

Optimasi *Carboxymethyl Cellulose* Dan *Hyaluronic Acid* Sebagai *Hydrogel* Untuk Aplikasi *Wound Dressing* Pada Luka Bakar

Putri Uzlifatul Arridla
Fakultas Teknik Elektro
Purwokerto, Indonesia
putriuzlifatul@student.telkomuniversity.ac.id

Adanti Wido Paramadini, S.T., M.Eng.
Fakultas Teknik Elektro
Purwokerto, Indonesia
adanti@telkomuniversity.ac.id

Nur Afifah Zen, S.Si., M. Si.
Fakultas Teknik Elektro
Purwokerto, Indonesia
nurafifahzen@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Luka bakar merupakan cedera kulit yang disebabkan oleh paparan panas atau bahan kimia dan menjadi tantangan serius dalam kesehatan masyarakat secara global. Berdasarkan data WHO, prevalensi luka bakar mencapai lebih dari 11 juta kasus yang memerlukan penanganan medis setiap tahun. Salah satu pendekatan untuk mempercepat proses penyembuhan luka adalah dengan menjaga kelembapan menggunakan *wound dressing*. *Hydrogel* sebagai *wound dressing* menjadi salah satu pilihan yang menarik karena kemampuannya mempertahankan kadar air yang tinggi yaitu 70–90%, sehingga menciptakan lingkungan lembap yang ideal untuk penyembuhan luka. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *amorphous hydrogel* berbasis *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *hyaluronic acid* (HA), yang diformulasikan untuk menyesuaikan luka dengan bentuk tidak teratur. CMC dipilih karena sifat hidrofiliknya yang mampu meningkatkan stabilitas mekanik *hydrogel*, sedangkan HA berperan dalam mendukung regenerasi jaringan, menjaga hidrasi, dan memberikan efek antimikroba. Pembuatan *hydrogel* dilakukan dengan mencampurkan HA 2,5% dan CMC 5% dengan variasi rasio 1:1, 1:3, 1:5 (v/v) dan HA 2,5% sebagai kontrol. Karakterisasi dilakukan melalui uji viskositas, afinitas cairan, stabilitas, dan daya sebar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi *hydrogel* dengan rasio HA:CMC 1:1 memberikan performa terbaik, dengan viskositas sebesar 81.120 cps, daya serap cairan mencapai 34,56%, serta stabilitas dan daya sebar yang mendukung aplikasi topikal. Dengan demikian, formulasi ini berpotensi sebagai *wound dressing* efektif untuk mendukung penyembuhan luka bakar secara optimal.

Kata Kunci : *amorphous hydrogel*, *carboxymethyl cellulose* (CMC), *hyaluronic acid*, luka bakar, *wound dressing*.

I. PENDAHULUAN

Luka bakar merupakan cedera pada jaringan kulit yang disebabkan oleh kontak langsung dengan cairan panas, api, bahan kimia, listrik, atau radiasi, dengan tingkat keparahan yang bervariasi mulai dari ringan hingga berat [1]. Menurut data WHO, luka bakar menyumbang sekitar 180.000 kematian setiap tahun, terutama di negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah, dengan hampir dua pertiganya terjadi di wilayah Afrika dan Asia Tenggara [2]. Di Asia Tenggara sendiri, tingkat kematian akibat luka bakar mencapai 11,6% setiap tahun [2]. Tingkat kematian ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kedalaman dan luas area luka, kondisi kesehatan korban, usia, serta kualitas penanganan medis yang tersedia [3]. Selama proses penyembuhan luka bakar, metode perawatan

tradisional seperti kapas, salep, atau pembalut konvensional sering kali kurang efektif dan bahkan dapat memperlambat pemulihan akibat tingginya risiko kontaminasi mikroorganisme penyebab infeksi [4]. Oleh karena itu, diperlukan inovasi perawatan yang lebih efektif dan adaptif terhadap dinamika luka bakar. Salah satu inovasi yang berkembang adalah penggunaan *hydrogel* sebagai *active wound dressing* [5]. *Hydrogel* memiliki struktur molekul terorganisir dan kandungan air yang tinggi sehingga mampu meniru lingkungan mikro alami kulit yang dibutuhkan selama penyembuhan luka [6]. Selain itu, *hydrogel* berperan dalam mengurangi rasa nyeri, memberikan efek pendinginan, dan melindungi luka dari infeksi dan kerusakan lebih lanjut [7].

Hydrogel merupakan jaringan polimer 3D yang bersifat hidrofilik dan biokompatibel, yang dapat berasal dari bahan alami, sintetis, maupun semi-sintetis [8]. Keunggulan seperti waktu pemulihan yang cepat, efek samping rendah, dan kemampuan mengisi luka dengan bentuk tidak beraturan menjadikan *hydrogel* banyak diaplikasikan dalam rekayasa jaringan dan terapi regeneratif [9]. Saat ini, dua jenis biopolimer alami yaitu *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *hyaluronic acid* (HA) banyak digunakan dalam formulasi *hydrogel* karena sifatnya yang melimpah, mudah terurai, dan rendah imunogenisitas [11][12]. HA secara khusus memainkan peran penting dalam penyembuhan luka melalui regulasi inflamasi, stimulasi angiogenesis, dan migrasi sel [13]. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakterisasi fisik dari *hydrogel* berbasis kombinasi CMC dan HA, serta menentukan rasio formulasi terbaik guna mendukung efektivitasnya sebagai *wound dressing* untuk luka bakar.

