

Submitted : 1 March 2024

Revised : 5 May 2024

Accepted : 8 June 2024

PEMBUATAN HIDROGEL BERBASIS POLIVINIL ALKOHOL (PVA)/KARBOKSIMETIL SELULOSA (CMC)/MINYAK ASIRI SERAI MENGGUNAKAN METODE *CHEMICAL CROSSLINKED*

Tuti Indah Sari*, Prahady Susmanto, Muhammad Hatta Dahlan, Natasya Islami Kamega, Amalia Pratiwi

Chemical Engineering Department, Faculty of Engineering, Universitas Sriwijaya, South Sumatera, 30862, Indonesia

*Email: tutiindahsari@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membuat hidrogel pembalut luka berbasis polivinil alkohol (PVA)/karboksimetil selulosa (CMC)/minyak asiri serai dengan asam sitrat sebagai agen pengikat silang (*crosslink agent*). Penambahan minyak asiri serai dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hidrogel. Penggunaan asam sitrat sebagai *crosslink agent* untuk meningkatkan sifat mekanik hidrogel yang dihasilkan. Formulasi hidrogel yang digunakan adalah PVA 10% (v/v) dan CMC 6% (v/v) dengan variasi jumlah minyak asiri serai dan asam sitrat. Hidrogel dikarakterisasi dengan *fourier transform infrared* (FTIR) dan *scanning electron microscope* (SEM) serta dianalisis dengan uji kuat tarik, daya serap air (*swelling*), dan aktivitas antibakteri. Pengujian kemampuan antibakteri dilakukan pada bakteri *Staphylococcus aureus*. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan jumlah asam sitrat mengakibatkan nilai *tensile strength* yang semakin tinggi dan *elongation at break* yang menurun. Peningkatan minyak asiri serai menyebabkan penurunan nilai *tensile strength* dan *elongation at break*. Persentase *swelling* menurun dengan peningkatan jumlah minyak asiri serai dan asam sitrat. Hidrogel pembalut luka menunjukkan potensi yang baik ditandai dengan kemampuan antibakteri yang tinggi, yaitu dengan diameter zona bening rata-rata tertinggi sebesar 11,39 mm. Hasil tertinggi terdapat pada hidrogel dengan minyak asiri sebanyak 0,4 mL dan asam sitrat 2 % yang menunjukkan semakin banyak jumlah minyak asiri serai dan asam yang ditambahkan, semakin baik sifat antibakteri pada hidrogel.

Kata Kunci: *Chemical crosslink*; CMC; Hidrogel; Minyak asiri serai; PVA

Abstract

This study aims to make polyvinyl alcohol (PVA)/carboxymethyl cellulose (CMC)/citronella essential oil-based wound dressing hydrogel with citric acid as a crosslinking agent. Citric acid was used as a crosslinking agent to improve mechanical properties, and lemongrass essential oil was added to determine its effect on the hydrogel. The hydrogel formulation was 10% (v/v) PVA and 6% (v/v) CMC with varying amounts of citronella essential oil and citric acid. Hydrogels were characterized by Fourier Transform Infrared (FTIR) and Scanning Electron Microscope (SEM) and analyzed by tensile strength test, water absorption (swelling), and anti-bacterial activity. Analysis of anti-bacterial ability was carried out on Staphylococcus aureus bacteria. The results showed that increasing the amount of citric acid resulted in higher tensile strength values and decreased elongation at break. The increase in citronella essential oil caused a decrease in the value of tensile strength and elongation at break. The swelling percentage decreased with increasing citronella essential oil and citric acid. The wound dressing hydrogel showed good potential characterized by high antibacterial ability, with the highest average clear zone diameter of 11.39 mm. The highest result was found in the hydrogel with 0.4 mL of citronella essential oil and 2 % citric acid, indicating that the greater the amount of lemongrass essential oil and acid added, the better the antibacterial of the hydrogel.

Keywords: *Chemical crosslink*; Citronella essential oil; CMC; Hydrogel; PVA

1. PENDAHULUAN

Prevalensi dari luka iris, sobek atau tusuk di Indonesia mencapai 20,1% (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2018). Banyaknya kasus luka pada kulit ini mengakibatkan teknologi untuk perawatan serta penyembuhan luka terus dikembangkan. Penyembuhan luka akan memperbaiki jaringan kulit yang terjadi setelah luka. Secara umum, perawatan luka dilakukan dengan sederhana menggunakan pembalut luka untuk menghindari kontaminasi bakteri.

Teknologi perkembangan pembalut luka kini sudah mulai memanfaatkan polimer dalam bentuk hidrogel yang dapat meningkatkan respon terhadap jaringan kulit. Hidrogel dianggap ideal sebagai pembalut luka karena memiliki permeabilitas dan biokompatibilitas yang baik, serta mampu untuk menyediakan lingkungan lembab untuk perbaikan luka (Su et al, 2021).

Karboksimetil selulosa (CMC) sebagai turunan dari selulosa, secara fisiologis tidak beracun dan bersifat kompatibel dengan membran, tulang, dan kulit (Djumaev & Tashmukhamedova, 2020). CMC dalam pembalut luka memiliki sifat fleksibilitas yang baik dan mampu menyerap eksudat luka. CMC dalam bentuk 44hidrogel dapat membantu proses penyembuhan luka karena dapat menjaga kelembaban lingkungan di sekitar luka, yang membantu proliferasi dan keratinosit (Kanikireddy et al, 2020). Penambahan CMC berperan pada bentuk gel yang dihasilkan dan memengaruhi karakteristik hidrogel seperti fraksi gel, *swelling*, dan sifat mekanik (Haryanto & Aeni, 2017).

CMC memiliki sifat hidrofilik yang memungkinkan untuk bercampur dengan bahan lain, seperti polimer sintetik, polimer alami, dan bahan anorganik, serta memungkinkan untuk pembuatan biomaterial inovatif untuk pembalut luka (Prete et al, 2023). CMC dapat bercampur dengan polimer lain, seperti polivinil alkohol (PVA) yang biokompatibel, kurang beracun, dan bersifat hidrofilik. CMC memiliki tingkat biodegradabilitas dan biokompatibilitas yang lebih tinggi pada PVA, namun sifat mekaniknya kurang baik. PVA memiliki stabilitas kimiawi, durabilitas yang tinggi, dan derajat *swelling* yang tinggi jika dilarutkan ke dalam air atau *biological fluids* (Demappa & Shivakumara, 2019). Sifat mekanik pada PVA yang lebih baik memberikan hubungan sinergis antara dua polimer tersebut dan mengembangkan campuran baru dengan sifat lebih baik (Khorambadi et al, 2020).

