

Formulasi Nanogel Kurkumin Berbasis Alginat Dialdehid

Saviola *, Hanifa Rahma, Arlina Prima Putri

Prodi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

saviolaola08@gmail.com, hanifa.rahma@gmail.com, arlina.prima.p@unisba.ac.id

Abstract. Breast cancer is one of the leading causes of death among women in Indonesia. Current chemotherapy treatments often cause toxicity and have low drug bioavailability. This study aims to develop a curcumin nanogel formulation based on dialdehyde alginate as an alternative therapy for breast cancer. Curcumin, which possesses antioxidant and anticancer activities, was formulated using a nanoemulsion encapsulation technique. Dialdehyde alginate obtained through an oxidation process was used to enhance gel stability. The nanogel was evaluated based on particle size, polydispersity index (PDI), and zeta potential. The results showed that the best formula produced particle sizes below 1000 nm (polymeric nanoparticles), PDI values < 0.5 , and a zeta potential approaching ± 30 mV. The drug release system was controlled, potentially improving the effectiveness of cancer therapy. This nanogel formulation offers an innovative natural-based approach utilizing nanotechnology to overcome the limitations of chemotherapy. Furthermore, this formulation provides advantages such as high penetration, biocompatibility, and biodegradability, making it safe for topical applications. With promising evaluation results, this study makes a significant contribution to the development of nanotechnology-based pharmaceutical preparations, offering a more effective and safer alternative therapy for cancer in the future.

Keywords: *Alginate Dialdehyde, Bioavailability, Breast Cancer, Curcumin, Nanogel.*

Abstrak. Kanker payudara merupakan salah satu penyebab utama kematian pada wanita di Indonesia. Pengobatan kemoterapi yang tersedia saat ini sering menimbulkan toksisitas dan memiliki bioavailabilitas obat yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan formulasi nanogel kurkumin berbasis alginat dialdehid sebagai alternatif terapi kanker payudara. Kurkumin, yang memiliki aktivitas antioksidan dan antikanker, diformulasikan menggunakan teknik enkapsulasi nanoemulsi. Alginat dialdehid yang diperoleh melalui proses oksidasi digunakan untuk meningkatkan stabilitas gel. Evaluasi nanogel meliputi analisis ukuran partikel, indeks polidispersitas (PDI), dan zeta potensial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa formula terbaik menghasilkan ukuran partikel di bawah 1000 nm (nanopartikel polimerik), nilai PDI $< 0,5$, dan zeta potensial mendekati ± 30 mV. Sistem pelepasan obat berlangsung secara terkendali, yang diharapkan mampu meningkatkan efektivitas terapi kanker. Formulasi nanogel ini menawarkan pendekatan inovatif berbasis bahan alam dengan memanfaatkan teknologi nanoteknologi untuk mengatasi keterbatasan pengobatan kemoterapi. Selain itu, formulasi ini memiliki keunggulan berupa penetrasi tinggi, biokompatibilitas, dan biodegradabilitas yang membuatnya aman untuk aplikasi topikal. Dengan hasil evaluasi yang menjanjikan, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sediaan farmasi berbasis nanoteknologi, sehingga diharapkan dapat menjadi alternatif terapi kanker yang lebih efektif dan aman di masa mendatang.

Kata Kunci: *Alginat Dialdehid, Bioavailabilitas, Kanker Payudara, Kurkumin, Nanogel.*

A. Pendahuluan

Kanker adalah salah satu penyakit yang sangat serius dan berbahaya, yang disebabkan oleh pertumbuhan dan pembelahan sel-sel tubuh yang terjadi secara abnormal dan tidak terkendali. Perubahan ini menyebabkan sel-sel kanker berkembang tanpa pengaturan yang tepat, yang dapat memicu berbagai dampak kesehatan yang sangat fatal, baik secara lokal di area organ yang terlibat maupun secara sistemik, memengaruhi seluruh tubuh. Dampak yang ditimbulkan oleh kanker sangat besar, menyebabkan gangguan pada organ tubuh dan dapat berujung pada kematian jika tidak segera ditangani dengan tepat (American Cancer Society, 2017; Fitrah, 2016). Di Indonesia, salah satu jenis kanker yang paling sering ditemui dan menjadi penyebab kematian utama di kalangan wanita adalah kanker payudara, yang bahkan tercatat menduduki peringkat pertama dalam statistik kematian akibat kanker. Hal ini menunjukkan tingginya prevalensi kanker payudara dan pentingnya upaya untuk menanggulangnya (Arofik & Bayyinatul Muchtaromah, 2023). Hal ini menjadi permasalahan serius dalam bidang kesehatan yang memerlukan penanganan segera dan inovasi dalam metode pengobatannya.