II. KAJIAN TEORI

a) Luka Bakar

Luka bakar merupakan kerusakan jaringan akibat paparan panas, listrik, bahan kimia, atau radiasi, yang dapat menimbulkan gangguan fungsi organ, infeksi, dan kematian sel [14]. Cedera ini merupakan salah satu jenis luka yang paling menantang dan menyebabkan kecacatan yang signifikan, morbiditas, dan mortalitas yang signifikan. Menurut WHO, luka bakar menyebabkan sekitar 180.000 kematian setiap tahun, dengan angka tertinggi di negara berpenghasilan rendah dan menengah [15]. Faktor penyebabnya meliputi api, air panas, bahan kimia, dan kecelakaan domestik, yang memerlukan penanganan

medis intensif untuk mencegah komplikasi seperti syok dan infeksi sistemik [16].

b) *Wound Dressing*

Wound dressing berfungsi menutupi luka, menjaga kelembapan dan suhu optimal, serta melindungi area luka dari infeksi dan iritasi mekanis [17]. Pembalut konvensional seperti kasa hanya bertindak sebagai penghalang fisik dan penyerap eksudat, namun berisiko memperlambat penyembuhan karena dapat menempel pada jaringan dan memicu respons imun [18]. Sebagai alternatif, pembalut *modern* seperti *hydrogel* dikembangkan dengan struktur semi-permeabel yang mampu menyerap eksudat, mempertahankan kelembapan, dan mendukung debridemen autolitik. *Hydrogel* juga menyerupai matriks ekstraseluler alami, bersifat biokompatibel dan fleksibel, serta dapat difungsikan sebagai sistem penghantar obat. Karakteristik ideal *wound dressing* mencakup kemampuan menyerap cairan berlebih, mempertahankan lingkungan lembap, memungkinkan difusi gas, mudah dilepas, dan bersifat tidak toksik maupun alergenik, sehingga mendukung regenerasi jaringan dan mempercepat proses penyembuhan [19].

c) *Hydrogel*

Hydrogel merupakan jaringan polimer hidrofilik yang mampu menyerap air dalam jumlah besar berkat keberadaan gugus $-OH$, $-COOH$, dan $-CONH_2$ pada rantai polimernya [20]. Struktur ini memungkinkan pembentukan ikatan silang, baik secara kimia maupun fisika, yang membuat *hidrogel* stabil namun tetap fleksibel. Berdasarkan sifat fisik dan kimianya, *hydrogel* terbagi menjadi amorf, semi-kristalin, dan kristalin [21]. Material ini bersifat bio-mimetik dan biokompatibel, menjadikannya sangat potensial dalam aplikasi biomedis, khususnya sebagai *scaffold* dalam rekayasa jaringan [22]. Salah satu keunggulan utamanya adalah kemampuannya untuk disuntikkan secara *in situ*, sehingga cocok untuk sistem penghantaran obat, perancah kultur sel, maupun sebagai pengisi jaringan lunak. Kandungan air yang tinggi serta kemampuan beradaptasi dengan berbagai lingkungan menjadikan *hidrogel* ideal untuk terapi minimal invasif dan pemulihan jaringan yang kompleks [23].

d) *Carboxymethyl Cellulose*

Carboxymethyl cellulose (CMC) merupakan derivat selulosa yang bersifat hidrofilik, larut dalam air, dan stabil dalam berbagai kondisi pH. Sifat fisikokimia CMC, seperti viskositas dan daya serap air, sangat dipengaruhi oleh derajat substitusi dan distribusi gugus karboksimetil pada rantai polimernya [24]. CMC memiliki karakteristik *biodegradable*, *non-toxic*, dan anionik, menjadikannya cocok untuk berbagai aplikasi industri, termasuk farmasi dan biomedis [25]. Dalam bidang perawatan luka, CMC banyak digunakan sebagai bahan dasar pembalut karena kemampuannya menyerap eksudat, menjaga kelembapan, serta mendukung regenerasi jaringan melalui stimulasi angiogenesis [26]. CMC juga mampu membentuk *hydrogel* yang stabil, fleksibel, dan biokompatibel, sehingga mendukung proses penyembuhan luka seperti ulkus diabetikum dan luka bakar derajat ringan [27]. Sifat reologinya yang baik dan ketersediaan bahan baku yang melimpah menjadikan CMC sangat potensial sebagai material biomimetik dalam terapi luka *modern*.

