

DEKOLORISASI NIRA TEBU MENGGUNAKAN MEMBRAN NILON/TiO₂Indah Rifdah Huwidah¹⁾, Malikhatul Hidayah²⁾

Universitas Islam Negeri Walisongo, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia

Email: indah.rifdahh@gmail.com¹⁾, malikha@walisongo.ac.id²⁾**Abstract (English)**

Membrane technology is an alternative for decolorization of sugarcane at an affordable price and easy to do. Intention research is to determine the characteristics and performance nylon/TiO₂ membranes in sugarcane. Synthesis nylon membranes using variations of TiO₂ 0%, 1%, 3% and 5% characteristics were tested using FTIR, Tensile Strength, SEM, flux and rejection of sugarcane. FTIR results of nylon/TiO₂ membranes-0%, 1%, 3%, and 5% with C-H₂ stretching vibrations at 2939,62 cm⁻¹; 2938 cm⁻¹; 2939 cm⁻¹; 2939 cm⁻¹ and stretching vibration of Ti-O at 516,33 cm⁻¹; 686 cm⁻¹; 682 cm⁻¹; 680 cm⁻¹. Young's modulus for the 3% TiO₂ variation membrane is 36.38 MPa. SEM-EDX analysis of the nylon/TiO₂-3% membrane was 1.36 μm with 1.06% Ti element and the nylon/TiO₂-5% was 1.70 μm with 1.78% Ti element. Application of membrane for decolorization resulted in a flux on the nylon/TiO₂-3% membrane of 11.15 L/m².h with a brix value of 5o and rejection value of 75%. The decolorization results of 0%, 1%, 3% and 5% nylon/TiO₂ membranes were 15.21%; 24.58%; 43%; and 3.1%. The initial color result of sugarcane was 9,204.65 IU and the result of decolorization of sugarcane with a Nylon/TiO₂-0%, 1%, 3%, 5% membrane was 7,804.92 IU; 6,941.80 IU; 5,246.58 IU; 8,919.10 IU.

Article History

Submitted: 29 Maret 2024

Accepted: 8 April 2024

Published: 9 April 2024

Key WordsMembranes, Nylon, TiO₂, Sugarcane, Decolorization**Abstrak (Indonesia)**

Teknologi membran menjadi alternatif untuk pengurangan warna (dekolorisasi) nira tebu dengan harga terjangkau dan mudah dilakukan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik dan kinerja membran nilon/TiO₂ pada nira tebu. Pembuatan membran nilon menggunakan variasi TiO₂ 0%, 1%, 3% dan 5%. Karakteristik membran diuji dengan FTIR, Kuat Tarik dan SEM. Kinerja membran diuji fluks dan rejeksinya terhadap dekolorisasi nira tebu. Hasil FTIR membran nilon/TiO₂-0%, 1%, 3%, dan 5% dengan vibrasi ulur C-H₂ pada puncak sedang pada 2939,62 cm⁻¹; 2938 cm⁻¹; 2939 cm⁻¹; 2939 cm⁻¹ dan vibrasi ulur dari Ti-O muncul pada 516,33 cm⁻¹; 686 cm⁻¹; 682 cm⁻¹; 680 cm⁻¹. Modulus young pada membran variasi TiO₂ 3% sebesar 36,38 MPa. Analisis SEM-EDX membran nilon/TiO₂-3% sebesar 1,36 μm dengan unsur Ti 1,06% dan membran nilon/TiO₂-5% ukuran pori 1,70 μm dengan unsur Ti 1,78%. Aplikasi membran untuk dekolorisasi menghasilkan uji fluks pada membran nilon/TiO₂-3% sebesar 11,15 L/m².jam dengan nilai brix 5° dan menghasilkan nilai rejeksi sebesar 75%. Hasil dekolorisasi membran nilon/TiO₂-0%, 1%, 3%, dan 5% yakni 15,21%; 24,58%; 43%; dan 3,1%. Hasil warna nira tebu awal 9.204,65 IU dan hasil dekolorisasi nira tebu menggunakan membran Nilon/TiO₂-0%, 1%, 3%, dan 5% sebesar 7.804,92 IU; 6.941,80 IU; 5.246,58 IU; dan 8.919,10 IU.

Sejarah Artikel

Submitted: 29 Maret 2024

Accepted: 8 April 2024

Published: 9 April 2024

Kata KunciMembran, Nilon, TiO₂, Nira Tebu, Dekolorisasi**Pendahuluan**

Indonesia memiliki industri gula yang sudah berdiri dan beroperasi sejak zaman Belanda. Industri gula memproduksi gula menggunakan mesin dan peralatan produksi dengan kondisi alat-alat yang lama, sehingga berefek pada efisiensi dan hasil produk pabrik menjadi kurang maksimal. Food and Agriculture Organization (FAO) mencatat ada dua tanaman gula utama di dunia: (1) tebu dan (2) gula bit. Indonesia memproduksi gula utama terbuat dari tebu. Pulau Jawa, salah satu

pulau besar di kepulauan Indonesia sebagai produsen dan eksportir gula tebu terbesar kedua setelah Kuba di awal abad kedua puluh (Sahat, 2017). Gula kristal putih diproses melalui pemurnian gula, zat bukan gula dipisahkan dari zat yang mengandung gula.

Nira tebu mengandung bahan pengotor bukan gula seperti gula pereduksi, asam amino, asam organik dan anorganik, zat pati, protein, mineral (kalium, magnesium, kalsium, dan silika), lilin, gum, dan warna (klorofil) (Makur et al., 2019). Ada 3 tahapan pemurnian nira tebu di Indonesia, yaitu proses defekasi, proses sulfitasi dan karbonatasi (Sinuhaji, 2017). Pemurnian gula dengan teknologi akan menentukan tingkat absorpsi komponen warna sehingga produknya lebih cerah dan bersih. Teknologi penjernihan gula juga mampu menekan kerusakan gula reduksi sehingga dapat menentukan besar kecilnya kehilangan gula pada proses pemurnian (Hamzah et al., 2020).

Teknologi membran telah dilakukan oleh para ilmuwan dalam dekade terakhir untuk meningkatkan efisiensi proses dalam pengolahan gula (Kurniawan et al., 2018; Rafik et al., 2015). Teknologi membran yang dapat digunakan sebagai pemurnian salah satunya ialah membran nilon. Membran nilon bersifat kuat, semikristalin, tahan terhadap suhu tinggi, dan memiliki sifat mekanik yang unggul (Jabur et al., 2017). Polimer nilon-6,6 bersifat biodegradabel, biokompatibel dan banyak dimanfaatkan pada berbagai bidang karena harganya murah serta ekonomis sehingga dapat digunakan berulang-ulang, kemampuan membentuk serat yang baik, kualitas mekanik dan stabilitas termal yang tinggi (Jabur et al., 2017).

Penambahan bahan anorganik dapat meningkatkan kinerja membran polimer. Penambahan bahan anorganik yang umumnya digunakan dalam membran adalah bahan berpori, salah satunya yaitu titanium dioksida (TiO_2). Titanium dioksida (TiO_2) sebagai bahan yang digunakan sebagai *filler* pada membran. TiO_2 sebagai zat aditif yang dapat menghindari adanya fouling. TiO_2 sebagai nanopartikel yang dapat meningkatkan sifat hidrofilisitas, selfcleaning, dan antibakteri pada membran itu sendiri selain itu TiO_2 mempunyai sifat stabilitas termal dan tidak beracun (Mataram et al., 2020).