Metode *chemical crosslinked* atau ikatan silang merupakan proses modifikasi dengan penambahan ikatan kimia pada suatu jaringan. Metode *chemical crosslinked* memiliki prinsip pergantian gugus OH⁻ dengan gugus fungsi yang lain, seperti gugus eter atau gugus fosfat (Tian et al, 2022). Proses pembuatan hidrogel dari PVA-CMC dapat dimodifikasi karena kedua bahan tersebut memiliki karakteristik kompatibilitas dari hasil ikatan hidrogen antara gugus hidroksil pada PVA dan gugus karboksimetil pada CMC (Khorambadi et al, 2020). Metode *chemical crosslinked* dalam prosesnya membutuhkan agen *crosslinked* yang akan memfasilitasi efek pengikatan silang dan plastisasi untuk meningkatkan sifat film.

Asam sitrat banyak digunakan sebagai agen *crosslinked* karena murah, tidak beracun, dan memiliki kemampuan antimikroba (Farid et al, 2022). Mekanisme pengikatan silang oleh *asam sitrat* terjadi melalui reaksi esterifikasi dengan *asam sitrat* membentuk anhidrida siklik diikuti dengan esterifikasi gugus hidroksil dari polimer yang mengarah pada pembentukan ikatan silang (Ghorpade et al, 2019). Polimer yang diketahui bisa berikatan dengan asam sitrat diantaranya adalah kolagen, selulosa, kitosan, polivinil alkohol, pati, dan gelatin (Lee et al, 2020).

Luka yang terjadi di kulit menyebabkan integritas pertahanan kulit terganggu dan menjadi tempat bakteri. Mikroorganisme dan bakteri tersebut dapat menghambat proses penyembuhan luka. *Citronella oil* terdiri dari sitronelal 32-45%, sitronelol 11-15%, geraniol 10-12%, geraniol asetat 3-8%, sitronelal asetat 2-4% (Murni & Rustin, 2020). Kandungan senyawa flavonoid yang terdapat pada serai wangi dapat berfungsi sebagai antibakteri dengan membentuk senyawa kompleks dengan protein ekstraseluler (Supria et al, 2022).

Banyak peneliti yang mengembangkan hidrogel PVA/CMC, namun belum ada yang membahas terkait penambahan minyak asiri serai sebagai bahan antibakteri di pembalut luka. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk membuat hidrogel PVA/CMC melalui metode *chemical crosslinked* menggunakan asam sitrat disertai penambahan minyak asiri serai untuk pembalut luka. Pembuatan film hidrogel memperhatikan konsentrasi asam sitrat sebagai agen pengikat silang dan minyak asiri serai yang digunakan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat fisik dan mekanik, serta sifat antibakteri hidrogel.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Bahan

Polimer alami yaitu karboksimetil selulosa (Na-CMC 0,5%), polivinil alkohol (99,6% mol *hydrolyzed*), dan asam sitrat monohidrat dari Sigma Aldrich, USA. Minyak asiri serai dari APHP SMK PP Negeri Sembawa, dan akuadest dari toko kimia lokal.

2.2 Preparasi Bahan dan Pembuatan Hidrogel

Pembuatan hidrogel diawali dengan preparasi larutan PVA 10% dan larutan CMC 6%. Larutan PVA (10%v/v) dibuat dengan melarutkan PVA dalam akuades disertai pengadukan konstan pada temperatur 80°C. Preparasi larutan CMC (6% v/v) dilakukan dengan melarutkan 6 g bubuk CMC dalam 100 mL akuades disertai pengadukan konstan selama dua jam pada suhu ruang. Larutan PVA dan CMC dikombinasikan dengan asam sitrat dengan variasi konsentrasi dan ketika telah bercampur ditambahkan minyak asiri serai dengan variasi jumlah. Pencampuran dilakukan dengan kecepatan pengadukan 1000 rpm. Campuran hidrogel kemudian dituang dalam cawan petri dan dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 40-50°C selama 7 jam (Altaf et al., 2020).

Tabel 1. Kode sampel

Asam sitrat (%)	Jumlah minyak asiri serai (mL)	Kode Sampel (A: %Swelling, B: Zona Bening (mm), C: Tensile Strength, D: %Elongation, E: FTIR, F: SEM)
0	0,0	A1/B1/C1/D1/E1/F1
	0,1	A2/B2/C2/D2/E2/F2
	0,2	A3/B3/C3/D3/E3/F3
	0,3	A4/B4/C4/D4/E4/F4
	0,4	A5/B5/C5/D5/E5/F5
1	0,0	A6/B6/C6/D6/E6/F6
	0,1	A7/B7/C7/D7/E7/F7
	0,2	A8/B8/C8/D8/E8/F8
	0,3	A9/B9/C9/D9/E9/F9
	0,4	A10/B10/C10/D10/E10/F10
2	0,0	A11/B11/C11/D11/E11/F11
	0,1	A12/B12/C12/D12/E12/F12
	0,2	A13/B13/C13/D13/E13/F13
	0,3	A14/B14/C14/D14/E14/F14
	0,4	A15/B15/C15/D15/E15/F15

2.3 Fourier Transform Infrared (FTIR)

Analisis FTIR digunakan untuk mengidentifikasi senyawa, gugus fungsi, dan menganalisis campuran sampel yang dilakukan dengan menyerap spektrum inframerah pada sampel. Analisis FTIR dilakukan di Laboratorium Fisika dan Kimia Pusat Penelitian Karet Bogor.

2.4 Tensile Strength dan Elongation at Break

Pengukuran *tensile strength* dan *elongation at break* dilakukan untuk mengetahui besarnya gaya yang dicapai untuk memperoleh tarikan maksimum pada setiap satuan luas area film untuk merenggang atau memanjang. Analisis ini dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya (POLSRI) Sumatera Selatan dengan Metode Uji JIS K762-2 DIN EN ISO 527-2.