Namun, pengobatan kanker yang saat ini lazim digunakan, seperti kemoterapi, sering kali memiliki berbagai keterbatasan. Keterbatasan-keterbatasan ini meliputi masalah distribusi obat yang tidak tepat sasaran, toksisitas yang signifikan terhadap jaringan sehat, serta rendahnya bioavailabilitas obat yang disebabkan oleh metabolisme yang cepat sebelum obat mencapai target terapeutiknya (Arofik & Bayyinatul Muchtaromah, 2023). Efek samping ini tidak hanya memengaruhi kualitas hidup pasien, tetapi juga menurunkan efektivitas pengobatan. Untuk mengatasi masalah ini, terapi biologis berbasis bahan alami mulai dikembangkan. Terapi ini bekerja dengan menghancurkan sel kanker secara langsung atau melalui sistem kekebalan tubuh yang diaktivasi untuk menyerang sel-sel kanker (Mailani, 2023).

Salah satu bahan alami yang menjanjikan untuk terapi kanker adalah kurkumin. Kurkumin merupakan senyawa aktif yang ditemukan dalam tanaman *Curcuma longa*, atau kunyit. Senyawa ini memiliki berbagai efek farmakologi, termasuk antiinflamasi, antioksidan, dan antikanker (Roihatul Mutiah, 2015). Kandungan antioksidan yang tinggi dalam kurkumin memberikan prospek yang menjanjikan dalam pengobatan kanker, khususnya kanker payudara. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa kurkumin memiliki nilai IC₅₀ sebesar 16,05 µg/ml, yang mengindikasikan potensi terapeutiknya yang kuat sebagai agen antikanker yang efektif. Namun, meskipun memiliki aktivitas biologis yang sangat menjanjikan, kurkumin masih menghadapi tantangan besar terkait dengan kelarutannya yang rendah dalam air, yang menjadi salah satu hambatan utama dalam pemanfaatannya di bidang klinis. Hal ini mengurangi efektivitas terapi dan menurunkan ketersediaan kurkumin dalam tubuh setelah pemberian oral (Sugiharto et al., 2012; Giordano & Tommonaro, 2019).

Nanoteknologi telah menjadi solusi inovatif untuk mengatasi berbagai masalah dalam penghantaran obat, termasuk rendahnya bioavailabilitas bahan aktif seperti kurkumin. Dengan ukuran partikel yang sangat kecil dan luas permukaan yang besar, teknologi ini memungkinkan pelepasan obat secara terkendali serta penargetan yang lebih spesifik ke jaringan yang diinginkan (Sindhu et al., 2022). Salah satu produk unggulan dari nanoteknologi adalah nanogel, yaitu sistem penghantaran berbasis polimer dengan skala nano. Nanogel memiliki kemampuan untuk mengenkapsulasi senyawa aktif, menjaga stabilitasnya, meningkatkan penetrasi ke jaringan, serta meningkatkan efektivitas penghantaran obat (Yin et al., 2020). Teknologi nanogel ini juga dapat mengurangi efek samping yang sering muncul pada terapi kanker konvensional dengan memastikan bahwa obat mencapai target terapi dengan efisiensi yang lebih tinggi.

Salah satu bahan utama dalam pembuatan nanogel adalah alginat dialdehid, yang merupakan hasil oksidasi dari alginat. Alginat adalah polimer alami yang banyak digunakan dalam aplikasi farmasi karena sifatnya yang biokompatibel dan menyerupai matriks jaringan manusia. Proses oksidasi alginat menghasilkan alginat dialdehid yang memiliki reaktivitas kimia lebih tinggi, sehingga cocok untuk membentuk struktur hidrogel yang stabil (Reakasame & Boccaccini, 2018). Alginat dialdehid sering digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan gel yang mampu menahan obat dengan baik dan melepaskannya secara terkendali. Dengan kombinasi ion divalent, seperti kalsium atau barium, struktur gel yang terbentuk menjadi lebih kuat dan stabil, sehingga sangat cocok untuk digunakan sebagai penghantar obat (Li et al., 2013; Klontzas et al., 2019).