Penelitian penjernihan nira tebu telah banyak dilakukan, diantaranya Suprihatin (2007) melakukan penelitian penjernihan nira tebu menggunakan membran ultrafiltrasi dengan sistem aliran silang dengan berbagai jenis membran ultrafiltrasi, prinsip aliran silang (cross flow) digunakan, dengan tiga tingkat tekanan (0,7, 1,4, dan 2,1 bar) dan laju aliran silang 0,42 m/s. Membran ultrafiltrasi polisulfon yang dibuat sendiri di laboratorium dapat menghasilkan fluks 25-30 $\text{L/m}^2 \cdot \text{jam}$ pada tekanan 0,7 hingga 2,1 bar dapat meningkatkan nilai kejernihan dari 10 menjadi 60% dan menurunkan warna hingga 80-90%, hampir sama dengan kemampuan membran ultrafiltrasi komersial (Suprihatin, 2007).

Maulina, Fauzia, dan Misto (2018) melakukan penelitian tentang membran nilon, yang dapat digunakan sebagai filter dalam proses penjernihan nira tebu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran nilon dengan massa benang 4,5 gram memiliki nilai fluks paling tinggi dan koefisien rejeksi paling rendah. Membran dengan massa benang 6,5 gram memiliki efisiensi dan efektivitas penurunan sukrosa yang paling tinggi, dan membran dengan massa benang 4,5 gram memiliki efisiensi dan efektivitas penurunan konsentrasi sukrosa yang paling rendah.

Jabur, Abbas, dan Moosa (2017) melakukan penelitian mengenai uji fluks membran dan aktivitas antibakteri membran hibrid nilon/ TiO_2 menggunakan metode *electrospinning* untuk filtrasi larutan garam. *Electrospinning* merupakan bidang nanoteknologi yang berkembang pesat. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa fluks air meningkat ketika tekanan dinaikkan dan aktivitas antibakteri meningkat dengan bertambahnya jumlah TiO_2 pada membran.

Kajian membran nilon/ TiO_2 juga dipakai dalam uji aktivitas antibakteri oleh Maulina et al (2019) dalam pembuatan membran dengan metode inversi fasa, membran hibrid dari nilon dan

titanium dioksida (TiO_2) dibuat dengan menggunakan hidrogen klorida (HCl) sebagai prekursor dan asetil aseton sebagai pengikat. Membran hibrid nilon/ TiO_2 dengan fraksi massa 70%:30% menunjukkan kinerja antibakteri terbaik dari semua membran yang dibuat (Isrofiyah, 2018; Maulina, 2019).

Penelitian ini dilakukan untuk menyintesis membran nilon dengan TiO_2 , mengetahui karakteristik membran nilon/ TiO_2 dan mengetahui kinerja membran nilon/ TiO_2 dalam dekolonisasi nira tebu.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu UIN Walisongo Semarang dan diujikan di Laboratorium Terpadu UNDIP. Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain labu ukur 100 mL, gelas beaker 100 mL, pipet tetes, batang pengaduk, plat kaca, selotip hitam, reaktor membran, aluminium foil, neraca analitik, *hotplate stirrer* (SCIOLOGEX MS-H280-Pro), pH meter (*OHAUS ST20*), *stopwatch*, *refractometer* (TEKCOPLUS Refraktometer ATC), *Universal Testing Machine* (Brookfield CT 3 4500), spektrofotometer FTIR (PerkinElmer Spectrum IR Version 10.6.1), instrumen SEM (SEM-EDX JEOL JSM-6510LA) dan spektrofotometer UV-VIS (Orion Aquamate 8000). Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain benang nilon merk *aquaseas*, aseton, titanium dioksida (TiO_2) merk Merck, aquades, dan asam klorida (HCl 25%) merk Mallinckrodt.

Sintesis Membran Nilon dan Nilon/ TiO_2

Sintesis Membran Nilon

Sintesis ini dimulai dengan menimbang massa 2 gram, 2,5 gram dan 3 gram nilon. Pembuatan membran selanjutnya dilakukan dengan mencampurkan nilon ke dalam pelarut asam klorida (HCl 25%) sebanyak 10 ml. Larutan dope diaduk dengan suhu 30°C menggunakan *hotplate stirrer* selama 6 jam dengan kecepatan 100 rpm sehingga terbentuk larutan polimer yang homogen, kemudian larutan dope dicetak pada plat kaca yang sebelumnya pada dua sisi kaca telah dilapisi selotip dan dibersihkan dengan aseton.

Larutan dope diratakan dengan batang pengaduk agar menjadi lapisan tipis, proses ini disebut *casting solution*. Larutan cetak pada plat kaca diupkan selama 120 detik. Larutan cetak direndam selama 10 menit dalam aquades untuk menghilangkan pelarut yang terperangkap dalam membran. Selanjutnya membran diangkat dari cetakan dan dikeringkan selama 24 jam (Auline et al., 2018). Membran nilon yang sudah kering kemudian dikarakterisasi FTIR dan diuji kuat tarik (*Universal Testing Machine*).

Sintesis Membran Nilon/ TiO_2

Sintesis ini dimulai dengan menimbang massa 3 gram nilon variasi massa 1%, 3%, dan 5% TiO_2 . Pembuatan membran selanjutnya dilakukan dengan mencampurkan nilon ke dalam pelarut asam klorida (HCl 25%) sebanyak 10 ml. Larutan dope diaduk dengan suhu 30°C menggunakan *hotplate stirrer* selama 6 jam dengan kecepatan 100 rpm sehingga terbentuk larutan polimer yang homogen, kemudian larutan dope dicetak pada plat kaca yang sebelumnya pada dua sisi kaca telah dilapisi selotip dan dibersihkan dengan aseton.

Larutan dope diratakan dengan batang pengaduk agar menjadi lapisan tipis, proses ini disebut *casting solution*. Larutan cetak pada plat kaca diupkan selama 120 detik. Larutan cetak direndam selama 10 menit dalam aquades untuk menghilangkan pelarut yang terperangkap dalam membran. Selanjutnya membran diangkat dari cetakan dan dikeringkan selama 24 jam (Auline et al.,

2018). Membran nilon yang sudah kering kemudian dikarakterisasi FTIR dan diuji kuat tarik (*Universal Testing Machine*).

Karakterisasi Membran Nilon dan Nilon/TiO₂

Karakterisasi membran nilon dan nilon/TiO₂ dilakukan menggunakan FTIR, alat uji kuat tarik (*Universal Testing Machine*), SEM, dan reaktor membran.

Uji Gugus Fungsi Menggunakan FTIR

Persiapan Instrumen Spektrofotometer FTIR, langkah kerja pertama, penutup instrumen dan komputer dibuka. Instrumen dan komputer dibersihkan dengan tisu kering. Semua kabel monitor, CPU, dan instrumen dirapikan dan dihubungkan ke sumber listrik. Monitor dan CPU dinyalakan. Instrumen FTIR dinyalakan dan dibiarkan selama 10 menit sebelum pengukuran.

Sampel Padat

Sampel padat TiO₂ disiapkan sebanyak 2 mg sampel dan 300 mg KBr dicampurkan dan dihaluskan menggunakan mortar khusus. Campuran dicetak membentuk pelet sampel kemudian diletakkan pada sample holder FTIR yang sudah dibersihkan menggunakan metanol dan kertas lensa.

Sampel Lembaran Tipis (Membran)

Sampel membran nilon dan nilon/TiO₂ dipotong persegi sesuai ukuran *sample holder* (2 cm x 2 cm). Kemudian lembaran membran yang sudah dipotong direkatkan pada bagian *sample holder* dan selanjutnya dilakukan pengukuran FTIR. Spektrum sampel hasil FTIR akan muncul di layar monitor. Pada tab *Mathematics*, Find Peaks dipilih, lalu Calculate dipilih untuk menampilkan nilai bilangan gelombang dari setiap puncak spektrum FTIR. Spektrum sampel hasil FTIR disimpan dengan mengklik menu File, lalu Print Preview, dan simpan. Setelah sampel selesai diuji, kemudian hasil uji disimpan. Kemudian tutup semua software dan file lalu instrumen FTIR dimatikan.