2.5 Swelling

Hidrogel yang telah kering direndam dalam larutan penyangga fosfat (pH 7,4) pada suhu ruang selama satu hari. Larutan berlebih pada permukaan sampel dihilangkan menggunakan tisu dan ditimbang. *Swelling* dapat dihitung dengan metode perhitungan oleh Rahayuningdyah et al. (2020), yaitu sebagai berikut:

$$Swelling (\%) = (Ws - Wd) / Wd \times 100 \tag{1}$$

Dengan Wd adalah berat awal hidrogel (g) dan Ws adalah berat hidrogel setelah direndam (g)

2.6 Aktivitas Antibakteri

Analisis aktivitas antibakteri dilakukan untuk menguji kemampuan hidrogel dalam mengatasi bakteri. Metode yang digunakan ialah metode difusi cakram dengan menebarkan 10µL inokulum *Staphylococcus aureus* (108 CFU/mL) pada media *mueller hinton agar* (MHA). Sampel hidrogel dioleskan pada *paper disc* steril yang akan diletakkan di atas media MHA. Cawan petri diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam dan kemudian dilakukan perhitungan diameter zona bening yang terbentuk. Pengujian aktivitas antibakteri dilakukan dengan merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Magvirah et al. (2019).

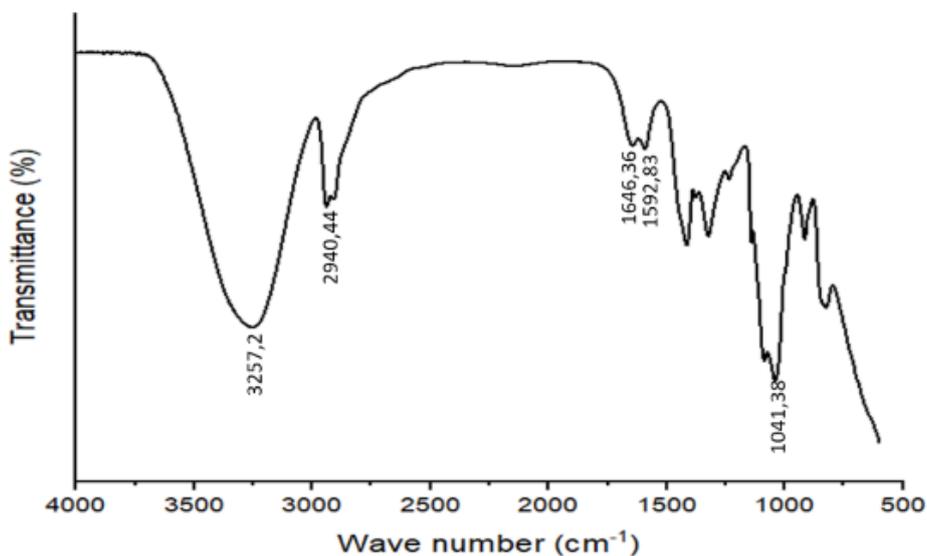
2.7 Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian SEM dilakukan untuk mengamati morfologi permukaan objek solid secara langsung dengan perbesaran. Pengamatan morfologi hidrogel dilakukan untuk mengamati tingkat kehalusan, pori, dan *crack* pada permukaan hidrogel. Analisis SEM dilakukan di Puslabfor Sentul Bogor.

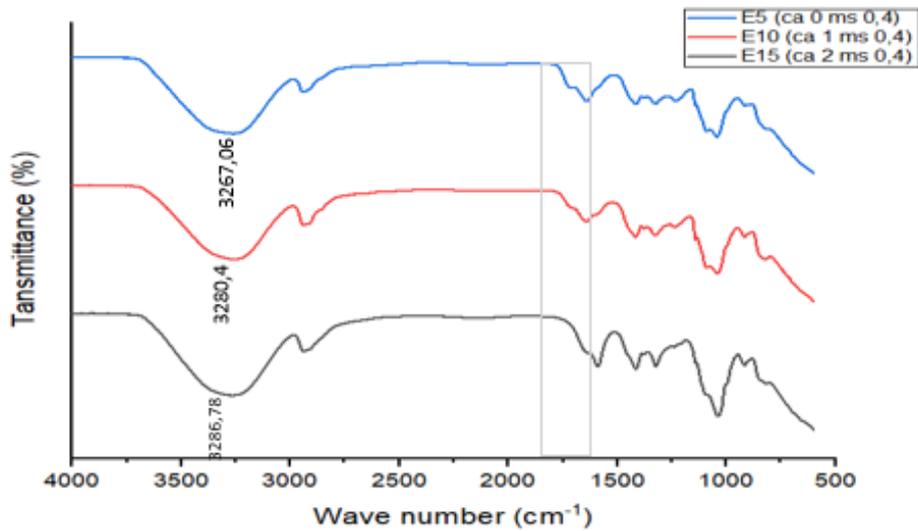
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakterisasi Fourier Transform Infrared (FTIR)

Analisis gugus fungsi yang terdapat dalam hidrogel menggunakan alat *Fourier Transform Infrared* (FTIR) sehingga diperoleh hasil berupa *peak* atau puncak-puncak frekuensi adsorpsi pada rentang frekuensi tertentu sebagai karakteristik suatu senyawa. Senyawa PVA memiliki gugus hidroksil (-OH) menghasilkan



Gambar 1. Karakteristik FTIR film hidrogel PVA/CMC



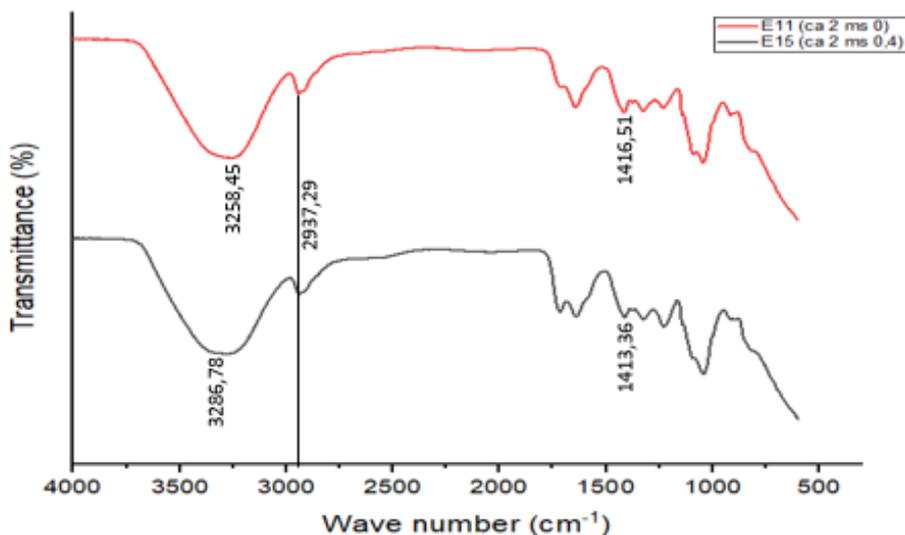
Gambar 2. Karakterisasi FTIR film hidrogel PVA/CMC/minyak asiri serai 0,4 mL dengan variasi asam sitrat (AS)

ikatan hidrogen antar dan intramolekul. Menurut penelitian Ghaffar & Ali (2021), karakteristik senyawa CMC muncul pada 3291 cm^{-1} dan 1592 cm^{-1} berupa gugus hidroksil dan karbonil. Kisaran panjang gelombang $3500\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan karakteristik vibrasi gugus hidroksil (-OH) yang pada film hidrogel dengan konsentrasi asam sitrat dan minyak asiri serai yang berbeda.

