

Pengaruh Penggunaan Pati Karboksimetil Umbi Keladi (*Colocasia esculenta* L.) sebagai Bahan Penghancur pada Sediaan Tablet Parasetamol

*The Effect Using of Carboxymethyl Taro Tuber Starch (*Colocasia esculenta* L.) as a Disintegrant in Paracetamol Tablet Formulation*

Sri Sulistiana Sulaiman, Armini Syamsidi*, Asriana Sultan dan Mifta Sari Yuninda

Program Studi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia

*Corresponding author: armini.syamsidi@gmail.com

Diterima: 19 Juni 2025; **Disetujui:** 09 Oktober 2025; **Dipublikasi:** 18 Desember 2025

Abstrak

Pati karboksimetil (CMS) umbi keladi berpotensi sebagai bahan penghancur tablet. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi karakteristik fisik CMS, sifat granul, serta pengaruh variasi konsentrasi CMS terhadap waktu hancur tablet dibandingkan dengan pati alami dan disintegran komersial. CMS diperoleh melalui metode karboksimetilasi. Evaluasi karakteristik CMS yaitu kekuatan pengembangan, *bulk density*, *tapped density*, sifat alir (Rasio hausner), kompresibilitas (Indeks Carr), serta sudut diam. Tablet dibuat dengan metode granulasi basah menggunakan variasi: F0 (Pati alami 5%), F1 (CMS 0,5%), F2 (CMS 1%), F3 (CMS 2%), F4 (CMS 3%), dan F5 (Sodium Starch Glycolate (SSG) 2%). Evaluasi granul meliputi laju alir dan sudut diam, sedangkan evaluasi tablet meliputi keseragaman bobot, kerapuhan, kekerasan, waktu hancur, dan disolusi. Hasil karakteristik fisik menunjukkan CMS memiliki sifat yang lebih baik dibandingkan pati alami. Dengan perbandingan CMS dan pati alami sebagai berikut, kekuatan pengembangan 20,23 g/g dan 6,41 g/g, *bulk density* 0,5 g/mL dan 0,36 g/mL, *tapped density* 0,61 g/mL dan 0,55 g/mL, sifat alir 1,19 dan 1,53, kompresibilitas 16,43% dan 35,48%, serta sudut diam 19,66° dan 32,66°. Seluruh formula granul menunjukkan sifat alir baik. Evaluasi tablet menunjukkan formula F1–F5 memenuhi persyaratan farmakope. Formula F2 (CMS 1%) dipilih sebagai formula terbaik dengan keseragaman bobot 464 mg, kerapuhan 0,8%, kekerasan 5,98 kg, waktu hancur 3,82 menit, dan disolusi 95,88%. Dengan demikian, CMS 1% dinilai sebagai konsentrasi optimum sebagai penghancur tablet karena menghasilkan tablet dengan sifat fisik yang baik dan memiliki efektivitas penghancuran yang baik.

Kata kunci: Penghancur tablet; *Colocasia esculenta* L; Pati karboksimetil (CMS); Umbi keladi

Abstract

Carboxymethyl starch (CMS) from taro tubers has potential as a tablet disintegrant. This study aimed to evaluate the physical properties of CMS, granule characteristics, and the effect of varying CMS concentrations on tablet disintegration compared with natural starch and a commercial disintegrant. CMS was prepared via carboxymethylation and characterized for swelling power, bulk density, tapped density, flow properties (Hausner ratio), compressibility (Carr's index), and angle of repose. Tablets were prepared by wet granulation using the following formulations: F0 (natural starch 5%), F1 (CMS 0.5%), F2 (CMS 1%), F3 (CMS 2%), F4 (CMS 3%), and F5 (Sodium Starch Glycolate (SSG) 2%). Granules were evaluated for flow

rate and angle of repose, while tablets were assessed for weight uniformity, friability, hardness, disintegration time, and dissolution. CMS showed superior physical properties compared with natural starch: swelling 20.23 g/g vs 6.41 g/g, bulk density 0.5 g/mL vs 0.36 g/mL, tapped density 0.61 g/mL vs 0.55 g/mL, Hausner ratio 1.19 vs 1.53, compressibility 16.43% vs 35.48%, and angle of repose 19.66° vs 32.66°. All granule formulations demonstrated good flow. Tablet evaluation demonstrated that all formulations (F1–F5) complied with pharmacopeial requirements. Among them, Formula F2 containing 1% CMS was identified as the optimal formulation, exhibiting weight uniformity of 464 mg, friability of 0.8%, hardness of 5.98 kg, disintegration time of 3.82 minutes, and dissolution of 95.88%. Therefore, CMS at a concentration of 1% is considered the optimum disintegrant concentration, as it produced tablets with acceptable physical properties and effective disintegration performance.

Keywords: Tablet disintegrant; *Colocasia esculenta* L; Carboxymethyl Starch (CMS); Taro tuber

1. PENDAHULUAN

Indonesia kaya akan aneka umbi-umbian yang berpeluang dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk keperluan industri. Salah satu jenis umbi yang masih kurang dimanfaatkan secara optimal adalah keladi (*Colocasia esculenta* L.), yang diketahui mengandung pati lebih dari 85% berat kering (Singla *et al.*, 2020). Potensi ini membuka peluang untuk eksplorasi lebih lanjut, khususnya dalam bidang farmasi.

Pati merupakan ekspiien penting dalam pembuatan tablet, berfungsi sebagai bahan pengisi (*diluent*), pengikat (*binder*), maupun penghancur (*disintegrant*) (Suhery *et al.*, 2015). Namun, penggunaan pati alami menghadapi keterbatasan karena sifat alir dan kompresibilitasnya yang buruk, serta rendahnya kemampuan menyerap air, yang berdampak pada lamanya waktu hancur tablet (Novita *et al.*, 2021). Modifikasi kimia, seperti karboksimetilasi, telah terbukti dapat meningkatkan sifat fungsional pati. Karboksimetilasi menggantikan gugus hidroksil pada struktur pati dengan gugus karboksimetil, meningkatkan hidrofilisitas dan kelarutan dalam air (Azubuike *et al.*, 2019; Masina *et al.*, 2017). Pati karboksimetil ketika digunakan sebagai pengikat maupun penghancur, mampu menyerap kelembaban dalam jumlah memadai sehingga mengalami pengembangan (*swelling*) yang menyebabkan tablet hancur dan pecah, serta melepaskan energi yang cukup untuk mempercepat pelepasan zat aktif (Adeyanju *et al.*, 2016).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa Pati karboksimetil (CMS) dari umbi lain, seperti *Cyperus esculentus*, pada konsentrasi 5–7,5% w/w mampu menghasilkan tablet dengan sifat fisik yang memenuhi persyaratan, dengan hasil evaluasi kekerasan 9–10 kg, friabilitas <1%, dan waktu hancur ≤ 11 menit (Azubuike *et al.*, 2019). Penelitian lain oleh Nattapulwat (2009) menilai CMS dari ubi jalar (*Dioscorea esculenta*) sebagai disintegran tablet, hasilnya menunjukkan bahwa tablet yang mengandung 1–4% CMS dapat hancur dalam waktu kurang dari 5 menit, lebih cepat dibandingkan dengan pati ubi jalar alami. Penelitian oleh Ayunanda *et al.* (2023) menunjukkan bahwa CMS dari keladi memiliki derajat substitusi (DS) di atas 0,1, yang memenuhi syarat sebagai ekspiien farmasi, serta memiliki *swelling power* dan viskositas yang mendukung penggunaannya sebagai penghancur tablet.