Penelitian ini juga menambahkan surfaktan Tween 80 ke dalam formula nanogel kurkumin

berbasis alginat dialdehid. Surfaktan berperan penting dalam menurunkan tegangan permukaan antara fase air dan fase minyak, sehingga mempermudah proses emulsifikasi. Penggunaan kombinasi surfaktan Tween 80 dan Span 20 diharapkan dapat menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil dan distribusi yang lebih merata dibandingkan dengan penggunaan satu jenis surfaktan saja. Hal ini telah dibuktikan oleh penelitian sebelumnya, di mana kombinasi kedua surfaktan memberikan hasil yang lebih optimal dalam pembentukan partikel nano (Anggraini et al., 2017).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan formulasi optimal nanogel kurkumin berbasis alginat dialdehid sebagai penghantar antikanker payudara. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi karakteristik fisik nanogel, termasuk ukuran partikel, indeks polidispersitas, zeta potensial, dan efisiensi penjerapan. Dengan formulasi yang optimal, diharapkan nanogel kurkumin dapat menjadi solusi yang lebih efektif, aman, dan berbasis bahan alami untuk terapi kanker payudara. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sediaan farmasi berbasis nanoteknologi, yang memiliki potensi besar untuk meningkatkan kualitas hidup pasien kanker melalui terapi yang lebih terarah dan minim efek samping.

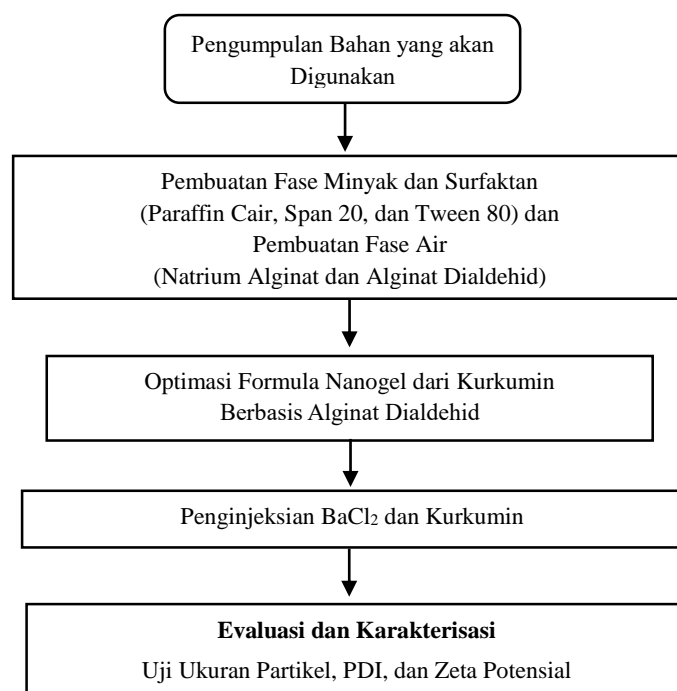
B. Metode

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Riset Farmasi Universitas Islam Bandung dengan tujuan untuk mengembangkan sediaan nanogel kurkumin berbasis alginat dialdehid sebagai salah satu alternatif terapi kanker yang lebih efektif dan aman. Dalam penelitian ini, kurkumin yang digunakan merupakan bahan bersertifikat dari merek terpercaya untuk memastikan kualitas dan kemurniannya, sedangkan bahan dasar alginat diperoleh dari PT Sigma dan diolah lebih lanjut melalui proses oksidasi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Islam Bandung untuk menghasilkan alginat dialdehid yang reaktif dan sesuai dengan kebutuhan formulasi.

Proses pembuatan nanogel dimulai dengan mencampurkan fase minyak, yang terdiri dari minyak parafin, surfaktan Span 20, dan Tween 80, hingga membentuk campuran yang homogen. Selanjutnya, fase air yang terdiri dari larutan natrium alginat dan alginat dialdehid ditambahkan secara bertahap ke dalam fase minyak. Tahap ini dilakukan dengan hati-hati untuk memastikan homogenitas campuran. Optimasi formula dilakukan dengan variasi konsentrasi kurkumin dan surfaktan untuk menentukan kombinasi yang menghasilkan ukuran partikel dan stabilitas yang optimal.

