

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan daun kelor dan daun pegagan yang berasal dari Pandeglang, Banten.

4.1. Preparasi Bahan Baku

Bahan baku berupa daun kelor dan daun pegagan masih mengandung kadar air yang tinggi sehingga perlu dilakukan preparasi sebelum dilakukan enkapsulasi. Preparasi dilakukan dengan pencucian bahan untuk menghilangkan kotorannya dan kemudian dilakukan pengeringan serta grinding untuk menghaluskan daun kelor dan daun pegagan. Pengeringan dilakukan di bawah sinar matahari selama 3 hari. Pengeringan daun kelor dan daun pegagan dilakukan untuk mengurangi kadar air sehingga memiliki massa simpannya yang lebih lama. Maltodekstrin, kappa karagenan, dan *whey protein isolate* adalah bahan penyalut yang digunakan untuk melakukan enkapsulasi.

4.2. Pengeringan

Pengeringan adalah pemanasan yang dilakukan pada bahan baku yang bertujuan untuk menghilangkan kadar air yang terdapat pada bahan. Adapun rendemen yang di dapatkan pada pengeringan dengan metode *sun drying* dan *tray dryer* terdapat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Rendemen Bahan Baku Kering

No	Bahan	Metode <i>Sun Drying</i> (%)	Metode <i>Tray Dryer</i>
1	Daun Kelor	15.74%	93.3%
2	Daun Pegagan	6.82%	89.6%

Pada tabel di atas dapat dilihat bahwa massa setelah pengeringan menggunakan metode *sun drying* pada daun kelor yaitu 15,74% dan daun pegagan 6,82% sedangkan pengeringan menggunakan *tray dryer* didapatkan massanya sebesar 93.3% pada daun kelor dan pada daun pegagan sebesar 89.6%. Hal ini menunjukkan bahwa pengeringan dengan metode *sun drying* menurunkan kadar air lebih banyak

sehingga saat dikeringkan menggunakan *tray dryer* kadar air yang turun hanya sedikit.

4.3. Ekstraksi

Rendemen adalah perbandingan antara berat kering yang terdapat pada ekstrak dengan jumlah bahan baku (Senduk, Montolalu and Dotulong, 2020). Rendemen ekstraksi daun kelor dan pegagan terdapat tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Rendemen Ekstrak

No	Bahan	Ekstrak
1	Daun Kelor	43.04%
2	Daun Pegagan	53.8%

Ekstraksi daun kelor didapatkan rendemen sebesar 43.04% dan pada daun pegagan sebesar 53.8%.

4.4. Analisis Kandungan Bahan Baku

Analisis kandungan bahan baku meliputi uji proksimat, uji LCMS/MS, uji fitokimia, *molecular docking*.

4.4.1. Uji Proksimat Bahan

Berikut ini hasil analisis proksimat daun kelor dan daun pegagan yang dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Analisis Proksimat Daun Kelor dan Daun Pegagan

No	Analisa Proksimat	Daun Kelor	Daun Pegagan
		Hasil Analisis	Hasil Analisis
1	Kadar Abu (%)	12.90%	10.60%
2	Protein Kasar (%)	26.12%	12.25%
3	Lemak Kasar (%)	6.79%	1.91%
4	Serat Kasar (%)	12.73%	13.89%

Tabel 4.3 didapatkan hasil uji proksimat daun kelor dan pegagan. Hasil uji proksimat kadar abu, protein kasar, lemak kasar, serat kasar pada daun kelor berturut turut yaitu sebesar 12.9%, 26,12%,6.79%, 12.73%. Sedangkan hasil uji

proksimat kadar abu, protein kasar, lemak kasar, serat kasar pada daun pegagan yaitu sebesar 10.6%, 12.25%, 1.91%, 13.89%.