Parasetamol dipilih sebagai model obat karena sifat alir dan kompresibilitasnya yang buruk serta kecenderungannya mengalami capping dan laminasi (Adjei *et al.*, 2017; Setyono *et al.*, 2021). Formulasi tablet parasetamol dengan metode granulasi basah memungkinkan evaluasi efektivitas CMS sebagai disintegran alami.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh konsentrasi CMS dari umbi keladi terhadap sifat fisik tablet parasetamol. Penelitian ini menawarkan alternatif bahan penghancur alami yang potensial dalam pengembangan sediaan tablet.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Alat dan bahan

Penelitian ini menggunakan berbagai alat, antara lain neraca analitik (SF400, China), oven (SHEL LAB[®], USA), ayakan no mesh 80 dan 100 (Retsch GmbH[®], Jerman), gelas ukur (Iwaki[®], Jepang), gelas kimia (Iwaki[®], Jepang), erlenmeyer (Iwaki[®], Jepang), labu takar (Iwaki[®], Jepang), Hotplate magnetic stirrer (IKA[®], Jerman), penangas air (SHEL LAB[®], USA), sentrifuge (Eppendorf[®], Jerman), pH meter (Juanjuan[®], China), alat pencetak tablet (TDP-type, China), Stopwatch (smartphone timer, OPPO[®], China), sendok tanduk (Indonesia), wadah (Indonesia), corong (Herma[®], Jerman), lumpang dan alu (Sella[®], Indonesia), cawan porselen (RRC[®], China), batang pengaduk (RRC[®], China), pipet tetes (Onemed[®], Indonesia), pipet micron (JoanLab[®], China), rak tabung (Indonesia), hardness tester (ELECTRO LAB[®], India), friability tester (ELECTRO LAB[®], India), disintegration tester (ELECTRO LAB[®], India), dissolution tester (ELECTRO LAB[®], India), spektrofotometer uv-vis (CECIL[®], China).

Bahan yang digunakan adalah umbi keladi (Diperoleh dari petani lokal Luwuk, Kabupaten Banggai, Indonesia), natrium hidroksida (*analytical grade*, Merck, Jerman), isopropanol (*analytical grade*, Smart Lab, Indonesia), aquadest (*pharmaceutical grade*, Onemed, Indonesia), etanol 70% (*pharmaceutical grade*, Onemed, Indonesia), asam monokloroasetat (*analytical grade*, Loba Chemie, India), asam asetat glacial (*analytical grade*, Smart Lab, Indonesia), buffer fosfat pH 5,8 (*pharmaceutical grade*, Merck, Jerman), pati karboksimetil umbi keladi (Hasil sintesis, Laboratorium Farmasetika UNTAD, Indonesia), pati umbi keladi (Hasil isolasi, Laboratorium Farmasetika UNTAD, Indonesia), parasetamol (*pharmaceutical grade*, PT. Bratachem, Indonesia), PVP K-30 (*pharmaceutical grade*, PT. Bratachem, Indonesia), laktosa (*pharmaceutical grade*, PT. Bratachem, Indonesia), *sodium starch glycolate* (SSG) (*pharmaceutical grade*, PT. Bratachem, Indonesia), magnesium stearat (*pharmaceutical grade*, PT. Bratachem, Indonesia) dan talk (*pharmaceutical grade*, PT. Bratachem, Indonesia).

2.2. Identifikasi tanaman umbi keladi

Tanaman diidentifikasi di Laboratorium Biosistemika Tumbuhan Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Tadulako, Indonesia.

2.3. Pembuatan pati umbi keladi

Umbi keladi dicuci, dikupas dan dipotong bagian-bagian yang rusak. Umbi dipotong dadu dan diblender dengan ditambahkan *aquadest*. Umbi yang telah diblender diayak menggunakan ayakan 80 mesh. Padatan yang masih tertahan di ayakan, dibilas menggunakan *aquadest*. Filtrat didiamkan semalam pada suhu 15°C. Endapan yang dihasilkan dikumpulkan dan supernatan dibuang. Pati yang dihasilkan kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama enam jam. Setelah kering, pati digiling hingga halus dan diayak menggunakan ayakan dengan ukuran mesh 100. Selanjutnya, pati yang telah dihaluskan disimpan dalam wadah tertutup (Adeyanju *et al.*, 2016).

2.4. Pembuatan pati karboksimetil umbi keladi

Proses modifikasi pati karboksimetil dari pati umbi keladi dimulai dengan mencampurkan 15 gram pati ke dalam 450 mL isopropanol yang telah mengandung 50 mL larutan NaOH 30% b/v. Campuran ini dibiarkan pada suhu ruang selama 1,5 jam untuk menjalani tahap alkalisasi. Selanjutnya, dilakukan reaksi karboksimetilasi pada suhu 65°C selama tiga jam dengan menambahkan larutan asam monokloroasetat (18 gram dilarutkan dalam 10 mL isopropanol) ke dalam campuran tersebut, lalu diaduk intensif hingga homogen. Setelah proses reaksi selesai, campuran disaring dan hasil filtrat disuspensikan dalam 100 mL metanol selama 24 jam (Ayunanda *et al.*, 2023). Setelah proses karboksimetilasi, dilanjutkan dengan proses netralisasi / pemurnian dengan penambahan 10 mL larutan asam asetat glasial 50%. Endapan pati yang terbentuk dicuci sebanyak lima kali menggunakan 50 mL etanol 70%, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam (Zainol *et al.*, 2021).

2.5. Karakterisasi pati umbi keladi

2.5.1. Swelling power

Pengujian kekuatan pengembangan (*swelling power*) dan kelarutan pati diukur dengan cara masing-masing CMS dan pati umbi keladi 200 mg didispersikan ke dalam *aquadest* 20 mL. Suspensi yang terbentuk dipanaskan hingga 85°C dalam penangas air selama 30 menit dikocok kuat setiap 5 menit. Selanjutnya, dilakukan sentrifugasi pada kecepatan 2.200 rpm selama 15 menit. Berat sedimen yang terbentuk digunakan untuk menghitung daya kembang pati. Berat kering pati terlarut untuk mengukur kelarutan. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali (Adeyanju *et al.*, 2016). Kekuatan pengembangan dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$\text{Swelling power} = \frac{\text{Weight of sediment}}{\text{weight of dry starch}}$$

Persamaan 1. Perhitungan kekuatan daya pengembangan pati.

2.5.2. Kepadatan partikel

Menurut USP (2021), kepadatan partikel pati karboksimetil yang ditentukan yaitu *bulk density* dan *tapped density* serbuk pati.

2.5.2.1. *Bulk density*

Sampel pati sebanyak 10 g dituang pada gelas ukur 25 mL dan dicatat volumenya. Pengulangan dilakukan 3 kali. *Bulk density* dihitung menggunakan Persamaan 2.

$$\text{Bulk density} = \frac{\text{Berat sampel}}{\text{Volume sampel cura}}$$

Persamaan 2. Perhitungan *bulk density*.

2.5.2.2. *Tapped density*

Sampel pati sebanyak 10 g diketuk perlahan sebanyak 100 kali pada bangku empuk sampai tidak ada pengurangan volume pati dan volume akhir dicatat. Pengulangan dilakukan sebanyak 3 kali. *Tapped density* dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$\text{Tapped density} = \frac{\text{Berat sampel}}{\text{Volume sampel mampat}}$$

Persamaan 3. Perhitungan *tapped density*.

2.5.3. Sifat alir

Menurut USP (2021), daya alir pati dinilai dengan Rasio Hausner dan indeks Carr yaitu sebagai berikut:

2.5.3.1. Rasio hausner

Rasio hausner dihitung menggunakan Persamaan 4.

$$\text{Rasio Hausner} = \frac{\text{Tapped density}}{\text{Bulk density}}$$

Persamaan 4. Perhitungan rasio hausner.

2.5.3.2. Indeks Carr

Indeks Carr dihitung menggunakan Persamaan 5.

$$\text{Indeks Carr} = \frac{\text{Tapped density} - \text{Bulk density}}{\text{Tapped density}} \times 100\%$$

Persamaan 5. Perhitungan indeks carr.

2.5.4. Sudut diam

Serbuk pati dituangkan ke dalam corong yang memiliki ketinggian tetap di atas bidang datar yang mengalir ke bawah sehingga dapat membentuk tumpukan serbuk. Tinggi dan diameter tumpukan serbuk tersebut diukur. Sudut diam dihitung menggunakan Persamaan 6. Sudut diam dihitung dari rata-rata tiga kali pengujian (USP, 2021).

$$\tan \theta = \frac{h}{r}$$

Persamaan 6. Perhitungan sudut diam. *Keterangan* = h adalah tinggi serbuk dan r adalah jari-jari alas kerucut.

