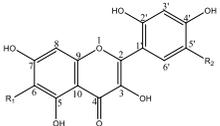
Molekul yang dianalisis untuk penelitian ini adalah molekul morin dan turunannya serta atom Fe dalam fasa gas dan pelarut etanol

2.3 Prosedur penelitian

2.3.1 Penggambaran struktur molekul dan struktur elektronik

Molekul morin dan turunannya seperti yang terlihat pada Tabel 1 digambarkan menggunakan Gauss view 6.0

Tabel 3.1. Struktur kerangka morin dan turunannya

Struktur Kerangka Morin	Senyawa Turunan Morin	R1	R2
	1	H	H
	2	CH ₃	CH ₃
	3	H	CH ₃
	4	CH ₃	H
	5	OH	CH ₃
	6	CH ₃	OH

2.3.2 Optimasi molekul turunan morin

Molekul turunan morin dalam fasa gas dan pelarut etanol dioptimasi dengan pengaturan optimasi + frekuensi menggunakan paket program Gaussian 16 W metode perhitungan DFT dan basis set B3LYP/6-31G. Output data berupa struktur geometri optimal, E_{HOMO} , E_{LUMO} , Contour HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) dan LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital), energi total, momen dipol serta ESP (Elektrosatik Potensial). Kemudian ditentukan nilai bandgap (ΔE), potensial ionisasi (I), afinitas elektron (A), elektronegativity (χ), hardness (η), softness (σ), elektrofilisitas (ω), nukleofilisitas (ϵ), ΔN (transfer muatan), $\Delta E_{Back\ Donation}$, energi interaksi ($\Delta\psi$). Nilai-nilai tersebut didapatkan berdasarkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \Delta E &= E_{LUMO} - E_{HOMO} & \epsilon &= \frac{1}{\omega} \\ \chi &= \frac{-E_{HOMO} - E_{LUMO}}{2} & \Delta N &= \frac{X_{fe} - X_{inh}}{2(\eta_{Fe} + \eta_{inh})} \\ \eta &= \frac{E_{LUMO} - E_{HOMO}}{2} \\ \sigma &= \frac{1}{\eta} & \Delta E_{Back\ Donation} &= -\frac{\eta}{4} \\ \omega &= \frac{\chi^2}{2\eta} = \frac{\mu}{4} & \Delta\psi &= -\frac{(X_{fe} - X_{inh})^2}{4(\eta_{Fe} + \eta_{inh})} \end{aligned}$$

Berdasarkan parameter diatas kemudian dianalisis kestabilan inhibitorynya.

2.3.3 Optimasi molekul turunan morin yang berinteraksi dengan Fe

Molekul morin yang berikatan dengan atom Fe kemudian dilakukan optimasi+frekuensi menggunakan paket program Gaussian 16 W

dengan metode perhitungan DFT dan basis set B3LYP/6-31G. Hasil optimasi berupa struktur geometri optimal, entalpi, energi bebas gibbs dan entropi. Setelah itu ditentukan nilai energi adsorpsi dan energi *binding* dengan persamaan berikut:

$$E_{ads} = E_{kompleks} - (E_{Fe} + E_{inh})$$

$$E_{binding} = -E_{ads}$$

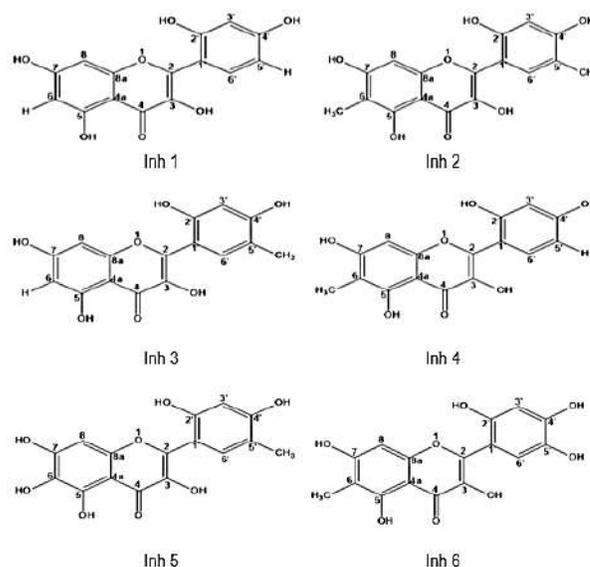
Berdasarkan parameter energi adsorpsi, energi *binding*, energi entalpi, energi bebas gibbs dan energi entropi kemudian dianalisis:

1. Mekanisme interaksi antara molekul morin dengan atom Fe
2. Efisiensi inhibisi molekul morin terhadap korosi besi
3. Struktur turunan molekul morin yang efisien sebagai inhibitor korosi.

3. Hasil dan Diskusi

Molekul morin dan turunannya merupakan molekul yang bisa dijadikan sebagai inhibitor korosi karena mengandung atom oksigen dan elektron π dalam stukturanya. Penelitian ini Dalam penelitian ini, enam molekul morin dan turunannya dipilih untuk dianalisis efisiensi anti korosi besi. Objektif penelitian ini adalah untuk menganalisis beberapa molekul turunan morin sebagai inhibitor korosi secara komputasi

3.1 Struktur molekul inhibitor



Gambar 3.1 Struktur molekul dari turunan molekul morin

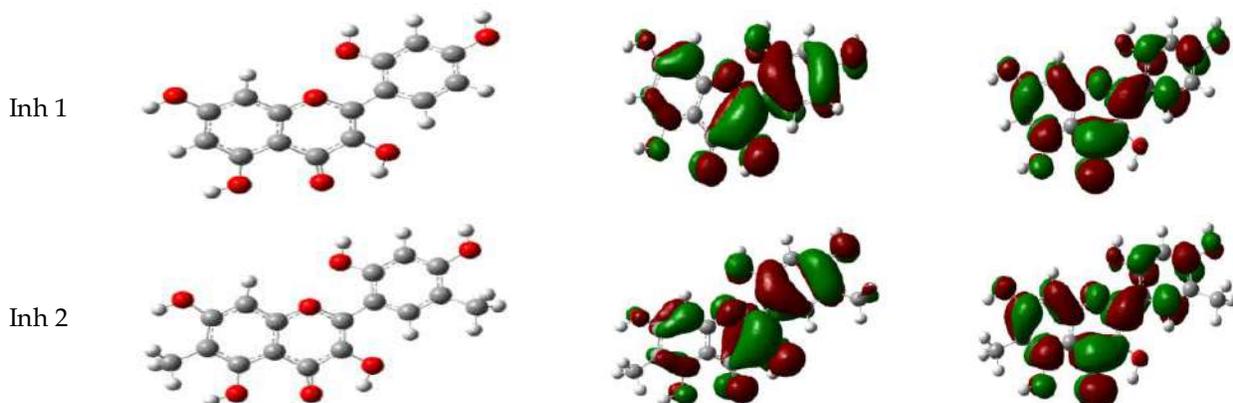
menggunakan metode DFT seperti terlihat pada Gambar 3.1.

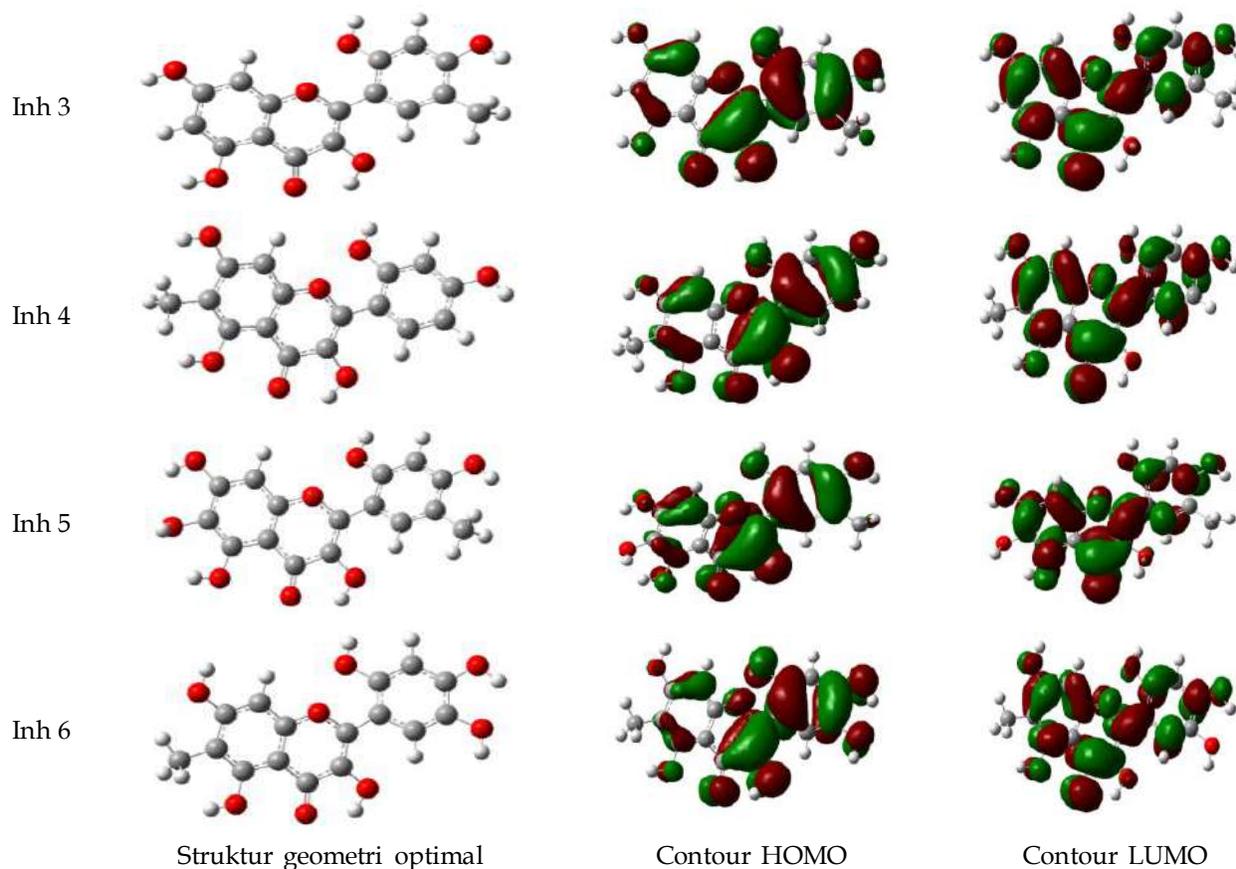
mengetahui kinerja anti korosi dengan menerapkan perhitungan parameter kimia kuantum.

mengetahui kinerja anti korosi dengan menerapkan perhitungan parameter kimia kuantum.

