BAB V
PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh formula terbaik sediaan *gummy candy* kombinasi kurkumin liposomal dan *zinc gluconate* yang stabil secara fisik serta memiliki tingkat penerimaan organoleptik yang baik. Tahap awal penelitian dilakukan dengan pembuatan dan karakterisasi kurkumin liposomal menggunakan metode hidrasi lapis tipis *(thin film hydration method)*. Karakterisasi liposom meliputi pengujian ukuran partikel, indeks polidispersitas (PDI), dan efisiensi penjerapan untuk menentukan formula liposom yang memenuhi persyaratan. Formula liposom terbaik selanjutnya digunakan dalam formulasi sediaan *gummy candy* dengan variasi konsentrasi gelatin sebagai pembentuk gel.

Sediaan *gummy candy* yang dihasilkan kemudian dievaluasi berdasarkan karakteristik fisik yang meliputi organoleptik, keseragaman bobot, waktu hancur, *moisture content*, dan pH. Selain itu, dilakukan uji hedonik untuk mengetahui tingkat penerimaan panelis terhadap masing-masing formula berdasarkan parameter warna, aroma, rasa, tekstur, dan penerimaan keseluruhan. Formula yang memperoleh hasil evaluasi fisik terbaik dan tingkat kesukaan tertinggi dipilih sebagai formula terbaik untuk selanjutnya dilakukan pengujian stabilitas penyimpanan.

5.1. Optimasi Kurkumin Liposomal

5.1.1. Pencampuran Bahan Aktif dan Fosfolipid

Liposom merupakan vesikel berbentuk bulat yang terdiri atas lapisan fosfolipid ganda dan digunakan sebagai sistem penghantaran obat karena mampu mengenkapsulasi berbagai senyawa aktif[101]. Liposom memiliki beberapa keunggulan dibandingkan sistem penghantaran obat lainnya, antara lain biokompatibel, mampu mengenkapsulasi senyawa hidrofilik maupun hidrofobik, memiliki proses sintesis yang relatif mudah, meningkatkan stabilitas, dan bioavailabilitas bahan aktif[40,102]. Oleh karena itu, liposom dipilih dalam penelitian ini untuk mengatasi rendahnya bioavailabilitas kurkumin sehingga karakteristik tersebut berpotensi meningkatkan stabilitas dan efektivitas penghantaran kurkumin dalam sediaan *gummy candy.*

Menurut Nsairat et al (2022)[102] terdapat beberapa metode pembuatan liposom yakni *thin film hydration method, reverse-phase evaporation method, solvent injection methods, detergent removal method, dehydration-rehydration method.* Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *thin film hydration method,* metode ini dipilih karena merupakan metode yang paling umum digunakan dalam pembuatan liposom. Metode ini relatif sedernaha dan mudah dilakukan. Selain itu, metode ini cocok digunakan untuk senyawa lipofilik seperti kurkumin, karena kurkumin dapat terdistribusi ke dalam lapisan fosfolipid *bilayer* selama proses pembentukan liposom[103]. Hal ini sejalan dengan penelitian Lombardo dan Kiselev (2022)[104] yang menyatakan bahwa *thin film hydration method* merupakan metode pembuatan liposom yang paling umum dan paling sederhana digunakan dalam pembuatan liposom.

Pembuatan liposom diawali dengan pencampuran bahan aktif dan fosfolipid. Pada penelitian ini, fosfolipid yang digunakan adalah lesitin. Lesitin dipilik karena merupakan fosfolipid alami yang bersifat ampifilik, sehingga mampu membentuk bilayer liposom ketika kontak dengan fase berair. Selain itu, lesitin memiliki biokompatibilitas dan biodegradabilitas yang baik sehingga aman digunakan dalam sistem penghantaran obat [105]. Lesitin dapat dihasilkan dari telur, susu, kedelai, atau sumber lainnya [106]. Lesitin yang digunakan dalam penelitian ini adalah lesitin kedelai *(soy lecithin)* karena memiliki kandungan *phosphatidylcoline* dalam jumlah tinggi yang berperan dalam pembentukan bilayer liposom [107]. Penelitian Peng et al (2018)[108] juga melaporkan bahwa lesitin berbasis tumbuhan mampu menghasilkan liposom yang stabil serta meningkatkan kapasitas enkapsulasi dan stabilitas kurkumin.