e) *Hyaluronic Acid*

Hyaluronic acid (HA) adalah polisakarida dari kelompok glikosaminoglikan yang secara alami terdapat dalam cairan sinovial, tulang rawan, mata, dan jaringan kulit [28]. Sebagai komponen utama matriks ekstraseluler, HA memiliki kemampuan menyerap air dan sifat viskoelastik yang mendukung setiap fase penyembuhan luka, termasuk inflamasi, migrasi sel, epitelisasi, dan pembentukan jaringan granulasi [29]. Berkat biokompatibilitas dan fleksibilitas kimianya, HA banyak dikembangkan dalam bentuk *hydrogel*, pelapis, maupun nanopartikel untuk aplikasi di bidang terapi jaringan dan luka [30]. Aplikasi topikal HA, seperti dalam bentuk gel atau pembalut yang diresapi, telah terbukti mempercepat proses pemulihan luka, termasuk pada kasus luka kronis maupun akut [31].

f) *Viscosity Test*

Viscosity test digunakan untuk menentukan tingkat kekentalan suatu sediaan, yang mencerminkan karakteristik aliran dan kestabilannya selama aplikasi. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat viskometer, di mana spindel diputar dalam sampel gel untuk mengukur resistensinya terhadap gerakan mekanik [32]. Nilai viskositas yang diperoleh menunjukkan konsistensi gel semakin tinggi nilainya, semakin kental sediaan tersebut [33]. Dalam formulasi *hydrogel*, viskositas menjadi parameter penting karena memengaruhi kemudahan aplikasi, kestabilan fisik, dan efektivitas distribusi bahan aktif. Sediaan gel yang ideal umumnya memiliki viskositas antara 10.000 hingga 100.000 cP, sehingga mampu mempertahankan bentuk, tidak mudah mengalir, namun tetap mudah diratakan di permukaan kulit [34].

g) *Fluid Affinity Test*

Fluid affinity test dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan *hydrogel* dalam menyerap kelembapan dari luka atau menyediakan kelembapan pada luka. Pengujian ini mengacu pada *British Standard* EN13726-1:2002 tentang "*Test method for primary wound dressing*" dengan menginkubasi *hydrogel* dalam kondisi lingkungan kering (gelatin) dan lembap (agar) [35]. Kemudian, persentase perubahan berat (W_5) ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$W_5 = \left(\frac{(W_3 - W_4) - (W_2 - W_1)}{(W_2 - W_1)} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

W_1 = *syringe* dengan substrat (agar/gelatin)

W_2 = *syringe* dengan sampel dan substrat

W_3 = *syringe* dengan sampel dan substrat setelah inkubasi

W_4 = *syringe* dengan media setelah inkubasi (sampel yang sudah dikeluarkan)

W_5 = persentase perubahan massa/berat sampel [36].

h) *Stability Test*

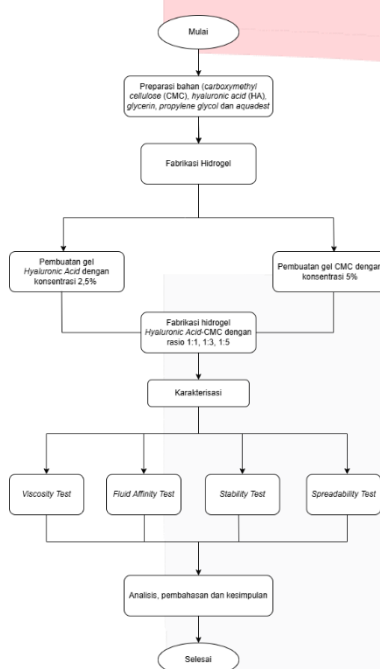
Stability test yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi stabilitas fisik maupun kimia dari material *hydrogel* yang telah dihasilkan. [37]. Parameter ketidakstabilan fisik, seperti fenomena pemisahan, pengendapan, *creaming*, serta *breaking*, dapat diidentifikasi dan dianalisis menggunakan metode uji sentrifugasi. Melalui pengujian ini, keberadaan pemisahan fase pada sediaan gel dapat terdeteksi dengan jelas, yang merupakan salah satu indikator utama adanya ketidakstabilan fisik dalam formulasi gel tersebut [38].

i) Spreadability Test

Spreadability test digunakan untuk mengevaluasi kemampuan gel menyebar pada permukaan kulit, yang memengaruhi kenyamanan penggunaan dan efektivitas pelepasan zat aktif. Pengujian dilakukan dengan dua lempeng kaca, kemudian diberi alas milimeter blok untuk memudahkan pengukuran diameter sebar. Gel dikatakan memiliki kualitas baik jika mampu menyebar dalam rentang 3–5 cm, sesuai standar sediaan semi-padat [39]

III. METODE

Tahapan dalam penelitian ini meliputi preparasi bahan, dilanjutkan dengan fabrikasi hydrogel melalui pembuatan gel CMC, gel HA, serta kombinasi HA-CMC dengan rasio 1:1, 1:3, dan 1:5 untuk memperoleh formulasi dengan karakteristik tertentu, sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut.