Kurkumin yang telah berikatan silang dengan larutan BaCl₂ sebagai agen pengikat silang ditambahkan ke dalam emulsi yang terbentuk. Proses ini menghasilkan struktur tiga dimensi pada nanogel, yang kemudian disentrifugasi untuk memisahkan sediaan dari komponen yang tidak diperlukan. Nanogel yang dihasilkan selanjutnya diproses melalui sonikasi untuk mengurangi ukuran partikel hingga mencapai skala nano.

Karakterisasi nanogel dilakukan untuk memastikan kualitas sediaan yang dihasilkan. Uji karakterisasi meliputi pengukuran ukuran partikel menggunakan Particle Size Analyzer (PSA), pengukuran Indeks Polidispersitas (PDI) untuk menilai distribusi partikel, serta analisis zeta potensial untuk mengevaluasi stabilitas formulasi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sediaan farmasi berbasis nanoteknologi yang inovatif dan aplikatif.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu batang pengaduk, beaker gelas, cawan, gelas ukur (Pyrex®, Jepang), gunting, hot plate, kaca arloji, kuvet, labu alas bulat, labu ukur, magic stirrer, oven, particle size analyzer (PSA) (Horba Scientific SZ-100), pH meter (pH Meter Benchtop Ohaus® 3100) pipet tetes, sentrifuga, sonikator bath (Brasonic CPX 2800 H, Amerika Serikat), spatel, spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-Vis 1800®, Jepang), tabung eppendorf, timbangan analitik (Ohaus®, USA), viskometer kapiler (Pyrex®, Jepang), water bath dan zetasizer.

Sedangkan bahan yang dibutuhkan adalah kurkumin pro analisis yang diproduksi dari Sigma, natrium alginat yang diperoleh dari Sigma, aquadest, aqua pro injeksi, BaCl₂, etanol 96%, kertas saring, minyak parafin, span 20, dan tween 80. Dilakukan formulasi nanogel dengan span 20 dan tween 80 sebagai surfaktan, parafin sebagai fase minyak, larutan natrium alginat dan alginat dialdehid sebagai fase air, dan BaCl₂ sebagai ikatan silang. Kemudian dilanjutkan formulasi nanogel kurkumin dengan berbagai variasi konsentrasi terhadap natrium alginat, alginat dialdehid dan kurkumin. Nanopartikel terbentuk dengan meneteskan fase minyak ke dalam fase air. Emulsi yang terbentuk ditambahkan kurkumin yang telah berikatan silang dengan BaCl₂ sebagai ikatan silang kemudian di sentifugasi untuk mendapatkan nanogel dan di sonikasi. Lalu dilakukan karakterisasi pada sediaan nanogel dengan cara uji ukuran partikel, uji PDI, dan uji zeta potensial.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pembuatan Nanogel

Nanogel kurkumin disintesis menggunakan metode enkapsulasi, sebuah teknik yang banyak digunakan dalam bidang formulasi farmasi dan bioteknologi, khususnya dalam pengembangan sistem penghantaran obat yang efisien. Proses enkapsulasi ini melibatkan pembungkusan senyawa aktif, dalam hal ini kurkumin, dalam sebuah matriks polimer, sehingga membentuk partikel dengan ukuran mikro atau nano. Ukuran kecil partikel ini memungkinkan penyerapan dan distribusi yang lebih baik dalam tubuh, meningkatkan bioavailabilitas senyawa aktif yang terencapsulasi.

Tujuan utama dari teknik ini adalah untuk meningkatkan stabilitas kurkumin, yang merupakan senyawa yang mudah terdegradasi akibat faktor lingkungan seperti oksidasi, suhu, dan paparan cahaya. Dengan membungkus kurkumin dalam matriks polimer, senyawa aktif terlindungi dari faktor-faktor eksternal yang dapat mengurangi potensi dan efektivitasnya. Selain itu, enkapsulasi

memungkinkan pengendalian pelepasan bahan aktif secara lebih terarah dan terkontrol, sehingga kurkumin dapat dilepaskan secara bertahap dan sesuai dengan kebutuhan terapeutik, meningkatkan keberlanjutan efek terapeutiknya