Uji Kuat Tarik (*Universal Testing Machine*)

Uji kuat tarik pada membran dilakukan untuk mengetahui kekuatan dan elastisitas membran apabila diberikan beban tertentu. Langkah kerja yang dilakukan pada uji kuat tarik diukur sampel membran nilon dan nilon/TiO₂ (1,5 cm x 1 cm). Sampel dipasang pada pegangan (*grip*) atas dan bawah mesin uji tarik. Sampel membran dilakukan pembebanan pada sampel hingga putus (*break*). Nilai tegangan dan regangan yang terdapat pada *display* mesin uji tarik ditentukan dengan melihat hasil rekaman. Kemudian amati video recorder yang digunakan untuk melihat data pada display mesin uji tarik. Kemudian sampel dilepaskan dari mesin uji tarik dan diamati bentuk patahan yang terjadi. Hasil data yang didapatkan dihitung modulus youngnya.

Uji Morfologi Menggunakan SEM-EDX Mapping

Preparasi sampel membran nilon/TiO₂ menggunakan instrumen SEM-EDX dengan memotong membran nilon/TiO₂-3% dan 5% (1 cm x 1 cm) ditempatkan pada tempat sampel yang telah dilekatkan *carbon tape*. Kemudian dimasukkan ke dalam *sample holder* SEM. Sebelum proses analisis berlangsung, penghilangan molekul udara di dalam alat dilakukan dengan menutup gas dan klik pump pada komputer.

Aplikasi Membran Nilon dan Nilon/TiO₂ untuk Dekolorisasi Nira Tebu

Membran nilon/TiO₂ yang telah disintesis digunakan untuk dekolorisasi nira tebu. Membran nilon/TiO₂ dengan penambahan TiO₂-0%, 1%, 3% dan 5% dibuat melingkar sesuai alat filtrasi

membran (diameter \pm 40 mm). Sampel nira tebu dimasukkan dalam reaktor sebanyak 100 mL dan ditutup rapat, kemudian diberi tekanan 2 Pa selama 30 menit. Konsentrasi larutan sebelum dan sesudah melewati membran digunakan untuk menentukan nilai fluks dan koefisien, di mana konsentrasinya diukur menggunakan *hand refractometer*. Sampel nira tebu sebelum dan sesudah difiltrasi menggunakan membran nilon dan nilon/TiO₂ diuji derajat brix, pH dan nilai warna ICUMSA.

Uji Parameter Dekolorisasi Nira Tebu

Uji Derajat Brix

Sampel nira sebelum dan sesudah filtrasi diuji derajat brixnya menggunakan *hand refractometer*.

Uji pH

Sampel nira tebu sebelum dan sesudah filtrasi diuji pHnya menggunakan pH meter (OHAUS ST20).

Uji Warna ICUMSA

Sampel nira tebu sebelum dan sesudah filtrasi diuji warna menggunakan *spektrofotometer UV-Vis* tipe Orion Aquamate 8000 panjang gelombang yang digunakan adalah 420 nm.

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini membahas pembuatan membran nilon, membran nilon/TiO₂ serta aplikasi membran nilon/TiO₂ pada dekolourisasi warna nira tebu. Karakterisasi membran dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Universal Testing Machine* (uji tarik), *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray-mapping* (SEM-EDX mapping), serta uji fluks dan persen rejeksi. Sampel nira tebu dilakukan karakterisasi derajat brix, pH dan dekolourisasi.

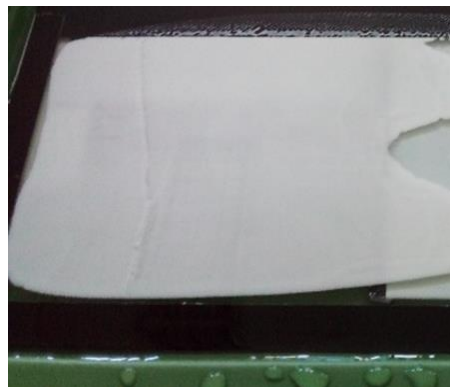
Sintesis Membran Nilon dan Membran Nilon/TiO₂

Sintesis membran nilon dan membran nilon/TiO₂ dimulai dengan menimbang massa 3 gram nilon dengan variasi massa 0%, 1%, 3%, dan 5% TiO₂. Larutan dope diaduk dengan suhu 30°C menggunakan hotplate stirrer selama 6 jam dengan putaran 100 rpm untuk menghasilkan larutan polimer yang homogen. Setelah terbentuk, larutan dope dicetak pada plat kaca yang sebelumnya pada dua sisi kaca telah dilapisi selotip dan dibersihkan dengan aseton. Larutan dope diratakan dengan batang pengaduk agar menjadi lapisan tipis, proses ini disebut casting solution. Waktu penguapan larutan cetak pada plat kaca dengan suhu kamar adalah 120 detik. Larutan cetak direndam selama 10 menit dalam aquades untuk menghilangkan pelarut dalam membran. Selanjutnya membran diangkat dari cetakan dan dikeringkan selama 24 jam (Auline et al., 2018). Gambar membran nilon dapat dilihat pada gambar 1 dan membran nilon/TiO₂ pada gambar 2.

Nilon merupakan bahan yang bersifat semi kristalin. Polimer nilon memiliki karakteristik temperatur transisi glass polimer sebesar 47°C. Penggunaan suhu membran nilon melewati temperatur transisi glass polimer larutan cetak membran akan menjadi encer dan ketika larutan cetak direndam dalam aquades, karakteristik membran yang dihasilkan rapuh (Auline et al., 2018). Pada suhu 30°C membran nilon larut pada suhu optimum (Auline et al., 2018).



Gambar 1. Membran Nilon

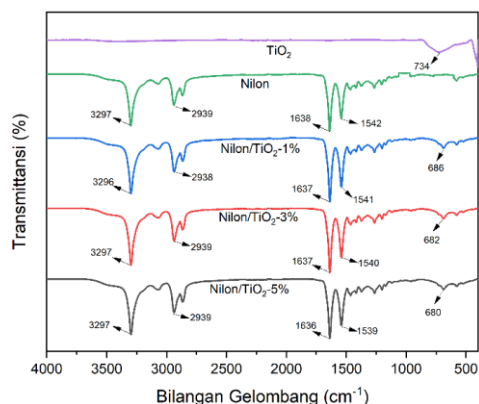
Gambar 2. Membran Nilon/TiO₂

Karakterisasi Membran Nilon dan Membran Nilon/TiO₂

Uji FTIR

FTIR merupakan salah satu metode untuk mengidentifikasi dan menentukan gugus fungsi. Gambar 3 menunjukkan FTIR spektrum serbuk TiO₂, membran nilon-6,6, dan membran nilon/TiO₂-1%, 3% serta 5%. Berdasarkan gambar 3 hasil FTIR TiO₂ muncul pada puncak 734 cm⁻¹ merupakan vibrasi ulur dari Ti-O sesuai dengan penelitian (Vetrivel et al., 2015). Berdasarkan puncak gelombang yang dihasilkan, nilon 6,6 memiliki pita sedang pada puncak 3297 cm⁻¹ itu dikaitkan dengan peregangan N-H dari gugus amino. Selanjutnya terjadi vibrasi ulur C-H₂ akibat gugus alkana diamati pada puncak sedang pada 2939 cm⁻¹.