A. Uji Kadar Abu Bahan

Kadar abu menunjukkan jumlah mineral yang ada pada bahan, hasil analisis kadar abu pada bahan dapat dilihat pada tabel 4.3. Hasil analisis menunjukkan 12.90% untuk daun kelor dan 10.60% untuk daun pegagan. Menurut Standar ISO 8217, kadar abu yang diperbolehkan pada bahan pangan adalah 0,03 – 0,07%. Pada penelitian ini kadar abu pada daun kelor dan pegagan melebihi batas standar. Hal ini terjadi karena pengeringan yang belum optimal, selain itu tingginya kadar abu disebabkan oleh kandungan senyawa anorganik internal atau yang berasal dari bahan seperti terdapat Na, Mg, K, Ca. Kadar abu mempengaruhi dari umur simpan bahan, dimana semakin tinggi kadar abu maka semakin mudah untuk terkontaminasi dengan mikroorganisme seperti jamur. Berdasarkan penelitian dari (Yunita *et al.*, 2022) kadar abu pada daun kelor 10.53% dimana kadar abu yang tinggi berasal dari kedua tangkai daun kelor dan saat daun kelor dihaluskan.

B. Uji Kadar Protein Bahan

Salah satu nutrisi yang sangat penting bagi tubuh adalah protein. Kadar protein diukur dengan menggunakan metode Kjeldahl. Berdasarkan analisis yang tercantum dalam Tabel 4.3, kadar protein pada daun kelor mencapai 26,12%, sementara pada daun pegagan sebesar 12,25%. Kadar protein yang tinggi pada daun kelor dan pegagan menunjukkan bahwa dapat dijadikan sebagai biosupplement. Berdasarkan literatur kadar protein pada daun kelor dan daun pegagan adalah sebesar 27.27% dan 4.05%. Perbedaan kadar protein dipengaruhi oleh faktor kesuburan tanah, kecukupan air, kelembaban udara, dan intensitas cahaya matahari pada tanaman (Nur, 2017).

C. Uji Kadar Lemak Kasar Bahan

Tubuh memerlukan lemak, salah satu fungsi asam lemak adalah memberikan energi kepada sel. Untuk mengetahui kadar lemak, metode ekstraksi dengan pelarut heksana dapat digunakan; alat yang digunakan untuk ekstraksi ini adalah soxhlet. Tabel 4.3 menunjukkan hasil kadar lemak daun kelor 6.79% dan daun pegagan 1.91%, masing-masing. Kadar lemak literatur adalah 7.28% dan

0.35%, masing-masing. Umur panen, varietas, kesuburan tanah, dan faktor iklim dapat menyebabkan perbedaan kadar lemak ini (Augustyn, Tuhumury and Dahoklory, 2017).

D. Uji Kadar Serat Kasar Bahan

Dalam penilaian kualitas bahan pangan, serat sangat penting. Dengan menggunakan metode ANKOM, analisis kadar serat dilakukan. Dalam penelitian ini, kadar serat kasar daun kelor dan pegagan adalah 12.73% dan 13.89%, masing-masing, sesuai dengan literatur. Kandungan serat yang tinggi dapat membantu dalam mengontrol berat badan, memberikan efek kenyang lebih lama, serta menurunkan kadar kolesterol dengan cara mengikat lemak di dalam usus (Yunita *et al.*, 2022).

4.4.2. Identifikasi Metabolit Sekunder dan Senyawa Aktif pada Daun Kelor dan Daun Pegagan

Metabolit sekunder merupakan senyawa kimia yang dihasilkan oleh tumbuhan selama proses biosintesis metabolit primer. Senyawa ini berperan dalam pertahanan terhadap patogen, perlindungan dan adaptasi terhadap stres lingkungan, perlindungan dari paparan sinar ultraviolet, serta sebagai pengatur pertumbuhan. Umumnya, metabolit sekunder terdiri atas flavonoid, alkaloid, saponin, fenol, tanin, dan triterpenoid (Ningsih *et al.*, 2020).

A. Skrining Fitokimia

Skrining fitokimia adalah teknik yang digunakan untuk mempelajari bahan aktif sampel (Safutri, Karim and Fevinia, 2022). Berdasarkan gambar 4.1 dapat dilihat hasil skrining fitokimia. Senyawa aktif pada sampel dengan skrining fitokimia terdapat pada tabel 4.4.