Gambar 1 menunjukkan karakterisasi FTIR film hidrogel dengan PVA 10% dan CMC 6%. Pada $3257,2\text{ cm}^{-1}$ terbentuk *overlapping* antara gugus hidroksil (-OH) dari senyawa PVA dan CMC. Ikatan antara PVA dan CMC terlihat pada $2940,44\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan *stretching vibration* C-H alifatik dan *bending* alkana normal. Spektrum menunjukkan puncak pada $1646,36\text{ cm}^{-1}$ menandakan gugus ester serta peregangan karbonil asam karboksilat. Gugus karbonil dari senyawa PVA dan CMC muncul pada $1592,83\text{ cm}^{-1}$. Ini menunjukkan adanya ikatan silang ester dalam film hidrogel. Pembentukan ikatan eter dapat dilihat pada peak $1041,38\text{ cm}^{-1}$.

Hidrogel dengan penambahan asam sitrat (AS) sebagai agen *crosslinked* dengan konsentrasi yang berbeda tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hidrogel tanpa penambahan AS menunjukkan gugus hidroksil pada $3267,06\text{ cm}^{-1}$. Penambahan AS 1 g pada hidrogel menunjukkan gugus hidroksil $3280,4\text{ cm}^{-1}$, sedangkan penambahan AS 2 g menunjukkan gugus hidroksil $3286,78\text{ cm}^{-1}$. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ghorpade et al (2019), terbentuknya ikatan silang dalam film hidrogel PVA/CMC dapat ditandai dengan adanya puncak pada $1690\text{-}1760\text{ cm}^{-1}$. Hal tersebut menandakan terdapat ikatan silang ester (C=O) yang terbentuk dalam komposit film hidrogel.

Gambar 3 menunjukkan hasil analisis spektra FTIR dengan komposisi minyak asiri serai 0 dan 0,4 mL. *Broad peak* terlihat pada kisaran $3000\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ yang disebabkan oleh adanya gugus -OH yang meluas karena adanya gugus karboksil dari gugus asetat. Puncak pada $1600\text{-}1800\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan rangkap C=O dan C-C yang berasal dari karakteristik minyak.

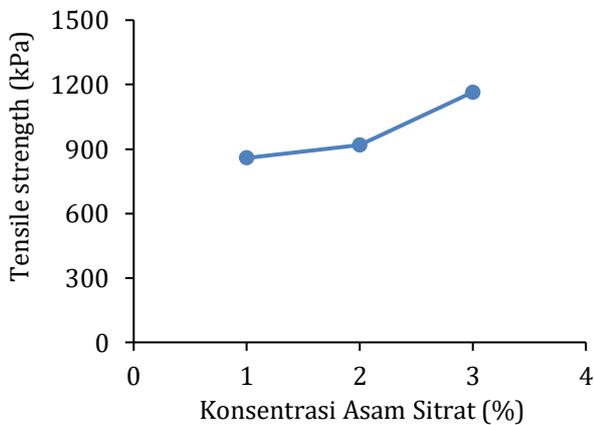


Gambar 3. Karakterisasi FTIR film hidrogel PVA/CMC dengan asam sitrat 2 % dan variasi minyak asiri serai

Pada 2937,29 cm^{-1} terdapat *stretching* dan *bending* ikatan C-H yang bergeser ke 1413,36 cm^{-1} dan 1416,51 cm^{-1} . Menurut Altaf et al (2020), semakin baik puncak membran hidrogel maka semakin tinggi kecenderungan hidrogel dalam menyerap luka. Perbedaan yang terbentuk pada setiap puncak akibat penambahan minyak pada hidrogel dapat disebabkan oleh perbedaan transmitansi pada berbagai konsentrasi.

3.2 Pengaruh Penambahan Konsentrasi Minyak Asiri Serai dan Asam Sitrat terhadap Sifat Mekanik Hidrogel

Sifat mekanik hidrogel sebagai polimer yang digunakan untuk membalut luka harus memiliki biokompabilitas yang tinggi karena hidrogel diharuskan memenuhi standar dengan tegangan permukaan yang rendah terhadap cairan biologi dan jaringan (Kartika et al, 2015). Pengaruh penambahan minyak asiri serai dan asam sitrat terhadap nilai *tensile strength* ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan hasil analisis, peningkatan konsentrasi asam sitrat dalam komposit film hidrogel menyebabkan peningkatan *tensile strength* pada hidrogel yang dihasilkan. Asam sitrat memiliki gugus karboksil yang akan berikatan dengan gugus hidroksil membentuk gugus ester. Ikatan yang terbentuk antara gugus karboksil dan gugus hidroksil menyebabkan terbentuknya rekristalisasi pada polimer CMC sehingga kuat tarik film yang terbentuk akan meningkat (Hardjono et al, 2016).

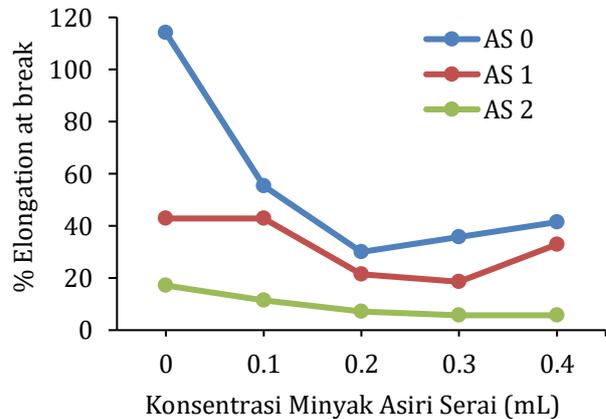


Gambar 4. Nilai *tensile strength* hidrogel PVA/CMC/minyak asiri serai dengan variasi konsentrasi asam sitrat

Penambahan asam sitrat dapat meningkatkan *tensile strength* hingga 1164,93 kPa yaitu pada sampel hidrogel (AS 2 / MS 0). Berdasarkan penelitian Fadiana dan Haryanto (2021), nilai *tensile strength* yang semakin kecil menunjukkan rendahnya ketahanan akibat kerusakan karena peregangan dan kualitas fisik yang dihasilkan semakin turun.