2.6. Formulasi tablet

Tablet parasetamol diformulasikan menggunakan metode granulasi basah sesuai Tabel 1. Parasetamol 400 mg dicampur kering dengan laktosa. PVP K-30 dilarutkan dengan *aquadest* hingga menjadi larutan pengikat. Larutan pengikat dicampurkan pada bahan sebelumnya dan digerus selama 10 menit. Massa lembab yang terbentuk disaring secara manual menggunakan ayakan nomor 12. Kemudian dilakukan pengeringan menggunakan oven bersuhu 50°C selama dua jam. Butiran kering disaring secara manual menggunakan ayakan no 16 dan dicampur dengan bahan penghancur (Pati, CMS, dan SSG). Talk ditambahkan ke dalam campuran dan dihomogenisasi selama lima menit. Terakhir, magnesium stearat ditambahkan dan dihomogenkan. Granul parasetamol dikempa menjadi tablet menggunakan mesin kempa. Setelah itu tablet disimpan selama 24 jam setelah dikempa untuk memungkinkan pemulihan elastik dan pengerasan sebelum evaluasi (Adjei *et al.*, 2017).

Tabel 1. Formula tablet parasetamol menggunakan pati karboksimetil dari umbi keladi.

Bahan	Fungsi	Komposisi formula					
		F0	F1	F2	F3	F4	F5
Parasetamol (mg)	Zat aktif	400	400	400	400	400	400
Laktosa (%)	Pengisi	10	14,5	14	13	12	13
PVP K-30 (%)	Pengikat	2	2	2	2	2	2
Pati alami (%)	Penghancur	5	-	-	-	-	-
Pati CMS (Pati modifikasi) (%)	Penghancur	-	0,5	1	2	3	-
SSG (Kontrol positif) (%)	Penghancur	-	-	-	-	-	2
Talk (%)	Glidan	2	2	2	2	2	2
Magnesium stearat (%)	Lubrikan	1	1	1	1	1	1
<i>Aquadest</i>	Pelarut	q.s	q.s	q.s	q.s	q.s	q.s
Total bobot tablet (mg)		500	500	500	500	500	500

2.7. Evaluasi granul

2.7.1. Laju alir granul

Sebanyak 20 gram granul dimasukkan ke dalam corong dengan ketinggian tetap di atas permukaan datar. Setelah penutup corong dibuka, waktu yang dibutuhkan untuk seluruh granul mengalir ke permukaan dicatat. Laju alir granul dihitung menggunakan Persamaan 7.

$$Q = \frac{Vol}{t}$$

Persamaan 7. Perhitungan laju alir granul. *Keterangan* = Q adalah debit. Vol adalah volume dan t adalah waktu (USP, 2021).

2.7.2. Sudut diam

Granul dituang ke dalam corong yang memiliki tinggi tetap diatas bidang datar yang mengalir ke bawah sehingga dapat membentuk tumpukan granul. Tinggi dan diameter tumpukan granul tersebut diukur. Sudut diam dihitung menggunakan Persamaan 8. Sudut diam dihitung dari rata-rata tiga kali pengujian (USP, 2021).

$$\tan \theta = \frac{h}{r}$$

Persamaan 8. Perhitungan sudut diam. *Keterangan* = h adalah tinggi serbuk dan r adalah jari-jari alas kerucut.

2.8. Evaluasi tablet

2.8.1. Keseragaman bobot

Sebanyak 10 tablet diambil secara acak dan masing-masing ditimbang secara teliti. Selanjutnya, dihitung nilai rata-rata dari 10 tablet tersebut. Suatu formula dinyatakan memenuhi kriteria jika tidak lebih dari dua tablet memiliki bobot yang melebihi batas atas yang ditentukan berdasarkan rata-rata berat dan persentase yang tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Toleransi bobot untuk tablet (USP, 2021).

Berat rata-rata tablet (mg)	Perbedaan (10%)
< 130	10
130-324	7,5
>324	5

2.8.2. Kerapuhan (Friabilitas)

Uji kerapuhan dilakukan dengan menimbang enam tablet yang dipilih secara acak setelah dibersihkan dari partikel yang menempel di permukaannya. Berat awal tablet dicatat sebagai W₀. Tablet kemudian dimasukkan ke dalam alat uji kerapuhan yang diputar secara horizontal, sehingga tablet mengalami tumbukan dan gesekan. Pengujian dilakukan pada kecepatan 25 rpm selama 4 menit. Setelah proses selesai, tablet dikumpulkan kembali dan dibersihkan dari sisa partikel, lalu ditimbang ulang untuk memperoleh massa akhir (W_f) (USP, 2021). Persentase kerapuhan tablet dihitung menggunakan persamaan 9.

$$Friability (\%) = \frac{W_0 - W_f}{W_0} \times 100\%$$

Persamaan 9. Perhitungan kerapuhan tablet.

2.8.3. Uji kekerasan

Kekerasan tablet diukur dari enam tablet yang diambil secara acak menggunakan alat *Hardness Tester*. Kekerasan rata-rata dihitung standar deviasinya (Lachman *et al.*, 1994).

2.8.4. Waktu hancur

Pengujian dilakukan dengan cara keranjang digantung di atas braket logam dengan poros baja tahan karat dan direndam digelas kimia 1000 mL. Keranjang tersebut disesuaikan untuk membuat jarak dengan bagian bawah gelas 25 mm. Gelas diisi air bersuhu 27±1°C dan ketinggian air disesuaikan untuk menjaga 15 mm dibawah air saat keranjang naik. Tablet ditempatkan didalam keranjang tabung gelas dengan penambahan *baffle* dan ditentukan waktu hancurnya. Enam tablet yang dipilih secara acak dan ditentukan rata-rata waktu hancur (USP, 2021).

2.8.5. Disolusi

Uji disolusi dilakukan menggunakan model disolusi tipe II yaitu menggunakan dayung (*Paddle*) dengan kecepatan putaran dayung 50 rpm. Pertama, enam tablet dari masing-masing formulasi ditempatkan dalam bejana disolusi yang diisi dengan 900 mL buffer fosfat (pH 5,8) yang dijaga pada suhu $37 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Pada interval yang telah ditentukan yaitu pada 5, 10, 15, 20, 30, 45, dan 60 menit, sampel ditarik, disaring dan diencerkan dengan tepat. Setiap sampel yang ditarik diganti dengan sampel yang sama sehingga volume dan suhu media yang dijaga tetap sama. Pembacaan absorbansi menggunakan spektrofotometer uv-vis yang diambil pada panjang gelombang λ_{max} 243 nm (Kementerian Kesehatan RI, 2020).

2.9. Analisis data

Data hasil penelitian dianalisis melalui dua pendekatan, yaitu pendekatan teoritis dan statistik. Analisis teoritis dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperoleh terhadap standar yang tercantum dalam farmakope serta referensi ilmiah lainnya. Sementara itu, analisis statistik melibatkan uji t sampel independen dan analisis varians satu arah (ANOVA), yang kemudian dilanjutkan dengan uji lanjutan Tukey's post hoc pada tingkat signifikansi 95% ($\alpha=0,05$) menggunakan perangkat lunak IBM SPSS Statistics. Hasil dianggap memiliki perbedaan signifikan apabila nilai $P \leq 0,05$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Identifikasi tanaman

Hasil identifikasi tanaman pada Laboratorium Biosistemika Tumbuhan Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Tadulako, menyatakan bahwa sampel umbi keladi benar merupakan spesies *Colocasia esculenta* L.

3.1. Pembuatan pati umbi keladi

Umbi keladi diproses melalui serangkaian tahapan, yaitu pencucian untuk menghilangkan kotoran, pemotongan menjadi ukuran kecil untuk mempermudah proses penghancuran, penghancuran menggunakan blender dengan penambahan *aquadest* untuk memperoleh suspensi pati, penyaringan untuk memisahkan ampas dari cairan pati, pengendapan semalam pada suhu 15°C , serta pengeringan pada suhu terkontrol hingga diperoleh tepung pati umbi keladi. Prosedur ini merupakan teknik standar yang digunakan untuk mengekstraksi pati dari umbi-umbian, dengan tujuan menjaga mutu dan kemurnian produk akhir. Tabel 3 menunjukkan hasil pembuatan beserta persentase rendemen tepung pati umbi keladi. Rendemen tepung pati umbi keladi yang diperoleh sebesar 11,22% dari bobot segar. Nilai ini sebanding dengan penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Suhery *et al.* (2015), yang menemukan rendemen pati keladi yaitu 11,79% dari bobot segar. Sementara hasil pada umbi lain oleh Anwar *et al.* (2018), yang menemukan bahwa rendemen ubi jalar yang dihasilkan berkisar antara 9,87–14,93% dengan rendemen rata-rata 11,92%. Umbi keladi sendiri diketahui mengandung kadar pati yang cukup tinggi, yakni lebih dari 85% dari berat kering (Singla *et al.*, 2020). Perbedaan

hasil rendemen yang diperoleh dengan data literatur terjadi karena angka tersebut dihitung berdasarkan berat kering, bukan bobot segar. Umbi segar umumnya mengandung 70–80% air, sehingga ketika dihitung terhadap bobot segar, rendemen pati terlihat jauh lebih rendah. Selain itu, faktor seperti umur panen, jenis varietas, serta efisiensi proses isolasi (penyaringan, pengendapan, dan pengeringan) juga memengaruhi rendemen yang diperoleh.