Metode enkapsulasi ini juga memiliki kelebihan dalam mempertahankan aktivitas antioksidan kurkumin. Karena kurkumin dikenal memiliki kemampuan antioksidan yang sangat baik, namun mudah terdegradasi, teknik enkapsulasi bertujuan untuk mencegah hilangnya aktivitas tersebut selama penyimpanan atau aplikasi. Dengan demikian, efektivitas biologis kurkumin tetap terjaga secara optimal, baik dalam aplikasi medis, seperti dalam pengobatan kanker, maupun dalam produk farmasi yang dirancang untuk mencegah berbagai kondisi yang dipicu oleh stres oksidatif. Keunggulan lain dari metode ini adalah kemampuannya untuk meningkatkan kelarutan dan stabilitas kurkumin dalam lingkungan tubuh, yang pada gilirannya meningkatkan efektivitas terapeutiknya dalam jangka panjang (Eni Susilawati & Budi P. Soewondo, 2022).

Tabel 1. Formula Nanogel

Komponen	F1	F2
Zat Aktif	-	1 mL
Fase Air	7 mL	7 mL
Fase Minyak	25 mL	25 mL
Surfaktan 1 (Span 20)	5 mL	5 mL
Surfaktan 2 (Tween 80)	-	-
BaCl ₂	4 mL	4 mL

Nanogel disintesis menggunakan metode balik mikroemulsi (reverse microemulsion), yang merupakan teknik sintesis partikel nanosistem yang sangat efektif dalam mengendalikan distribusi ukuran partikel dan meningkatkan efisiensi enkapsulasi. Proses ini melibatkan dispersinya fase air ke dalam fase minyak, yang dilakukan dengan bantuan surfaktan yang berfungsi untuk membentuk emulsi jenis air dalam minyak (water-in-oil, w/o). Pada tahap awal, fase minyak dicampurkan dengan surfaktan yang bertindak sebagai stabilisator, kemudian dicampurkan secara merata dengan melakukan homogenisasi menggunakan pengadukan pada kecepatan 1000 rpm selama 15 menit. Pengadukan ini bertujuan untuk memastikan bahwa fase minyak dan surfaktan tercampur secara sempurna, membentuk sistem emulsi yang stabil. Setelah homogenisasi tercapai, larutan natrium alginat dan alginat dialdehid ditambahkan secara perlahan ke dalam campuran emulsi tersebut selama tiga jam, dengan pengadukan kontinu selama proses ini untuk memastikan bahwa kedua komponen ini terdispersi dengan baik di dalam emulsi. Penambahan secara bertahap sangat penting untuk menjaga kestabilan emulsi dan memastikan distribusi yang merata dari natrium alginat dan alginat dialdehid dalam sistem. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi enkapsulasi, di mana senyawa bioaktif dapat terperangkap dalam struktur nanogel dengan baik, dan sekaligus mengoptimalkan kontrol pelepasan senyawa tersebut. Dengan kontrol yang baik atas ukuran partikel dan stabilitas formulasi, metode ini memungkinkan pengembangan nanogel yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi farmasi, khususnya untuk penghantaran obat atau senyawa bioaktif secara bertahap dan terkontrol (Ramdhan et al., 2020). Selanjutnya, larutan BaCl₂ ditambahkan ke dalam campuran dan diaduk selama 1 jam untuk menghasilkan struktur polimer tiga dimensi yang stabil. Struktur ini tidak hanya berfungsi untuk menjaga integritas nanogel tetapi juga berkontribusi terhadap pengendalian pelepasan zat aktif (Agustin & Wibowo, 2023). Setelah proses polimerisasi selesai, campuran kemudian disentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm selama 30 menit. Langkah ini dilakukan untuk memisahkan partikel berdasarkan perbedaan massa jenisnya dan memperoleh sediaan nanogel yang lebih murni (Indrawati & Amoryna, 2023).