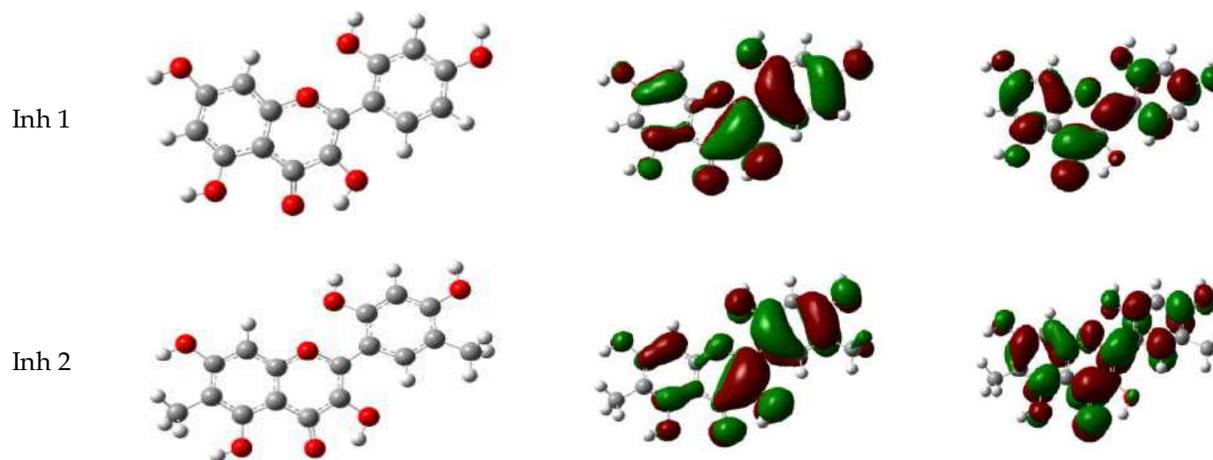
3.2 Struktur geometri, Contour HOMO-LUMO dan ESP

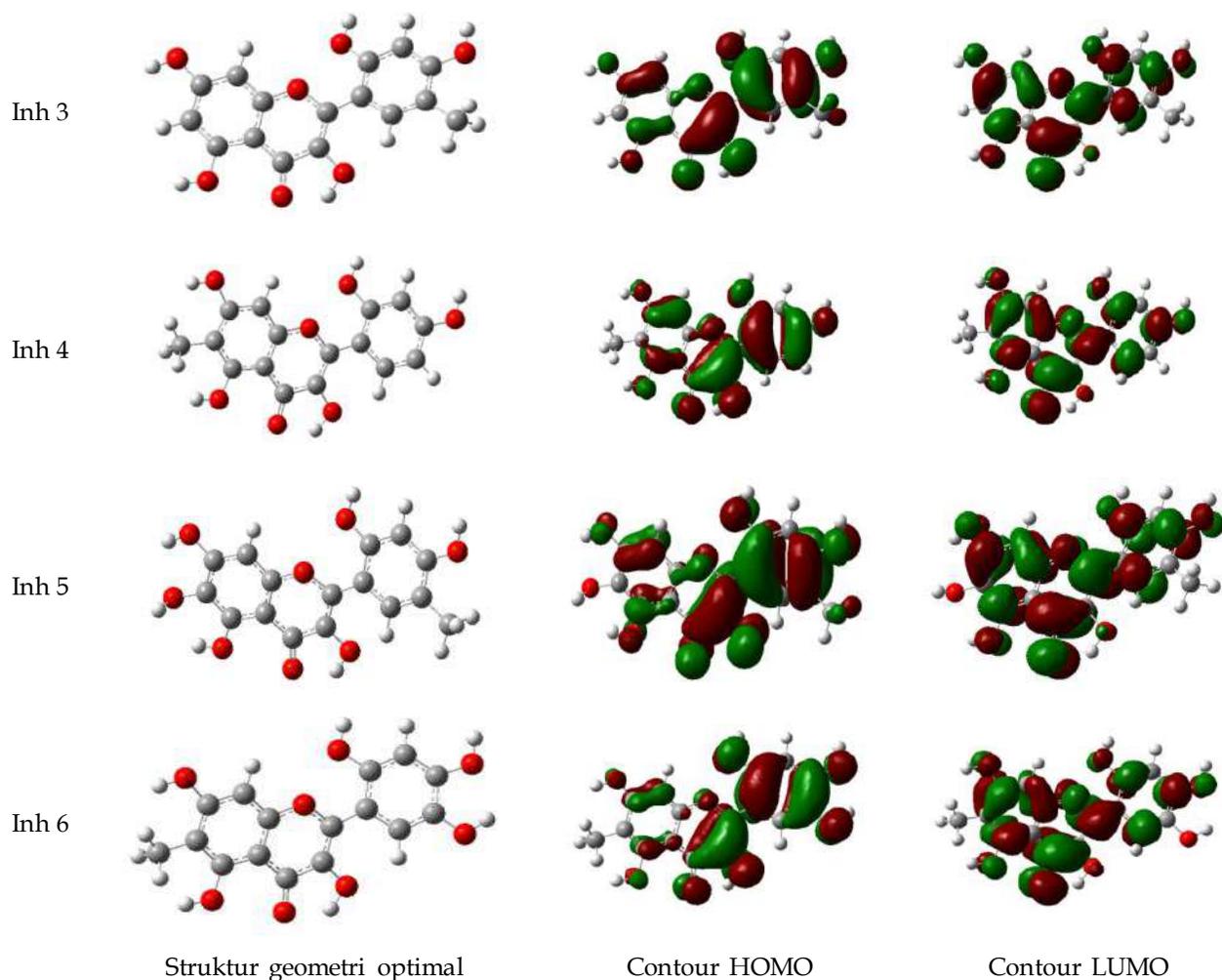
Struktur geometri optimal, contour HOMO dan LUMO molekul morin dalam fasa gas dan pelarut diperlihatkan pada Gambar 3.2 dan 3.3.





Gambar 3.2 Struktur geometri optimal (warna: atom oksigen = merah, carbon = abu, hidrogen = putih), Contour HOMO, dan Contour LUMO (warna: hijau = OM bonding, merah = OM anti bonding) turunan molekul morin fasa gas

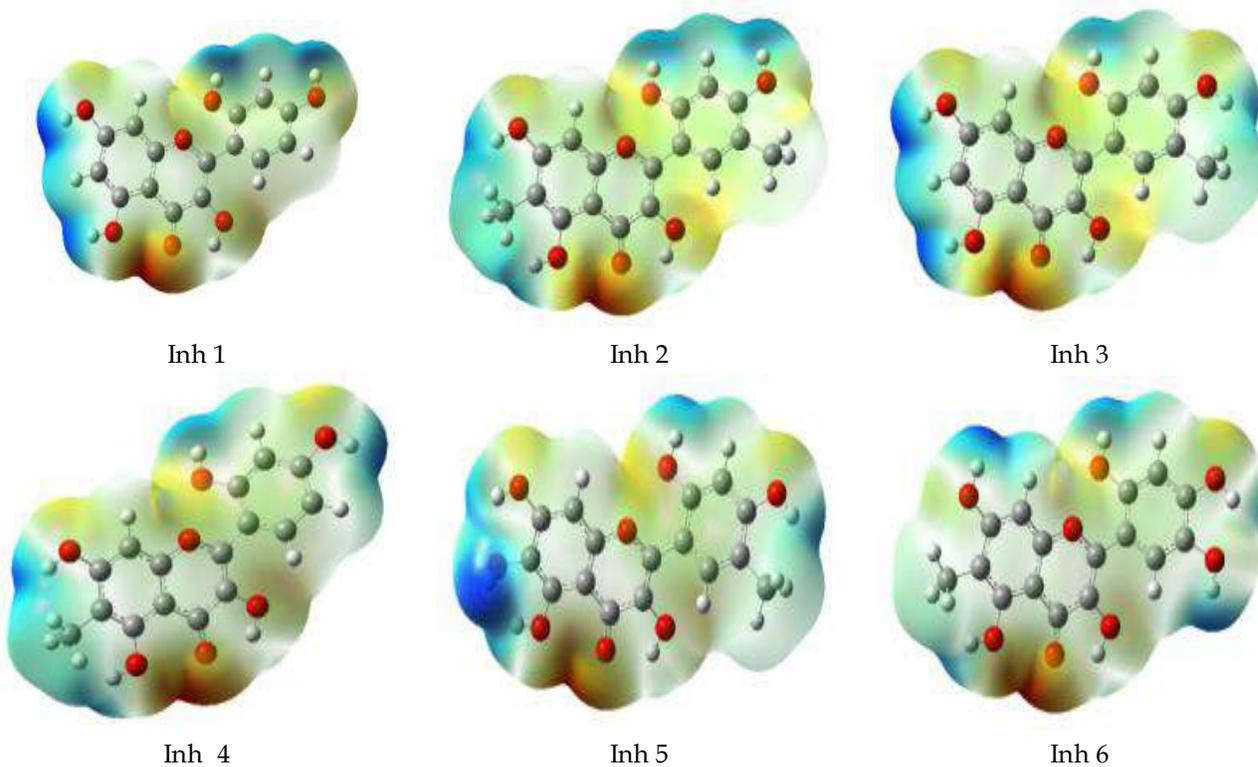




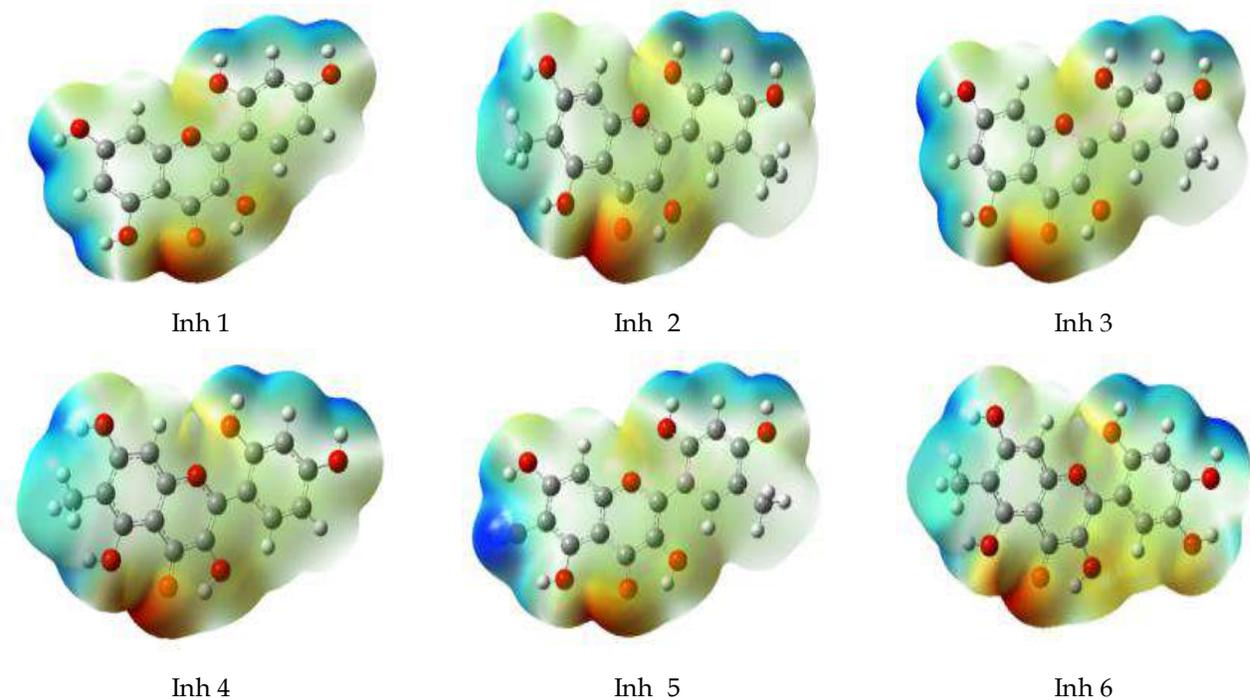
Gambar 3.3 Struktur geometri optimal (warna: atom oksigen = merah, carbon = abu, hidrogen = putih), Contour HOMO, dan Contour LUMO (warna: hijau = OM bonding, merah = OM anti bonding) turunan molekul morin fasa pelarut.

Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 menunjukkan struktur geometri optimal, contour HOMO dan LUMO Inh 1-6 dalam fasa gas dan pelarut etanol. Contour HOMO merupakan kerapatan elektron pada pita HOMO sedangkan contour LUMO merupakan kerapatan elektron pada pita LUMO[15]. HOMO berperan sebagai daerah donor elektron dan LUMO berperan sebagai daerah akseptor electron[10]. Berdasarkan contour HOMO/LUMO Semua inhibitor baik

dalam fasa gas maupun pelarut, diketahui gugus $-C=C-$ berperan sebagai donor elektron dan gugus $-C-C-$, $-C=O$ berperan sebagai akseptor elektron. Hal ini menunjukkan adanya resonansi elektron π pada cincin benzen menuju gugus $-C=O$. Sedangkan pada gugus $-CH_3$, H dan $-OH$ pada C5 dan C6 tidak terdapat kerapatan elektron yang menunjukkan bahwa gugus tersebut hanya berperan sebagai penginduksi (induksi + dan induksi -).



Gambar 3.4 ESP inhibitor fasa gas



Gambar 3.5 ESP inhibitor fasa pelarut.

ElectroStatic Potensial (ESP) yang ditunjukkan oleh Gambar 3.4 dan 3.5 menunjukkan daerah elektronegatif dan

elektropositif. Semakin berwarna merah maka daerah tersebut semakin elektronegatif dan semakin berwarna biru maka daerah tersebut

semakin elektropositif[16]. Urutan nilai ekelektronegatifan berdasarkan warna adalah merah > kuning > hijau > biru[18]. Berdasarkan gambar ESP inhibitor morin pada fasa gas maupun fasa pelarut diketahui daerah yang paling elektronegatif terletak pada atom

oksigen pada gugus $-C=O$. Hal ini terjadi karena resonansi elektron π pada morin menuju gugus $-C=O$ dan diprediksi atom Fe akan terikat pada atom oksigen pada gugus $-C=O$. Selain pada gugus $-C=O$, atom Fe juga bisa berikatan pada atom oksigen pada gugus $-OH$.

3.3 Parameter Kereaktifan molekul inhibitor

Parameter pengukuran secara komputasi untuk menentukan kereaktifan suatu inhibitor korosi dapat diketahui dari nilai potensial ionisasi (I), afinitas elektron(A), *bandgap*(ΔE), *softness*(σ),

hardness (η), elektronegativitas (χ), elektropilisitas (ω), nukleofilisitas (ϵ) dan energi total. Tabel 3.1 dan 3.2 menunjukkan kereaktifan parameter kimia kuantum dari enam molekul morin dan turunannya.

Tabel 3.1 Perhitungan parameter kereaktifan inhibitor morin fasa gas

Parameter	Inh 1	Inh 2	Inh 3	Inh 4	Inh 5	Inh 6
HOMO (Hartree)	-0,2002	-0,1954	-0,1980	-0,1982	-0,1998	-0,1966
LUMO (Hartree)	-0,0583	-0,0547	-0,0573	-0,0563	-0,0597	-0,0597
I (Hartree)	0,2002	0,1954	0,1980	0,1982	0,1998	0,1966
A (Hartree)	0,0583	0,0547	0,0573	0,0563	0,0597	0,0597
ΔE (Hartree)	0,1419	0,1407	0,1407	0,1419	0,1401	0,1369
η (Hartree)	0,0710	0,0703	0,0704	0,0709	0,0701	0,0685
σ (Hartree⁻¹)	14,0923	14,2187	14,2106	14,0994	14,2735	14,6092
χ (Hartree)	0,1292	0,1251	0,1276	0,1272	0,1298	0,1281
ω (Hartree)	0,1177	0,1112	0,1157	0,1141	0,1202	0,1199
ϵ (Hartree⁻¹)	8,4993	8,9950	8,6400	8,7623	8,3193	8,3388
Energi (kJ/mol) (10⁶)	-2,8981	-3,1045	-3,0013	-3,0013	-3,1987	-3,1987

Tabel 3.2. Perhitungan parameter kereaktifan inhibitor dengan adanya pelarut (etanol)

Parameter	Inh 1	Inh 2	Inh 3	Inh 4	Inh 5	Inh 6
HOMO	-0,2000	-0,1978	-0,1986	-0,1992	-0,1996	-0,1966
LUMO	-0,0786	-0,0768	-0,0775	-0,0778	-0,0788	-0,0784
I	0,2000	0,1978	0,1986	0,1992	0,1996	0,1996
A	0,0786	0,0768	0,0775	0,0778	0,0788	0,0784
ΔE	0,1215	0,1210	0,1210	0,1214	0,1208	0,1182
η	0,0607	0,0605	0,0605	0,0607	0,0604	0,0591
σ	16,4650	16,5303	16,5262	16,4799	16,5604	16,9205
χ	0,1393	0,1373	0,1381	0,1385	0,1392	0,1375

ω	0,1597	0,1558	0,1575	0,1581	0,1605	0,1600
ϵ	6,2612	6,4186	6,3502	6,3249	6,2314	6,2519
Energi (kJ/mol)(10⁶)	-2,8978	-3,1042	-3,0011	-3,0010	-3,1985	-3,1985

A. Potensial ionisasi

Potensial ionisasi (EI) adalah energi yang dibutuhkan untuk melepaskan satu mol elektron terluar dari atom dalam keadaan gas. Semakin kecil energi potensial ionisasi maka semakin mudah elektron dilepaskan[19]. Dalam proses interaksi Inhibitor dengan besi, inhibitor berperan menyumbangkan elektron/melepaskan elektron kepada atom besi. Maka semakin kecil energi ionisasi, semakin mudah/kuat interaksi inhibitor tersebut dengan atom besi[12]. Pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 nilai energi potensial ionisasi yang paling kecil adalah pada inhibitor 2. Nilai energi ionisasi dalam fasa pelarut tidak jauh berbeda dengan fasa gas. Energi ionisasi $\text{Inh 2} < \text{Inh 6} < \text{Inh 3} < \text{Inh 4} < \text{Inh 5} < \text{Inh 1}$ untuk fasa gas dan $\text{Inh 2} < \text{Inh 3} < \text{Inh 4} < \text{Inh 5} = \text{Inh 6} < \text{Inh 1}$ untuk fasa pelarut.

B. Afinitas Elektron

Afinitas elektron menyatakan kemampuan suatu atom/molekul/ion untuk menangkap 1 mol elektron. Semakin kecil energi afinitas elektron maka semakin mudah atom/molekul dalam menangkap electron[20]. Inhibitor korosi besi bersifat mendonorkan elektronnya ke atom Fe, bukan menerima elektron dari atom Fe yang berarti bahwa inhibitor yang reaktif adalah inhibitor yang mempunyai afinitas elektron yang besar[19]. Berdasarkan nilai afinitas elektron maka Inh 5 dalam fasa gas maupun pelarut diketahui sebagai inhibitor yang paling bagus. Afinitas elektron $\text{Inh 5} > \text{Inh 6} > \text{Inh 1} > \text{Inh 3} > \text{Inh 4} > \text{Inh 2}$ untuk fasa gas dan $\text{Inh 5} > \text{Inh 1} > \text{Inh 6} > \text{Inh 3} > \text{Inh 4} > \text{Inh 2}$ untuk fasa pelarut.

C. Band gap

Terlihat bahwa nilai-nilai E HOMO yang lebih tinggi menunjukkan kecenderungan untuk mendonorkan elektron lebih baik dan meningkatkan adsorpsi inhibitor pada permukaan logam[19]. Sedangkan E LUMO menunjukkan kemampuan molekul sebagai akseptor electron[15]. Oleh karena itu E LUMO

lebih rendah menunjukkan kemampuan menerima elektron lebih baik dan juga ini akan meningkatkan adsorpsi inhibitor pada logam[10]. Kemampuan peningkatan terhadap permukaan logam naik dengan naiknya nilai E HOMO dan turunnya nilai E LUMO. E HOMO yang besar itu terdapat pada inhibitor 2 pada tabel 3.1 dan inhibitor 6 pada tabel 3.2 yang akan mudah untuk mendonorkan elektron lebih baik sedangkan E LUMO yang lebih kecil itu pada inhibitor 5 menunjukkan kemampuan menerima elektron juga lebih baik.

Nilai-nilai bandgap (ΔE) merupakan selisih antara pita HOMO dan LUMO, semakin kecil bandgap maka semakin mudah elektron tereksitasi yang berarti semakin reaktif molekul tersebut[17]. Inhibitor 6 memiliki nilai band gap yang lebih kecil dibandingkan dengan 5 inhibitor lainnya. Bandgap $\text{Inh 6} < \text{Inh 5} < \text{Inh 2} < \text{Inh 3} < \text{Inh 4} < \text{Inh 1}$ untuk fasa gas dan $\text{Inh 6} < \text{Inh 5} < \text{Inh 2} < \text{Inh 3} < \text{Inh 4} < \text{Inh 1}$ untuk fasa pelarut.

D. Hardness dan Softness

Hardness global (η) dan *softness* (σ) adalah sifat penting untuk mengukur molekul stabilitas dan reaktivitas[21]. Sebuah molekul keras memiliki celah energi yang besar dan molekul yang lembut memiliki celah energi yang kecil[10]. Molekul lunak lebih reaktif daripada yang keras karena mereka dapat dengan mudah mendonorkan elektron ke akseptor[17]. Adsorpsi dapat terjadi pada bagian dari molekul yang memiliki nilai *softness* (σ) tertinggi. Dalam sistem korosi, inhibitor bertindak sebagai basa lewis sementara logam bertindak sebagai asam lewis[18].

Logam adalah asam lunak dan inhibitor sebagai basa lunak yang paling efektif untuk korosi asam dari logam ini[22]. Biasanya, inhibitor dengan nilai *hardness global* yang kecil (maka nilai tertinggi *softness global*) diharapkan memiliki nilai efisiensi inhibisi tinggi[11]. Nilai

hardness global yang paling rendah dan *softness global* yang paling tinggi terdapat pada inhibitor 6. Nilai *Hardness* $Inh\ 6 < Inh\ 5 < Inh\ 2 < Inh\ 3 < Inh\ 4 < Inh\ 1$ untuk fasa gas dan $Inh\ 6 < Inh\ 5 < Inh\ 2 < Inh\ 3 < Inh\ 4 < Inh\ 1$ untuk fasa pelarut. Nilai *softness* $Inh\ 6 > Inh\ 5 > Inh\ 2 > Inh\ 3 > Inh\ 4 > inh\ 1$ untuk fasa gas dan $Inh\ 6 > Inh\ 5 > Inh\ 2 > Inh\ 3 > Inh\ 4 > Inh\ 1$ untuk fasa pelarut.

E. Elektronegativitas

Elektronegativitas atau keelektronegatifan (χ) merupakan ukuran dari kekuatan atom atau molekul untuk menarik elektron pada dirinya sendiri. Elektron akan bergerak dari atom/molekul yang elektropositif ke yang elektronegatif[20]. Semakin besar nilai keelektronegatifan maka kekuatan atom atau inhibitor untuk menarik elektron akan semakin besar dan ketika dikombinasikan dengan logam maka kemampuan logam untuk mendonorkan elektronnya akan semakin kecil[23]. Inhibitor berperan mendonorkan elektron pada atom Fe dalam proses inhibisi korosi besi bukan menarik elektron dari atom Fe. Sehingga inhibitor yang reaktif terhadap atom Fe adalah inhibitor yang memiliki elektronegativitas yang kecil[11]. Berdasarkan data Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 diketahui $Inh\ 2$ lebih reaktif terhadap atom Fe dalam fasa gas maupun pelarut. Nilai Elektronegativitas $Inh\ 2 < Inh\ 4 < Inh\ 3 < Inh\ 6 < Inh\ 1 < Inh\ 5$ untuk fasa gas dan $Inh\ 2 < Inh\ 4 < Inh\ 3 < Inh\ 6 < Inh\ 1 < Inh\ 5$ untuk fasa pelarut.