Tabel 3. Hasil pembuatan dan persentase rendemen tepung pati umbi keladi.

Berat sampel segar umbi keladi (kg)	Berat tepung pati umbi keladi (gram)	% Rendemen
4,6	516,43	11,22

3.2. Pembuatan pati karboksimetil (CMS)

Umbi keladi yang telah menjadi tepung pati kemudian dimodifikasi menggunakan metode karboksimetilasi. Proses modifikasi pati dari umbi keladi dilakukan melalui dua tahap, yakni alkalisasi dan karboksimetilasi. Tahapan alkalisasi dalam penelitian ini menggunakan larutan NaOH yang berperan dalam mengaktivasi gugus hidroksil (–OH) pada struktur pati sementara proses karboksimetilasi menggunakan asam monokloroasetat (Safitri *et al.*, 2017). Konsentrasi asam monokloroasetat yang digunakan pada proses pembuatan CMS yaitu 18 g. Berdasarkan penelitian Ayunanda, N., *et al.*, (2023), penambahan asam monokloroasetat pada proses alkalisasi dengan variasi berat (15 g, 18 g, 21 g) menunjukkan bahwa variasi berat asam monokloroasetat 18 g memiliki derajat substitusi yang lebih tinggi. Nilai derajat substitusi mempengaruhi sifat fisikokimia pada CMS. Jika penambahan monokloroasetat terlalu sedikit proses substitusinya kurang optimal sedangkan penambahan monokloroasetat terlalu banyak akan membentuk banyak produk samping seperti asam glikolat. Gambar 1 menunjukkan pati karboksimetil umbi keladi.



Gambar 1. Pati karboksimetil umbi keladi (*Colocasia esculenta* L.)

3.3. Karakteristik pati

Karakterisasi dilakukan untuk mengevaluasi sifat fisik pati, seperti *swelling power*, kepadatan partikel, sifat alir, dan sudut diam. Parameter ini penting untuk menilai kelayakan pati sebagai eksipien, khususnya sebagai bahan penghancur tablet. Selain itu, karakterisasi juga

bertujuan untuk membandingkan performa pati termodifikasi dengan pati alami serta menilai keberhasilan proses modifikasi.

3.3.1. *Swelling power*

Tabel 4 menunjukkan bahwa CMS memiliki nilai daya mengembang yang jauh lebih tinggi dibandingkan pati alami (pati umbi keladi tanpa modifikasi). Perbedaan ini signifikan secara statistik ($p < 0,05$), menandakan bahwa modifikasi pati melalui metode karboksimetilasi berhasil meningkatkan kemampuan mengembang pati. Hasil ini sejalan dengan penelitian Ayunanda et al. (2023), yang melaporkan bahwa CMS dengan derajat substitusi lebih tinggi memiliki daya mengembang yang lebih besar akibat peningkatan kelarutan dan penyerapan air. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Adeyanju et al. (2016), yang menyatakan bahwa CMS menunjukkan daya mengembang lebih tinggi dibandingkan pati alami.

Tabel 4. Hasil pengujian *swelling power* pati alami dan pati karboksimetil (CMS) umbi keladi. *Keterangan = (*) Ada perbedaan signifikan $P < 0,05$.*

Sampel	Berat sampel kering (g)	Berat sedimen (g)	<i>Swelling power</i> (g/g)	Rataan nilai karakteristik $\pm$ SD (n=3)
Pati alami	0,2	1,24	6,19	$6,41 \pm 0,31^*$
	0,2	1,26	6,29	
	0,2	1,35	6,77	
CMS	0,2	3,89	19,45	$20,23 \pm 2,953^*$
	0,2	4,70	23,5	
	0,2	3,55	17,75	

Peningkatan daya mengembang berkorelasi langsung dengan mekanisme penghancuran tablet melalui ekspansi partikel. Interaksi molekul pati dengan air memungkinkan amilosa terlepas, sehingga meningkatkan kelarutan dan daya mengembang (Singla et al., 2020). Daya mengembang yang tinggi akan mempercepat penetrasi air dan kinerja disintegran, yang pada akhirnya menurunkan waktu hancur tablet (Argandoña, 2018). Dengan demikian, CMS berpotensi digunakan sebagai disintegran yang efektif dalam formulasi tablet, terutama pada sediaan yang memerlukan disintegrasi cepat. Selain itu, peningkatan daya mengembang ini dapat berkontribusi pada peningkatan ketersediaan hayati obat melalui pelepasan zat aktif yang lebih cepat.

3.3.2. Kepadatan partikel

Kepadatan partikel berpengaruh terhadap proses pencampuran serbuk dan ukuran, bentuk serta potensi terjadinya segregasi. Parameter ini mempengaruhi proses pencetakan tablet, khususnya saat pengisian die dan selama tahap kompresi tablet (Kankate et al., 2020). Pengujian kepadatan partikel memperhatikan dua aspek yaitu *bulk density* dan *tapped density*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *bulk density* dan *tapped density* pati karboksimetil (CMS) umbi keladi mengalami peningkatan dibandingkan pati alami (Tabel 5 dan Tabel 6).

Tabel 5. Hasil pengujian *bulk density* pati alami dan pati karboksimetil (CMS) umbi keladi. *Keterangan* = (*) Ada perbedaan signifikan $P < 0,05$.

Sampel	Berat sampel (g)	Volume sampel (mL)	<i>Bulk density</i> (g/mL)	Rataan nilai karakteristik $\pm$ SD (n=3)
Pati alami	10	27,5	0,36	$0,36 \pm 0,003^*$
	10	27,5	0,36	
	10	28	0,36	
CMS	10	19,5	0,51	$0,5 \pm 0,007^*$
	10	20	0,5	
	10	19,5	0,51	

Hasil pengujian statistik diperoleh nilai p kurang dari 0,05, menandakan perbedaan yang signifikan antara kedua sampel. Peningkatan nilai *bulk* dan *tapped density* pada CMS mencerminkan adanya peningkatan kerapatan partikel, yang berimplikasi pada perbaikan kemampuan alir dan kompatibilitas serbuk. Parameter ini penting karena *bulk density* dan *tapped density* merupakan indikator utama dalam mengevaluasi sifat alir dan kompresibilitas serbuk (Akseli *et al.*, 2019).

Tabel 6. Hasil pengujian *tapped density* pati alami dan pati karboksimetil (CMS) umbi keladi. *Keterangan* = (*) Ada perbedaan signifikan $P < 0,05$.

Sampel	Berat sampel (g)	Volume sampel (mL)	<i>Tapped density</i> (g/mL)	Rataan nilai karakteristik $\pm$ SD (n=3)
Pati alami	10	18	0,55	$0,55 \pm 0,015^*$
	10	18,5	0,54	
	10	17,5	0,57	
CMS	10	16	0,62	$0,61 \pm 0,01^*$
	10	16,5	0,6	
	10	16,5	0,6	

3.3.3. Sifat alir

Hasil pengujian sifat alir dinilai dengan rasio hausner dan indeks carr (Tabel 7) menunjukkan bahwa rasio Hausner pada pati alami sebesar 1,53, sedangkan pada CMS sebesar 1,19. Sementara itu, pada Tabel 8 menunjukkan nilai indeks Carr untuk pati alami sebesar 35,48%, dan untuk CMS sebesar 16,43%. Berdasarkan kriteria USP, rasio Hausner 1,46–1,59 dan indeks Carr 32–37% dikategorikan sebagai aliran serbuk yang sangat buruk, sedangkan rasio Hausner 1,19–1,25 dan indeks Carr 16–20% termasuk kategori cukup baik. Dengan demikian, CMS menunjukkan peningkatan sifat alir yang signifikan dibandingkan pati alami. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa modifikasi karboksimetil pada pati berperan dalam memperbaiki karakteristik alir serbuk, yang penting untuk menjamin homogenitas campuran dan efisiensi proses penabletan (USP, 2021).