GAMBAR 1. (SKEMA PENELITIAN)

a) Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan berbagai alat untuk proses fabrikasi dan karakterisasi *hydrogel* berbasis *hyaluronic acid* dan *carboxymethyl cellulose* (CMC). Alat fabrikasi meliputi neraca analitik digital, gelas ukur, *beaker glass*, *spatula*, *overhead stirrer Joanlab OSC-10L*, specimen container, dan sonicator bath. Untuk karakterisasi digunakan *viscometer Brookfield*, inkubator, autoklaf, *syringe*, *aluminium foil*, pH meter, *centrifuge machine*, *centrifuge tube*, dan pelat kaca. Adapun bahan-bahan yang digunakan mencakup *carboxymethyl cellulose*, *hyaluronic acid*, gliserin, propilen glikol, dan *aquadest*.

b) Fabrikasi Gel HA 2,5%

Gel *hyaluronic acid* 2,5% dibuat dengan melarutkan 2,5 gram HA ke dalam 100 ml *aquadest*. Bubuk HA

ditambahkan perlahan sambil diaduk menggunakan *overhead stirrer* pada 1200 rpm selama 30 menit pada suhu 25°C hingga larutan homogen dan stabil terbentuk.

c) Fabrikasi Gel CMC 5%

Gel CMC 5% dibuat dengan melarutkan 5 gram CMC ke dalam 100 ml *aquadest*, kemudian diaduk menggunakan *overhead stirrer* pada 1500 rpm selama 30 menit pada suhu 25°C. Setelah larut, ditambahkan gliserin 10 ml dan propilen glikol 5 ml secara bertahap hingga diperoleh gel yang stabil dan homogen.

d) Fabrikasi Hydrogel HA-CMC

Proses fabrikasi *hydrogel* dilakukan dengan mencampurkan gel *hyaluronic acid* (HA) dan *carboxymethyl cellulose* (CMC) yang telah disiapkan sebelumnya. Campuran tersebut diformulasikan dalam beberapa variasi rasio untuk mengevaluasi pengaruh perbandingan komposisi terhadap karakteristik fisik *hydrogel*. Terdapat empat jenis sampel yang digunakan, terdiri dari satu kontrol (HA saja) dan tiga variasi HA:CMC, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL 1. (VARIASI RASIO HYDROGEL)

No.	Sampel	Komposisi	Rasio
1	F1	HA 2,5%	-
2	F2	HA 2,5% + CMC 5%	1:1
3	F3	HA 2,5% + CMC 5%	1:3
4	F4	HA 2,5% + CMC 5%	1:5

e) Viscosity Test

Viscosity test dilakukan menggunakan viskometer Brookfield dengan spindel no. 64 pada kecepatan 2,5 rpm. Sampel akan diuji sebanyak tiga kali untuk memastikan konsistensi data. Hasil pembacaan viskositas dicatat guna merepresentasikan karakteristik kekentalan *hydrogel* secara akurat.

f) Fluid Affinity Test

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar EN 13726-1:2002 menggunakan 24 *syringe* (50 ml) dengan substrat agar (lembap) dan gelatin (kering). Substrat disiapkan dengan melarutkan agar dan gelatin, lalu ditimbang (W1). Kemudian sampel *hydrogel* ditambahkan (± 10 g) dan ditimbang kembali (W2). *Syringe* disimpan vertikal dalam inkubator selama 48 jam pada 25°C. Setelah inkubasi, *syringe* ditimbang kembali (W3), lalu sampel dikeluarkan dan substrat ditimbang akhir (W4). Persentase perubahan berat (W5) dihitung berdasarkan selisih massa tersebut untuk mengevaluasi kemampuan hidrogel dalam menyerap atau melepaskan cairan.

g) Stability Test

Stabilitas *hydrogel* diuji menggunakan metode sentrifugasi dengan memasukkan 1 ml sampel ke dalam tabung sentrifugasi, lalu disentrifugasi pada 3000 rpm selama 30 menit pada suhu 25 °C. Setelah proses selesai, sampel didiamkan hingga stabil, kemudian dilakukan pengukuran pH untuk mengevaluasi kestabilan formulasi pada tiap variasi konsentrasi.

h) *Spreadability Test*

Pengujian ini dilakukan dengan menempatkan 1 ml *hydrogel* di tengah kaca objek, ditutup kaca penutup, dan diberi beban 125 gram selama 1 menit. Diameter sebaran diukur untuk menilai daya sebar *hydrogel*. Pengujian dilakukan pada suhu ruang (25 °C) dan diulang tiga kali untuk memastikan konsistensi hasil.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Fabrikasi *amorphous hydrogel* berbasis *hyaluronic acid* (HA) dan *carboxymethyl cellulose* (CMC) berhasil dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu pembuatan gel HA 2,5% (w/v), gel CMC 5% (w/v) dengan tambahan gliserin dan propilen glikol, pencampuran dalam rasio 1:1, 1:3, dan 1:5, serta proses deaerasi menggunakan *sonicator bath*.