F. Elektrofilitas

Elektrofilitas merupakan suatu sifat dari suatu atom atau molekul yang bermuatan positif atau netral dan dapat menerima sepasang elektron. Semakin kecil nilai elektrofilitas suatu inhibitor maka semakin rendah kemampuannya dalam menerima elektron dari atom Fe[21]. Inhibitor sendiri bersifat memberikan elektron bukan menerima elektron dari atom Fe.

Sehingga inhibitor yang bagus mempunyai nilai elektrofilitas yang kecil[12]. Data tabel 4.1 dan Tabel 4.2 menunjukkan bahwa $inh\ 2$ adalah inhibitor terbaik dalam fasa gas maupun fasa pelarut. Elektrofilitas $Inh\ 2 < Inh\ 4 < Inh\ 3 < Inh\ 1 < Inh\ 6 < Inh\ 5$ untuk fasa gas dan $Inh\ 2 < Inh\ 3 < Inh\ 4 < Inh\ 1 < Inh\ 6 < Inh\ 5$ untuk fasa pelarut.

G. Nukleofilitas

Nukleofilitas merupakan suatu sifat dari suatu atom atau molekul yang bermuatan positif atau netral dan dapat memberikan sepasang elektron[13]. Dimana semakin besar nilai nukleofilitas suatu inhibitor maka semakin besar dan kuat kemampuan inhibitor untuk mendonorkan elektron kepada atom Fe[21]. Pada Tabel 4.1 dan 4.2 nilai nukleofilitas yang paling besar terdapat pada inhibitor 2 dalam fasa gas maupun fasa pelarut, sehingga inhibitor yang berkemungkinan kuat untuk berikatan dengan logam adalah $Inh\ 2$. Nukleofilitas $Inh\ 2 > Inh\ 4 > Inh\ 3 > Inh\ 1 > Inh\ 6 > inh\ 5$ untuk fasa gas dan $Inh\ 2 > Inh\ 3 > Inh\ 4 > Inh\ 1 > Inh\ 6 > Inh\ 5$ untuk fasa pelarut.

H. Energi total

Energi total menandakan kereaktifan suatu inhibitor dimana semakin kecil nilai energi total maka semakin reaktif inhibitor tersebut karena jika nilai energi total suatu inhibitor semakin besar maka semakin stabil inhibitor tersebut dan semakin kecil kemampuannya untuk mendonasikan elektronnya ke logam[11]. Namun pada beberapa literatur dinyatakan energi total tidak terlalu mempengaruhi kereaktifan inhibitor. Pada Tabel 4.1 dan 4.2 nilai energi total yang paling kecil terdapat pada inhibitor 6 dalam fasa gas maupun fasa pelarut. Energi total $Inh\ 6 < Inh\ 5 < Inh\ 2 < Inh\ 3 < Inh\ 4 < Inh\ 1$ untuk fasa gas dan $Inh\ 6 < Inh\ 5 < Inh\ 2 < Inh\ 4 < Inh\ 3 < Inh\ 1$ untuk fasa pelarut.

3.4 Parameter kekuatan interaksi inhibitor dan atom Fe

Tabel 4.3 Perhitungan energi transfer muatan, energi interaksi, energi *back-donation* dan momen dipol fasa gas

Parameter	ΔN	$\Delta \psi$	ΔE_{b-d}	DM
Inh 1	0,1530	$-2,5722 \times 10^{-3}$	$-1,7741 \times 10^{-2}$	5,7353
Inh 2	0,1730	$-3,2685 \times 10^{-3}$	$-1,7583 \times 10^{-2}$	5,6802

Inh 3	0,1611	$-2,8365 \times 10^{-3}$	$-1,7593 \times 10^{-2}$	2,8422
Inh 4	0,1621	$-2,8858 \times 10^{-3}$	$-1,7731 \times 10^{-2}$	3,5069
Inh 5	0,1517	$-2,5079 \times 10^{-3}$	$-1,7515 \times 10^{-2}$	3,0882
Inh 6	0,1615	$-2,8034 \times 10^{-3}$	$-1,7135 \times 10^{-2}$	3,6495

Tabel 4.4 Perhitungan energi transfer muatan, energi interaksi, energi *back-donation* dan momen dipol fasa pelarut

Parameter	ΔN	$\Delta \psi$	ΔE_{b-d}	DM
Inh 1	0,1182	$-0,0139 \times 10^{-3}$	$-1,5184 \times 10^{-2}$	9,4099
Inh 2	0,1285	$-1,6416 \times 10^{-3}$	$-1,5124 \times 10^{-2}$	9,4209
Inh 3	0,1247	$-1,1546 \times 10^{-3}$	$-1,5128 \times 10^{-2}$	9,8057
Inh 4	0,1221	$-1,4852 \times 10^{-3}$	$-1,5170 \times 10^{-2}$	9,2110
Inh 5	0,1190	$-1,4057 \times 10^{-3}$	$-1,5096 \times 10^{-2}$	10,6038
Inh 6	0,1293	$-1,6485 \times 10^{-3}$	$-1,4775 \times 10^{-2}$	14,3489

A. Energi transfer muatan

Energi transfer muatan menunjukkan jumlah elektron yang ditransfer oleh inhibitor ke atom Fe[13]. Semakin besar nilai energi transfer muatan maka semakin banyak elektron yang didonorkan inhibitor ke atom Fe sehingga akan semakin kuat ikatan inhibitor dengan atom Fe[11]. Nilai energi transfer muatan yang paling besar pada fasa gas terdapat pada Inh 2 dan pada fasa pelarut terdapat pada Inh 6. Nilai energi transfer muatan Inh 2 > Inh 4 > Inh 6 > Inh 3 > Inh1 > Inh 5 dalam fasa gas dan Inh 6 > Inh 2 > Inh 3 > Inh 4 > Inh 5 > Inh 1 dalam fasa pelarut.

B. Energi interaksi inhibitor-logam

Semakin besar nilai energi interaksi suatu inhibitor maka semakin kuat pula kemungkinan ikatan antara inhibitor dengan logam[13]. Pada Table 4.3 nilai energi interaksi yang paling besar pada fasa gas terdapat pada Inh 2 dan pada fasa pelarut terdapat pada Inh 6 yg memungkinkan untuk berinteraksi kuat antara inhibitor dengan logamnya. Nilai energi interaksi Inh 2 > Inh 4 > Inh 6 > Inh 3 > Inh 1 > Inh 5 dalam fasa gas dan Inh 6 > Inh 2 > Inh 3 > Inh 4 > Inh 5 > Inh 1 dalam fasa pelarut.

C. Energi *back-donation*

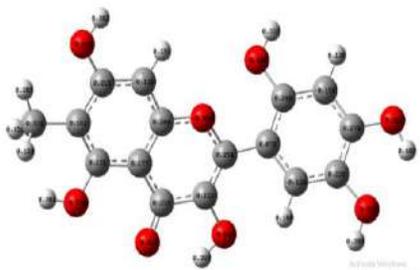
3.5 Mekanisme resonansi elektron π pada senyawa morin

Energi *back-donation* merupakan kemampuan suatu logam untuk mengembalikan elektronnya kepada inhibitor sehingga nantinya logam yang telah berikatan dengan inhibitor akan kelebihan elektron dan akan mempengaruhi ikatan antara inhibitor dengan logamnya[21]. Interaksi yang kuat antara atom Fe dengan inhibitor ditandai dengan tidak ada/kecil elektron yang dikembalikan oleh atom Fe ke inhibitor[13]. Pada Tabel 4.3 nilai energi *back-donation* yang paling kecil terdapat pada inhibitor 6 dalam fasa gas maupun pelarut. Energi back donasi Inh 6 < Inh 5 < Inh 2 < Inh 3 < Inh 4 < Inh1 dan dalam fasa gas dan Inh 6<Inh 5< Inh 4<Inh2<Inh 3< Inh 1.

D. Momen dipol

Momen dipol merupakan pengkutuban dari suatu inhibitor untuk membentuk sudut polarisasinya, dimana semakin besar nilai momen dipol dari suatu inhibitor maka semakin kuat pula ikatan yang terbentuk antara inhibitor dengan logam tersebut[10]. Pada tabel 4.3, nilai momen dipol fasa gas terdapat pada inhibitor 1 dan pada fasa pelarut terdapat pada inhibitor 6. Nilai momen dipole Inh 1 > Inh 2 > Inh 6 > Inh 4 > Inh 5 > Inh 3 dalam fasa gas dan Inh 6 > Inh 5 > Inh 3 > Inh 2 > Inh 1 > Inh 4 dalam fasa pelarut.

Berdasarkan diagram ESP dan muatan atom maka diperkirakan mekanisme resonansi



Gambar 3.6 Muatan muliken pada inhibitor 6

3.6 Analisa kereaktifan inhibitor terhadap atom Fe dalam fasa gas dan pelarut

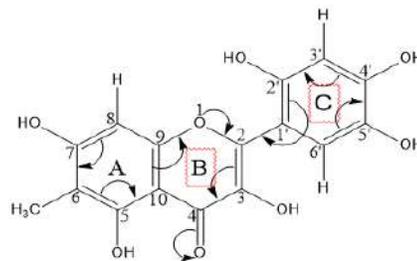
Berdasarkan diagram ESP dan muatan maka diperkirakan atom Fe akan berikatan dengan atom oksigen pada gugus $-C=O$ atau pada gugus $-OH$ [12]. Proses ini didahului oleh

Inh 6 mempunyai gugus penarik elektron pada C5 cincin benzen dan pendorong elektron pada C6. Adanya gugus penarik elektron $-OH$ pada C5 menyebabkan elektron π antara C6 dan C5

Adanya gugus pendorong elektron pada C5 gugus benzen menyebabkan resonansi elektron π antara C5 dan C6 sedikit melemah sehingga kereaktifan Inh 2 kecil dari Inh 6. Sedangkan Inh 5 mempunyai gugus pendorong elektron pada C5 dan penarik elektron pada C6. Inh 6 lebih reaktif dibanding Inh 5 karena gugus pendorong elektron inh 6 terletak pada C6 yang lebih dekat ke gugus $-C=O$ sehingga resonansi elektron π lebih mudah pada Inh 6. Inh 4 hanya memiliki gugus pendorong elektron CH_3 pada C6 dan Inh 3 memiliki gugus pendorong elektron pada C5, karena gugus CH_3 pada Inh 4 lebih dekat ke gugus $-C=O$ maka resonansi elektron π pada inh 4 lebih besar dibanding inh 3. sedangkan Inh 1 tidak memiliki efek induksi sehingga kurang reaktif dibanding inhibitor yang lain.

Jika dilihat dari efek sterik pada inhibitor 6, 2, dan 4 terjadi interaksi van der waals antara

elektron π pada senyawa morin adalah sebagai berikut:



Gambar 3.7 Mekanisme resonansi elektron π pada Inhibitor 6

terjadinya resonansi elektron π pada cincin aromatis menuju gugus $-C=O$ [17]. Berdasarkan nilai parameter kereaktifan molekul maka di perkirakan kereaktifan Inh 6 > Inh 2 > Inh 5 > Inh 4 > Inh 3 > Inh 1 pada fasa gas maupun pada fasa pelarut.

pada gugus benzen akan lebih mudah beresonansi. Pada Inh 2 mengandung 2 buah gugus CH_3 pada C5 dan C6 yang berperan sebagai gugus pendorong elektron.