Pada penelitian ini, perbandingan rasio molar lecithin dengan kurkumin yang digunakan yakni 1:1, 2:1, dan 3:1. Variasi rasio tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah fosfolipid terhadap karakteristik liposom yang dihasilkan. Peningkatan rasio lesitin dapat menghasilkan fosfolipid *bilayer* yang lebih banyak sehingga memungkinkan kurkumin terenkapsulasi secara optimal. Hal ini sejalan dengan penelitian Ullmann et al (2021)[109] yang melaporkan bahwa peningkatan konsentrasi fosfolipid dapat meningkatkan efisiensi enkapsulasi karena tersedianya ruang yang lebih besar untuk mengenkapsulasi bahan aktif ke dalam struktur liposom. Pencampuran dilakukan dalam keadaan lesitin dan kurkumin telah terlarut dalam etanol agar terbentuk larutan yang homogen [110].

Dalam penelitian ini, volume pelarut yang digunakan untuk membuat lapis tipis liposom adalah 14 mL. Hal ini didasarkan oleh penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rahmania (2020)[111] yang menggunakan volume etanol yang sama dalam preparasi kurkumin liposomal.

5.1.2. Pembentukan Lapis Tipis

Pembentukan lapis tipis dilakukan dengan pemutaran labu alas bulat di atas *waterbath* pada suhu 35±2ºC sambil dilakukan bantuan pemanasan menggunakan *hair dryer* untuk mempercepat proses penguapan pelarut hingga terbentuk lapis tipis pada dinding labu alas bulat. Selanjutnya, labu disimpan di dalam desikator selama satu malam untuk memastikan seluruh pelarut sudah menguap dan mencegah kelembaban dari lingkungan yang dapat merusak lapis tipis[112].

Dapat dilihat pada Gambar 4.1 dimana gambar 4.1(a) dengan rasio lesitin dan kurkumin 1:1 menghasilkan lapis tipis berwarna kuning kemerahan, kurang merata, dan banyak terdapat agregat, gambar 4.1(b) dengan rasio lesitin dan kurkumin 2:1 menghasilkan lapis tipis berwarna kuning kemerahan, cukup merata, dan cukup banyak terdapat agregat, sedangkan gambar 4.1(c) dengan rasio lesitin dan kurkumin 3:1 menghasilkan lapis tipis berwarna kuning kemerahan, cukup merata, dan sedikit terdapat agregat. Pembentukan lapis tipis yang tidak merata dapat disebabkan oleh kecepatan rotasi yang tidak konsisten. Sedangkan terbentuknya agregat dapat membuat fitosom menjadi tidak homogen, hal ini dapat disebabkan oleh pemanasan yang terlalu tinggi, kecepatan rotasi yang tidak konsisten, serta bahan aktif atau fosfolipid yang belum terlarut sempurna[113].

5.1.3. Hidrasi Lapis Tipis

Setelah lapis tipis terbentuk, dilakukan proses hidrasi. Hidrasi merupakan tahap penambahan fase berair ke dalam lapisan lipid yang menyebabkan fosfolipid mengalami *swelling* dan membentuk vesikel liposom[113]. Dalam penelitian ini, Proses hidrasi menggunakan *phosphate buffer saline (PBS)* pH 7,4. Keberadaan garam dalam larutan PBS dapat meningkatkan efektivitas proses perakitan mandiri fosfolipid untuk membentuk sistem vesicular[112].

5.2. Validasi Metode Analisis

Validasi metode analisis dilakukan untuk memastikan bahwa metode yang digunakan memiliki kinerja yang menadai sehingga dapat menghasilkan data yang akurat dan dapat dipercaya[114]. Pada penelitian ini, parameter validasi yang

dievaluasi meliputi linearitas, *Limit of Detection (LOD), Limit of Quantification (LOQ)*, presisi dan akurasi.