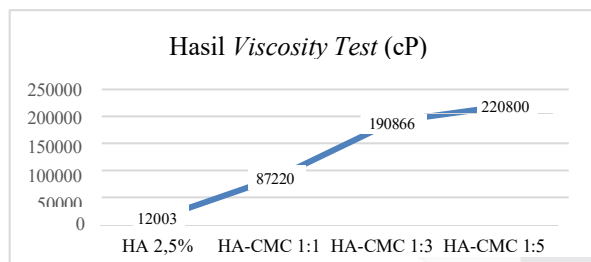


GAMBAR 2. (HASIL FABRIKASI HYDROGEL)

Keempat formulasi *hydrogel* (F1–F4) memiliki karakteristik fisik yang bervariasi sesuai rasio, mulai dari konsistensi ringan (F1) hingga kental dan padat (F4). Proses deaerasi efektif mengurangi gelembung udara, menghasilkan permukaan gel yang lebih rata dan meningkatkan homogenitas formulasi, sehingga siap untuk tahap karakterisasi.

a) Hasil *Viscosity Test*

Uji viskositas pada penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi tingkat konsistensi sediaan dan menunjukkan kekentalan sampel. Pada penelitian ini pengukuran viskositas dilakukan pada kecepatan 2,5 rpm dengan menggunakan spindel no. 64 pada *Viskometer Brookfield*. Nilai viskositas yang ideal untuk sediaan gel yang baik berada dalam rentang 10.000 hingga 100.000 cP.



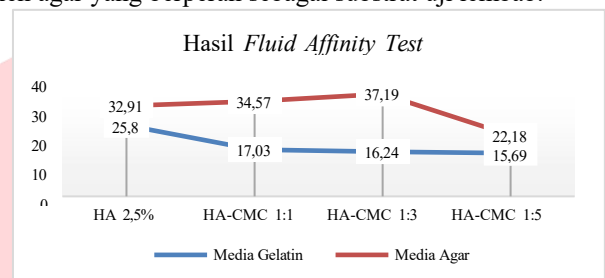
GAMBAR 3. GRAFIK RATA-RATA HASIL UJI VISKOSITAS

Berdasarkan hasil pengukuran, sampel HA 2,5% memiliki viskositas terendah dengan rata-rata 12.003 cP, sedangkan HA-CMC 1:1 menunjukkan viskositas tertinggi sebesar 87.220 cP. Formulasi dengan rasio CMC lebih tinggi menghasilkan viskositas yang melebihi batas optimal, menunjukkan kestabilan yang kurang baik. Dengan nilai viskositas paling seimbang dan konsisten, HA-CMC 1:1 menjadi formulasi terbaik untuk

aplikasi luka bakar karena mampu memberikan tekstur gel yang ideal untuk penyebaran dan menjaga kelembapan luka secara efektif. Dengan nilai viskositas paling seimbang dan konsisten, HA-CMC 1:1 menjadi formulasi terbaik untuk aplikasi luka bakar karena mampu memberikan tekstur gel yang ideal untuk penyebaran dan menjaga kelembapan luka secara efektif.

b) Hasil *Fluid Affinity Test*

Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah *hydrogel* yang dihasilkan mampu menyerap dan melepaskan cairan jika diaplikasikan pada luka bakar. Media yang digunakan dalam pengujian ini terbagi menjadi 2 yaitu gelatin yang berperan sebagai substrat uji kering dan nutrisi agar yang berperan sebagai substrat uji lembab.



GAMBAR 4. (HASIL FLUID AFFINITY TEST)

Berdasarkan hasil *fluid affinity test*, HA 2,5% tergolong tipe E (pelepasan cairan sangat tinggi) di media gelatin dan tipe 4 (serapan tinggi) di media agar. Formulasi HA-CMC 1:1 dan 1:3 masuk kategori D-4, menunjukkan keseimbangan tinggi antara serapan dan pelepasan cairan, sedangkan HA-CMC 1:5 tergolong D3 dengan kemampuan sedang. Di antara semua sampel, HA-CMC 1:1 menjadi formulasi terbaik untuk luka bakar *superficial partial-thickness* karena menunjukkan afinitas cairan yang stabil serta menjaga kelembapan luka secara optimal tanpa menyebabkan *overhidrasi*.

c) Hasil *Stability Test*

Karakterisasi selanjutnya yang dilakukan pada penelitian ini yaitu uji stabilitas. Pengujian ini dilakukan guna mengidentifikasi ketidakstabilan yang mungkin terjadi pada sampel. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan 2 langkah yaitu uji sentrifugasi dan uji pH. Seluruh sampel *hydrogel* dengan variasi rasio HA-CMC menunjukkan stabilitas fisik yang baik, tanpa perubahan warna, aroma, maupun pengendapan setelah uji sentrifugasi. Hasil pengukuran pH juga konsisten, yaitu sebesar tujuh pada semua sampel, yang berada dalam kisaran aman dan sesuai untuk kulit, yaitu antara empat setengah hingga delapan. Dengan demikian, *hydrogel* yang dihasilkan dinilai stabil dan aman untuk aplikasi topikal.