Membran nilon 6,6 menghasilkan puncak 1638 cm⁻¹ dan 1542 cm⁻¹, dua puncak kuat terdeteksi. Pada puncak 1638 cm⁻¹, C=O membenteng dari gugus karbonil dapat berikatan dengan gugus amino membentuk intra ikatan hidrogen molekuler, menyebabkan C=O meregang biasanya terbentuk pada panjang gelombang 1760 cm⁻¹ hingga 1665 cm⁻¹ untuk dialihkan ke 1638 cm⁻¹, pada puncak gelombang 1542 cm⁻¹ muncul akibat regangan C-N dan ikatan N-H. Hasil ini sesuai dengan penelitian Jasni (2017); Khori (2020).

Gambar 3. Spektra FTIR Nilon, TiO₂ dan Nilon/TiO₂

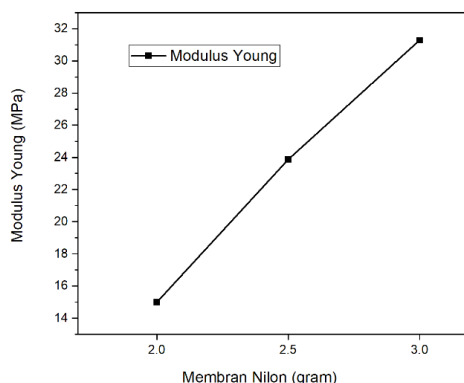
Hasil uji FTIR membran nilon/TiO₂-1% menunjukkan puncak 3296 cm⁻¹ itu dikaitkan dengan peregangan N-H dari gugus amino, muncul vibrasi ulur C-H₂ akibat gugus alkana pada puncak sedang pada 2938 cm⁻¹. Puncak kuat terdeteksi C=O pada puncak 1637 cm⁻¹ dan 1541 cm⁻¹. Vibrasi ulur dari Ti-O muncul pada 686 cm⁻¹. Hasil uji FTIR membran nilon/TiO₂-3%

menunjukkan puncak 3297 cm^{-1} itu dikaitkan dengan peregangan N-H dari gugus amino. Selanjutnya terjadi vibrasi ulur C-H₂ akibat gugus alkana pada puncak sedang pada 2939 cm^{-1} . Pada puncak 1637 cm^{-1} dan 1540 cm^{-1} , dua puncak kuat terdeteksi C=O. Vibrasi ulur dari Ti-O muncul pada 682 cm^{-1} .

Hasil uji FTIR membran nilon/TiO₂-5% menunjukkan puncak 3297 cm^{-1} dikaitkan dengan peregangan N-H dari gugus amino. Selanjutnya terjadi vibrasi ulur C-H₂ akibat gugus alkana pada puncak sedang pada 2939 cm^{-1} . Puncak kuat terdeteksi C=O pada puncak 1636 cm^{-1} dan 1539 cm^{-1} . Vibrasi ulur dari Ti-O muncul pada 680 cm^{-1} . Munculnya ikatan vibrasi Ti-O pada puncak gelombang 734 cm^{-1} merupakan khas milik TiO₂. Berdasarkan penelitian Deswardani et al (2020) puncak gelombang Ti-O muncul pada rentang $729 - 737\text{ cm}^{-1}$ sedangkan Ti-O pada membran nilon/TiO₂-1%, 3%, dan 5% yang muncul pada puncak 686 cm^{-1} ; 682 cm^{-1} ; dan 680 cm^{-1} sesuai dengan penelitian Listanti et al., (2018). Hasil karakterisasi FTIR vibrasi Ti-O dapat teridentifikasi pada bilangan gelombang $400 - 850\text{ cm}^{-1}$ (Kaur et al., 2014).

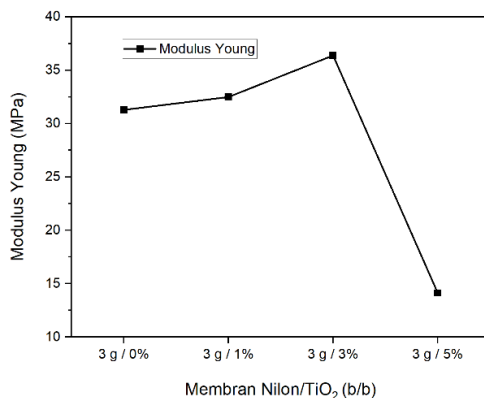
Uji Tarik

Analisis sifat mekanik dilakukan berdasarkan uji tarik, dan sifat-sifatnya diukur untuk menentukan kekuatan membran ketika mengalami gaya yang dapat mempengaruhinya. Uji tarik umumnya digunakan untuk mengukur gaya yang dibutuhkan dalam memutuskan membran nilon.



Gambar 4. Grafik Uji Tarik Membran Nilon

Berdasarkan gambar 4 hasil uji tarik terbaik terjadi pada membran nilon 3 gram dengan memiliki nilai modulus young terbesar yaitu $31,28\text{ MPa}$. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Alshrani et al., (2022) dan Syahputra et al., (2023) semakin besar nilai modulus young, maka sifat mekanik membran tersebut semakin baik untuk melakukan filtrasi karena semakin kuat ikatan amida dalam membran.

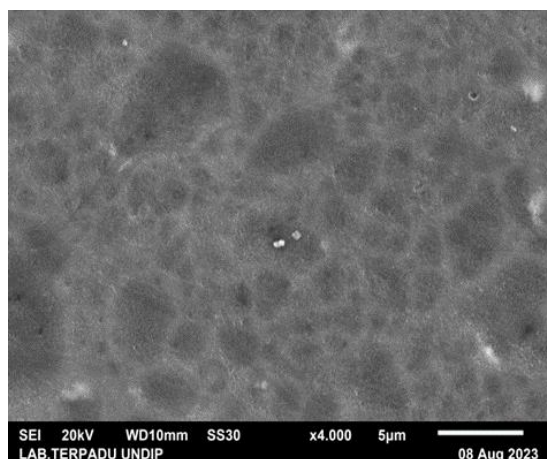


Gambar 5. Grafik Pengaruh Konsentrasi TiO₂ Terhadap Uji Tarik Membran

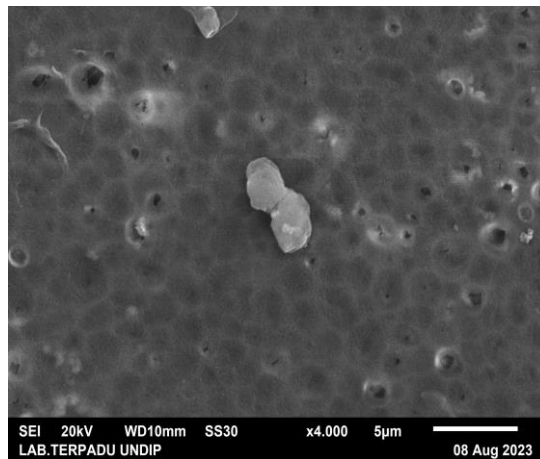
Penelitian Ngobeni et al., (2021) menunjukkan bahwa membran dengan kekuatan mekanik yang semakin meningkat memiliki masa membran yang lebih lama terhadap kerusakan membran. Membran nilon 3 gram ini yang akan digunakan dalam pembuatan membran nilon/TiO₂. Berdasarkan gambar 5 hasil uji tarik optimum pada membran nilon/TiO₂-3% dengan memiliki nilai modulus young terbesar yaitu 36,38 MPa. Hasil uji tarik membran meningkat pada penambahan 1% dan 3% TiO₂ sedangkan pada penambahan 5% TiO₂ uji tarik menurun. Hasil uji tarik optimum pada membran nilon/TiO₂-3% menunjukkan penambahan TiO₂ menghasilkan sifat mekanik membran yang lebih kuat (Maqsood et al., 2023). Hasil kuat tarik pada penambahan 5% TiO₂ pada membran nilon/TiO₂ sudah kurang efektif, hal ini ditandai dengan struktur membran yang lebih kaku dan mudah untuk patah (Maqsood et al., 2023).