5.2.1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Pada penelitian ini, penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan menggunakan alat Spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui panjang gelombang berupa titik dimana terjadi transisi elektronik yang menghasilan nilai absorbansi tertinggi, sehingga memungkinkan pencapaian sensitivitas analisis yang optimal[115]. Kurkumin merupakan senyawa aktif utama golongan kurkuminoid yang terdapat pada rimpang kunyit *(Curcuma longa L.)* dan termasuk pigmen alami yang memberikan warna kuning-oranye yang khas. Pigmen kurkuminoid dapat menyerap Cahaya pada daerah *Ultra Violet-Visible (UV-Vis)* atau pada kisaran panjang gelombang 400-800 nm[109].

Berdasarkan hasil pengukuran pada Gambar 4.3, diperoleh absorbansi tertinggi pada panjang gelombang 416 nm. Hasil tersebut tidak berbeda jauh dengan penelitian yang dilakukan oleh Jayuska et al (2019)[109] yang melaporkan bahwa kurkumin dengan pelarut etanol memiliki panjang gelombang maksimum 415 nm, serta penelitian oleh Shofia et al (2025)[116] yang memperoleh panjang gelombang maksimum kurkumin sebesar 420 nm. Kedekatan nilai panjang gelombang maksimum tersebut menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh pada penelitian ini masih sesuai dengan karakteristik spektrum serapan kurkumin dalam pelarut etanol.

5.2.2. Linearitas

Uji linearitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan metode analisis dalam memberikan respon yang berbanding lurus dengan konsentrasi analit. Pengujian dilakukan menggunakan larutan standar dengan konsentrasi analit 0,5; 3; 4; 5; dan 6 ppm. Rentang konsentrasi tersebut dipilih untuk mengetahui apakah respon yang dihasilkan sudah berbanding lurus atau proporsional. Linearitas metode ditentukan melalui analisis regresi linier yang dinyatakan dalam persamaan y = bx + a dari kurva baku.

Kurva baku kurkumin dibuat menggunakan lima konsentrasi standar, yakni 0,5; 3; 4; 5; dan 6 ppm. Larutan variasi konsentrasi dibuat dari larutan standar dengan konsentrasi 100 ppm yang diencerkan menjadi 20 ppm, kemudian digunakan untuk membuat larutan variasi konsentrasi. Berdasarkan hasil

pengukuran yang tertera pada Gambar 4.4, diperoleh persamaan regresi linier y = 0,0937x + 0,0979.

Hasil uji dapat dikatakan linear apabila nilai koefisien korelasi mendekati 1. Hasil koefisien korelasi (R^2) dari persamaan regresi kurkumin yang dihasilkan sebesar 0,9999. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat antara konsentrasi kurkumin dan absorbansi yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa metode Spektrofotometri UV-Vis yang digynakan memiliki linearitas yang sangat baik pada rentang konsentrasi tersebut.

5.2.3. *Limit of Detection (LOD)* dan *Limit of Quantification (LOQ)*

Nilai LOD menunjukkan konsentrasi kurkumin terendah yang masih dapat terdeketsi oleh metode analisis, sedangkan nilai LOQ menunjukkan konsentrasi terendah yang masih dapat ditentukan secara kuantitatif dengan tingkat ketelitian dan ketepatan yang memadai[114]. Nilai LOD dan LOQ yang relative kecil menunjukkan bahwa metode Spektrofotometri UV-Vis yang digunakan memiliki sensitivitas yang baik untuk mendeteksi dan mengukur kurkumin pada konsentrasi rendah[117].

Berdasarkan hasil pengujian yang tertera pada Tabel 4.1, diperoleh nilai LOD sebesar 0,1708 ppm, yang menunjukkan konsentrasi analit terendah yang masih dapat terdeteksi oleh instrument, meskipun belum dapat ditentukan secara kuantitatif dengan tingkat ketelitian yang memadai. Sedangkan nilai LOQ yang diperoleh sebesar 0,5696 ppm, yang menunjukkan konsentrasi terendah yang dapat diukur dan ditentukan kadarnya secara kuantitatif dengan tingkat akurasi dan presisi yang optimal.