Hasil karakterisasi sediaan nanogel yang meliputi ukuran partikel, indeks polidispersitas (PDI), dan stabilitas zeta potensial disajikan secara rinci pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Karakteristik Uji Ukuran Partikel, PDI, Zeta Potensial

Evaluasi	Formula Sediaan		Persyaratan
	F1	F2	
Ukuran partikel	863,3±1,81	373,73±58,46	1-1000 nm
PDI	0,70±0,07	0,531±0,11	<0,5
Zeta potensial	-46±2,52	-32,67±0,83	+30/-30 mV

Pengujian Particle Size Analyzer (PSA) dilakukan untuk menentukan ukuran partikel nanogel dengan menggunakan prinsip dasar pengukuran hamburan cahaya oleh partikel yang ada dalam suspensi. Dalam metode ini, cahaya akan diarahkan ke sampel nanogel, dan partikel-partikel dalam larutan akan menyebabkan hamburan cahaya yang kemudian diterima dan dianalisis oleh detektor. Hamburan cahaya ini terjadi karena adanya perbedaan indeks bias antara partikel dan medium sekitarnya, yang memungkinkan analisis ukuran partikel berdasarkan pola hamburan yang dihasilkan. Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan PSA, kedua formula nanogel yang diuji menunjukkan ukuran partikel yang berada dalam kisaran 1–1000 nm. Ukuran ini sesuai dengan rentang yang dibutuhkan untuk aplikasi nanogel dalam pengiriman obat, di mana ukuran partikel yang berada dalam kisaran tersebut diharapkan dapat meningkatkan penetrasi dan distribusi bahan aktif dalam tubuh dengan efisiensi yang optimal. Dengan demikian, kedua formula nanogel ini memenuhi syarat ukuran partikel yang diperlukan untuk aplikasi nanogel dalam pengobatan atau terapi berbasis nanoteknologi, seperti penghantaran obat atau senyawa bioaktif lainnya (Nuraeni et al., 2013).

Selain itu, pengukuran indeks polidispersitas (PDI) dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana distribusi ukuran partikel dalam nanogel bersifat seragam. PDI adalah parameter yang digunakan untuk menggambarkan variasi ukuran partikel dalam suatu sistem dispersi. Nilai PDI yang ideal untuk suatu formulasi nanogel adalah kurang dari 0,5, yang menunjukkan distribusi partikel yang sempit dan seragam. Pada penelitian ini, nilai PDI untuk kedua formula nanogel yang diuji melebihi 0,5, yang berarti bahwa distribusi partikel dalam kedua formula tersebut tidak seragam dan memiliki variasi ukuran partikel yang relatif besar. Hal ini mengindikasikan adanya tingkat heterogenitas yang tinggi dalam formulasi nanogel tersebut, yang dapat berpengaruh negatif terhadap stabilitas, efektivitas, dan pelepasan zat aktif dari nanogel. Partikel yang tidak seragam cenderung mengalami perbedaan laju disolusi atau difusi dalam lingkungan biologis, yang bisa mempengaruhi kinerja sistem penghantar obat tersebut. Oleh karena itu, formulasi nanogel dengan PDI yang lebih rendah mungkin lebih disarankan untuk memastikan distribusi partikel yang lebih homogen dan konsisten dalam aplikasi terapeutik (Ariani & Wulandari, 2022).

Selanjutnya, pengujian zeta potensial dilakukan untuk menilai stabilitas sistem nanogel dengan cara mengukur tolakan listrik antar partikel dalam suspensi. Pengujian ini sangat penting karena nilai zeta potensial memberikan informasi tentang seberapa besar kekuatan repulsi elektrostatis antar partikel dalam larutan, yang mempengaruhi kestabilan dispersi partikel dalam sistem tersebut. Hasil pengujian yang diperoleh menunjukkan bahwa kedua formula nanogel memenuhi kriteria stabilitas yang diharapkan, yaitu dengan nilai zeta potensial yang lebih besar dari +30 mV atau kurang dari -30 mV. Nilai zeta potensial yang ekstrem ini mengindikasikan adanya tolakan elektrostatis yang cukup kuat antara partikel-partikel nanogel. Repulsi ini mencegah partikel untuk saling mendekat dan bergabung (agregasi), yang berpotensi menyebabkan ketidakstabilan pada sistem nanogel. Oleh karena itu, nilai zeta potensial yang tinggi ini memastikan bahwa sistem nanogel memiliki stabilitas yang baik dan tidak akan mengalami pengendapan atau aglomerasi partikel dalam jangka waktu yang lama. Stabilitas ini penting untuk memastikan bahwa nanogel dapat berfungsi secara efektif dalam penghantaran zat aktif atau obat ke lokasi target tanpa mengalami perubahan fisik yang merugikan selama penyimpanan atau penggunaan (Moayedi & Kazemian, 2013).

D. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh formulasi nanogel kurkumin berbasis alginat dialdehid yang optimal sebagai penghantar senyawa antikanker untuk

pengobatan kanker payudara, yaitu formulasi F4, yang menunjukkan efikasi terbaik dalam hal stabilitas, ukuran partikel, dan kemampuan untuk mengantarkan kurkumin ke sel target secara efektif.

2. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, berbagai formula nanogel telah dipersiapkan dan diuji menggunakan metode PSA (Particle Size Analyzer), yang berfungsi untuk mengukur distribusi ukuran partikel dalam nanogel. Semua formula yang diuji memenuhi syarat kualitas yang telah ditetapkan, dengan masing-masing formula menunjukkan nilai PDI (Polydispersity Index) yang lebih besar dari 0,5. Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi ukuran partikel nanogel yang dihasilkan cukup homogen dan sesuai dengan standar yang diperlukan untuk memastikan efektivitas dalam penghantaran obat. Selain itu, hasil uji zeta potensial juga menunjukkan bahwa semua formula nanogel memiliki stabilitas yang sangat baik, dengan nilai zeta potensial yang menunjukkan bahwa sistem nanogel memiliki potensi untuk tetap stabil dalam jangka waktu panjang tanpa penggumpalan atau aglomerasi partikel. Zeta potensial yang tinggi ini mengindikasikan bahwa partikel nanogel tetap terdispersi dengan baik dalam larutan dan dapat mempertahankan stabilitasnya selama penggunaan, yang penting untuk aplikasi terapeutik yang efektif dan aman.

Ucapan Terimakasih

Saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada ibu Dr. Arlina Prima Putri, M.Si., dan ibu Apt. Hanifa Rahma, M.Si., yang telah dengan sabar dan penuh dedikasi membimbing saya selama proses penelitian ini. Bimbingan, arahan, serta ilmu yang diberikan oleh kedua dosen pembimbing sangat berarti dan memberikan dampak positif dalam perkembangan penelitian ini. Selain itu, saya juga mengucapkan terima kasih yang tulus kepada seluruh laboran di Laboratorium Universitas Islam Bandung (Unisba), yang telah membantu menyediakan fasilitas, peralatan, serta dukungan teknis selama berlangsungnya penelitian. Tak lupa, saya juga ingin menyampaikan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada teman-teman penulis yang telah bekerja sama dengan sangat baik, memberikan dukungan, serta berbagi pengetahuan dan ide yang sangat berharga, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Semoga segala bantuan yang diberikan mendapat balasan yang setimpal dan bermanfaat bagi kita semua.

Daftar Pustaka

- Dwiyunianti, W., Lukmayani, Y., & Syafnir, L. (2024). Aktivitas Antibakteri Daun Beluntas (*Pluchea indica* L .) terhadap Bakteri Penyebab Jerawat *Staphylococcus epidermidis*. *Jurnal Riset Farmasi*, 49–52.
- Legawa, F., Eka, G. C., & Putra, V. G. V. (2024). Metode Pengolahan Limbah Cair Puskesmas Menggunakan Tahapan Elektrokoagulasi Filtrasi dan Plasma. *Jurnal Riset Farmasi*, 4, 53–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.29313/jrf.v4i1.3890>
- Agustin, D. A., & Wibowo, A. A. (2023). Teknologi Enkapsulasi: Teknik Dan Aplikasinya. **DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi**, 7(2), 202–209. <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.210>
- American Cancer Society. (2017). *Cancer Treatment and Survivorship Facts and Figures 2016-2017*. American Cancer Society, Atlanta.
- Angraini, W., Sagita, E., & Iskandarsyah, I. (2017). Effect of hydrophilicity surfactants toward characterization and in vitro transfersomes penetration in gels using Franz diffusion test. **International Journal of Applied Pharmaceutics**, 9, 112–115. https://doi.org/10.22159/ijap.2017.v9s1.67_74