Penambahan minyak asiri serai pada formulasi hidrogel menyebabkan penurunan nilai *tensile strength*. Hal tersebut serupa dengan penelitian Altaf et al (2020) yang menunjukkan penurunan ikatan silang seiring penambahan minyak asiri serai. Penurunan ini

disebabkan karena berkurangnya mobilitas rantai panjang polimer pada komposit hidrogel. Interaksi rantai terputus karena adanya penggabungan emulsi yang menyebabkan munculnya interaksi baru antara komponen emulsi dengan gugus -OH pada polimer (Lamarra et al, 2020). Nilai *tensile strength* terbesar ditunjukkan pada sampel (MS 0) yaitu 1164,93 kPa dan nilai *tensile strength* terkecil ditunjukkan sampel (MS 0,3) yaitu 490,5 kPa.



Gambar 5. Nilai % elongation film hidrogel PVA/CMC/minyak asiri serai dengan variasi konsentrasi asam sitrat

Gambar 5 menunjukkan pengaruh nilai *%elongation* terhadap konsentrasi penambahan minyak asiri serai dan asam sitrat sebagai *crosslinked agent*. Nilai *%elongation at break* yang paling tinggi dari sampel (AS0/MS0) sebesar 114,11%, dan yang paling rendah adalah dari sampel (AS 2/MS 0,3) dan (AS 2/ MS 0,4) dengan nilai *%elongation at break* sebesar 5,71%. Sampel yang memiliki *%elongation* yang tinggi bersifat fleksibel dan tidak mudah putus (Farikha, 2022). Diperoleh nilai *%elongation at break* berbanding terbalik dengan nilai *tensile strength*.

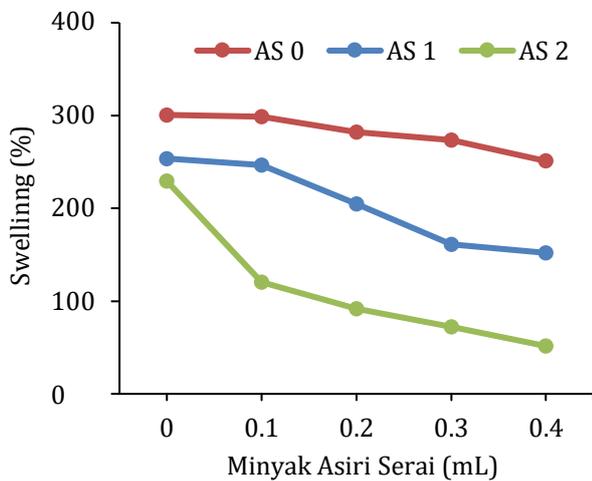
Penambahan AS memberikan penurunan nilai *%elongation at break* yang signifikan, karena AS sebagai *crosslinked agent* memiliki tiga gugus karboksil yang akan berikatan dengan gugus hidroksil sehingga menghasilkan gugus ester, sehingga semakin tinggi persen asam sitrat yang diberikan akan membuat ikatan semakin kuat dan mempengaruhi perpanjangan hidrogel (Hardjono et al, 2016). Pengaruh variasi konsentrasi minyak asiri serai terhadap *%elongation at break* adalah penurunan *%elongation at break* seiring dengan peningkatan konsentrasi minyak asiri serai. Penurunan nilai tersebut disebabkan oleh penurunan panjang rantai dan mobilitas rantai polimer akibat penggabungan minyak asiri. Konsentrasi minyak yang meningkat akan membuat ukuran pori-porinya mengecil sehingga membran akan semakin rapuh (Altaf et al, 2020).

Sifat mekanik hidrogel meliputi uji *tensile strength* dan *%elongation at break*. Standar mekanik hidrogel sebagai pembalut luka adalah mengikuti standar mekanik dari kulit. Tendon memiliki kuat tarik antara 5000-15000 KPa, sedangkan tumit memiliki kuat

mekanik 300-25000 KPa (Fadiana & Haryanto, 2021). Berdasarkan standar tersebut, nilai *tensile strength* untuk hidrogel berbasis PVA/CMC/minyak asiri serai dengan asam sitrat telah memenuhi standar pembalut luka. Standar untuk nilai *%elongation at break* hidrogel sebagai material pembalut luka mengacu pada standar oleh Maganaris tahun 1999 adalah sebesar 1-25%. Maka sampel yang memiliki *%elongation at break* ideal adalah sampel (AS 1/MS 0,2), (AS 1/MS 0,3), (AS 2/MS 0), (AS 2/MS 0,1), (AS 2/MS 0,2), (AS 2/MS 0,3), dan (AS 2/MS 0,4).

3.3 Pengaruh Penambahan Konsentrasi Minyak Asiri Serai dan Asam Sitrat terhadap Persentase Swelling

Persentase *swelling* merupakan parameter penting untuk menentukan standar hidrogel sebagai pembalut luka. Larutan yang digunakan berupa larutan penyangga fosfat dengan pH 7,5 sehingga diperoleh nilai *swelling* yang sesuai untuk aplikasi pembalut luka di tubuh manusia.



Gambar 6. Persentase *swelling* hidrogel PVA/CMC/minyak asiri serai dengan variasi konsentrasi asam sitrat

Gambar 6 menunjukkan persentase *swelling* hidrogel PVA/CMC dengan pengaruh penambahan konsentrasi minyak asiri serai dan asam sitrat. Berdasarkan Gambar 6, nilai persentase *swelling* mengalami penurunan akibat peningkatan konsentrasi minyak asiri serai maupun peningkatan konsentrasi asam sitrat sebagai agen pengikat silang. Hidrogel dengan kandungan minyak asiri serai 0 mL dan asam sitrat 0% merupakan sampel dengan persentase *swelling* tertinggi yaitu sebesar 300,64%, sedangkan hidrogel dengan kandungan 0,4 mL minyak asiri serai dan 2 % asam sitrat dengan persentase *swelling* terendah sebesar 51,53%. Hasil persentase *swelling* tersebut menunjukkan data yang lebih baik dari penelitian dari Mahmood et al (2021) dengan hidrogel berbasis selulosa dan penambahan minyak asiri yaitu sebesar 71% hingga 85%.