5.2.4. Presisi dan Akurasi

Presisi merupakan parameter yang menggambarkan tingkat kesesuaian hasil yang diperoleh dari pengukuran berulang terhadap sampel yang sama. Tingkat presisi suatu metode umumnya dinyatakan sebagai persen Simpangan Baku Relatif (%RSD), yang merupakan ukuran statistik untuk menunjukkan seberapa kecil variasi antar pengulangan dibandingkan dengan nilai rata-rata[118]. Nilai %RSD < 2% menunjukkan hasil presisi menghasilkan data yang konsisten[119]. Pada penelitian ini, didapatkan hasil pengujian presisi kurkumin yaitu 0,01% dimana nilai tersebut secara signifikan berada di bawah syarat maksimum yang dapat diterima dalam validasi metode. Hasil uji presisi dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Akurasi digunakan untuk menilai kedekatan hasil pengukuran terhadap nilai sebenarnya. Pada validasi metode, akurasi umumnya dievaluasi menlalui uji persen perolehan kembali *(% recovery)*[114]. Uji akurasi dapat dilakukan dengan penggunaan metode simulasi *(spiked-placebo recovery)* atau metode penambahan baku *(standard addition method)*. Pada metode simulasi, sejumlah analit standar ditambahkan ke dalam matriks placebo, sedangkan pada metode penambahan baku, sejumlah standar ditambahkan ke dalam sampel yang telah diketahui kadarnya[120,121]. Pada penelitian ini, uji akurasi dilakukan dengan metode simulasi *(spiked-placebo recovery)* pada *gummy candy* konsentrasi 80%, 100%, dan 120%. Pengujian tersebut menghasilkan *% recovery* pada konsentrasi 80% sebesar 97,79%, pada konsentrasi 100% sebesar 98,78%, dan konsentrasi 120% sebesar 95,41%. Sehingga menghasilkan nilai rata-rata *% recovery* sebesar 97,33 ± 1,41%, yang mana nilai tersebut memenuhi syarat keberterimaan akurasi yaitu berada pada rentang 80-110%, sebagaimana tercantum pada tabel 4.3[86]. Sehingga hasil analisis dapat dinyatakan memiliki tingkat akurasi yang tinggi.

5.3. Evaluasi Kurkumin Liposomal

5.3.1. Uji Efisiensi Penjerapan (%EE)

Uji efisiensi penjerapan (%EE) merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui persentase kurkumin yang berhasil terenkapsulasi dibandingkan jumlah awal pada formulasi. Pengujian dilakukan menggunakan metode dialisis membran dengan *dialysis tube* pada suhu ruang (25 ± 2°C) untuk memisahkan kurkumin bebas dari kurkumin yang terenkapsulasi, sehingga diperoleh nilai enkapsulasi yang akurat. Hasil efisiensi penjerapan didapatkan dari pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada Panjang gelombang 416 nm. Metode dialisis membran dipilih karena bersifat lebih lembut terhadap sistem liposom serta tidak memerlukan gaya mekanik tinggi seperti pada metode sentrifugasi. Hal ini diperkuat oleh hasil penelitian Ran et al. (2016) yang menunjukkan bahwa metode dialisis membrane memberikan hasil %EE yang relatif sebanding dengan metode sentrifugasi[122].

Pada penelitian ini, uji penjerapan dilakukan menggunakan *dialysis tube* yang memiliki besar *molecular weight cutt-off* 12.000 hingga 14.000 Daltons[123]. Liposom dengan ukuran 200-500 nm tidak dapat melewati *dialysis tube,* namun apabila terdapat molekul kurkumin yang memiliki ukuran lebih kecil dari *cutt-off dialysis tube* dapat melewatinya. Berdasarkan hasil uji penjerapan yang tertera

pada Gambar 4.6, formula dengan rasio 1:1, 2:1, dan 3:1 masing-masing menghasilkan %EE sebesar 99,62±0,09%; 99,64±0,07%; dan 99,96±0,09%. Dari nilai %EE tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian seluruh formula memenuhi rentang syarat 80-100%.

5.3.2. Uji pH dan Viskositas

Uji pH dilakukan untuk mengetahui derajat kesamaan sediaan yang berpengaruh pada stabilitas kimia kurkumin. pH yang sesuai dapat menjaga kestabilan struktur vesikel serta mencegah degradasi bahan aktif[124]. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.4, kurkumin liposomal menunjukan nilai pH sebesar 5,63 ± 0,09. Nilai ini berada pada rentang asam lemah, kondisi pH sedikit asam diketahui dapat membantu menjaga stabilitas fosfolipid dalam membran liposom[125]. Selain itu, kondisi pH tersebut dapat mengurangi degradasi kurkumin yang stabil pada pH asam hingga netral[124].