Tabel 7. Hasil pengujian rasio hausner pati alami dan pati karboksimetil (CMS) umbi keladi. *Keterangan = (*) Ada perbedaan signifikan P<0,05.*

Sampel	Bulk density (g/mL)	Tapped density (g/mL)	Rasio hausner	Rataan nilai karakteristik $\pm$ SD (n=3)	Persyaratan USP, 2021)
Pati alami	0,36	0,55	1,52	1,53 $\pm$ 0,047*	Sangat buruk (1,46-1,59)
	0,36	0,54	1,5		
	0,35	0,57	1,59		
CMS	0,51	0,62	1,2	1,19 $\pm$ 0,017*	Cukup baik (1,19-1,25)
	0,5	0,6	1,2		
	0,51	0,6	1,17		

Tabel 8. Hasil pengujian indeks carr pati alami dan pati karboksimetil (CMS) umbi keladi. *Keterangan = (*) Ada perbedaan signifikan P<0,05.*

Sampel	Bulk density (g/mL)	Tapped density (g/mL)	Indeks Carr (%)	Rataan nilai karakteristik $\pm$ SD (n=3)	Persyaratan USP, 2021)
Pati alami	0,36	0,55	34,54	35,48 $\pm$ 2,754*	Sangat buruk (32-37)
	0,36	0,54	33,33		
	0,35	0,57	38,59		
CMS	0,51	0,62	17,7	16,43 $\pm$ 1,357*	Cukup baik (16-20)
	0,5	0,6	16,6		
	0,51	0,6	15		

3.3.4. Sudut diam

Sudut diam merupakan sifat turunan dan ukuran kualitatif kohesivitas atau kecenderungan bahan bubuk atau granul untuk mengalir. Pada umumnya semakin kasar dan tidak beraturan permukaan partikel maka semakin tinggi nilai sudut diam. Sudut diam $<30^\circ$ biasanya merupakan indikasi serbuk mengalir bebas dan sudut diam $>40^\circ$ menunjukkan aliran yang buruk (Akin-Ajani *et al.*, 2020).

Tabel 9. Hasil pengujian sudut diam pati alami dan dan pati karboksimetil (CMS) umbi keladi *Keterangan = (*) Ada perbedaan signifikan P<0,05.*

Sampel	Tinggi serbuk (cm)	Jari-jari alas (cm)	Sudut diam ($^\circ$)	Rataan nilai karakteristik $\pm$ SD (n=3)	Persyaratan
Pati alami	3	4,9	35	32,66 $\pm$ 2,516*	Baik 30-40° (Rahman <i>et al.</i> , 2017)
	2,8	4,8	33		
	2,5	4,8	30		
CMS	1,5	4,55	20	19,66 $\pm$ 0,577	Sangat baik $<30^\circ$ (Akin-Anjani <i>et al.</i> , 2020)
	1,4	4,5	19		
	1,5	4,5	20		

Hasil pengujian sudut diam pati alami dan dan pati karboksimetil (CMS) umbi keladi (Tabel 9), sudut diam pati alami tercatat sebesar 32,66°, sedangkan CMS menunjukkan nilai yang lebih rendah yaitu 19,66°. Berdasarkan uji statistik, perbedaan ini signifikan ($p < 0,05$).

Secara umum, sudut diam $<30^\circ$ menunjukkan aliran serbuk yang sangat baik, sedangkan nilai $>40^\circ$ menandakan aliran yang buruk. Dengan demikian, CMS tergolong memiliki aliran sangat baik, sedangkan pati alami hanya menunjukkan aliran baik. Hasil ini menunjukkan bahwa modifikasi karboksimetilasi mampu memperbaiki morfologi dan kekompakan partikel, sehingga mengurangi kohesivitas antar partikel dan meningkatkan kemampuan alir serbuk. Sifat alir yang baik sangat penting dalam proses formulasi tablet karena mendukung distribusi massa yang seragam selama penabletan dan mencegah segregasi antar komponen (Akin-Ajani *et al.*, 2020).

3.4. Formulasi tablet parasetamol

Parasetamol merupakan bahan aktif yang memiliki karakteristik alir dan kompresibilitas buruk, sehingga metode pembuatan tablet yang tepat adalah metode granulasi basah (Setyono *et al.*, 2021). Eksiipien yang digunakan dalam proses pembuatan tablet yaitu laktosa sebagai pengisi, dipilih karena memiliki aliran baik dan mudah larut dalam air secara perlahan-lahan. PVP K-30 digunakan sebagai pengikat pada formulasi sediaan padat dengan konsentrasi 0,5-5% dalam proses granulasi basah (Shah *et al.*, 2020). Talk digunakan pada sebagai glidan dengan konsentrasi yaitu 1-10% (Rowe *et al.*, 2009). Magnesium stearat digunakan sebagai pelarut pada konsentrasi 0,25-5% (Rowe *et al.*, 2009). Akuades digunakan sebagai pelarut dalam formulasi. *Sodium starch glycolate* (SSG) merupakan modifikasi pati ikatan silang karboksimetil eter yang digunakan pada formulasi sediaan padat sebagai penghancur sehingga SSG dipilih sebagai pembanding pada penelitian ini (Shah *et al.*, 2020).

Pemilihan konsentrasi bahan penghancur dalam didasarkan literatur terkait. Pati alami digunakan pada konsentrasi relatif tinggi yaitu 5–10% karena kemampuan penghancurnya yang terbatas (Rowe *et al.*, 2009). Sebaliknya, *Sodium Starch Glycolate* (SSG) termasuk dalam golongan *superdisintegrant* yang efektif pada konsentrasi rendah, yaitu 2–8% (Rowe *et al.*, 2009), sehingga pada penelitian ini digunakan konsentrasi 2% sebagai kontrol positif.

Pemilihan konsentrasi pati karboksimetil (CMS) umbi keladi pada rentang 0,5–3% didasarkan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan efektivitas CMS sebagai disintegran pada konsentrasi rendah. Atuchukwu *et al.* (2021) melaporkan karboksimetilasi pati meningkatkan kapasitas pengembangan dan hidrasi, sehingga mempercepat disintegrasi tablet pada konsentrasi rendah. Sejalan dengan itu, Nattapulwat (2009) dalam studinya mengenai pati karboksimetil ubi jalar (*Dioscorea esculenta*) menunjukkan penggunaan CMS konsentrasi 1–4% menghasilkan waktu disintegrasi tablet kurang dari 5 menit, yang menegaskan efektivitas CMS sebagai disintegran dosis rendah. Oleh karena itu, konsentrasi 0,5–3% dipilih untuk mengevaluasi potensi CMS umbi keladi sebagai bahan penghancur tablet parasetamol, sekaligus membandingkan efektivitasnya dengan pati alami dan superdisintegrant komersial.

3.5. Evaluasi granul

Evaluasi granul dinilai menggunakan laju alir dan sudut diam. Hasil uji laju alir (Tabel 10) menunjukkan bahwa seluruh formula memiliki nilai laju alir yang berada dalam rentang 4–

10 g/detik. Berdasarkan hasil uji statistik, nilai p yang diperoleh lebih besar dari 0,05 ($p > 0,05$), sehingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar formula. Nilai tersebut menunjukkan bahwa seluruh formula memiliki karakteristik aliran yang sesuai dengan persyaratan laju alir granul yang baik, yaitu berada dalam kategori mudah mengalir (Lachman *et al.*, 1994).