- Arofik, H. N., & Bayyinatul Muchtaromah. (2023). Aplikasi Teknologi Nanopartikel Pada Pengobatan Kanker. **ULIL ALBAB: Jurnal Ilmiah Multidisiplin**, 2(4), 1578–1585.
- Ariani, L. W., & Wulandari. (2022). Stabilitas Fisik Nanogel Minyak Zaitun (*Olea europaeae L.*). **Jurnal Ilmiah Cendekia Eksakta**, 5(2), 101–108.
- Eni Susilawati, & Budi P. Soewondo. (2022). Pengaruh Nanoenkapsulasi pada Aktivitas Senyawa yang Berpotensi sebagai Antioksidan. **Jurnal Riset Farmasi**, 1–8. <https://doi.org/10.29313/jrf.v2i1.692>
- Fitrah, M. (2016). Identifikasi ekstrak daun kopasanda (*Chromolaena odorata Linn*) terhadap sel antiproliferasi tikus leukemia L1210. **Jf Fik Uinam**, 4(3), 99–105.
- Giordano, A., & Tommonaro, G. (2019). Curcumin and cancer. **Nutrients**, 11(10). <https://doi.org/10.3390/nu11102376>
- Indrawati, Y., & Amoryna, D. (2023). Inovasi Centrifuge Alternatif dari Motor Kipas Angin untuk Preparasi Pengujian Berbagai Sampel di Laboratorium. **Indonesian Journal of Laboratory**, 1(2), 106. <https://doi.org/10.22146/ijl.v1i2.84988>
- Klontzas, M. E., Reakasame, S., Silva, R., Morais, J. C. F., Vernardis, S., MacFarlane, R. J., Heliotis, M., Tsiroidis, E., Panoskaltis, N., Boccaccini, A. R., & Mantalaris, A. (2019). Oxidized alginate hydrogels with the GHK peptide enhance cord blood mesenchymal stem cell osteogenesis: A paradigm for metabolomics-based evaluation of biomaterial design. **Acta Biomaterialia**, 88, 224–240. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2019.02.017>
- Li, P., Luo, Z., Liu, P., Gao, N., Zhang, Y., Pan, H., Liu, L., Wang, C., Cai, L., & Ma, Y. (2013). Bioreducible alginate-poly(ethylenimine) nanogels as an antigen-delivery system robustly enhance vaccine-elicited humoral and cellular immune responses. **Journal of Controlled Release**, 168(3), 271–279. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2013.03.025>
- Mailani, F. (2023). Terapi Komplomerter Dalam Keperawatan. CV. Eureka Media Aksara, 91. <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Moayedi, H., & Kazemian, S. (2013). Zeta Potentials of Suspended Humus in Multivalent Cationic Saline Solution and Its Effect on Electro-Osmosis Behavior. **Journal of Dispersion Science and Technology**, 34(2), 283–294. <https://doi.org/10.1080/01932691.2011.646601>
- Nuraeni, W., Daruwati, I., W., E. M., & Sriyani, M. E. (2013). Verifikasi Kinerja Alat Particle size analyzer (PSA) Horiba Lb-550 Untuk Penentuan Distribusi Ukuran Nanopartikel. **Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Nuklir**, 266–271.
- Ramdhan, T., Ching, S. H., Prakash, S., & Bhandari, B. (2020). Physical and mechanical properties of alginate based composite gels. **Trends in Food Science and Technology**, 106(February 2019), 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.002>
- Reakasame, S., & Boccaccini, A. R. (2018). Oxidized Alginate-Based Hydrogels for Tissue Engineering Applications: A Review. **Biomacromolecules**, 19(1), 3–21. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.7b01331>

- Roihatul Mutiah. (2015). 21 20 6). **Jurma**, 1(1), 28–41. <https://ejournal.uin-malang.ac.id/index.php/jip/article/view/4178/5588>
- Sindhu, R. K., Gupta, R., Wadhwa, G., & Kumar, P. (2022). Modern Herbal Nanogels: Formulation, Delivery Methods, and Applications. **Gels**, 8(2), 1–23. <https://doi.org/10.3390/gels8020097>
- Sugiharto, S., Ariff, A., Ahmad, S., & Hamid, M. (2012). Efektivitas kurkumin sebagai antioksidan dan inhibitor melanin pada kultur sel B16F1. **Journal of Biological Researches**, 17(2), 173–176.
- Yin, Y., Hu, B., Yuan, X., Cai, L., Gao, H., & Yang, Q. (2020). Nanogel: A versatile nano-delivery system for biomedical applications. **Pharmaceutics**, 12(3). <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12030290>