Uji SEM-EDX Mapping

Analisis morfologi permukaan membran nilon/TiO₂-3% dan membran nilon/TiO₂-5% telah dilakukan menggunakan SEM.



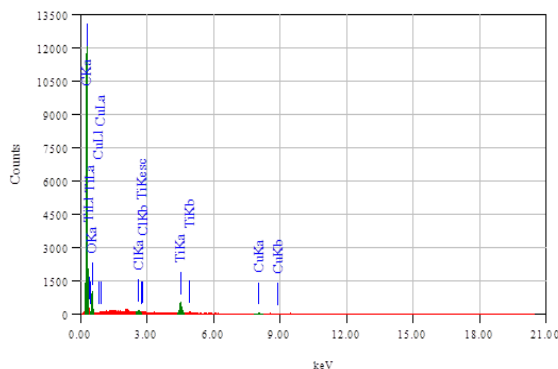
Gambar 6. Perbesaran Morfologi SEM 4000 kali Membran Nilon/TiO₂-3%



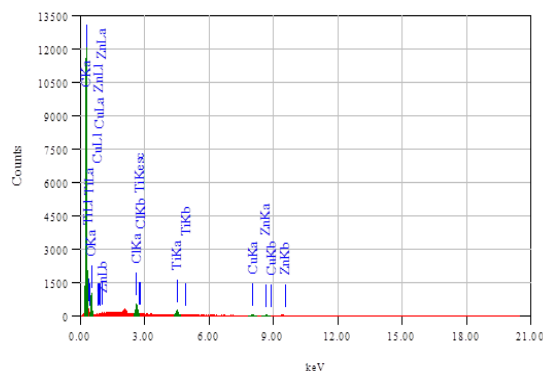
Gambar 7. Perbesaran Morfologi SEM 4000 kali Membran Nilon/TiO₂-5%

Membran nilon/TiO₂-3% (Gambar 6) melalui SEM dengan perbesaran 4000 kali diketahui memiliki ukuran rata-rata permukaan pori yaitu 1,36 µm. Membran nilon/TiO₂-5% (Gambar 7) melalui SEM dengan perbesaran 4000 kali terlihat membran memiliki ukuran rata-rata permukaan pori yaitu 1,70 µm. Berdasarkan hasil ukuran rata-rata permukaan pori membran nilon/TiO₂-3% dan nilon/TiO₂-5% merupakan membran mikrofiltrasi (Hidayah, 2021).

Berdasarkan hasil SEM permukaan membran nilon/TiO₂-5% lebih besar dibandingkan membran nilon/TiO₂-3% disebabkan oleh jumlah TiO₂ yang lebih banyak. Penambahan TiO₂ yang berlebihan menyebabkan penggumpalan pada permukaan membran seperti pada gambar 7. Peningkatan TiO₂ menyebabkan peningkatan viskositas larutan dope yang disebabkan oleh besarnya luas permukaan. Peningkatan jumlah TiO₂ mengakibatkan nilai tukar pelarut dan non pelarut menjadi lebih lambat (Kusworo et al., 2021; Qi et al., 2017).



Gambar 8. Analisis EDX Membran Nilon/TiO₂-3%



Gambar 9. Analisis EDX Membran Nilon/TiO₂-5%

Komposisi unsur dianalisis menggunakan EDX serta persebaran unsur dalam membran nilon/TiO₂-3% dan membran nilon/TiO₂-5% telah dipetakan menggunakan SEM elemental mapping. Analisis membran nilon/TiO₂ dengan EDX untuk memastikan adanya unsur C, O, Cl dan Ti. Berdasarkan Gambar 4.8, analisis EDX membran nilon/TiO₂-3% mengandung unsur Ti dan O 1,06% dan 17,81% massa karena jumlah TiO₂ lebih sedikit daripada membran nilon/TiO₂-5% yaitu unsur Ti dan O 1,78% dan 18,24% massa. Pada gambar 4.9, terdapat peningkatan jumlah unsur Ti 1,78%. Penambahan jumlah TiO₂ yang meningkat mengakibatkan TiO₂ beraglomerasi dan meningkatkan viskositas (Man et al., 2020).

Tabel 1 dan 2 menunjukkan hasil kuantitatif SEM-EDX dari membran nilon/TiO₂-3% dan membran nilon/TiO₂-5% yang telah ditunjukkan grafiknya pada gambar 8 dan gambar 9. Analisis SEM dengan penambahan EDX menghasilkan gambar distribusi zat pengotor pada sampel (Ellingham et al., 2017).

Tabel 1. Kandungan Unsur Membran Nilon/TiO₂-3%

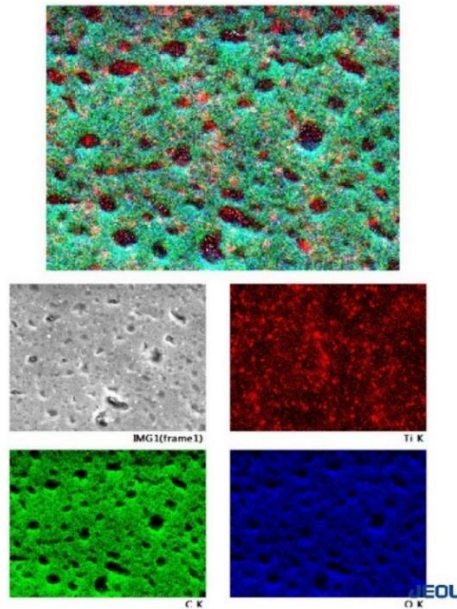
Unsur	%Massa	%Atom
C	79,93	85,14
O	17,81	14,24
Cl	0,74	0,27
Ti	1,06	0,26
Cu	0,46	0,09

Berdasarkan tabel 1 membran nilon/TiO₂-3% dan tabel 2 membran nilon/TiO₂-5% menunjukkan adanya massa unsur Cu dan Zn pada membran nilon/TiO₂-5% sebagai zat pengotor pada membran nilon/TiO₂.

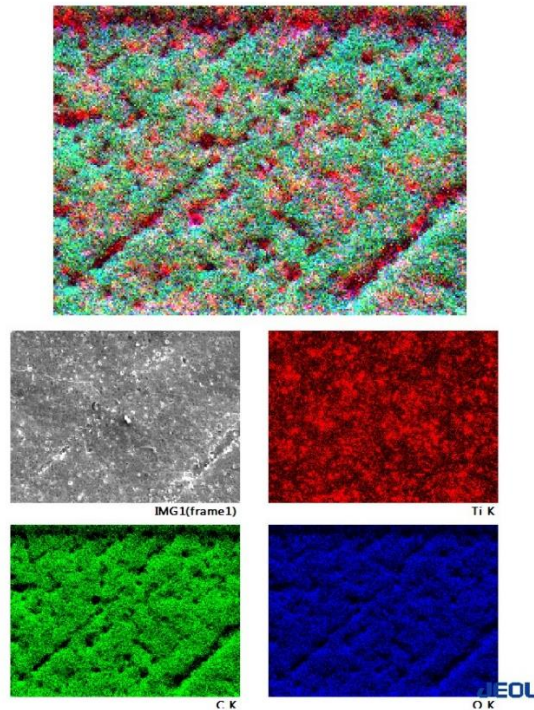
Tabel 2. Kandungan Unsur Membran Nilon/TiO₂-5%

Unsur	%Massa	%Atom
C	78,39	83,90
O	18,24	15,45
Cl	0,17	0,06
Ti	1,78	0,48
Cu	0,47	0,08
Zn	0,92	0,03

Analisis mapping EDX dilakukan untuk mengetahui sebaran material TiO_2 pada membran, berdasarkan (Gambar 10 dan 11) warna hijau menggambarkan unsur Karbon (C), warna biru menggambarkan unsur Oksigen (O), dan warna merah menggambarkan unsur Titanium (Ti).