Hasil pengujian nilai laju alir antar formula menunjukkan kesamaan sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi konsentrasi bahan penghancur tidak memberikan kontribusi yang signifikan terhadap hasil laju alir. Faktor yang lebih berperan adalah metode granulasi basah yang digunakan dalam proses pembuatan tablet. Metode ini dipilih karena zat aktif yang digunakan, yaitu parasetamol, memiliki sifat aliran yang buruk serta kompresibilitas yang rendah. Melalui proses granulasi basah, partikel-partikel serbuk dapat bergabung membentuk granul dengan ukuran dan bentuk yang lebih seragam, sehingga memperbaiki karakteristik aliran sekaligus meningkatkan kemampuan kompresi (Aulton & Taylor, 2017). Laju alir yang baik sangat penting dalam proses manufaktur tablet, terutama pada tahap pengisian cetakan mesin secara merata, sehingga dapat mendukung tercapainya keseragaman bobot tablet akhir.

Tabel 10. Hasil evaluasi granul. Keterangan: Tidak terdapat perbedaan signifikan $P > 0,05$

Parameter	Formula						Persyaratan
	F0	F1	F2	F3	F4	F5	
Laju alir (g/detik)	5,39± 0,437	5,91± 0,233	5,76± 0,275	5,28± 0,019	5,95± 0,787	5,92± 0,291	Laju alir 4-10 g/detik (Lachman <i>et al.</i> , 1994)
Sudut diam (°)	31±2	32± 1,527	31±1	31± 1,527	32±1	32±1	Sudut diam granul 31°-35° (USP, 2021)

Pengujian sudut diam granul bertujuan untuk mengukur kemampuan mengalir granul. Berdasarkan hasil uji statistik didapatkan nilai $p > 0,05$ sehingga hasilnya dianggap tidak berbeda signifikan. Hasil uji sudut diam pada Tabel 10 menunjukkan semua formula memiliki nilai yang berada pada rentang 31°-35°. Menurut (USP, 2021), nilai sudut diam 31°-35° menunjukkan granul yang sifat alirnya baik dan dapat mengalir bebas. Berdasarkan literatur, setiap formula termasuk kedalam kategori granul yang sifat alirnya baik sehingga mudah mengalir atau dapat mengalir bebas.

3.6. Evaluasi tablet

Hasil uji keseragaman bobot (Tabel 11) menunjukkan jumlah tablet yang menyimpang dari ketentuan dalam tiga kali replikasi pada F0 hingga F5 berturut-turut adalah 1, 2, 2, 1, 0, dan 2 tablet. Meskipun demikian, nilai simpangan baku yang diperoleh relatif rendah, sehingga distribusi bobot tablet pada formula dapat dikatakan cukup homogen. Adanya 1–2 tablet yang bobotnya berada di luar batas toleransi ($\pm 5\%$ dari bobot rata-rata untuk tablet > 324 mg) masih sesuai dengan ketentuan USP (2021), karena jumlah penyimpangan tidak melebihi dua tablet pada tiap pengujian. Dengan demikian, seluruh formula dinyatakan memenuhi persyaratan keseragaman bobot berdasarkan USP.

Tabel 11. Hasil evaluasi tablet parasetamol menggunakan pati karboksimetil dari umbi keladi. *Keterangan = (*) Ada perbedaan signifikan $P < 0,05$.*

Parameter	Formula						Persyaratan
	F0	F1	F2	F3	F4	F5	
Keseragaman bobot (mg)	504± 6,44	473± 9,35*	464± 10*	478,33± 5,71*	488,33 ± 4,78*	483,3 ± 10,77*	Keseragaman bobot ≤2 tablet dari 5% bobot rata-rata (USP, 2021).
Kerapuhan (%)	1,1± 0,19 2	1± 0,333	0,8± 0,509	0,8± 0,192	0,8± 0,509	0,4± 0,192	Kerapuhan tablet ≤1 % (USP, 2021).
Kekerasan (kg)	6,7± 0,00 4	5,4± 0,011 *	5,98± 0,154 *	4,69± 0,095*	4,7± 0,03*	5,07± 0,068*	Kekerasan tablet 4 - 8 kg (Parrot, 1970).
Waktu hancur (menit)	5,67 ± 0,82	2,99± 0,27*	3,82± 0,76*	5,01± 0,405*	7,12± 0,29*	2,78± 0,53*	Waktu hancur ≤30 menit (USP, 2021)
Disolusi (%)	85,4 4	97,35 *	95,88 *	93,92*	83,65*	99,14*	Kadar terdisolusi dalam waktu 30 menit harus larut ≥80% (Kementerian Kesehatan RI, 2020).

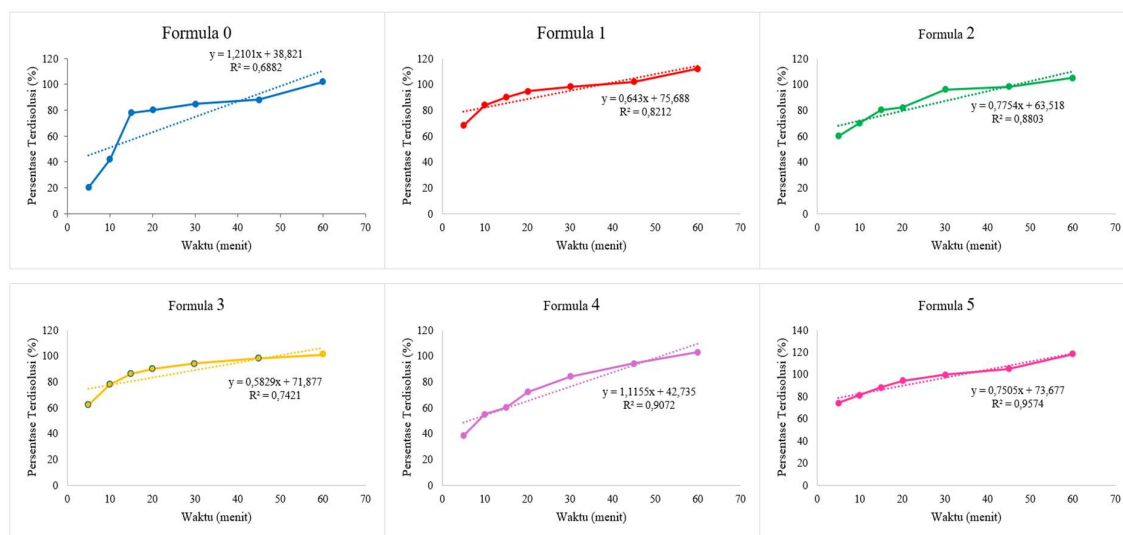
Analisis statistik menggunakan ANOVA menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar formula ($p < 0,05$), sehingga dilanjutkan dengan uji *Tukey's post hoc*. Hasil uji menunjukkan bahwa formula F0 (pati alami) berbeda signifikan ($p < 0,05$) dibandingkan seluruh formula lain (F1–F5), yang merupakan pati modifikasi. Perbedaan ini mengindikasikan adanya pengaruh komposisi bahan tambahan khususnya jenis dan konsentrasi bahan penghancur yang digunakan terhadap bobot akhir tablet. Formula F0 mengandung pati alami dengan konsentrasi 5%, formula F1–F4 menggunakan CMS pada konsentrasi 0,5–3%, dan F5 menggunakan SSG 2% sebagai pembanding. Perbedaan jenis bahan penghancur ini berimplikasi pada densitas dan sifat alir granul, yang pada akhirnya memengaruhi distribusi bobot tablet saat proses pencetakan. Pati alami umumnya memiliki daya alir yang buruk dan tingkat kompresibilitas rendah sehingga granul cenderung kurang homogen, yang dapat memengaruhi pengisian cetakan tablet. CMS memiliki daya alir yang lebih baik akibat adanya gugus karboksimetil yang meningkatkan hidrofilitas serta kerapatan partikel. Hal ini menghasilkan granul dengan distribusi massa yang lebih seragam, sehingga bobot tablet cenderung lebih homogen, dapat dilihat pada konsentrasi CMS yang lebih tinggi (F3 dan F4) bobot tablet lebih seragam. Sementara itu, SSG memiliki kemampuan mengembang sangat tinggi pada konsentrasi rendah. Namun, sifat higroskopisnya dapat menyebabkan penyerapan kelembaban berlebih, sehingga pada beberapa kondisi granul menjadi kurang stabil dan menimbulkan variasi bobot saat proses pencetakan.