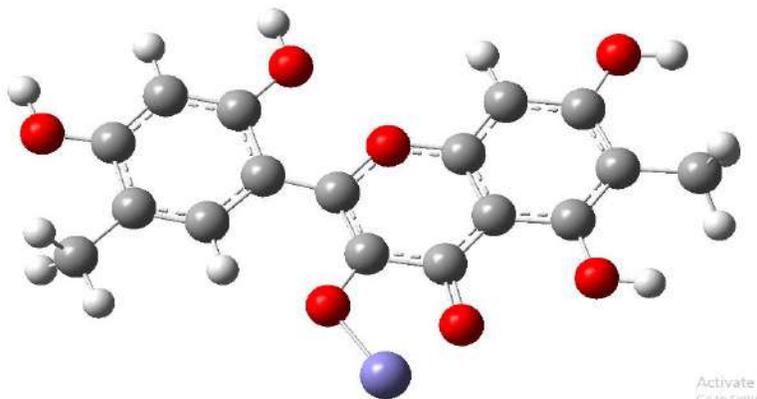
gugus OH pada C5 dan gugus CH_3 pada C6. Sedangkan pada inhibitor 3, 1, dan 5 terjadi ikatan hidrogen antara atom H pada C6 dengan gugus OH pada C5. Ikatan hidrogen lebih kuat dibandingkan dengan ikatan van der waals, sehingga inhibitor 3, 1, dan 5 lebih susah mengalami resonansi elektron.

Berdasarkan nilai parameter kereaktifan dan interaksi inhibitor dengan atom Fe juga diketahui bahwa inhibitor cenderung lebih reaktif dalam fasa pelarut dibandingkan dalam fasa gas. Hal ini karena dalam fasa pelarut terjadi proses pengkutuban sehingga atom oksigen akan lebih bermuatan negatif dan molekul inhibitor dengan atom Fe akan lebih mudah untuk bereaksi[6]. Dalam fasa pelarut ada interaksi elektrostatik antara inhibitor dengan pelarut sehingga ikatan oksigen dan hidrogen pada gugus OH akan melemah akibatnya oksigen akan lebih elektronegatif.

3.7 Interaksi Inhibitor dengan ion Fe⁺³

Kekuatan interaksi inhibitor dengan ion Fe⁺³ dinyatakan dalam Energi adsorpsi (E_{ads}),

Energi ikatan (*E_{binding}*), Energi Bebas Gibbs (ΔG) dan Entropi (ΔS) dinyatakan dalam Tabel 4.4. Sedangkan interaksi inhibitor 2 dengan ion Fe⁺³ diperlihatkan pada Gambar. 4.8



Gambar 3.8 Interaksi inhibitor 2 dengan Fe⁺³

Tabel 3.5 Energi adsorpsi, energi binding, entalpi (ΔH), energi gibbs (ΔG) dan energi entropi (ΔS) kompleks inh + Fe⁺³ fasa gas

Molekul	E _{ads} (kJ/mol) (10 ³)	E _{binding} (kJ/mol) (10 ³)	ΔH (kJ/mol) (10 ³)	ΔG (kJ/mol) (10 ³)	ΔS (kJ/mol K)
Inh 2 + Fe ⁺³	4,0063	-4,0063	3,9770	4,0184	-0,1388
Inh 3+ Fe ⁺³	3,9783	-3,9783	3,9502	3,9915	-0,1378
Inh 4+ Fe ⁺³	4,0503	-4,0503	4,0217	4,0622	-0,1358

Energi adsorpsi merupakan parameter yang menunjukkan kekuatan suatu logam untuk menyerap inhibitor sedangkan energi *binding* merupakan kekuatan suatu inhibitor untuk berikatan dengan logam[15]. Nilai negatif pada energi ikatan menunjukkan bahwa reaksi berlangsung secara eksotermis[18]. Semakin besar nilai energi adsorpsi dan energi *binding* maka semakin kuat ikatan yang terjadi antara inhibitor dengan logamnya sehingga menghasilkan nilai efisiensi inhibisi yang besar pula[16]. Pada table 4.4 dapat dilihat nilai energi adsorpsi dan energi *binding* yang lebih besar terdapat pada ikatan inhibitor 4 dengan Fe⁺³. Namun nilai ini tidak terlalu berbeda dengan Inh 2 + Fe⁺³.

Entalpi adalah jumlah panas yang dilepaskan atau diserap oleh sistem termodinamika dari lingkungan sekitarnya ketika berada pada tekanan konstan. Jika panas yang dilepaskan

selama transformasi dari satu keadaan ke yang lain, maka keadaan akhir akan memiliki kandungan panas yang lebih rendah daripada keadaan awal, entalpi perubahan ΔH akan negatif (eksotermis). Jika panas yang diserap selama transformasi, maka keadaan akhir akan memiliki kandungan panas yang lebih tinggi, ΔH akan positif (endotermik). Dari tabel 4.4 dapat dilihat semua nilai entalpi dari setiap senyawa bertanda positif yang berarti semua reaksi yang terjadi berlangsung secara endotermik[14].

Energi Bebas Gibbs (ΔG) adalah suatu parameter termodinamika yang dapat digunakan untuk menghitung kerja reversibel maksimum yang dapat dilakukan oleh sistem termodinamika pada suhu dan tekanan konstan[16]. Jika nilai energi bebas gibbs bertanda negatif maka reaksi akan berlangsung secara spontan dan jika bertanda positif maka reaksi yang berlangsung tidak spontan. Semakin

negatif nilai (ΔG) maka semakin spontan reaksi tersebut[17]. Dari Tabel 4.4 dapat dilihat semua nilai energi bebas gibbs dari setiap senyawa bertanda positif yang berarti semua reaksi yang terjadi berlangsung secara tidak spontan[14].

Energi entropi merupakan energi yang menyatakan suatu ukuran derajat ketidakteraturan suatu sistem termodinamika. Semakin tinggi nilai entropi maka semakin tinggi pula nilai derajat ketidakteraturan suatu inhibitor dan logam, dan akan semakin mudah terbentuk kompleks inhibitor dengan ion logam, sedangkan semakin rendah nilai entropi maka semakin rendah pula nilai derajat ketidakteraturan suatu inhibitor dan akan semakin sulit untuk membentuk kompleks dengan logam[18]. Pada Tabel 4.4 dapat dilihat nilai energi entropi yang besar terdapat pada inhibitor 2. Nilai ini menunjukkan Inh 2 lebih mudah berinteraksi dengan ion Fe^{+3} .

Berdasarkan referensi dinyatakan bahwa ikatan kimia terjadi jika energi ikatan diatas -40 kJ/mol dan ikatan fisika jika energi ikatan kecil dari -20 kJ/mol[24]. Tanda negatif menunjukkan proses pembentukan ikatan terjadi secara eksotermis. Berdasarkan nilai energi ikatan

diketahui bahwa interaksi inhibitor morin dengan ion Fe^{+3} merupakan interaksi kimia[18].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil optimasi senyawa morin dan turunannya menggunakan metode DFT dan basis sets B3LYP 6-31G dapat diambil kesimpulan bahwa struktur morin yang terbaik sebagai inhibitor korosi besi adalah inhibitor 2 dan 6 dikarenakan dari berbagai perhitungan parameter kereaktifan dan kekuatan interaksi yang telah dianalisis didapatkan inhibitor 2 dan 6 cenderung lebih reaktif. Berdasarkan nilai parameter kereaktifan dan interaksi inhibitor dengan ion Fe^{+3} juga diketahui bahwa inhibitor cenderung lebih reaktif dalam fasa pelarut dibandingkan dalam fasa gas. Hal ini karena dalam fasa pelarut terjadi proses pengkutuban sehingga atom oksigen akan lebih bermuatan negatif dan molekul inhibitor dengan ion Fe^{+3} akan lebih mudah untuk bereaksi. Interaksi antara inhibitor dengan ion Fe^{+3} memiliki nilai energi bebas Gibbs yang positif yang menandakan interaksi yang terjadi berlangsung secara tidak spontan dan nilai energi ikatan berada pada range $-3,9783 \times 10^3$ sampai $-4,0503 \times 10^3$ kJ/mol yang menunjukkan bahwa interaksi yang terjadi adalah interaksi kimia.

Referensi

- [1] Frankel, G.; Mauzeroll, J.; Thornton, G.; Bluhm, H.; Morrison, J.; Maurice, V.; Rayment, T.; Williams, D.; Cook, A.; Joshi, G.; Davenport, A.; Gibbon, S.; Kramer, D.; Acres, M.; Tautschnig, M.; Habazaki, H.; Marcus, P.; Shoesmith, D.; Wren, C.; Majchrowski, T.; Lindsay, R.; Wood, M.; Todorova, M.; Scully, J.; Renner, F.; Kokalj, A.; Taylor, C.; Virtanen, S.; Wharton, J. Corrosion Scales and Passive Films: General Discussion. *Journal Faraday Discuss.* **2015**, *180*, 205–232.
- [2] Talari, M.; Mozafari Nezhad, S.; Alavi, S. J.; Mohtashampour, M.; Davoodi, A.; Hosseinpour, S. Experimental and Computational Chemistry Studies of Two Imidazole-Based Compounds as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in HCl Solution. *Journal of Molecular Liquids.* **2019**, *286*, 1-9.
- [3] Raja, P. B.; Ismail, M.; Ghoreishiamiri, S.; Mirza, J.; Ismail, M. C.; Kakooei, S.; Rahim, A. A. Reviews on Corrosion Inhibitors: A Short View. *Journal Chemical Engineering Communications.* **2016**, *203* (9), 1145–1156.
- [4] Xhanari, K.; Finšgar, M.; Knez Hrnčič, M.; Maver, U.; Knez, Ž.; Seiti, B. Green Corrosion Inhibitors for Aluminium and Its Alloys: A Review. *Journal RSC Advances.* **2017**, *7* (44), 27299–27330.
- [5] Kovačević, N.; Kokalj, A. The Relation between Adsorption Bonding and Corrosion Inhibition of Azole Molecules on Copper. *Journal Corrosion Science.* **2013**, *73*, 7–17.