Sementara itu, uji viskositas dilakukan untuk mengetahui sifat alir sediaan liposomal. Viskositas beperan penting dalam menentukan stabilitas fisik sistem disperse dan cenderung menghasilkan distribusi vesikel yang lebih stabil dan tidak mudah mengalami pemisahan fase[126]. Nilai viskositas sebesar 0,779 ± 0,016 cPs. Nilai tersebut memenuhi syarat rentang 0,6-1,0, yang mana sesuai dengan karakteristik sistem liposom yang merupakan disperse vesikel lipid dalam fase cair, sehingga secara umum memiliki viskositas mendekati medium pendispersinya[127].

5.3.3. Ukuran Partikel dan Indeks Polidispersitas (PDI)

Evaluasi ini dilakukan di laboratorium *Nanoscience and Nanotechnology Research Center (PPNN)* Institut Teknologi Bandung menggunakan alat *Particle Size Analyzer (PSA).* Ukuran partikel merupakan salah satu parameter kritis yang menentukan stabilitas, distribusi sistemik, dan efektivitas sistem penghantaran obat berbasis liposom. Berdasarkan hasil yang tertera pada Tabel 4.5, diperoleh ukuran partikel dari kurkumin liposomal memenuhi syarat 200-500 nm yaitu sebesar 228,95 ± 3,25 nm [57,75].

Selain ukuran partikel, indeks polidispersitas merupakan parameter yang menggambarkan keseragaman distribusi ukuran partikel dalam suatu sistem koloid. Pada formulasi liposom, nilai PDI ≤ 0,3 umumnya dianggap dapat diterima dan menunjukan populasi vesikel fosfolipid yang homogen[57]. Hasil pengujian pada penelitian ini menunjukkan nilai PDI sebesar 0,423 ± 0,024, yang berada di atas batas keberterimaan ≤ 0,3, sehingga distribusi ukuran partikel kurkumin liposomal

pada formulasi ini belum memenuhi syarat homogenitas dan tergolong polidispersi atau kurang homogen.

5.4. Pembuatan *Gummy candy*

Pada penelitian ini, pembuatan *gummy candy* dilakukan dengan metode cetak tuang *(pouring method)* menggunakan 5 rancangan formula dengan perbandingan konsentrasi gelatin. Metode cetak tuang yaitu massa *gummy candy* yang telah homogen dituangkan ke dalam cetakan hingga membentuk sediaan yang siap dievaluasi[128]. Gelatin pada formulasi ini berperan sebagai *gelling agent* yang membentuk struktur gel dan menentukan tekstur kekenyalan *gummy candy,* sehingga variasi konsentrasi gelatin yang digunakan akan berpengaruh langsung terhadap tingkat kekenyalan produk akhir[129].

5.5. Evaluasi Fisik Sediaan *Gummy candy*

5.5.1. Uji Organoleptik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi gelatin terhadap karakteristik fisik sediaan yang dihasilkan, sehingga dapat ditentukan formula dengan konsentrasi gelatin yang sesuai dan dapat diterima oleh konsumen[130]. Berdasarkan hasil yang disajikan pada Tabel 4.6, diperoleh pada seluruh formula menghasilkan warna oranye, aroma khas jeruk, dan rasa manis yang konsisten, mengindikasikan bahwa variasi konsentrasi gelatin tidak mempengaruhi ketiga parameter tersebut. Perbedaan terlihat pada parameter bentuk dan tekstur, Dimana F4 dan F5 menunjukkan kesesuaian bentuk terhadap cetakan yang semakin menurun serta tekstur yang semakin lunak. Hal ini disebabkan oleh adanya penurunan konsentrasi gelatin yang menyebabkan pembentukan jaringan gel kurang kuat, sehingga kemampuan sediaan untuk mempertahankan bentuk dan kekenyalannya menjadi berkurang[131]. Oleh karena itu, F1-F3 dipilih untuk dilanjutkan pada uji hedonik karena memiliki bentuk yang masih sesuai dengan cetakan, sehingga dinilai lebih layak dan nyaman untuk dikonsumsi.