Gambar 10. Analisis Distribusi Penyebaran Ti Pada Membran Nilon/ TiO_2 -3%



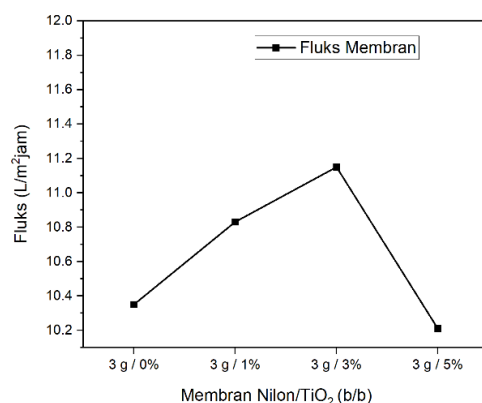
Gambar 11. Analisis Distribusi Penyebaran Ti Pada Membran Nilon/ TiO_2 -5%

Gambar 11 menunjukkan penyebaran unsur Ti lebih merata dibandingkan gambar 10 namun terdapat aglomerasi, berdasarkan penelitian Anan et al., (2019) distribusi Ti yang baik dengan aglomerasi yang lebih sedikit dapat meningkatkan kinerja membran.

Aplikasi Membran Nilon dan Nilon/TiO₂ untuk Dekolorisasi Nira Tebu

Uji Fluks Membran

Uji fluks membran merupakan jumlah permeat yang melewati permukaan membran menggunakan tekanan 2 bar, penggunaan tekanan tersebut karena membran termasuk membran mikrofiltrasi (Hidayah, 2021). Membran dipotong melingkar dengan diameter 40 mm. Membran yang telah dipotong, diletakkan dalam alat filtrasi dengan sistem cross flow, lalu dialirkan aquades dahulu agar pori membran stabil. Alat filtrasi aliran cross flow ini digunakan untuk meminimalkan fouling pada membran (Sharma, 2020).



Gambar 12. Grafik Pengaruh Jumlah TiO₂ pada Fluks Membran

Hasil fluks dapat dilihat pada gambar 12 Membran nilon/TiO₂-5% memiliki nilai fluks paling rendah yaitu 10,20 L/m².jam, hal ini terjadi karena membran memiliki aglomerasi TiO₂ yang dapat menimbulkan fouling pada membran sehingga menghambat aliran umpan (Man et al., 2020). Membran nilon/TiO₂-3% memiliki fluks paling tinggi sebesar 11,15 L/m².jam. Adanya fouling pada membran juga dapat disebabkan oleh kandungan nira tebu terdiri dari serat (10–18%) dan air (80–90%). Serat terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin, sedangkan air terdiri dari (75–82%) dan kandungan padatan terlarut (18–25%). Kandungan padatan terlarut terdiri dari non-gula (1%–2%) dan total gula pereduksi (sukrosa 14–24%, glukosa 0,2–1% dan fruktosa 0–0,5%) (da Costa et al., 2021).

Uji Rejeksi Membran

Uji rejeksi (selektifitas) dilakukan dengan cara melewatkan larutan sampel nira tebu pada konsentrasi 20°brix yang dialirkan melewati modul membran cross flow pada tekanan 2 bar dengan waktu selama 30 menit yang disebut permeate. Uji rejeksi nira tebu diperlukan konsentrasi nira tebu yang terukur melalui hand refractometer dengan satuan brix. Brix adalah pengukuran persentase berat sukrosa dalam larutan air murni. Penunjukan derajat Brix ini hanya berlaku untuk larutan sukrosa murni. Sukrosa murni diekstraksi dari tebu atau bit (Toledo, 2014).

Refraktometer adalah alat optik untuk mengukur kadar brix pada buah-buahan, sayuran, jus, selai, anggur, dan bir. Metode pengukuran refraktometer berdasarkan pada metode standar pengukuran indeks bias cairan. Indeks bias adalah perbandingan kecepatan cahaya di ruang hampa

dengan kecepatan cahaya di medium tertentu (Dongare et al., 2015; Jaywant et al., 2022; Seki et al., 2016). Alat refraktometer memiliki prinsip dasar pembiasan atau prinsip pemantulan kritis cahaya (Jaywant et al., 2022; Ugwu et al., 2018). Hasil rejeksi membran Nilon/TiO₂-0%, 1%, 3%, dan 5% pada tabel 3.

Tabel 3. Koefisien Rejeksi Membran

Nira Tebu		Setelah Dekolorisasi menggunakan Membran Nilon/TiO ₂ (b/b)			
		3 g/0%	3 g/1%	3 g/3%	3 g/5%
Sebelum Dekolorisasi					
Derajat Brix	20	15	9	5	12
Nilai Rejeksi (%)	-	25	55	75	40

Berdasarkan tabel 3. nilai koefisien rejeksi meningkat pada membran Nilon/TiO₂-0%, 1%, dan 3% sebesar 25%, 55%, dan 75% sedangkan pada membran nilon/TiO₂-5% nilai koefisien rejeksi menurun menjadi 40%. Penurunan koefisien rejeksi disebabkan karena diameter pori membran nilon/TiO₂-5% yang besar mengakibatkan nira tebu pada permeate tidak tertahan dengan baik saat melewati membran. Hasil ini sesuai dengan penelitian Jabur et al., (2017) penurunan nilai koefisien rejeksi disebabkan oleh ukuran pori yang besar sehingga beberapa zat organik sangat kecil dapat melewati membran, sehingga sangat berpengaruh terhadap konsentrasi permeate.

Uji Parameter Dekolorisasi Nira Tebu

Berdasarkan tabel 4 nilai brix (padatan total terlarut) diukur menggunakan hand refractometer. Nilai brix terendah dihasilkan oleh membran nilon/TiO₂-3% sebesar 5°, nilai brix berhubungan dengan koefisien rejeksi, semakin kecil nilai brix maka nilai koefisien rejeksi semakin besar.

Tabel 4. Parameter Dekolorisasi Nira Tebu

Keterangan	Sebelum Dekolorisasi	Setelah Dekolorisasi dengan Membran Nilon/TiO ₂			
		0%	1%	3%	5%
Brix (°)	20	15	9	5	12
Absorbansi	1,99	1,24	0,646	0,267	1,689
pH	4,81	4,83	5,09	5,80	4,69
Warna (IU)	9.204,65	7.804,92	6.941,80	5.246,58	8.919,10
Dekolorisasi (%)	-	15,21	24,58	43	3,1

Pengukuran absorbansi pada nira tebu sebelum dan sesudah dekolorisasi diukur dengan Spektrofotometer UV-Vis 420 nm karena pada warna larutan tersebut sesuai dengan warna komplementer kuning-hijau pada panjang gelombang 400 – 435 nm. Warna medium ditentukan oleh panjang gelombang yang diteruskan ke mata. Warna ini dikenal sebagai warna komplementer untuk warna yang diabsorpsi (Lusia, 2017). Analisis warna ICUMSA (*International Commission For Uniform Methods of Sugar Analysis*) menunjukkan hasil warna IU terkecil yaitu membran nilon/TiO₂-3%) sebesar 5.246,58 IU. Analisa warna ini bertujuan untuk menentukan derajat warna dari larutan gula. Penurunan angka atau nilai warna ICUMSA Unit (IU) menunjukkan bahwa larutan gula semakin jernih sedangkan meningkatnya angka atau nilai warna ICUMSA Unit (IU) menunjukkan larutan gula semakin kuning hingga kecoklatan (Riani et al., 2019). Berdasarkan tabel

4 hasil IU menunjukkan angka > 4600 IU, warna ICUMSA > 4600 termasuk dalam gula mentah dan tidak untuk dikonsumsi.