- [6] Guo, L.; Safi, Z. S.; Kaya, S.; Shi, W.; Tüzün, B.; Altunay, N.; Kaya, C. Anticorrosive Effects of Some Thiophene Derivatives against the Corrosion of Iron: A Computational Study. *Journal Frontiers in Chemistry*. **2018**, *6*, 1–12.
- [7] Pranowo, H. D. *Kimia Komputasi*; Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta, 2017.
- [8] Tawfik, S. M. Corrosion Inhibition Efficiency and Adsorption Behavior of N,N-Dimethyl-4-(((1-Methyl-2-Phenyl-2,3-Dihydro-1H-Pyrazol-4-Yl)Imino)Methyl)-N-Alkylbenzenaminium Bromide Surfactant at Carbon Steel/Hydrochloric Acid Interface. *Journal of Molecular Liquids*. **2015**, *207*, 185–194.
- [9] Rahayu, D.; Bagitaningtyas, A.; Hidayat, A.; P, A. S. Pengembangan Dye Sensitized Solar Cell Dengan Senyawa Morin Dari Kayu Nangka (*Artocarpus Heterophyllus L.*). *Jurnal Penelitian Mahasiswa UNY*. 2011, VI (1).
- [10] Verma, D. K. Density Functional Theory (DFT) as a Powerful Tool for Corrosion Inhibitors in Aqueous Phase. *Journal Intech Open*. **2018**, 87–105.
- [11] Wazzan, N. A.; Mahgoub, F. M. DFT Calculations for Corrosion Inhibition of Ferrous Alloys by DFT Calculations for Corrosion Inhibition of Ferrous Alloys by Pyrazolopyrimidine Derivatives. *Journal of Physical Chemistry*, **2014**, *4*(1): 6-14.
- [12] Radhi, A. H.; Du, E. A. B.; Khazaaal, F. A.; Abbas, Z. M.; Aljelawi, O. H.; Salam, D. HOMO-LUMO Energies and Geometrical Structures Effect on Corrosion Inhibition for Organic Compounds Predict by DFT and PM3 Methods. *Journal Neuro Quantology*, **2020**, *18*(1): 37-45.
- [13] Erazua, E. A.; Adeleke, B. B. A Computational Study of Quinoline Derivatives as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in Acidic Medium. *Journal of Applied Sciences and Environment Management*, **2019**, *23*(10), 1819-1824.
- [14] Yetri, Y.; Emriadi; Jamarun, N.; Gunawarman. Corrosion Behavior of Environmental Friendly Inhibitor of Theobroma Cacao Peels Extract for Mild Steel in NaCl 1.5 M. *Journal Environment Asia*, **2016**, *9*, 45–59.
- [15]. Fu, J. J.; Li, S. N.; Wang, Y.; Cao, L. H.; Lu, L. D. Computational and Electrochemical Studies of Some Amino Acid Compounds as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in Hydrochloric Acid Solution. *Journal of Material Science*, **2010**, *45*, 6255-6265.
- [16] Erramli, H.; Assouag, M.; Elharfi, A. Evaluation of Corrosion Inhibition Performance of Phosphorus Polymer for Carbon Steel in [1 M] HCl : Computational Studies (DFT , MC and MD Simulations). *Journal Integrative Medicine Research*. **2020**, *9* (3), 2691–2703.
- [17] Ozoemena, C. P.; Charles, M. Computational Modeling and Statistical Analysis on the Corrosion Inhibition of Aluminium in Nitric Acid Solution By Ethenolic Extract of *Citrus Sinesis Seed*. *Journal Method in Next Generation Sequencing*, **2019**, *7*(1), 25-46.
- [18] Ouakki, M.; Galai, M.; Rbaa, M.; Abousalem, A. S.; Lakhri, B.; Cherkaoui, M. Quantum Chemical and Experimental Evaluation of the Inhibitory Action of Two Imidazole Derivatives on Mild Steel Corrosion in Sulphuric Acid Medium. *Journal Heliyon*, **2019**, *5*, 1-18.
- [19] Ebenso, E. E.; Isabirye, D. A.; Eddy, N. O. Adsorption and Quantum Chemical Studies on the Inhibition Potentials of Some Thiosemicarbazides for the Corrosion of Mild Steel in Acidic Medium. *International Journal of Molecular Sciences*, **2010**, *11*, 2473–2498.
- [20] Obi-egbedi, N. O.; Ojo, N. D. Computational Studies of the Corrosion

- Inhibition Potentials of Some Derivatives of 1H-Imidazo [4, 5-F] [1, 10] Phenanthroline. *Journal of Science Research*. **2015**, 14, 50-56.
- [21] Erdogan, S.; Safi, Z. S.; Guo, L.; Kaya, S.; Isin, D. O.; Kaya, C. A computational study on corrosion inhibition performances of novel quinoline derivatives against the corrosion of iron. *Journal of Molecular Structure*. **2017**, 1134, 751-761.
- [22] Marni, L. G.; Emriadi, E.; Syukri, S.; Imelda, I. Mempelajari Inhibisi Korosi Senyawa Khellin Dan Visnagin Pada Atom Besi Menggunakan Metode DFT (Density Functional Theory). *Jurnal Litbang Industri*. **2019**, 9 (2), 111.
- [23] Geerlings, P.; Brussel, V. U. Chemical Reactivity as Described by Quantum Chemical Methods. *International Journal of Molecular Science*. **2002**, 3, 276-309.
- [24] Gusti, D. R.; Emriadi; Alif, A.; Efdi, M. Surface Characteristics on Mild Steel Using Aqueous Extract of Cassava (*Manihot Esculenta*) Leaves as a Corrosion Inhibitor. *Journal Der Pharma Chemica*. **2016**, 8 (17), 113-118.

PEMANFAATAN KARBON AKTIF CANGKANG SAWIT (*Elaeis guineensis*) SEBAGAI ADSORBEN ION LOGAM Fe(III) DAN Cu(II)

Yulizar Yusuf^{1,*}, Deswati², Dimas Adi Putra^{1,2}

¹Laboratorium Kimia Analisis Terapan Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Andalas

²Laboratorium Kimia Analisis Lingkungan, Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Andalas

Jurusan Kimia FMIPA Unand, Kampus Limau Manis, 25163

Email : yulizaryusuf1@gmail.com

Abstract: Research on the utilization of palm shell activated carbon (*Elaeis guineensis*) as an adsorbent of Fe(III) and Cu(II) metal ions has been carried out. From the research that has been done, the optimum conditions for Fe(III) and Cu(II) ions are: activator concentration of 1.5 M, contact time of 45 minutes, pH 4 for Fe(III) and pH 9 for Cu(II), Fe concentration (III) and Cu(II) were 30 mg/L and 25 mg/L, respectively, with an adsorbent mass of 2.5 g for Fe(III) and 1 g for Cu(II). Furthermore, the optimum conditions obtained were applied to residential well water, the absorption efficiency of Fe(III) metal ion was 78.32%; 66.72%; 80.07% and the absorption capacity of Fe(III) metal ions is 0.0231 mg/g; 0.0695 mg/g; 0.0528 mg/g. Activated palm shell carbon has good ability as heavy metal adsorbent in residential well water around PT. Wilmar Pelinting in Dumai. The quality of water after adsorption is still not suitable for use and not in accordance with the quality standards of drinking water quality in accordance with PP RI No. 22 of 2021 at 0.3 mg/L for Fe(III) ions and 0.02 mg/L for Cu(II) ions.

Keywords: Adsorption, Fe Metal, Cu Metal, Palm Shell Carbon

1. Pendahuluan

Air merupakan unsur yang sangat dibutuhkan oleh seluruh makhluk hidup yang ada di bumi. Apabila pengembangan sumber daya air tidak dilakukan secara kontiniu maka kehidupan makhluk hidup tidak akan seperti saat ini. Pentingnya pengembangan serta pengolahan sumber daya air adalah nilai awal kehidupan makhluk hidup³. Air yang digunakan harus bebas dari mikroorganisme penyebab penyakit dan bahan-bahan kimia berbahaya. Hingga saat ini, masih banyak masyarakat yang memanfaatkan kualitas air yang kurang baik sehingga mengakibatkan terjangkitnya berbagai penyakit seperti diare, tipus, kolera, muntaber dan lain sebagainya. Air dengan kualitas yang buruk apabila digunakan dalam jangka panjang dapat mengakibatkan penyakit seperti anemia, keropos tulang, korosi gigi dan kerusakan pada ginjal. Hal ini dikarenakan air yang digunakan mengandung logam-logam berat yang beracun¹⁻³.

Seiring dengan perkembangan zaman sangat sulit untuk mendapatkan kualitas air yang baik akibat banyaknya pencemaran-

pencemaran yang terjadi di lingkungan kita yang menyebabkan kualitas air menjadi buruk. Kualitas air yang buruk dapat diakibatkan dari sanitasi lingkungan yang tidak baik. Apabila air tanah dan air permukaan telah tercemar maka mikroorganisme penyebab penyakit akan dengan mudah tersebar melalui pemakaian rumah tangga. Oleh sebab itu pemeliharaan kualitas maupun kuantitas air sangat penting demi kehidupan makhluk hidup yang berkelanjutan⁶.

Sampai saat ini masyarakat masih banyak menggunakan sumur sebagai sumber persediaan air bersih, sebagai aktifitas dalam kehidupan sehari-hari dan sebagai sumber air minum. Tetapi air sumur pada saat sekarang banyak yang sudah tercemar baik yang bersifat organik maupun anorganik sehingga air sumur pada masyarakat menjadi keruh. Pemeliharaan dari kualitas dan kuantitas air sangatlah penting untuk kelestarian lingkungan yang berkelanjutan dan kesehatan tubuh. ⁴

Salah satu bentuk pemakaian air dalam kehidupan adalah untuk dikonsumsi. Air

minum yang baik harus memiliki beberapa karakteristik seperti jernih, tidak berbau, tidak beracun, tidak berasa, tidak berwarna, tidak merubah fungsi tubuh dan lain-lain. Untuk meningkatkan kualitas air maka harus dilakukan pengolahan serta penjernihan sumber air yang mana salah satunya adalah air sumur. Pada umumnya penjernihan air dilakukan secara kimia dengan menggunakan bahan-bahan kimia seperti klorin, kaporit dan tawas. Penggunaan bahan kimia tersebut dapat menimbulkan masalah lainnya seperti iritasi. Untuk itu diperlukan inovasi dan alternatif lain untuk menjernihkan air dengan bahan yang bersifat alami serta ramah lingkungan. Penggunaan bahan alami untuk pengolahan dan penjernihan alami belum terlalu dipahami oleh masyarakat. Salah satu metoda yang dapat digunakan adalah adsorpsi dan filtrasi. Metoda tersebut dilakukan dengan menambahkan adsorben (karbon aktif) ke dalam saringan pasir lambat agar limbah maupun pengotor yang terdapat dalam air dapat tersaring dan terserap ke dalam pori-pori karbon aktif. Cangkang kepala sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan salah satu bahan yang patut diuji kelayakannya dalam proses pengolahan dan penjernihan air karena cangkang kelapa sawit dapat dibuat menjadi arang aktif serta mudah didapatkan⁸.

2. Metoda Penelitian

Bahan Kimia

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel air sumur masyarakat kota Dumai, Cangkang Sawit, Asam Sulfat (H_2SO_4 p.a), Asam Nitrat (HNO_3), $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$, $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$, Natrium Hidroksida 6 M (NaOH), dan akuades.

Peralatan

Peralatan yang akan digunakan adalah ayakan dengan ukuran 200 mesh (Sieve), magnetic stirrer (Corning PC-420D), oven (Mettler), kertas saring Whatman No.42, furnace, spatula, neraca analitik (Kern & Sohn GmbH), pH meter, pH universal, lumpang dan alu, dan peralatan gelas lainnya seperti pipet takar, erlenmeyer, labu ukur, gelas ukur, corong, gelas piala, kaca arloji dan peralatan gelas lainnya.

Persiapan Adsorben

Cangkang Sawit diperoleh di PT. Wilmar Pelintung Kota Dumai, Riau. Cangkang Sawit dicuci dengan akuades, Setelah itu dikering anginkan dan selama 2 jam dipanaskan dengan furnace dengan suhu $600^\circ C$. Kemudian karbon cangkang sawit dihaluskan dengan ayakan 200 mesh.