5.5.2. Uji Keseragaman Bobot

Uji keseragaman bobot tablet bertujuan untuk memastikan setiap *gummy* dalam satu batch memiliki bobot yang konsisten, terkait dengan dosis bahan aktif yang sesuai[132]. Selain itu, variasi bobot dapat mempengaruhi efektivitas dan keamanan terapi[133]. Berdasarkan hasil pada Tabel 4.7, uji keseragaman bobot telah memenuhi syarat dalam Farmakope Indonesia edisi III (1979) yakni tidak

boleh lebih dari dua tablet menyimpang dari kolom 5% kolom A sebesar 3,56-3,94 gram dan tidak lebih dari satu tablet yang bobotnya menyimpang dari 10% kolom B sebesar 3,38-4,13 gram[77].

5.5.3. Uji Waktu Hancur

Uji waktu hancur dilakukan untuk mengetahui kecepatan disintegrasi sediaan. Parameter ini penting karena proses disintegrasi merupakan tahap awal yang mempengaruhi pelepasan bahan aktif sediaan sebelum mengalami disolusi dan absorpsi di saluran cerna[134]. Hasil yang tertera pada Tabel 4.7, menunjukkan waktu hancur tercepat diperoleh pada F1 dan waktu hancur terlama pada F3. Pola ini menunjukkan bahwa F2 dan F3 memiliki struktur gel yang lebih kuat dan padat sehingga membutuhkan waktu lebih lama untuk hancur, sedangkan F4 dan F5 memiliki waktu hancur yang lebih cepat. Hal ini sejalan dengan terktur kedua formula yang lebih lunak pada uji organoleptik. Namun, pada F1 menunjukkan waktu hancur tercepat di antara seluruh formula meskipun teksturnya tergolong kenyal pada uji organoleptik, sehingga perlu ditelaah lebih lanjut.

5.5.4. *Moisture Content*

Uji *moisture content* dilakukan untuk mengetahui berapa banyak air yang terkandung dalam sediaan. Pengujian *moisture content* penting untuk dilakukan karena kadar air yang tinggi pada produk pangan dapat menjadi pertumbuhan mikroorganisme dan mempercepat kerusakan produk[135]. Berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (BSN) untuk *gummy candy,* batas maksimum kadar air yang diperbolehkan adalah 10%[78]. Sehingga hasil formula pada penelitian ini yang tercantum pada Tabel 4.7 telah memenuhi syarat tersebut.

5.5.5. Uji pH

Pengukuran pH dilakukan karena nilai pH sediaan berkaitan langsung dengan stabilitas kurkumin. Kondisi pH asam hingga netral dapat mengurangi degradasi kurkumin, yang diketahui lebih stabil pada rentang pH tersebut[124]. Nilai pH pada seluruh formula penelitian ini yaitu F1 (5,06), F2 (5,81), F3 (5,21), F4 (6,11), dan F5 (4,91), yang mana nilai tersebut menunjukkan pada F1-F4 memenuhi rentang syarat 5,0-6,5, sedangkan pada F5 tidak memenuhi rentang syarat. Hal ini dapat disebabkan oleh proses degradasi komponen penyusun sediaan maupun terbentuknya senyawa hasil degradasi yang memiliki sifat lebih asam [136].

5.5.6. *Color Measurement*

Color measurement dilakukan untuk mengkuantifikasi warna sediaan secara objektif dan terukur, di mana nilai L* menunjukkan tingkat kecerahan, nilai a* menunjukkan derajat warna merah-hijau, dan nilai b* menunjukkan derajat warna kuning-biru[95]. Perubahan warna dinyatakan sebagai nilai ΔE, di mana semakin kecil nilai ΔE menunjukkan warna sediaan semakin stabil dan mendekati warna awal, sedangkan semakin besar nilai ΔE menunjukkan perubahan warna yang semakin nyata[137]. Berdasarkan data pada Tabel 4.7, F1 memiliki nilai ΔE terendah (0,00 ± 1,0614) yang menunjukkan tidak terjadi perubahan signifikan selama pengujian. Sebaliknya, F4 menunjukkan nilai ΔE tertinggi (11,03 ± 3,6261), yang mengindikasikan perubahan warna paling besar dibandingkan formula lainnya. Nilai ΔE pada F2, F3, dan F5 masing-masing 0,37 ± 2,0072; 2,43 ± 2,5979; dan 0,97 ± 2,3921, yang menunjukkan perubahan warna relatif kecil dan relatif stabil.