Gambar 4. 1 Uji Fitokimia Alkaloid

Tabel 4. 4 Skrinning Fitokimia Ekstrak Daun Kelor dan Daun Pegagan

No	Golongan Senyawa	Pereaksi	Perubahan Warna	Ekstrak Daun Kelor	Ekstrak Daun Pegagan
1	Flavonoid	HCl 37% + sedikit Mg	Orange	+++	-
2	Alkoloid	Reagen Mayer	Endapan Putih	++	+
3	Saponin	Air Suling + HCl	Busa	++	+++
4	Tanin	FeCl 3%	Hijau Kehitaman	+++	++
5	Triterpenoid	Pereaksi Liebermann-Burchard (LB)	Merah - Ungu	+++	+++

Keterangan :

+ = Reaksi Positif

++ = Kadar sedang

+++ = Kadar Tinggi

- = Reaksi Negatif

Uji fitokimia dilakukan pada ekstrak daun kelor yang mengandung flavonoid, sebagaimana tercantum dalam Tabel 4.4, dengan menggunakan reagen HCl 37% dan sedikit serbuk Mg. Proses ini bertujuan untuk memecah ikatan glikosida dan flavonoid, sehingga flavonoid dapat diidentifikasi. Pemecahan ikatan ini menghasilkan perubahan warna menjadi kuning. Flavonoid memiliki sifat antioksidan, antimikroba, antivirus, dan antibiotik yang berperan dalam melindungi fungsi endotel serta mencegah agregasi trombosit. Selain itu, flavonoid juga berkontribusi dalam mengurangi risiko penyakit jantung koroner dan kardiovaskular (Muthmainnah, 2017). Sedangkan pada ekstrak daun pegagan menunjukkan hasil negatif terhadap uji flavonoid.

Dengan menggunakan pereaksi Liebermann-Burchard (LB), uji ekstrak daun kelor untuk triterpenoid dan steroid menunjukkan perubahan warna biru yang menunjukkan hasil steroid positif, dan uji ekstrak daun pegagan menunjukkan perubahan warna merah yang menunjukkan hasil triterpenoid positif. Tumbuhan memiliki senyawa triterpenoid untuk melindungi dan mempercepat pertumbuhan (Dwika *et al.*, 2016).

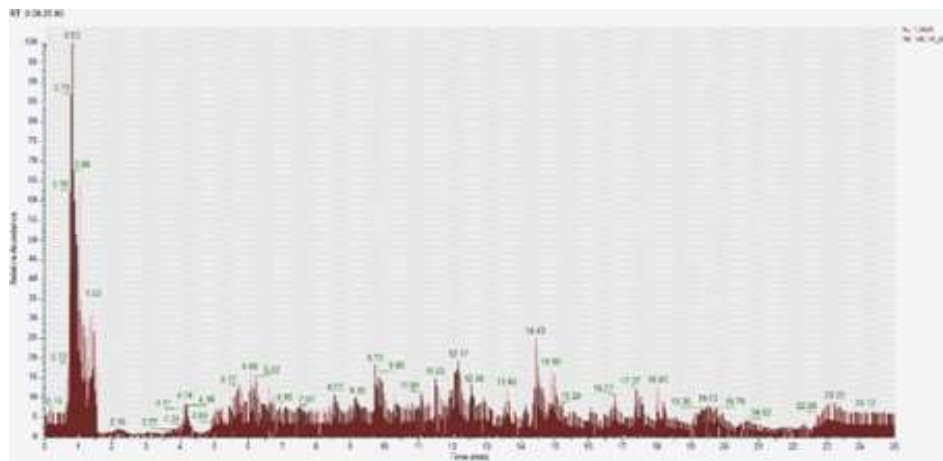
Dengan menggunakan pereaksi FeCl_3 3%, uji tanin pada ekstrak daun kelor dan pegagan menunjukkan hasil positif dengan ada perubahan warna hijau kehitaman. Senyawa ini membentuk kopolimer padat yang tidak dapat larut dalam air ketika berinteraksi dengan protein. Tanin adalah jenis senyawa aktif tumbuhan yang bersifat fenol. Tanin adalah antioksidan, antibakteri, astringen, dan antidiare (Saragih and Arsita, 2019).