Aktivasi Adsorben

Karbon cangkang sawit ditimbang 5 g dan diaktivasi dengan H_2SO_4 dengan konsentrasi 0,5 M, 1 M, 1,5 M dan 2 M. Selama 24 jam campuran tersebut direndam. Lalu disaring dengan kertas whatman 42 dan kemudian dicuci sampai pH mendekati netral sekitar 6-7 dengan aquadest. Residu yang didapatkan dikeringkan dalam oven $110^\circ C$ selama ± 2 jam. Setelah kering sampel disimpan untuk percobaan selanjutnya.

Penentuan konsentrasi aktivator optimum dan konsentrasi larutan Fe (III) dan Cu(II) optimum

Larutan ion logam Fe(III) sebanyak 50 mL dengan konsentrasi 5 mg/L dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan 0,5 gram karbon aktif cangkang sawit yang telah diaktivasi H_2SO_4 dengan variasi konsentrasi aktivator 0,5 M, 1 M, 1,5 M, dan 2 M perbandingan (1:100) kemudian di stirrer dengan kecepatan kurang lebih 200 rpm selama waktu 30 menit. Lalu larutan disaring menggunakan kertas saring whatman No.42 dan filtratnya diambil lalu konsentrasi larutan ion logam Fe(III) diukur menggunakan SSA pada panjang gelombang 248,3 nm. Kemudian dibuat kurva antara konsentrasi aktivator H_2SO_4 0,5 M, 1 M, 1,5 M, dan 2 M terhadap kapasitas adsorpsi larutan ion logam Fe(III) dan Cu(II). Dari kurva akan diperoleh konsentrasi aktivator optimum. Dilakukan perlakuan yang sama untuk Cu(II) pada panjang gelombang 324,7 nm.

Penentuan waktu kontak optimum terhadap adsorpsi larutan ion logam Fe(III) dan Cu(II)
Sebanyak 50 mL diambil larutan ion logam Fe dengan konsentrasi 5 mg/L lalu dimasukkan kedalam erlenmeyer kemudian ditambahkan 0,5 gram karbon aktif cangkang sawit dengan konsentrasi aktivator yang optimum lalu

distirrer selama 15, 30, 45, 60, 75 dan 90 menit dengan kecepatan 200 rpm. Lalu disaring larutan menggunakan kertas saring whatman No.42 lalu filtratnya diambil dan konsentrasi larutan ion logam Fe diukur menggunakan SSA pada panjang gelombang 248,3 nm. Kemudian dibuat kurva antara variasi waktu kontak dengan kapasitas adsorpsi larutan ion logam Fe(III). Dari kurva akan didapat waktu kontak optimum. Dilakukan perlakuan yang sama untuk Cu(II) pada panjang gelombang 324,7 nm.

Penentuan pH optimum terhadap adsorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II)

Sebanyak 50 mL larutan ion logam Fe dengan konsentrasi 30 mg/L dimasukkan kedalam erlenmeyer setelah itu diatur pH dengan variasi 3, 4, 5, 6, 7 dan 8. PH masing-masing larutan diatur dengan penambahan H₂SO₄ 0,01 M dan NaOH 0,01 M. Kemudian 0,5 gram karbon aktif cangkang sawit ditambahkan dengan konsentrasi aktivator optimum kemudian di stirrer dengan kecepatan 200 rpm selama waktu optimum. Larutan lalu disaring menggunakan kertas saring whatman No.42 dan filtratnya diambil dan diukur konsentrasi larutan ion logam Fe menggunakan SSA pada panjang gelombang 248,3 nm. Kemudian dibuat kurva antara variasi pH dengan kapasitas adsorpsi larutan ion logam Fe(III). Dari kurva akan didapat pH optimum. Dilakukan perlakuan yang sama untuk Cu(II) pada panjang gelombang 324,7 nm.

Penentuan konsentrasi awal optimum terhadap kapasitas adsorpsi ion logam Fe (III) dan Cu (II)

Larutan ion logam Fe sebanyak 50 mL dengan variasi konsentrasi larutan ion logam 5 mg/L, 10 mg/L, 15 mg/L, 20 mg/L, 25 mg/L, 30 mg/L, 35 mg/L dimasukkan ke dalam erlenmeyer dengan pH optimum dan ditambahkan 0,5 gram karbon aktif cangkang sawit dengan konsentrasi aktivator optimum kemudian dengan kecepatan 200 rpm di stirrer selama waktu optimum. Kemudian disaring larutan menggunakan kertas saring whatman No.42 dan filtratnya diambil dan diukur konsentrasi larutan ion logam Fe menggunakan SSA pada panjang gelombang

248,3 nm. Kemudian dibuat kurva antara variasi konsentrasi larutan ion logam Fe dengan kapasitas adsorpsi. Dari kurva akan didapat konsentrasi awal optimum larutan ion logam Fe. Dilakukan perlakuan yang sama untuk Cu(II) pada panjang gelombang 324,7 nm.

Penentuan massa adsorben optimum terhadap adsorpsi logam Fe (III) dan Cu (II)

Sebanyak 50 mL larutan ion logam Fe diambil dengan konsentrasi awal optimum dimasukkan kedalam erlenmeyer lalu ke dalam masing-masingnya ditambahkan 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 dan 3 g karbon aktif cangkang sawit dengan konsentrasi aktivator optimum. Kemudian dengan kecepatan 200 rpm distirrer selama waktu optimum. Kemudian disaring larutan menggunakan kertas saring whatman No.42 dan filtratnya diambil dan konsentrasi larutan ion logam Fe diukur menggunakan SSA pada panjang gelombang 248,3 nm. Kemudian dibuat kurva antara variasi massa dengan kapasitas adsorpsi larutan ion logam Fe(III). Dari kurva akan didapat massa optimum. Dilakukan perlakuan yang sama untuk Cu(II) pada panjang gelombang 324,7 nm.

Percobaan dengan menggunakan sampel air sumur masyarakat kota Dumai

Persiapan air sumur

Sampel air sumur diambil dari perumahan di sekitar PT. Wilmar Pelintung di Dumai sebanyak 3 titik secara acak. Sampel air sumur diatur pHnya sampai 3-4 dengan penambahan HNO₃ p.a dan disimpan kedalam botol. Selanjutnya air sumur disaring dengan kertas saring dan dibawa ke laboratorium untuk dianalisis.

Perlakuan terhadap sampel air sumur

Kondisi optimum yang didapatkan lalu digunakan untuk sampel air sumur dari masyarakat Kota Dumai. Dipipet sebanyak 50 mL air sumur yang telah disaring dalam erlenmeyer 250 mL dan ditambahkan 2,5 gram adsorben kedalam larutan sampel kemudian diatur pH menjadi 4 dan dengan kecepatan 200 rpm diaduk selama 45 menit. Kemudian disaring larutan dengan kertas saring Whatman No.42 dan filtratnya diambil serta

konsentrasi ion logam Fe(III) dan Cu(II) diukur menggunakan SSA.

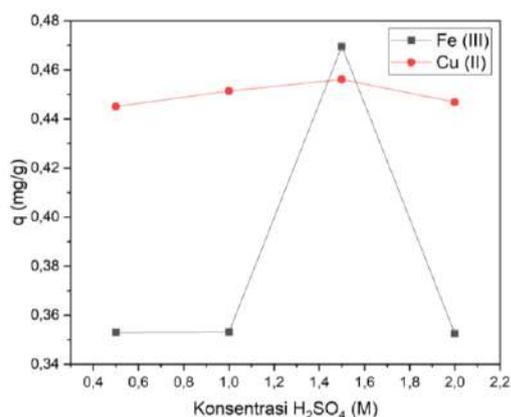
Analisis data

Sampel air sumur setelah diadsorpsi dengan karbon aktif diukur serapannya dengan menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom(SSA). Parameter pengujian yang dilakukan dalam adsorpsi air sumur dengan karbon aktif cangkang kelapa sawit yaitu pengujian pengaruh konsentrasi aktivator, waktu kontak, pH, massa adsorben, dan konsentrasi awal ion logam.

3. Hasil dan Diskusi

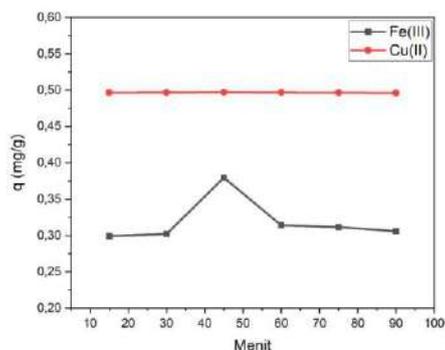
Pengaruh Konsentrasi Aktivator terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Fe (III) dan Cu (II)

Berdasarkan gambar 1. terlihat bahwa kapasitas adsorpsi pada ion Cu(II) dengan berbagai variasi konsentrasi asam sulfat sebagai aktivator, didapatkan kapasitas adsorpsi yang tidak jauh berbeda dimana kapasitas adsorpsi optimum Cu(II) adalah pada konsentrasi asam sulfat 1,5 M. Pada kapasitas adsorpsi ion Fe(III) didapatkan kondisi optimumnya pada konsentrasi asam sulfat 1,5 M dan ini sama dengan ion Cu(II). Kapasitas adsorpsi optimum ion Cu(II) dan ion Fe(III) masing-masing didapatkan sebesar 0,4561 mg/g dan 0,4696 mg/g. Konsentrasi asam sulfat yang kecil dari 1,5 M menghasilkan kapasitas adsorpsi lebih kecil dipengaruhi oleh proses aktivasi yang belum maksimal pada arang cangkang sawit. Pada konsentrasi asam sulfat diatas 1,5 M, nilai kapasitas adsorpsi menurun disebabkan oleh terjadinya kerusakan pada pori-pori arang cangkang sawit⁷⁻⁸.



Gambar 1. Kapasitas adsorpsi ion logam Fe (III) dan Cu (II) terhadap variasi konsentrasi aktivator H₂SO₄.

Pengaruh Waktu Kontak terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Fe (III) dan Cu (II)

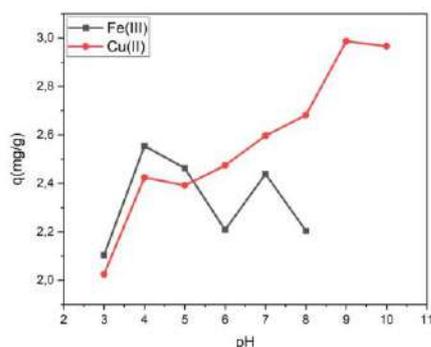


Gambar 2. Kapasitas adsorpsi ion logam Fe (III) dan Cu (II) terhadap variasi waktu kontak. Berdasarkan Gambar 2. didapatkan terjadinya peningkatan kapasitas adsorpsi pada ion Fe(III) dari waktu 15 menit hingga 45 menit, dimana kapasitas adsorpsi optimum pada waktu 45 menit sebesar 0,3798 mg/g. Waktu kontak yang semakin lama akan memberikan waktu yang cukup bagi ion Fe(III) untuk masuk ke pori-pori arang cangkang sawit sehingga kapasitas adsorpsinya semakin besar. Pada waktu kontak 60 hingga 90 menit terjadi penurunan kapasitas adsorpsi yang disebabkan terjadinya kejenuhan pada pori-pori arang cangkang sawit terhadap ion Fe(III). Pada ion Cu(II) didapatkan hasil kapasitas adsorpsi yang konstan (tidak jauh berbeda) karena pengaruh waktu kontak pada ion Cu(II) tidak berpengaruh pada kapasitas adsorpsi⁹.