5.6. Uji Hedonik

Uji hedonik dilakukan untuk mengetahui tingkat penerimaan konsumen terhadap sediaan serta sebagai tahap penyaringan dalam menentukan formula terbaik yang akan dilanjutkan ke tahap uji stabilitas penyimpanan. Uji ini melibatkan 10 panelis berusia 18–25 tahun dengan komposisi jenis kelamin yang seimbang, yaitu 5 perempuan dan 5 laki-laki, sehingga diharapkan dapat mewakili preferensi kedua gender di Indonesia. Seluruh panelis berada dalam kondisi sehat, tidak memiliki gangguan pada indera perasa maupun penciuman, serta tidak memiliki riwayat alergi terhadap bahan penyusun gummy candy. Kriteria tersebut dipastikan melalui pengisian *informed consent* sebelum pelaksanaan uji hedonik. Penilaian dilakukan menggunakan skala hedonik 1–5, dengan nilai 1 menunjukkan "sangat tidak suka" dan nilai 5 menunjukkan "sangat suka". Penggunaan skala ini bertujuan untuk mengubah penilaian subjektif menjadi data numerik yang dapat dianalisis secara statistik, sehingga tingkat kesukaan antarformula dapat dibandingkan secara objektif[138]. Uji hedonik hanya dilakukan pada F1, F2, dan F3 karena berdasarkan hasil uji organoleptik ketiga formula tersebut masih menunjukkan bentuk yang sesuai dengan cetakan dan tekstur yang cukup kenyal, sehingga dinilai lebih layak untuk dikonsumsi.

Berdasarkan Tabel 4.8, F1 memperoleh total skor tertinggi (161), diikuti F3 (150), dan F2 terendah (142), dengan parameter rasa dan tekstur menjadi

kontributor utama keunggulan F1. Pada parameter bentuk, ketiga formula menunjukkan skor yang relatif berdekatan, hal ini sesuai dengan hasil uji organoleptik sebelumnya dimana F1-F3 sama-sama terbentuk sesuai cetakan. Sedangkan parameter bau menunjukkan skor terendah pada ketiga formula, mengindikasikan aroma jeruk pada sediaan ini secara umum kurang menjadi parameter yang disukai panelis dibandingkan parameter lainnya. Berdasarkan total skor hedonik tersebut, F1 dipilih sebagai formula terbaik yang akan dilanjutkan ke tahap uji stabilitas penyimpanan.

5.7. Uji Stabilitas Penyimpanan

Formula terpilih yaitu F1 kemudian dilakukan uji stabilitas penyimpanan dengan tujuan untuk mengevaluasi apakah *gummy candy* akan mempertahankan kualitas fisiknya selama penyimpanan pada kondisi suhu ruang (25°C ± 2°C) dan dalam rentang waktu 30 hari. Parameter utama dalam penelitian ini adalah organoleptik, keseragaman bobot, waktu hancur, *moisture content*, pH, dan *color measurement.*

5.7.1. Uji Organoleptik

Berdasarkan Tabel 4.9, selama uji stabilitas penyimpanan dari hari ke-0 hingga hari ke-30 tidak terjadi perubahan parameter warna, aroma, rasa, bentuk, maupun tekstur *gummy candy*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sediaan masih mampu mempertahankan karakteristik organoleptiknya, sehingga dapat dikatakan memiliki stabilitas fisik yang baik selama periode pengujian[139].

5.7.2. Uji Keseragaman Bobot

Berdasarkan Gambar 4.10, bobot *gummy candy* menunjukkan perbedaan yang relatif kecil. Hasil tersebut menunjukkan pada hari pertama hingga hari ke-30 bobot *gummy candy* tetap memenuhi syarat, yaitu tidak lebih dari dua tablet menyimpang dari kolom 5% kolom A sebesar 3,56-3,94 gram dan tidak lebih dari satu unit yang bobotnya menyimpang dari 10% kolom B sebesar 3,38-4,13 gram. Konsistensi bobot mengindikasikan bahwa tidak terjadi kehilangan maupun penyerapan air berlebih pada sediaan selama penyimpanan, Dengan demikian, keseragaman bobot *gummy candy* tetap terjaga, dan menunjukan stabilitas fisik sediaan yang baik selama periode penyimpanan.