Perilaku *swelling* yang mengalami penurunan dengan peningkatan konsentrasi minyak asiri serai linear dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Wang et al (2021) mengenai pengaruh penambahan

essential oil pada hidrogel yang mengalami penurunan setelah penggabungan *essential oil*. Hal ini dikarenakan minyak asiri serai merupakan senyawa hidrofobik sehingga dengan peningkatan konsentrasi penambahan minyak asiri serai akan meningkatkan hidrofobisitas hidrogel dan membuat molekul air atau larutan sulit masuk melalui ikatan hidrogen (Wang et al, 2021). Hidrogel pada sampel (AS 0 g/MS 0,4 mL), (AS 1 g/MS 0,4 mL), dan (AS 2 g/MS 0,4 mL) memiliki nilai persentase *swelling* terendah dibandingkan dengan sampel hidrogel lainnya jika ditinjau sesuai dengan variasi konsentrasi asam sitrat yang ditambahkan.

3.4 Pengaruh Penambahan Konsentrasi Minyak Asiri Serai terhadap Aktivitas Antibakteri

Hidrogel sebagai aplikasi pemanfaatan polimer dalam bidang medis harus memiliki pelindung dari aktivitas antibakteri sebagai standar pembalut luka. Hidrogel berbasis minyak asiri serai dan agen pengikat silang berupa asam sitrat memiliki karakteristik yang baik dalam menghambat aktivitas antibakteri. Bakteri yang diujikan dalam analisis ini adalah *Staphylococcus aureus*. Minyak asiri serai dalam konsentrasi rendah diketahui cukup dapat menghambat pertumbuhan spesies *planktonic S. aureus* dan *Candida* (Gao et al, 2020).

Tabel 1. Pengaruh konsentrasi minyak asiri serai terhadap aktivitas antibakteri dengan variasi konsentrasi asam sitrat

Kode Sampel	Konsentrasi asam sitrat (%)	Jumlah Minyak Asiri Serai (%)	Diameter Zona Bening Rata-rata (mm)
B1	0	0,0	0,0000
B2	0	0,1	2,8333
B3	0	0,2	4,2500
B4	0	0,3	6,0833
B5	0	0,4	6,5000
B6	1	0,0	0,8333
B7	1	0,1	0,9167
B8	1	0,2	2,6667
B9	1	0,3	3,1333
B10	1	0,4	11,3886
B11	2	0,0	7,6667
B12	2	0,1	0,8333
B13	2	0,2	1,1333
B14	2	0,3	7,0000
B15	2	0,4	7,3333

Hasil yang diperoleh dari pengujian aktivitas antibakteri berdasarkan variasi konsentrasi minyak asiri serai menunjukkan hasil yang linear dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Cepeda et al (2019) yang menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi minyak asiri yang digunakan dapat meningkatkan kandungan fitokimia dengan sifat antibakteri dalam larutan minyak asiri sehingga dapat meningkatkan diameter zona hambat. Diameter zona bening tertinggi dihasilkan oleh sampel B10 (AS1/MS

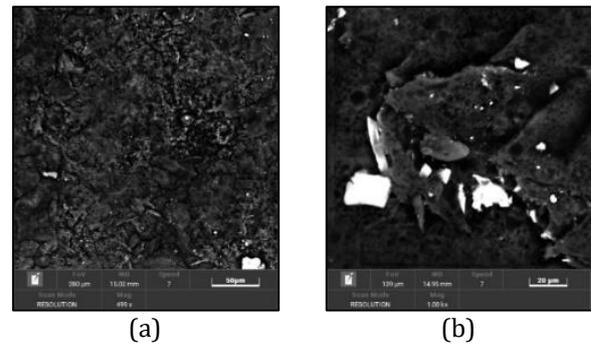
0,4) sebesar 11,39 mm. Rata-rata data diameter zona bening setiap konsentrasi minyak asiri serai meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi minyak serai, terdapat data yang fluktuatif dari sampel B11 (AS2/MS0). Data B11 (AS2/MS0) menghasilkan diameter zona bening yang lebih tinggi dari B12 (AS2/MS0,1) dikarenakan sampel tersebut mengandung komposisi asam sitrat tertinggi, sehingga lebih dipengaruhi dari konsentrasi asam sitrat sebagai komponen antibakteri.

Asam sitrat sebagai *crosslinked agent* juga berperan sebagai antibakteri dalam hidrogel (Su et al, 2014). Hasil percobaan menunjukkan sampel hidrogel dengan peningkatan konsentrasi asam sitrat memberikan peningkatan yang signifikan terhadap diameter zona bening. Peningkatan konsentrasi asam sitrat akan mempengaruhi pH hidrogel, semakin rendah pH hidrogel maka akan menghambat pertumbuhan bakteri. Asam sitrat melepaskan ion hidrogen (H^+) dalam larutan, yang dapat merusak dinding sel mikroorganisme. Perubahan pH dan konsentrasi ion H^+ dalam lingkungan mikroorganisme dapat mengganggu proses metabolisme sel, menghambat pertumbuhan, dan menyebabkan kematian sel. Hal ini linear dengan penelitian oleh Su et al (2014) bahwa penambahan asam sitrat dalam suatu polimer akan memberikan sifat antibakteri yang tinggi.

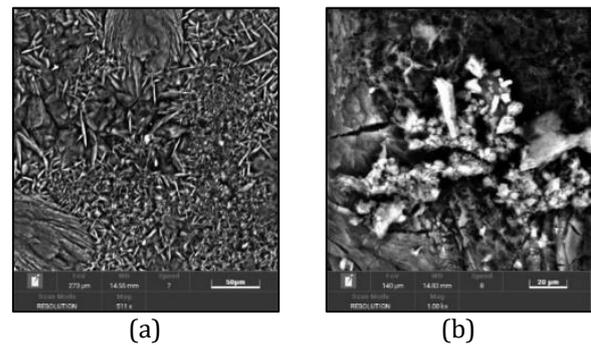
3.5 Pengujian Morfologi Permukaan Hidrogel pada Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning electron microscopy (SEM) menunjukkan morfologi permukaan dari hidrogel PVA-CMC yang berikatan silang dengan asam sitrat dan penambahan minyak asiri serai. Ikatan silang antar rantai polimer akan membentuk pori-pori, sehingga menghasilkan permukaan hidrogel yang tidak beraturan. Morfologi permukaan hidrogel PVA, CMC, minyak asiri serai dan asam sitrat menunjukkan permukaan yang kasar dan berpori.