Aplikasi dekolorisasi nira tebu menggunakan membran nilon/TiO₂ menunjukkan hasil dekolorisasi tertinggi sebesar 43% pada membran nilon/TiO₂-3% dan dekolorisasi terendah sebesar 3,1% pada membran nilon/TiO₂-5%. Nilai dekolorisasi berbanding terbalik dengan warna IU, semakin kecil nilai IU maka dekolorisasi semakin besar dan warna larutan nira tebu semakin jernih sedangkan semakin besar nilai warna IU maka nilai dekolorisasi semakin kecil dan warna larutan nira tebu berwarna kuning hingga kecoklatan (Riani et al., 2019).

Warna kehijauan dari nira tebu berasal dari klorofil. Pigmen klorofil umum ditemukan karena nira berasal dari batang tebu yang digiling dimana batang pada tanaman tebu mengandung klorofil sehingga pigmen tersebut juga ikut terlarut dalam nira. Warna kuning pada nira tebu disebabkan oleh adanya pigmen karoten (Rahmani, 2022). Warna nira tebu juga akan mengalami penurunan disebabkan oleh wadah penyimpanan, lama penyimpanan, dan perubahan suhu yang tidak teratur (Ansar et al., 2019).

Berdasarkan tabel 4 nilai pH membran nilon/TiO₂-3% menunjukkan nilai pH sebesar 5,80 dengan hasil pH tertinggi dibandingkan hasil pH membran nilon/TiO₂-0%, 1%, dan 5%. Hasil pH nira tebu membran nilon/TiO₂-3% menunjukkan hasil nira tebu yang baik sesuai penelitian Masruri et al., (2022) nira tebu yang baik mempunyai pH 5 sampai 7. Nira tebu yang baru diperas dari batang tebu memiliki nilai pH atau keasaman sekitar ±7, tetapi pH nira semakin menurun akibat kondisi lingkungan dan mudah terkontaminasi oleh mikroorganisme (Masruri et al., 2022; Natawijaya et al., 2018). Nira tebu dengan pH yang rendah dikarenakan adanya mikroba *Leuconostoc mesentroides* yang menyebabkan gangguan pada nira tebu untuk industri gula

Kesimpulan

Karakterisasi FTIR membran nilon dan nilon/TiO₂-1%, 3%, dan 5% dengan puncak vibrasi ulur C-H₂ pada 2939,62 cm⁻¹; 2938 cm⁻¹; 2939 cm⁻¹; dan 2939 cm⁻¹ dan vibrasi ulur dari Ti-O pada puncak 516,33 cm⁻¹; 686 cm⁻¹; 682 cm⁻¹; dan 680 cm⁻¹ dengan modulus young terbesar pada membran nilon 3 gram sebesar 31,28 MPa. Modulus young pada membran nilon/TiO₂-3% sebesar 36,38 MPa dengan ukuran diameter pori sebesar 1,36 µm dan kandungan unsur Ti 1,06% dan membran nilon/TiO₂-5% dengan ukuran pori 1,70 µm serta kandungan unsur Ti 1,78%. Aplikasi membran untuk dekolorisasi menghasilkan uji fluks pada membran Nilon/TiO₂-3% sebesar 11,15 L/m².jam dengan nilai brix 5° dan menghasilkan nilai rejeksi sebesar 75%. Hasil warna nira tebu awal 9.204,65 IU dan membran Nilon/TiO₂-3% menunjukkan warna 5.246,58 IU terkecil dengan hasil warna nira tebu jernih.

Referensi

- Alshahrani, A. A., Al-Zoubi, H., Alotaibi, S. E., Hassan, H. M. A., Alsohaimi, I. H., Alotaibi, K. M., Alshammari, M. S., Nghiem, L., & Panhuis, M. In Het. (2022). Assessment of commercialized nylon membranes integrated with thin layer of MWCNTs for potential use in desalination process. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 872–883. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.09.084>
- Anan, N. S. M., Jaafar, J., Othman, M. H. D., Rahman, M. A., Aziz, F., & Shahrodin, N. S. M. (2019). Titanium dioxide incorporated thin film composite membrane for bisphenol A removal. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 15(5), 755–760. <https://doi.org/10.11113/mjfas.v15n5.1466>
- Ansar, A., Sukmawaty, S., Muttalib, A., & Wartono, N. (2019). Pengaruh Sinar Uv Terhadap pH

- Dan Total Padatan Terlarut Nira Aren (*Arenga Pinnata Merr*) Selama Penyimpanan. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 8(4), 265. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v8i4.265-272>
- Auline, D., Qomariah, N., & Saleh, A. (2018). Pembuatan Membran Komposit Nilon-Karbon Aktif Dengan Variasi Suhu Dan Waktu Pengadukan. *Jurnal Teknik Kimia*, 24(3), 65–70.
- da Costa, M. V. A., Fontes, C. H., Carvalho, G., & Júnior, E. C. de M. (2021). UltraBrix: A device for measuring the soluble solids content in sugarcane. *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1–19. <https://doi.org/10.3390/su13031227>
- Deswardani, F., Fahyuan, H. D., & Afrianto, M. F. (2020). ANALISIS GUGUS FUNGSI PADA TiO₂ /BIOCHAR DENGAN SPEKTROSKOPI. *JoP*, 5(2), 54–58.
- Dongare, M. L., Buchade, P. B., & Shaligram, A. D. (2015). Refractive index based optical Brix measurement technique with equilateral angle prism for sugar and Allied Industries. *Optik*, 126(20), 2383–2385. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.05.137>
- Ellingham, S. T. D., Thompson, T. J. U., & Islam, M. (2017). Scanning Electron Microscopy–Energy-Dispersive X-Ray (SEM/EDX): A Rapid Diagnostic Tool to Aid the Identification of Burnt Bone and Contested Cremains. *Journal of Forensic Sciences*, 63(2), 504–510. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13541>
- Hamzah, M., Anggaravidya, M., Ulfa, I. M., Mayasari, R. D., Habibie, S., & Astuti, D. (2020). Pemanfaatan Kitosan Dalam Peningkatan Mutu Nira Gula Tebu. *CAKRA KIMIA (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 8(1), 1–8. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/cakra/article/view/62789/35940>
- Hidayah, M. (2021). Modification of Surface Hollow Fiber Membrane Ultrafiltration for Processing Produced Water. *Icest 2018*, 251–257. <https://doi.org/10.5220/0010041302510257>
- Isrofiyah, B. I. (2018). Pengaruh Variasi Fraksi Massa Nilon Dan TiO₂ Terhadap Efek Antibakteri Dan Permeabilitas Pada Membran Hibrid. In *Digital Repository Universitas Jember Digital Repository Universitas Jember PENGARUH*.
- Jabur, A., Abbas, L., & Moosa, S. (2017). Functionalized Titanium Dioxide Nanoparticles - Nylon 6 Nanocomposite Membrane for Improved Salt Rejection Under Low Pressure Water Nanofiltration. *The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering*, 17(3), 408–421.
- Jasni, M. J. F., Sathishkumar, P., Sornambikai, S., Yusoff, A. R. M., Ameen, F., Buang, N. A., Kadir, M. R. A., & Yusop, Z. (2017). Fabrication, characterization and application of laccase–nylon 6,6/Fe³⁺ composite nanofibrous membrane for 3,3"-dimethoxybenzidine detoxification. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 40(2), 191–200. <https://doi.org/10.1007/s00449-016-1686-6>
- Jaywant, S. A., Singh, H., & Arif, K. M. (2022). Sensors and Instruments for Brix Measurement: A Review. *Sensors*, 22(6), 1–20. <https://doi.org/10.3390/s22062290>
- Kaur, M., & Verma, N. K. (2014). CaCO₃/TiO₂ nanoparticles based dye sensitized solar cell. *Journal of Materials Science and Technology*, 30(4), 328–334. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2013.10.016>
- Khori, N. K. E. M., Salmiati, Hadibarata, T., & Yusop, Z. (2020). A combination of waste biomass activated carbon and nylon nanofiber for removal of triclosan from aqueous solutions. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 8(3), 1036–1045. [https://doi.org/10.47277/jett-8\(3\)1](https://doi.org/10.47277/jett-8(3)1)
- Kurniawan, T., Jayanudin, J., Kustiningsih, I., & Adha Firdaus, M. (2018). Palm Sap Sources,