5.7.3. Uji Waktu Hancur

Berdasarkan Gambar 4.11, waktu hancur *gummy candy* menunjukkan cenderung meningkat selama masa penyimpanan. Pada hari ke-0 waktu hancur

sebesar 11 menit 2 detik, kemudian meningkat menjadi 12 menit 57 detik pada hari ke-3. Nilai waktu hancur relatif stabil pada hari ke-7 dan hari ke-14, masing-masing sebesar 12 menit 41 detik dan 12 menit 54 detik. Selanjutnya, waktu hancur meningkat menjadi 13 menit 28 detik pada hari ke-21 dan mencapai 13 menit 35 detik pada hari ke-30. Peningkatan waktu hancur selama masa penyimpanan diduga berkaitan dengan perubahan struktur gel yang menyebabkan sediaan menjadi lebih sulit terdisintegrasi[140]. Meskipun demikian, seluruh nilai waktu hancur yang diperoleh masih berada di bawah batar persyaratan Farmakope Indonesia edisi III (1979)[77] yaitu tidak lebih dari 15 menit, sehingga *gummy candy* tetap memenuhi kriteria mutu yang ditetapkan selama periode penyimpanan. Hal ini menunjukkan bahwa stabilitas fisik sediaan masih dapat dipertahankan hingga hari ke-30.

5.7.4. *Moisture Content*

Berdasarkan Tabel 4.10, kadar air *gummy candy* mengalami perubahan selama penyimpanan. Dengan nilai 4,98% pada hari ke-0, meningkat hingga 9,33% pada hari ke-14, menurun menjadi 5,33% pada hari ke-21, sehingga masih memenuhi persyaratan kadar air *gummy candy* yaitu kurang dari 10%[78]. Namun, pada hari ke-30 kadar air meningkat menjadi 12,96% sehingga tidak lagi memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Peningkatan kadar air tersebut diduga disebabkan oleh penggunaan wadah penyimpanan yang kurang kedap, sehingga memungkinkan terjadinya penyerapan uap air dari lingkungan. Meskipun demikian, secara keseluruhan sediaan masih menunjukkan kestabilan yang baik selama periode penyimpanan.

5.7.5. Uji pH

Berdasarkan Gambar 4.12, nilai pH *gummy candy* menunjukkan konsistensi penurunan selama masa penyimpanan. Pada hari ke-0 pH sebesar 5,48, kemudian menurun menjadi 5,24 pada hari ke-3, 5,21 pada hari ke-7, dan 5,03 pada hari ke-14. Penurunan berlanjut hingga hari ke-21 menjadi 4,92 dan mencapai nilai terendah sebesar 4,66 pada hari ke-30. Penurunan pH selama penyimpanan dapat terjadi akibat degradasi komponen penyusun ataupun terbentuk senyawa yang bersifat lebih asam[136]. Maka dapat disimpulkan bahwa Nilai pH pada hari ke-0 hingga hari ke-14 masih berada dalam rentang persyaratan pH sediaan yaitu 5,0-6,5, sedangkan pada hari ke-21 dan hari ke-30 mengalami

penurunan hingga berada di bawah rentang persyaratan sehingga dinyatakan tidak memenuhi syarat.

5.7.6. *Color Measurement*

Berdasarkan Gambar 4.13, nilai ΔE mengalami perubahan selama penyimpanan. Nilai ΔE terendah diperoleh pada hari ke-7 sebesar 0,4 yang menunjukkan perubahan warna paling kecil, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada hari ke-14 sebesar 5,7 yang menunjukkan perubahan warna paling besar. Nilai ΔE menggambarkan besarnya perbedaan warna terhadap kondisi awal, di mana semakin besar nilai ΔE menunjukkan semakin besar perubahan warna yang terjadi[137]. Meskipun demikian, warna *gummy candy* tetap teramati oranye hingga hari ke-30 berdasarkan uji organoleptik, yang mana menunjukkan bahwa warna *gummy candy* masih cukup stabil selama penyimpanan.