d) Hasil *Spreadability Test*

Uji daya sebar pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan *hydrogel* untuk menyebar ketika diberikan tekanan tertentu, sehingga diketahui kemampuan dari sediaan gel dapat menyebar pada kulit. Formulasi *hydrogel* HA 2,5% menunjukkan rata-rata daya sebar sebesar 5,02 cm. Sedangkan formulasi

kombinasi HA-CMC dengan rasio 1:1, 1:3, dan 1:5 masing-masing menunjukkan rata-rata daya sebar sebesar 4,15 cm, 4,13 cm, dan 4,13 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa seluruh formulasi memiliki daya sebar yang optimal untuk aplikasi topikal pada luka bakar, karena berada dalam rentang yang sesuai dengan standar yang direkomendasikan, yakni 3–5 cm.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, formulasi *hydrogel* berbasis *hyaluronic acid* (HA) dan *carboxymethyl cellulose* (CMC) berhasil dikembangkan sebagai kandidat *wound dressing* untuk luka bakar. Karakterisasi viskositas menunjukkan peningkatan kekentalan seiring bertambahnya proporsi CMC, dengan rentang nilai 12.003–220.800 cP, sedangkan pH seluruh sampel stabil pada angka 7. Semua formulasi menunjukkan stabilitas visual dan kimia yang baik, serta mampu menyerap dan melepas cairan secara seimbang dengan daya serap 22,18–37,20% dan pelepasan 15,69–25,8%. Uji daya sebar berada dalam rentang ideal 4,13–5,02 cm. Dari semua variasi, formulasi HA-CMC 1:1 memberikan hasil paling optimal dengan viskositas 87.220 cP, daya sebar 4,15 cm, serta afinitas cairan yang seimbang, sehingga dinilai paling sesuai untuk luka bakar derajat satu hingga dua superfisial karena mampu memberikan perlindungan, hidrasi, dan kenyamanan secara efektif.

REFERENSI

- [1] K. A. Cook, E. Martinez-Lozano, R. Sheridan, E. K. Rodriguez, A. Nazarian, and M. W. Grinstaff, "Hydrogels for the management of second-degree burns: currently available options and future promise," *Burn. Trauma*, vol. 10, 2022, doi: 10.1093/burnst/tkac047.
- [2] A. A. W. Perkasa-hendropriyono and I. D. Saputro, "Contribution of SIRS and sepsis on the outcomes of patients with burn injuries in Dr . Soetomo Teaching Hospital," vol. 14, no. 1, pp. 197–202, 2025, doi: 10.15562/bmj.v14i1.5406.
- [3] A. Wardhana and G. A. Winarno, "Epidemiology And Mortality Of Burn Injury In Ciptomangunkusumo Hospital, Jakarta: A 5 Year Retrospective Study," *J. Plast. Rekonstruksi*, vol. 6, no. 1, pp. 234–242, 2020, doi: 10.14228/jpr.v6i1.270.
- [4] H. Wang *et al.*, "Antibacterial polysaccharide-based hydrogel dressing containing plant essential oil for burn wound healing," *Burn. Trauma*, vol. 9, pp. 1–14, 2021, doi: 10.1093/burnst/tkab041.
- [5] W. Shu, Y. Wang, X. Zhang, C. Li, H. Le, and F. Chang, "Functional Hydrogel Dressings for Treatment of Burn Wounds," *Front. Bioeng. Biotechnol.*, vol. 9, no. December, pp. 1–18, 2021, doi: 10.3389/fbioe.2021.788461.
- [6] J. Xiao, Y. Liang, T. Sun, M. Liu, and X. He, "A functional dual responsive CMC/OHA/SA/TOB hydrogel as wound dressing to enhance wound healing," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, p. 26854, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-78044-8.
- [7] A. Surowiecka, J. Strużyna, A. Winiarska, and T. Korzeniowski, "Hydrogels in Burn Wound Management—A Review," *Gels*, vol. 8, no. 2, 2022, doi: 10.3390/gels8020122.
- [8] Y. Hong, Z. Lin, Y. Yang, T. Jiang, J. Shang, and Z. Luo, "Biocompatible Conductive Hydrogels: Applications in the Field of Biomedicine," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 23, no. 9, 2022, doi: 10.3390/ijms23094578.
- [9] C. Xie *et al.*, "Synthesis and Properties of Injectable Hydrogel for Tissue Filling," *Pharmaceutics*, vol. 16, no. 3, 2024, doi: 10.3390/pharmaceutics16030430.
- [10] H. Li *et al.*, "Injectable, self-healing, antibacterial, and hemostatic N,O-carboxymethyl chitosan/oxidized chondroitin sulfate composite hydrogel for wound dressing," *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 118, no. August 2020, p. 111324, 2021, doi: 10.1016/j.msec.2020.111324.
- [11] Y. C. Huang, K. Y. Huang, B. Y. Yang, C. H. Ko, and H. M. Huang, "Fabrication of Novel Hydrogel with Berberine-Enriched Carboxymethylcellulose and Hyaluronic Acid as an Anti-Inflammatory Barrier Membrane," *Biomed Res. Int.*, vol. 2016, 2016, doi: 10.1155/2016/3640182.
- [12] W. Zhang, Y. Liu, Y. Xuan, and S. Zhang, "Synthesis and Applications of Carboxymethyl Cellulose Hydrogels," *Gels*, vol. 8, no. 9, 2022, doi: 10.3390/gels8090529.
- [13] A. Song, "Exploring Hyaluronic Acid as a Potential Standard Dressing for Burn Wound," *Int. J. Med. Sci. Clin. Res. Stud.*, vol. 02, no. 08, 2022, doi: 10.47191/ijmscrs/v2-i8-13.
- [14] F. Fayyazbakhsh, M. J. Khayat, and M. C. Leu, "3D-Printed Gelatin-Alginate Hydrogel Dressings for Burn Wound Healing: A Comprehensive Study," *Int. J. Bioprinting*, vol. 8, no. 4, pp. 274–291, 2022, doi: 10.18063/ijb.v8i4.618.
- [15] A. K. Zusandy, Arwi Amiruddin, Andi Satri Z, Lisa Yuniati, and Andi Miranti, "Gambaran dan Karakteristik Pasien Luka Bakar," *Fakumi Med. J. J. Mhs. Kedokt.*, vol. 4, no. 5, pp. 412–422, 2024, doi: 10.33096/fmj.v4i5.455.
- [16] G.-E. Ja *et al.*, "Burns: Definition, Classification, Pathophysiology and Initial Approach," no. June, 2020, doi: 10.4172/2327-5146.1000298.
- [17] H. M. Nguyen, T. T. Ngoc Le, A. T. Nguyen, H. N. Thien Le, and T. T. Pham, "Biomedical materials for wound dressing: recent advances and applications," *RSC Adv.*, vol. 13, no. 8, pp. 5509–5528, 2023, doi: 10.1039/d2ra07673j.
- [18] R. C. Opt Veld, X. F. Walboomers, J. A. Jansen, and F. A. D. T. G. Wagener, "Design Considerations for Hydrogel Wound Dressings:

- Strategic and Molecular Advances,” *Tissue Eng. - Part B Rev.*, vol. 26, no. 3, pp. 230–248, 2020, doi: 10.1089/ten.teb.2019.0281.
- [19] V. Brumberg, T. Astrelina, T. Malivanova, and A. Samoilov, “Modern wound dressings: Hydrogel dressings,” *Biomedicines*, vol. 9, no. 9, 2021, doi: 10.3390/biomedicines9091235.
- [20] E. Rezvani Ghomi, S. Khalili, S. Nouri Khorasani, R. Esmaeely Neisiany, and S. Ramakrishna, “Wound dressings: Current advances and future directions,” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 136, no. 27, pp. 1–12, 2019, doi: 10.1002/app.47738.
- [22] H. Haryanto, “Pengaruh Kitosan Terhadap Karakterisasi Hidrogel Film PVA Untuk Aplikasi Pembalut Luka,” *Techno (Jurnal Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Purwokerto)*, vol. 22, no. 2, p. 123, 2021, doi: 10.30595/techno.v22i2.11593.
- [21] E. M. Ahmed, “Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review,” *J. Adv. Res.*, vol. 6, no. 2, pp. 105–121, 2015, doi: 10.1016/j.jare.2013.07.006.
- [22] J. M. Alonso, J. A. Del Olmo, R. P. Gonzalez, and V. Saez-martinez, “Injectable hydrogels: From laboratory to industrialization,” *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 4, pp. 1–24, 2021, doi: 10.3390/polym13040650.
- [23] M. Vivi Purwandari, Mahyuni Harahap¹, Liver Imam Putra Zail and A. Mubarak¹, “Jurnal Kimia Saintek dan Pendidikan,” *J. Kim. Saintek dan Pendidik.*, vol. 7, no. 1, pp. 72–78, 2023.
- [24] M. S. Rahman *et al.*, “Recent developments of carboxymethyl cellulose,” *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 8, 2021, doi: 10.3390/polym13081345.
- [25] V. Kanikireddy, K. Varaprasad, T. Jayaramudu, C. Karthikeyan, and R. Sadiku, “Carboxymethyl cellulose-based materials for infection control and wound healing: A review,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 164, pp. 963–975, 2020, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.07.160.
- [26] T. I. Sari, P. Susmanto, M. H. Dahlan, N. I. Kamega, and A. Pratiwi, “Jurnal Integrasi Proses Website: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip> Pembuatan Hidrogel Berbasis Polivinil Alkohol (PVA)/Karboksimetil Selulosa (CMC)/Minyak Asiri Serai menggunakan Metode Chemical Crosslinked,” *J. Integr. Proses*, vol. 13, no. 1, pp. 43–51, 2024, [Online]. Available: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>
- [27] M. G. Neuman, R. M. Nanau, L. Oruña-Sanchez, and G. Coto, “Hyaluronic acid and wound healing,” *J. Pharm. Pharm. Sci.*, vol. 18, no. 1, pp. 53–60, 2015, doi: 10.18433/j3k89d.
- [28] O. Dereure, M. Czubek, and P. Combemale, “Efficacy and safety of hyaluronic acid in treatment of leg ulcers: A double-blind RCT,” *J. Wound Care*, vol. 21, no. 3, pp. 131–139, 2012, doi: 10.12968/jowc.2012.21.3.131.
- [29] A. Yasin, Y. Ren, J. Li, Y. Sheng, C. Cao, and K. Zhang, “Advances in Hyaluronic Acid for Biomedical Applications,” *Front. Bioeng. Biotechnol.*, vol. 10, no. July, pp. 1–12, 2022, doi: 10.3389/fbioe.2022.910290.