- Characteristics, and Utilization in Indonesia. *Journal of Food and Nutrition Research*, 6(9), 590–596. <https://doi.org/10.12691/jfmr-6-9-8>
- Kusworo, T., Nugraheni, R. E., & Aryanti, N. (2021). The Effect of Membrane Modification Using TiO₂, ZnO, and GO Nanoparticles: Challenges and Future Direction in Wastewater Treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1053(1), 012135. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1053/1/012135>
- Lusia, E. P. (2017). Penentuan Konsentrasi Senyawa Berwarna KMnO₄ Dengan Metoda Spektroskopi UV Visible. *Natural Science Journal*, 3(1), 391–398.
- Makur, M. M., Duraisamy, R., & Birhanu, T. (2019). Clarifying Capacity of Eco-Friendly Nano Cao and Okra(*Abelmoschus Esculentus*) Extract on the Processing of Sugarcane Juice: A Review. *International Research Journal of Science and Technology*, 1(1), 21–30. <https://doi.org/10.46378/irjst.2019.010104>
- Man, H. C., Abba, M. U., Abdulsalam, M., Azis, S., Idris, A. I., & Hamzah, M. H. (2020). Utilization of Nano-TiO₂ as an Influential Additive for Complementing Separation Performance of a Hybrid PVDF-PVP Hollow Fiber : Boron Removal from Leachate.
- Maqsood, K., Jamil, A., Ahmed, A., Sutisna, B., Nunes, S., & Ulbricht, M. (2023). Effect of TiO₂ on Thermal, Mechanical, and Gas Separation Performances of Polyetherimide–Polyvinyl Acetate Blend Membranes. *Membranes*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/membranes13080734>
- Masruri, H. A., Syauqy, D., & Prasetio, B. H. (2022). Klasifikasi Kualitas Air Tebu berdasarkan PH dan Warna menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan berbasis Arduino. ... *Informasi Dan Ilmu Komputer E-ISSN*, 6(6), 2791–2798. <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/11178>
- Mataram, A., Anisya, N., Nadiyah, N. A., & Afriansyah. (2020). Fabrication membrane of titanium dioxide (TiO₂) blended polyethersulfone (pes) and polyvinilidene fluoride (pvdf): Characterization, mechanical properties and water treatment. *Key Engineering Materials*, 867 KEM, 159–165. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.867.159>
- Maulina, W. (2019). Uji Aktivitas Antibakteri dan Permeabilitas Membran Hibrid Nilon-TiO₂. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 15(3), 81. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v15i3.4625>
- Maulina, W., Fauzia, I. K., & Misto, M. (2018). Kajian Membran Nilon Sebagai Filter Pada Proses Penjernihan Nira Tebu. *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 3(1), 57–66. <https://doi.org/10.21009/spektra.031.08>
- Natawijaya, D., Suhartono, S., & Undang, U. (2018). The analysis of Sap Water Yield and Palm Sugar (*Arenga pinnata* Merr.) Quality in Tasikmalaya District. *Jurnal Agroforestri Indonesia*, 1(1), 57–64. <https://doi.org/10.20886/jai.2018.1.1.57-64>
- Ngobeni, R., Sadare, O., & Daramola, M. O. (2021). Synthesis and evaluation of hsd/psf and ssod/psf membranes for removal of phenol from industrial wastewater. *Polymers*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/polym13081253>
- Qi, B., Wu, Y., Guo, S., Luo, J., & Wan, Y. (2017). Refinement of cane molasses with membrane technology for clarification and color removal. *Journal of Membrane Science and Research*, 3(4), 303–307. <https://doi.org/10.22079/jmsr.2017.60224.1128>
- Rafik, M., Qabli, H., Belhamidi, S., Elhannouni, F., Elkhedmaoui, A., & Elmidaoui, A. (2015). Membrane separation in the sugar industry. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(9), 653–658. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84979473439&partnerID=40&md5=71685980001b4c817ea673fcd0900e31>
- Rahmani, S. D. (2022). Tingkat Konsumsi Nira Tebu Dan Pengaruhnya Terhadap Kadar Sukrosa

- Madu Trigona biro Di Kampung Rimba Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin. In *repositoryunhas.ac.id*.
- Riani, P., & Gultom, D. T. (2019). Penentuan Nilai Colour Gula Produk pada Unit Lump Separator dengan Menggunakan Spektrofotometer Visible dan Refraktometer. *Majalah Ilmiah Teknologi Industri (SAINTI)*, 16(2), 151–155.
- Sahat, S. F. (2017). Peluang Ekspor Gula Semut. *Kementrian Perdagangan Republik Indonesia*, 1–20. <http://djpen.kemendag.go.id>
- Seki, A., Narita, K., & Watanabe, K. (2016). Refractive Index Measurement in Sucrose Solution and Beverage Using Surface Plasmon Resonance Sensor Based on Hetero-core Structured Fiber Optic. *Procedia Chemistry*, 20, 115–117. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.07.020>
- Sharma, E. (2020). *Design and Optimization of Ultrafiltration Membrane Setup for Wastewater Treatment and Reuse*. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-277640>
- Sinuhaji, N. (2017). Analisis Pengolahan Tebu Menjadi Gula Kristal Putih Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis Matlab. *Majalah Ilmiah Politeknik Mandiri Bina Prestasi*, 6(2), 230–239. <http://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JIA/article/view/558>
- Suprihatin. (2007). Penjernihan Nira Tebu Menggunakan Membran Ultrafiltrasi Dengan Sistem Aliran Silang. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 12(02), 93–99.
- Syahputra, K. Y., Hidayah, M., & Bahiyyah, W. (2023). *Indonesian Journal of Chemical Science Utilization of Nylon-Based Eggshell Waste in the Making of Microfiltration Membranes for Reducing Metal Fe 3 +*. 12(2).
- Toledo, M. (2014). Brix - Sugar determination by density and refractometry. *Density and Refractometry*, 1–8. https://beta-static.fishersci.com/content/dam/fishersci/en_US/documents/programs/scientific/technical-documents/technical-bulletins/mettler-toledo-brix-sugar-determination-technical-bulletin.pdf
- Ugwu, K. C., Mbajiorgu, C. C., Okonkwo, W. I., & Ani, A. O. (2018). Design, fabrication and performance evaluation of a portable hand-held refractometer. *Nigerian Journal of Technology*, 37(2), 537. <https://doi.org/10.4314/njt.v37i2.33>
- Vetrivel, V., Rajendran, K., & Kalaiselvi, V. (2015). Synthesis and characterization of pure titanium dioxide nanoparticles by sol- gel method. *International Journal of ChemTech Research*, 7(3), 1090–1097.