Pengaruh pH terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Fe (III) dan Cu (II)

Berdasarkan Gambar 3. pada ion logam Cu(II) didapatkan bahwa kapasitas adsorpsi cenderung meningkat dengan bertambahnya pH larutan. pH optimum yang diperoleh untuk adsorpsi ion logam Cu(II) yaitu pada pH 9 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,9868 mg/g. Pada ion logam Fe(III) didapatkan kondisi optimumnya pada pH 4 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,5542 mg/g. Kapasitas adsorpsi yang kecil pada pH rendah disebabkan karena adanya persaingan antara

ion hidrogen (H^+) dengan ion logam untuk berinteraksi dengan gugus fungsi yang ada pada permukaan karbon cangkang sawit. Menurut Wang dkk (2009), kompetisi antara ion H^+ dengan ion logam dapat menyebabkan kerusakan pada struktur karbon cangkang sawit sehingga menyebabkan penurunan kapasitas adsorpsi terhadap ion logam¹⁰. Pada pH tinggi kompetisi ion H^+ sebagai kompetitor ion logam akan menurun karena larutan bersifat basa dimana pada pH tinggi akan menghasilkan endapan hidroksida logam yang mengurangi kelarutan ion logam¹¹. Pada ion $Cu(II)$ pH optimum yaitu 9, Hal ini disebabkan oleh penambahan OH^- yang berlebih sehingga memiliki potensi membentuk kompleks dengan endapan logam hidroksida yang terbentuk dan akan melarutkan kembali logam yang telah mengendap sehingga kapasitas penyerapan meningkat¹².

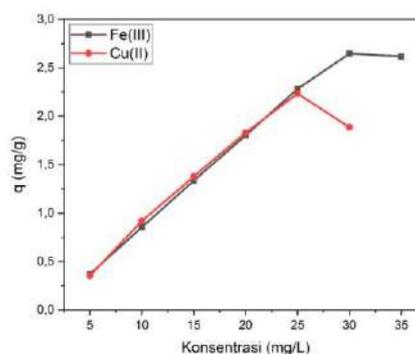


Gambar 3. Kapasitas adsorpsi ion logam Fe (III) dan Cu (II) terhadap variasi pH

Pengaruh Konsentrasi terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Fe(III) dan Cu(II)

Berdasarkan Gambar 4. didapatkan nilai kapasitas adsorpsi mengalami peningkatan seiring dengan konsentrasi ion logam $Cu(II)$ dan $Fe(III)$ yang semakin tinggi. Konsentrasi optimum untuk adsorpsi ion logam $Fe(III)$ yaitu pada konsentrasi 30 mg/L dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,6479 mg/g sedangkan untuk adsorpsi ion $Cu(II)$ optimum pada konsentrasi 25 mg/L dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,2335 mg/g untuk ion $Cu(II)$. Peningkatan kapasitas adsorpsi ini disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi larutan, maka akan menyebabkan jumlah ion

meningkat yang terikat pada adsorben akibatnya nilai kapasitas penyerapannya meningkat¹³. Banyaknya ion yang terikat pada situs aktif pada adsorben akan semakin meningkat jika konsentrasi larutan dinaikkan, sehingga kapasitas adsorpsinya juga semakin besar. Penurunan kapasitas adsorpsi pada konsentrasi ion logam yang semakin tinggi disebabkan karena telah jenuh situs aktif dengan ion logam menyebabkan terjadinya pelepasan adsorbat dari pori-pori adsorben. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa jika konsentrasi larutan semakin besar maka adsorpsi ion logam $Fe(III)$ dan $Cu(II)$ juga semakin bertambah sampai batas tertentu¹⁴.

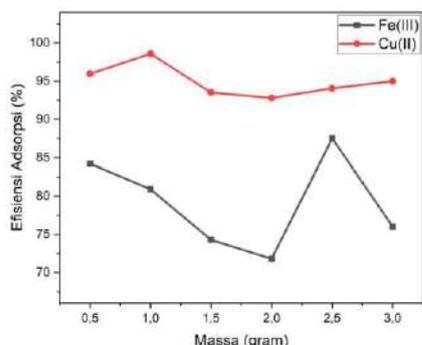


Gambar 4. Kapasitas adsorpsi ion logam Fe (III) dan Cu (II) terhadap variasi konsentrasi ion logam Fe(III) dan Cu(II).

Pengaruh Massa Adsorben terhadap Efisiensi Adsorpsi Ion Logam Fe (III) dan Cu (II)

Berdasarkan Gambar 5. efisiensi adsorpsi optimum ion logam $Fe(III)$ adalah pada massa adsorben sebesar 2,5 gram dan ion logam $Cu(II)$ pada massa adsorben 1 gram dengan efisiensi penyerapan masing-masing sebesar 87,51%, dan 98,58%. Semakin banyak massa adsorben, maka semakin banyak juga situs aktif pada karbon cangkang sawit yang akan berinteraksi dengan ion logam. Semakin banyak interaksi yang terjadi antara situs aktif pada karbon cangkang sawit dengan ion logam, maka ion logam $Fe(III)$ dan $Cu(II)$ yang terserap juga akan banyak¹⁵. Pada adsorpsi ion logam $Fe(III)$, terjadi penurunan efisiensi penyerapan pada massa 3 g, sedangkan ion logam $Cu(II)$ pada massa 1,5 g. Penurunan persentase efisiensi

bisa terjadi akibat sudah jenuhnya permukaan adsorben terhadap ion-ion logam Fe(III) dan Cu(II) sehingga peningkatan massa adsorben tidak akan mempengaruhi lagi pada peningkatan penyerapan oleh ion-ion logam yaitu Fe dan Cu.



Gambar 5. Kapasitas adsorpsi ion logam Fe (III) dan Cu (II) terhadap variasi Massa Adsorben.

Aplikasi Kondisi Optimum pada Sampel Limbah

Berdasarkan tabel 1. dapat disimpulkan bahwa sampel air sumur terdeteksi mengandung ion logam Fe(III), sedangkan ion logam Cu(II) tidak teramati. Nilai efisiensi penyerapan setelah adsorpsi ion logam Fe(III) adalah sebesar 78,32%; 66,72; 80,07% dengan kapasitas penyerapannya ion logam Fe(II) sebesar 0,0231 mg/g; 0,0695 mg/g; 0,0528 mg/g. Dari hasil yang diperoleh ternyata karbon cangkang sawit yang ada di PT. Wilmar di Dumai, memiliki kemampuan adsorpsi yang cukup baik untuk digunakan dalam mengadsorpsi ion logam Fe(III). Dari data yang di dapatkan konsentrasi air sumur yang telah di adsorpsi belum layak untuk digunakan sebagai air minum, karena tidak sesuai dengan syarat kualitas air minum sesuai dengan PP RI No. 22 tahun 2021 sebesar 0,3 mg/L untuk ion Fe(III) dan 0,02 mg/L untuk ion Cu(II)¹⁶.

Tabel 1. Konsentrasi awal dan konsentrasi akhir air sumur masyarakat kota Dumai

Ion Logam	Sampel	Konsentrasi awal rata-rata (mg/L)	Konsentrasi akhir rata-rata (mg/L)	Efisiensi penyerapan (%)
	A	1,476	0,320	78,32

Fe (III)	B	5,207	1,733	66,72
	C	3,296	0,657	80,07
Cu (II)	A	-	-	-
	B	-	-	-
	C	-	-	-

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan cangkang sawit di PT. Wilmar Nabati Indonesia, Pelintung di Dumai, Riau cukup menjanjikan untuk dijadikan sebagai adsorben ion logam berat Fe(III) dan Cu(II). Kondisi optimum dari parameter yang diuji yaitu dengan konsentrasi aktivator 1,5 M, waktu kontak 45 menit untuk masing-masing ion logam, pH optimum 4 untuk ion Fe(III) dan Cu(II), konsentrasi larutan ion logam Fe 30 mg/L dan untuk ion logam Cu (II) pada 25 mg/L dengan massa adsorben 2,5 gram untuk ion logam Fe (III) dan 1 gram untuk ion logam Cu(II). Pada perlakuan air sumur didapatkan efisiensi penyerapan ion logam Fe(III) untuk sampel A, B dan C berturut-turut sebesar: 78,32%; 66,72%; 80,07% dan kapasitas penyerapannya sebesar 0,0231 mg/g; 0,0695 mg/g; 0,0528 mg/g, sedangkan untuk ion logam Cu(II) tidak terdeteksi.

Referensi

1. Sunaryo, T. . Pengelolaan Sumber Daya Air; Bayumedia Publishing: Malang, 2005.
2. Sutrisno, C. .; Suciastuti. Teknologi Penyediaan Air Bersih; Rineka Cipta: Jakarta, 1987.
3. Suripin. Faktor Penggunaan Air Bersih; Andi Offse: Yogyakarta, 2002.
4. Sulfami, W. . Efektifitas Tanah Liat Sebagai Koagulan Dalam Memperbaiki Kualitas Fisik Air Gambut. J. Univ. Sumatra Utarat 2010.
5. Soemirat, J. Kesehatan Lingkungan; Gajah Mada Universitas Press: Yogyakarta, 2000.
6. Sembiring, M.; Sinaga. Arang Aktif (Pengenalan Dan Proses Pembuatannya); Universitas Sumatera Utara: Medan, 2003.
7. Kurniati, E. Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Arang Aktif. J. Penelit. Ilmu Tek. 2008,8 (2), 96-103.

8. Khandaker, S.; Kuba, T.; Kamida, S.; Uchikawa, Y. Adsorption of Cesium from Aqueous Solution by Raw and Concentrated Nitric Acid-Modified Bamboo Charcoal; Elsevier B.V., 2017; Vol. 5.
9. Sahala Hutabarat; Evans, S. M. Pengantar Oseanografi; UI Press: Jakarta, 1984.
10. WANG, C.; LI, J.; SUN, X.; WANG, L.; SUN, X. Evaluation of Zeolites Synthesized from Fly Ash as Potential Adsorbents for Wastewater Containing Heavy Metals. *J. Environ. Sci.* 2009, 21 (1), 127-136.
11. Nirmala, N.; Tiwow, V. M. A.; Suherman, S. Adsorpsi Ion Tembaga (Cu) Dan Ion Besi (Fe) Dengan Menggunakan Arang Hayati (Biocharcoal) Kulit Pisang Raja (*Musa Sapientum*). *J. Akad. Kim.* 2017, 4 (4), 189.
12. Fajrianti, H.; Oktiawan, W.; Wardhana, I. W. Pengaruh Waktu Perendaman Dalam Aktivator Naoh Dan Debit Aliran Terhadap Penurunan Krom Total (Cr) Dan Seng (Zn) Pada Limbah Cair Industri Elektroplating Dengan Menggunakan Arang Aktif Dari Kulit Pisang. *J. Tek. Lingkungan.* 2016, 5 (1), 1-9.
13. Apriliani, A. Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu Dan Pb Dalam Air Limbah. *Repository UIN* 2010, 1-91.
14. Darmayanti, D.; Rahman, N.; Supriadi, S. Adsorpsi Timbal (Pb) Dan Zink (Zn) Dari Larutannya Menggunakan Arang Hayati (Biocharcoal) Kulit Pisang Kepok Berdasarkan Variasi Ph. *J. Akad. Kim.* 2012, 1 (4), 159-165.
15. Wahyuni, S.; Ningsih, P.; Ratman, R. Pemanfaatan Arang Aktif Biji Kapuk (*Ceiba Pentandra L.*) Sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb). *J. Akad. Kim.* 2017, 5 (4), 191.
16. Presiden Republik Indonesia. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. *Sekr. Negara Republik Indones.* 2021, 1 (078487A), 483.