- [30] M. M. Dalmedico, M. J. Meier, J. V. C. Felix, F. S. Pott, F. de F. C. Petz, and M. C. Santos, “Hyaluronic acid covers in burn treatment: A systematic review,” *Rev. da Esc. Enferm.*, vol. 50, no. 3, pp. 519–524, 2016, doi: 10.1590/S0080-623420160000400020.
- [31] A. D. Djajanti, I. N. P. Sumule, Firmansyah, and Rusli, “Formulation And Physical Stability Test Of Celery Leaf Extract Gel (*Apium graveolens* L.) With Variations Concentration Of Hydroxy Propyl Methyl Cellulose And Carbopol,” *3rd Int. Conf. Urban Heal. Covid-19 Pandemic amd Urban Heal. Issues*, vol. 3, no. 1, pp. 54–63, 2021.
- [32] W. Wulandari, D. E. Ermawati, and A. Yugatama, “Optimization SNEDDS (Self-Nano Emulsifying Drug Delivery System) of ZnO that dispersed into Hydrogel Matrix as UV-Protective,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 578, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/578/1/012058.
- [33] A. Aliyah, W. W. Oktaviana, K. S. Dwipayanti, A. P. Erdiana, R. N. Utami, and A. D. Permana, “Enhanced skin localization of doxycycline using microparticles and hydrogel: Effect of oleic acid as penetration enhancer,” *Pharmaciana*, vol. 11, no. 2, p. 239, 2021, doi: 10.12928/pharmaciana.v11i2.21044.
- [34] S. Url, C. Press, T. J. Archive, and T. J. Archive, *Encyclopedia of Geoarcheology*, vol. 23, no. 1998, 2007.
- [35] J. Grip *et al.*, “Development of a novel beta-glucan supplemented hydrogel spray formulation and wound healing efficacy in a db/db diabetic mouse model,” *Eur. J. Pharm. Biopharm.*, vol. 169, no. October, pp. 280–291, 2021, doi: 10.1016/j.ejpb.2021.10.013.
- [36] J. K. Indonesia and N. A. Sayuti, “Artikel Riset Formulasi dan Uji Stabilitas Fisik Sediaan Gel Ekstrak Daun Ketepeng Cina (*Cassia alata* L.) Formulation and Physical Stability of Cassia alata L. Leaf Extract Gel penyakit yang menyerang pada permu- *Malassezia furfur*. Penyakit yang disebabkan,” vol. 5, no. 2, pp. 74–82, 2015.
- [37] A. Indalifiany, M. Hajrul Malaka, A. Fristiody, R. Andriani, and M. Harul Malaka, “Jurnal Farmasi Sains dan Praktis Formulasi dan Uji Stabilitas Fisik Nanoemulgel Ekstrak Etanol Spons *Petrosia* Sp. Formulation and Physical Stability Test of Nanoemulgel Containing *Petrosia* Sp. Ethanolic Extract,” *Jfsp*, vol. 7, no. 3, pp. 2579–4558, 2021, [Online]. Available: <http://journal.ummgl.ac.id/index.php/pharmacy>
- [38] T. Imanto, R. Prasetyawan, and E. R. Wikantyasning, “Formulasi dan Karakterisasi Sediaan Nanoemulgel Serbuk Lidah Buaya (*Aloe Vera* L.),” *Pharmacon J. Farm. Indones.*, vol. 16,

- no. 1, pp. 28–37, 2019, doi: 10.23917/pharmacon.v16i1.8114.
- [39] M. Diki Wahyudi *et al.*, “Formulasi dan Uji Stabilitas Fisik Gel Ekstrak Batang Pisang Mauli (*Musa acuminata*),” *Dentin J. Kedokt. Gigi*, vol. 2022, no. 3, pp. 161–165, 2022.