Uji kerapuhan dilakukan untuk menilai ketahanan tablet terhadap kerusakan fisik akibat gesekan, abrasi, atau guncangan mekanis, yang dapat menyebabkan hilangnya kandungan zat aktif selama pengemasan dan penyimpanan (Osei-Yeboah & Sun, 2015). Hasil pengujian kerapuhan pada Tabel 11 menunjukkan hanya F0 yang tidak memenuhi persyaratan USP (2021), yaitu batas maksimum kerapuhan $\leq 1\%$ untuk tablet konvensional. Kerapuhan yang lebih tinggi pada F0 dapat disebabkan karena pati alami memiliki sifat alir yang relatif buruk dan ukuran granul yang kurang homogen, sehingga proses pengisian die menjadi tidak merata. Kondisi ini berimplikasi pada ikatan antarpartikel yang tidak optimal, menghasilkan tablet yang rapuh meskipun kekerasannya tinggi. Sebaliknya, formula F1–F4 yang menggunakan CMS pada konsentrasi 0,5–3% menunjukkan kerapuhan $\leq 1\%$. CMS memiliki sifat alir yang lebih baik dibandingkan pati alami dan dapat memperbaiki distribusi granul, sehingga kompresi menghasilkan tablet yang lebih plastis, padat dan tahan terhadap abrasi. Formula F5 yang menggunakan SSG 2% menunjukkan kerapuhan terendah (0,4%), yang menandakan bahwa SSG mampu menghasilkan granul dengan ikatan mekanik yang stabil. Berdasarkan hasil uji statistik, nilai $p > 0,05$, yang mengindikasikan tidak terdapat perbedaan signifikan antar formula.

Uji kekerasan tablet bertujuan untuk mengevaluasi daya tahan tablet terhadap tekanan fisik selama proses manufaktur, pengepakan, distribusi, hingga penggunaan oleh pasien (Eltayeb & Ibrahim, 2015). Berdasarkan hasil pengujian kekerasan tablet pada Tabel 11, seluruh formula memenuhi kisaran kekerasan yang dipersyaratkan (4–8 kg). Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada F0 yang menggunakan pati alami sebagai bahan penghancur. Namun pati alami cenderung mengalami fragmentasi (Aulton, 2017). Proses ini menghasilkan partikel-partikel kecil yang saling mengunci secara mekanis, bukan melalui ikatan plastis. Akibatnya, tablet memiliki kekerasan tinggi tetapi koherensi internal rendah, sehingga mudah rapuh (Çelik, 2011), yang tercermin dari nilai kerapuhan F0 yang melebihi batas persyaratan. Penambahan CMS pada F1 dan F2 (0,5–1%) menurunkan kekerasan dibandingkan F0, meskipun nilainya masih cukup baik, hal ini disebabkan sifat hidrofiliknya dan kemampuan penyerapan air, sehingga ikatan antar partikel CMS saat kompresi tablet menjadi lebih lemah, menyebabkan tablet menjadi kurang keras dibandingkan dengan tablet F0. Kekerasan terendah terdapat pada F3 dan F4 (2–3%), dimana peningkatan konsentrasi CMS justru menurunkan kekerasan tablet. Hasil ini sejalan dengan penelitian Effiong *et al.* (2024) yang menemukan bahwa pada tablet ibuprofen dengan CMS dari *Dioscorea bulbifera*, kekerasan tablet menurun seiring peningkatan konsentrasi CMS. Kekerasan tablet sangat penting untuk memastikan bahwa tablet tahan terhadap guncangan selama pembuatan, pengepakan, transportasi dan saat sampai pada pasien (Eltayeb & Ibrahim, 2015). Hasil uji anova diperoleh nilai $p < 0,05$ sehingga hasilnya dianggap berbeda signifikan. Oleh karena itu dilanjutkan dengan uji tukey's post hoc yang memperoleh perbandingan antara F0 (Pati alami) dengan F1, F2, F3, F4 dan F5 (Pati modifikasi) memiliki nilai $p < 0,05$ artinya F0 dengan semua formula berbeda signifikan.

Uji waktu hancur bertujuan untuk menilai kemampuan tablet terdisintegrasi dalam media cair, yang berpengaruh terhadap ketersediaan hayati obat. Berdasarkan hasil uji waktu hancur

pada tabel 11, Formula F1 dan F2, yang mengandung CMS sebesar 0,5% dan 1%, menunjukkan waktu hancur lebih cepat dibandingkan F3 dan F4 yang mengandung CMS 2% dan 3%. Secara teoritis, peningkatan konsentrasi bahan penghancur seharusnya mempercepat disintegrasi tablet. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan CMS pada konsentrasi yang lebih tinggi justru menurunkan efektivitas disintegrasi. Hal ini disebabkan karena proses karboksimetilasi pada pati umumnya meningkatkan viskositas dan kapasitas menahan air (Adeyanju *et al.*, 2016). Sifat ini menjadikan pati karboksimetil (CMS) sangat hidrofilik dan mudah mengalami pengembangan ketika bersentuhan dengan air. Pada konsentrasi rendah, kemampuan ini mendukung mekanisme penghancuran tablet melalui peningkatan *swelling* yang memicu pecahnya struktur granul. Namun, pada konsentrasi lebih tinggi, penyerapan air yang berlebihan dapat menghasilkan massa dengan viskositas tinggi dan membentuk lapisan gel di sekitar tablet. Pembentukan gel ini berpotensi menghambat penetrasi medium ke bagian dalam tablet sehingga efektivitas disintegrasi justru menurun. Analisis ANOVA menunjukkan nilai $p < 0,05$, yang menandakan adanya perbedaan signifikan antar formula. Hasil uji Tukey's post hoc mengungkapkan bahwa F0 (Pati alami) berbeda signifikan dibandingkan seluruh formula F1–F5 (Pati modifikasi) ($p < 0,05$). Sementara itu, perbandingan antara F1 dan F5 menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan ($p > 0,05$).



Gambar 2. Profil pelepasan zat aktif dari tablet parasetamol menggunakan pati karboksimetil dari umbi keladi.

Uji disolusi bertujuan untuk mengetahui kecepatan pelepasan zat aktif dari tablet dalam medium pelarut. Berdasarkan monografi tablet parasetamol, minimal 80% zat aktif (Q) harus terlarut dalam waktu 30 menit (Departemen Kesehatan RI, 2020). Gambar 2 menunjukkan grafik pelepasan zat aktif dari tablet parasetamol menggunakan pati karboksimetil dari umbi keladi. Data hasil evaluasi tablet parasetamol menggunakan pati karboksimetil dari umbi keladi (Tabel 11) menunjukkan seluruh formula memenuhi persyaratan disolusi dan F5 menunjukkan pelepasan tertinggi (99,14%), diikuti oleh F1 (97,35%) dan F2 (95,88%). Formula F1 dan F2

dengan konsentrasi CMS berturut-turut 0,5% dan 1% memiliki waktu hancur tercepat, yang berkontribusi terhadap laju disolusi yang lebih tinggi. Hubungan positif antara waktu hancur dan pelepasan zat aktif juga didukung oleh penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa tablet dengan waktu hancur lebih cepat cenderung memiliki profil disolusi yang lebih baik (Citra Reswara, 2015).

Hasil analisis ANOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan antar formula ($p < 0,05$). Uji Tukey's post hoc menunjukkan bahwa F0 (Pati alami) berbeda signifikan dibandingkan seluruh formula F1 hingga F5 ($p < 0,05$), mengindikasikan bahwa pati modifikasi secara nyata meningkatkan laju disolusi.

4. KESIMPULAN

Modifikasi pati umbi keladi menjadi pati karboksimetil (CMS) terbukti meningkatkan karakteristik fisik dibandingkan dengan pati alami. Penggunaan CMS sebagai bahan penghancur tablet mampu mempercepat waktu hancur serta menghasilkan tablet parasetamol dengan sifat fisik yang memenuhi persyaratan. Hasil penelitian ini menunjukkan potensi CMS sebagai bahan penghancur tablet, di mana Formula F2 (CMS 1%) dipilih sebagai formula terbaik dengan keseragaman bobot 464 mg, kerapuhan 0,8%, kekerasan 5,98 kg, waktu hancur 3,82 menit, dan disolusi 95,88%. Dengan demikian, konsentrasi CMS 1% dinilai optimum karena mampu menghasilkan tablet dengan sifat fisik yang baik sekaligus efektivitas penghancuran yang memadai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Program Studi Farmasi, Universitas Tadulako karena telah mendukung terselesaikannya penelitian ini.