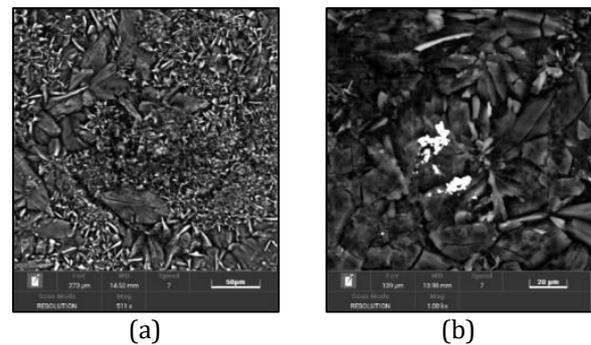
Hasil SEM untuk hidrogel yang dihasilkan sesuai dengan analisis oleh Shin et al (2021) yang menyatakan permukaan hidrogel berbasis polimer CMC memiliki struktur kasar, kecil, dan berpori. Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan morfologi permukaan film hidrogel dengan konsentrasi asam sitrat yang berbeda. Konsentrasi PVA dan CMC yang digunakan pada setiap film hidrogel memiliki jumlah yang sama, sehingga perbedaan morfologi diantara sampel hidrogel dipengaruhi oleh pembentukan ikatan silang oleh asam sitrat. Konsentrasi asam sitrat pada Gambar 7 lebih kecil dari Gambar 8 menunjukkan morfologi permukaan dengan pori yang lebih teratur dan lebih kecil. Hal ini dapat disebabkan tingkat pengikatan silang yang lebih rendah. Peningkatan konsentrasi asam sitrat dapat meningkatkan gugus -COOH yang akan berikatan dengan gugus -OH dari PVA sehingga terjadi peningkatan kerapatan pada komposit hidrogel. Berdasarkan penelitian Farid et al (2022), peningkatan gugus -COOH bebas dari asam sitrat menyebabkan banyak pori terbentuk dan proses penyerapan air terbatas pada hidrogel.



Gambar 7. Hasil pengujian SEM untuk film hidrogel PVA 10% / CMC 6% dan asam sitrat 1 g dengan perbesaran (a) 500x (b) 1000x



Gambar 8. Hasil pengujian SEM untuk film hidrogel PVA/ CMC dan asam sitrat 2 % dengan perbesaran (a) 500x; (b) 1000x



Gambar 9. Hasil pengujian SEM untuk film hidrogel PVA/CMC/minyak asiri serai 0,4 mL dan asam sitrat 1 % dengan perbesaran (a) 500x ; (b) 1000x

Minyak asiri serai memiliki sifat hidrofobik dan tidak dapat larut sempurna pada komposit hidrogel PVA, CMC, minyak asiri serai dan asam sitrat (AS). Minyak asiri serai memiliki struktur *carvacrol* yang berarti memiliki gugus fenolik yang diiringi gugus metil dan hidroksil. Ketiga gugus tersebut tidak larut dalam senyawa polar sehingga menyebabkan minyak tidak larut sempurna pada komposit hidrogel. Kondisi tersebut menyebabkan partikel dari minyak tampak di permukaan hidrogel. Gambar 8 tidak mengandung minyak asiri serai memiliki struktur lebih padat dibandingkan dengan Gambar 9 dengan konsentrasi minyak yang lebih tinggi. Morfologi permukaan komposit hidrogel dengan minyak asiri serai terlihat lebih kasar. Hal serupa juga diamati pada penelitian Altaf et al (2020) yang menunjukkan morfologi

permukaan yang kasar dan berpori karena minyak tidak bercampur.

4. KESIMPULAN

Hidrogel pembalut luka berbasis PVA/CMC/minyak asiri serai dengan asam sitrat sebagai *crosslinked* agent dapat menghasilkan pembalut luka yang cukup efektif. Peningkatan konsentrasi asam sitrat menunjukkan *tensile strength* yang semakin tinggi dan *elongation at break* yang menurun. Persentase *swelling* tertinggi sebesar 300,64 % pada sampel AS 0 %. Semakin tinggi konsentrasi asam sitrat yang ditambahkan maka semakin tinggi aktivitas antibakteri hidrogel yang dihasilkan. Peningkatan minyak asiri serai menyebabkan penurunan nilai *tensile strength* dan *elongation at break*. Persentase *swelling* menurun dengan peningkatan konsentrasi minyak asiri serai. Aktivitas antibakteri tertinggi dari hidrogel dengan minyak asiri sebanyak 0,4 mL dan asam sitrat 2 %.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis ditujukan kepada pihak terkait yang membantu penelitian ini. Ucapan terimakasih juga ditujukan kepada Lembaga Penelitian Universitas Sriwijaya yang telah membiayai penelitian ini melalui Anggaran DIPA Badan Layanan Umum Universitas Sriwijaya Tahun Anggaran 2023. SP DIPA-023.17.2.677515/2023, tanggal 30 November 2022. Sesuai dengan SK Rektor Nomor: 0188/UN9.3.1/SK/2023 tanggal 18 April 2023.

6. DAFTAR PUSTAKA

Altaf, F., Niazi, M. B. K., Jahan, Z., Ahmad, T., Akram, M. A., Safdar, A., Butt, M. S., Nor, T., & Sher, F. (2020). Synthesis and characterization of PVA/starch hydrogel membranes incorporating essential oils aimed to be used in wound dressing application. *Journal of Polymers and the Environment*. 29: 156-174.

Cepeda, G.N., Lisangan, M.M., & Silamba, I. (2019). Aktivitas antibakteri minyak atsiri kulit kayu akway (*Drymis Piperita* Hook. F.) pada beberapa tingkat konsentrasi, keasaman, (pH) dan kandungan garam. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*. Vol. 8(4): 149-154.

Demappa, T., & Shivakumara, L.R. (2019). Synthetic and swelling behavior of sodium alginate/poly (vinyl alcohol) hydrogels. *Turkish Journal of Pharmaceutical Science*. 16(3), 252-260.

Djumaev, A., & Tashmukhamedova, S. (2020). Physical and chemical properties of PVA-CMC based hydrogel carrier loaded with herbal hemostatic agent for application as wound dressings. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*. 10(10), 905-909.

Fadiana, U. L., & Haryanto. (2021). Pengaruh kitosan terhadap karakterisasi hidrogel film PVA untuk aplikasi pembalut luka. *Jurnal Techno*. 22(2), 177-184.

Farid, E., Kamoun, E. A., Taha, T. H., Dissouky, A. E., & Khalil, T. E. (2022). PVA/CMC/attapulgit clay

composite hydrogel membranes for biomedical applications: Factors affecting hydrogel membranes crosslinking and bio-evaluation tests. *Journal of Polymers and the Environment*. 30, 4675-4689.