Uji saponin pada ekstrak daun kelor dan pegagan dilakukan dengan mengocoknya dalam air suling hangat hingga menghasilkan busa. Setelah ditambahkan HCl pekat, busa menjadi lebih stabil. Busa yang terbentuk berasal dari senyawa saponin dalam pelarut, yang mengandung komponen larut air (hidrofilik) dan non-polar (hidrofobik). Senyawa ini berperan sebagai surfaktan yang menurunkan tegangan permukaan. Saat dikocok, gugus hidrofilik berikatan dengan air, sementara gugus hidrofobik berikatan dengan udara, sehingga menghasilkan busa. Saponin memiliki sifat antimikroba dan dapat mempercepat proses regresi serta repitelisasi berkat efek imunostimulasinya (Rahmasiahi, Hadiq and Yulianti, 2023).

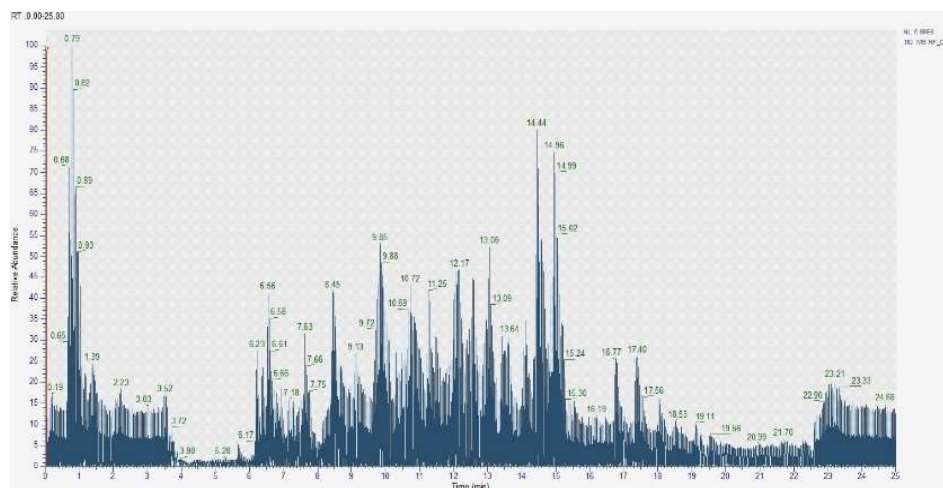
Uji alkaloid pada ekstrak daun kelor dan pegagan dengan pereaksi Mayer memberi hasil positif. Dimana endapan putih terbentuk karena senyawa kompleks yang terjadi antara logam dan reagen dalam alkaloid. Dalam bidang farmakologi, alkaloid digunakan sebagai obat batuk, obat tetes mata, obat malaria, obat kanker, dan obat anti bakteri (Andasari, Hermanto and Wahyuningsih, 2020).

B. *Liquid Chromatography Mass Spectrophotometer (LCMS - MS)*

Hasil dari analisis data LCMS-MS adalah kromatogram alur tinggi peak dan berat molekul senyawa dalam ekstrak daun kelor dan daun pegagan. Analisis LCMS - MS dilakukan di BRIN, Yogyakarta untuk mengetahui kandungan ekstrak daun kelor dan daun pegagan.



A



B

Gambar 4. 2 (A) Kromatogram Daun Kelor (B) Kromatogram Daun Pegagan

Pada gambar 4.2 (A) menunjukkan kromatogram analisis daun kelor dapat diketahui pada puncak tertinggi pada % Rel. Abundance 0.996 terdapat pada senyawa L-(+)- Arginine. Senyawa ini berfungsi dalam pengobatan nyeri dada, tekanan darah tinggi, dan preeklamsia. Selain itu L-Arginine merupakan stimulator

pelepasan hormon pertumbuhan (Lisnahan, Seran and Frans, 2021). Gambar 4.2(B) menunjukkan bahwa berdasarkan kromatogram LCMS/MS daun pegagan di dapatkan puncak tertinggi %Rel Abundance 0.79 terdapat senyawa aktif choline yang mengandung Vitamin B, untuk menahan proses penuaan kulit dan membantu pertumbuhan kolagen, yang dapat membuat kulit lebih lembab (Afria, U.E. et al, 2014).