DEKLARASI KONFLIK KEPENTINGAN

Semua penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan terhadap naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adjei, F. K., Osei, Y. A., Kuntworbe, N., dan Ofori-Kwakye, K. (2017). *Evaluation of the Disintegrant Properties of Native Starches of Five New Cassava Varieties in Paracetamol Tablet Formulations*. Journal of Pharmaceutics, 2017, pp.1–9. <https://doi.org/10.1155/2017/2326912>
- Adeyanju, O., Olademehin, O. P., Hussaini, Y., Nwanta, U. C., Adejoh, A. I., dan Plavec, J. (2016). *Synthesis and Characterization of Carboxymethyl Plectranthus esculentus Starch. A Potential Disintegrant*. Journal of Pharmaceutical and Applied Chemistry, 2(3), pp.189–195. <https://doi.org/10.18576/jpac/020309>
- Akin-Ajani, O. D., Odeku, O. A., dan Olumakinde-Oni, O. (2020). *Evaluation of the mechanical and release properties of lactose and microcrystalline cellulose and their binary mixtures as directly compressible excipients in paracetamol tablets*. Journal of Excipients and Food Chemicals, 11(2), pp.42–52.
- Akseli, I., Hilden, J., Katz, J. M., Kelly, R. C., Kramer, T. T., Mao, C., Osei-Yeboah, F., dan Strong, J. C. (2019). *Reproducibility of the Measurement of Bulk/Tapped Density of Pharmaceutical Powders Between Pharmaceutical Laboratories*. Journal of

- Pharmaceutical Sciences, 108(3), 1081–1084.
<https://doi.org/10.1016/j.xphs.2018.10.009>
- Anwar, C., Irhami, I., & Kemalawaty, M. (2018). Karakterisasi Sifat Fisikokimia Pati Ubi Jalar Dengan Mengkaji Jenis Varietas dan Lama Pengeringan. *Jurnal Teknotan*, 12(2), pp.1.
<https://doi.org/10.24198/jt.vol12n2.3>
- Argandoña, A. (2018). *Health sciences*. The Home, 2(2), pp.77–78.
<https://doi.org/10.4337/9781786436573.00013>
- Atuchukwu, E., Adedokun, M., & Emeje, M. (2021). *Synthesis, characterization, and functional properties of a novel sodium carboxymethyl starch obtained from matured seeds of Brachystegia eurycoma*. *Egyptian Pharmaceutical Journal*, 20(2), 145–156.
- Aulton, M. E., dan Taylor, K. M. G. (2017). *Aulton's Pharmaceutics: The Design and Manufacture of Medicines (5th ed.)*. London, United Kingdom, Elsevier.
- Ayunanda, N.P.R., Syamsidi, A., dan Yuyun., Y. (2023). Sintesis, karakterisasi karboksimetil umbi keladi (*Colocasia esculenta*) sebagai bahan tambahan dalam sediaan farmasi. Palu : Universitas Tadulako.
- Azubuike, C. P., Fabiyi, R. O., Oseni, B. A., dan Igwilo, C. I. (2019). *Evaluation of disintegrant potential of carboxymethyl starch derived from cyperus esculentus (Cyperaceae) tubers*. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 3(7), 246–251.
<https://doi.org/10.26538/tjnpr/v3i7.6>
- Çelik, M. (Ed.). (2011). *Pharmaceutical powder compaction technology* (2nd ed.). Informa Healthcare.
- Citra Reswara, S. (2015). Uji Sifat Fisik , Kadar Dan Disolusi Terbanding Generik Bermerek Dan Inovator. *Farmasi*, 2.
- Effiong, D.E., Udoh, E., Uwah, T.O., Sunday, N.I., Godwin, J., Akpabio, E.I. (2024). *Preparation and Evaluation of Carboxymethylated Dioscorea bulbifera Starch as Disintegrant in Ibuprofen Oral Tablet*. *Trends in Medical Research*, 19(1), 23-34.
<https://doi.org/10.3923/tmr.2024.23.34>
- Eltayeb, S. A. I., dan Ibrahim, D. A. A. M. (2015). *FREEZE DRYING*. *World Journal Of Pharmaceutical Research*, 4(6), pp.96–111. <https://doi.org/10.20959/wjpr201713-9832>
- Kankate, D., Panpalia, S. G., Kumar, K. J., dan Kennedy, J. F. (2020). *Studies to predict the effect of pregelatinization on excipient property of maize and potato starch blends*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, pp.1206–1214.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.170>
- Kementerian Kesehatan RI. (2020). *Farmakope Indonesia edisi VI*. In Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- Lachman, L., Lieberman, H. A., & Kanig, J. L. (1994). *The theory and practice of industrial pharmacy* (3rd ed.). Philadelphia: Lea & Febiger.
- Masina, N., Choonara, Y. E., Kumar, P., du Toit, L. C., Govender, M., Indermun, S., dan Pillay, V. (2017). *A review of the chemical modification techniques of starch*. *Carbohydrate Polymers*, 157, pp.1226–1236. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.094>
- Nattapulwat, N., Purkkao, N., dan Suwithayapan, O. (2009). *Preparation and application of carboxymethyl Yam (Dioscorea esculenta) Starch*. *AAPS PharmSciTech*, 10(1), pp.193–198. <https://doi.org/10.1208/s12249-009-9194-5>
- Osei-Yeboah, F., dan Sun, C. C. (2015). *Validation and applications of an expedited tablet friability method*. *International Journal of Pharmaceutics*, 484(1–2), pp.146–155.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2015.02.061>
- Parrot, E. L. (1970). *Pharmaceutical technology: Fundamental pharmaceutics*. Minneapolis: Burgess Publishing Company.

- Rahman, S. M., Saha, T., Masum, Z. U., dan Chowdhury, J. A. (2017). *Evaluation of Physical Properties of Selected Excipients for Direct Compressible Tablet*. Bangladesh Pharmaceutical Journal, 20(1), pp.34–38. <https://doi.org/10.3329/bpj.v20i1.32091>
- Rowe, R.C., Sheskey, P.J., dan Quinn, M.E. (2009). *Handbook of Pharmaceutical Excipient* Sixth Edition. USA : Pharmaceutical Press
- Safitri, D., Rahim, E. A., Prismawiryanti, P., & Sikanna, R. (2017). Sintesis karboksimetil selulosa (CMC) dari selulosa kulit durian (*Durio zibethinus*). Kovalen, 3(1), pp.58. <https://doi.org/10.22487/j24775398.2017.v3.i1.8234>
- Setyono, B., dan Purnawiranita, F. A. (2021). *Analysis of Flow Characteristics and Paracetamol Tablet Hardness Using 2D Double Mixer of Design Drum Type with Rotation and Mixing Time Variations*. Journal of Mechanical Engineering, Science, and Innovation, 1(2), pp.38–48. <https://doi.org/10.31284/j.jmesi.2021.v1i2.2282>
- Shah, H., Jain, A., Laghate, G., dan Prabhudesai, D. (2020). *Pharmaceutical excipients*. Remington: The Science and Practice of Pharmacy, pp.633–643. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820007-0.00032-5>
- Singla, D., Singh, A., Dhull, S. B., Kumar, P., Malik, T., dan Kumar, P. (2020). *Taro starch: Isolation, morphology, modification and novel applications concern – A review*. International Journal of Biological Macromolecules, 163, pp.1283–1290. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.093>
- Suhery, W. N., Anggraini, D., dan Endri, N. (2015). Pembuatan Dan Evaluasi Pati Talas (*Colocasia esculenta* Schoot) Termodifikasi dengan Bakteri Asam Laktat (*Lactobacillus* sp). Jurnal Sains Farmasi & Klinis, 1(2), 207. <https://doi.org/10.29208/jsfk.2015.1.2.36>
- USP 44 NF 39 (*The United States Pharmacopeia-National Formulary*). (2021). United Book Press. United States
- Zainol, M. M., Rasid, N. S. A., Asmadi, M., dan Amin, N. A. S. (2021). *Carboxymethyl cellulose synthesis from treated oil palm empty fruit bunch using ionic liquid and Hydrogen Peroxide*. ASEAN Engineering Journal, 11(4), pp.80–88. <https://doi.org/10.11113/AEJ.V11.17866>