Farikha, A. (2022). Pengaruh berbagai konsentrasi kitosan terhadap karakteristik mekanik edible film pati kacang merah sebagai sumber belajar. [SKRIPSI]. Universitas Muhammadiyah Malang.

Gao, S., Liu, G., Li, J., Chen, J., Li, L., Li, Z., Zhang, X., Zhang, S., Thorne, R. F., & Zhang, S. (2020). Antimicrobial activity of lemongrass essential oil (*Cymbopogon flexuosus*) and its active Component Citral Against Dual-Species biofilms of *staphylococcus aureus* and *candida* species. *Original Research*. 10.

Ghaffar, A. M. A., & Ali, H. E. (2021). Effect of gamma radiation on the properties of novel polyvinyl alcohol/carboxymethyl cellulose/citric acid /glycerol bioblend film. *Polymer Bulletin*. 79(7), 5105-5119.

Ghorpade, V. S., Dias, R. J., Mali, K. K., & Mulla, S. I. (2019). Citric acid crosslinked carboxymethylcellulose-polyvinyl alcohol hydrogel films for extended release of water soluble basic drugs. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 52, 421-430.

Hardjono, Suharti, P. H., Permatasari, D. A., & Sari, V. A. (2016). Pengaruh penambahan asam sitrat terhadap karakteristik film plastik biodegradable dari pati kulit pisang kepok (*Musa Acuminata* Balbisiana Colla). *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 5(1), 22-28.

Haryanto., & Aeni, A. N. (2017). Pengaruh penambahan karboksimetil selulosa (CMC) terhadap Tingkat crosslinking dan kuat tarik PEO hidrogel film. *Techno*.18(21), 117-120.

Kanikireddy, V., Varaprasad, K., Jayaramudu, T., Karthikeyan, C., & Sadiku, R. (2020). Carboxymethyl cellulose-based materials for infection control and wound healing: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 64, 963-975.

Kartika, R., Gadri, A., & Darma, E. (2015). Formulasi basis sediaan pembalut luka hidrogel dengan teknik beku leleh menggunakan polimer kappa karagenan. *Prosiding Farmasi*, 643-648.

Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2018). Laporan nasional Riskesdas 2018. Kementerian Kesehatan RI, Jakarta.

Khorambadi, H. N., Arefian, M., Hojjati, M., Tajzad, I., Mokhtarzad, A., Mazhar, M., & Jamavari, A. (2020). A review of polyvinyl alcohol/aarboxymethyl cellulose (PVA/CMC) composites for various applications. *Journal of Composites and Compounds*. 2(3), 60-76.

Lamarra, J., Bucci, P., Giannuzzi, L., Montanari, J., Rivero, S., & Pinotti, A. (2020). Biomaterial-based dressings as vehicle for chitosan-encapsulated cabreuva essential oil: Cytotoxicity and regenerative activity. *Reactive and Functional Polymers*, 156, 104728.

Lee, S. H., Tahir, P. M., Lum, W. C., Tan, L. P., Bawon, P., Dae, T. B., Edrus, S. S. A. O., & Abdullah, U. H. (2020). A review on asam sitratas green modifying agent and binder for wood. *Journal Polymers*. 12(8), 1692.

- Maganaris, C. N., & Paul, J. P. (1999). In vivo human tendon mechanical properties. *Journal of Physiology*. 521(1), 307-313.
- Magvirah, T., Marwati., & Ardhani, F. (2019). Uji daya hambat bakteri *Staphylococcus aureus* menggunakan ekstrak daun tahongai (*Kleinhovia hosita* L.) *Jurnal Peternakan Lingkungan Tropis*. 2(2), 41-40.
- Mahmood, H., Khan, I.U., Asif, M., Khan, R.U., Ashgar, S., Khalid, U., Khalid, S.H., Irfan, M., Rehman, F., Shahzad, Y. (2021). In vitro and in vivo evaluation of gellan gum hydrogel films: Assessing the co impact of therapeutic oils and ofloxacin on wound healing. *Int. J. Biol. Macromol.* Vol. 166: 483-495.
- Murni, Rustin, L. (2020). Karakteristik kandungan minyak atsiri tanaman sereh wangi (*Cymbopogon nardus* L.). *Prosiding Seminar Nasional Biologi di Era Pandemi Covid-19*. Gowa, Ruang LT. Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar, 19 September 2020. Hal. 227-231.
- Prete, S., Dattilo, M., Patitucci, F., & Pezzi, G. (2023). Natural and synthetic polymeric biomaterials for application in wound management. *Journal of Functional Biomaterials*. 14(9), 455.
- Rahayuningdyah, D. W., Lyrawti, D., Widodo, F., & Puspita, O. E. (2020). Pengembangan formula hidrogel balutan luka menggunakan kombinasi polimer galaktomanan dan PVP. *Pharmaceutical Journal of Indonesia*. 5(2), 117-122.
- Shin, Y., Kim, D., Hu, Y., Kim, Y., Hong, I. K., Kim, M. S., & Jung, S. (2021). pH-responsive succinoglycan-carboxymethyl cellulose hydrogels with highly improved mechanical strength for controlled drug delivery systems. *Polymer (Basel)*. 13(18), 3197.
- Su, J., Li, J., Liang, J., Zhang, K., & Li, J. (2021). Hidrogel preparation methods and biomaterials for wound dressing. *Life*, 11(10), 1016.
- Su, L., Xie, Z., Zhang, Y., Nguyen, K. T., & Yang, J. (2014). Study on the antimicrobial properties of citrate-based biodegradable polymers. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2(23), 1-9.
- Supria, R. M., Handayani, R. P., & Djamaludin, A. (2022). Pembuatan dan uji organoleptik sediaan spray antiseptik alami kombinasi ekstrak daun kirinyuh (*chromolaena odorata*) & sereh wangi (*cymbopogon nardus*). *Journal of Holistic and health Sciences*. 6(1), 9-16.
- Tian, P., Zhao, X., Liu, W., & Zhang, J. (2022). Preparation and application of cross-linked PVA microspheres with narrow particle size distribution by suspension polymerization using uniform porous tube. *Reactive and Functional Polymers*. 171, 105153.
- Wang, H., Liu, Y., Cai, K., Zhang, B., Tang, S., Zhang, W., & Liu, W. (2021). Antibacterial polysaccharide-based hydrogel dressing containing plant essential oil for burn wound healing. *Burns & Trauma*. 9, 1-14.