Tabel 4. 5 Analisis LCMS-MS Daun Kelor dan Pegagan untuk Antihipertensi

No	Daun Kelor			Daun Pegagan		
	Nama	Formula	MO (% Relative Abundance)	Nama	Formula	CA (%Rel. Abundance)
1	L-(+)-Arginine	$C_6H_{14}N_4O_2$	0.996	L-(-)-Carnitine	$C_{10}H_{48}N_4O_2S$	0.822
2	D-(-)-Fructose	$C_6H_{12}O_6$	1.017	D-(+)-Proline	$C_{10}H_8N_4O_2S$	0.851
3	Uridine	$C_9H_{12}N_2O_6$	1.215	2-Hydroxy lignoceric acid	$C_{24}H_{48}O_3$	17.624
4	Adenosine	$C_{10}H_{13}N_5O_4$	1.241	Nicotinic Acid	$C_{10}H_8N_4O_2S$	1.027
5	Acetophenone	C_8H_8O	1.26	Nicotinamide	$C_{10}H_8N_4O_2S$	1.041
6	Nicotinamide	$C_6H_6N_2O$	1.261	L-Isoleucine	$C_{10}H_8N_4O_2S$	1.073
7	Guanine	$C_5H_5N_5O$	1.266	Naphthalene	$C_{10}H_8$	13.061
8	L-Isoleucine	$C_6H_{13}NO_2$	1.3	Lineolyl Ethanolamide	$C_{20}H_{37}NO_2$	13.529

Sebagai antihipertensi, senyawa aktif dalam daun kelor, seperti uridine, nicotinamide, dan guanine, ditampilkan dalam Tabel 4.5. Selain daun kelor, tanaman yang dapat berperan sebagai antihipertensi adalah daun pegagan. Adapun senyawa aktif pada daun pegagan yang berperan sebagai antihipertensi yaitu L-(-)-Carnitine, D-(+)-Proline, 2-Hydroxy lignoceric acid, Nicotinic Acid, Nicotinamide, L-Isoleucine, Naphtalene, Lineolyl Ethanolamide.

Tabel 4. 6 Analisis LCMS/MS Daun Kelor dan Pegagan untuk *Antiaging*

No	Daun Kelor			Daun Pegagan		
	Nama	Formula	MO (% Relative Abundance)	Nama	Formula	CA (%Rel. Abundance)
1	Choline	C ₅ H ₁₃ N O	1.013	Citric Acid	C ₆ H ₂₄ O ₃	0.784
2	mycosporine	C ₁₁ H ₁₉ N O ₆	1.017	Choline	C ₅ H ₁₃ NO	0.79
3	Glutarylcarhitine	C ₁₂ H ₂₁ N O ₆	1.32	Betaine	C ₅ H ₁₁ N O ₂	0.835
4	Jasmone	C ₁₁ H ₁₆ O	9.224	D-(+)-Proline	C ₁₀ H ₈ N ₄ O ₂ S	0.851
5	3-BHA	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	9.619	α -Linolenic acid	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	14.463
6	13-apo-beta-carotenone	C ₁₈ H ₂₆ O	12.271	Jasmone	C ₁₁ H ₁₆ O	14.464
7	Stearidonic acid	C ₁₈ H ₂₈ O ₂	12.363	Asiaticoside	C ₈ H ₇₈ O ₁₉	7.662
8	4-Undecylbenzenesulfonic acid	C ₁₇ H ₂₈ O ₃ S	12.397	Luteolyn 7 - O - malonyglucoside	C ₂₄ H ₂₂ O ₁₂	6.605

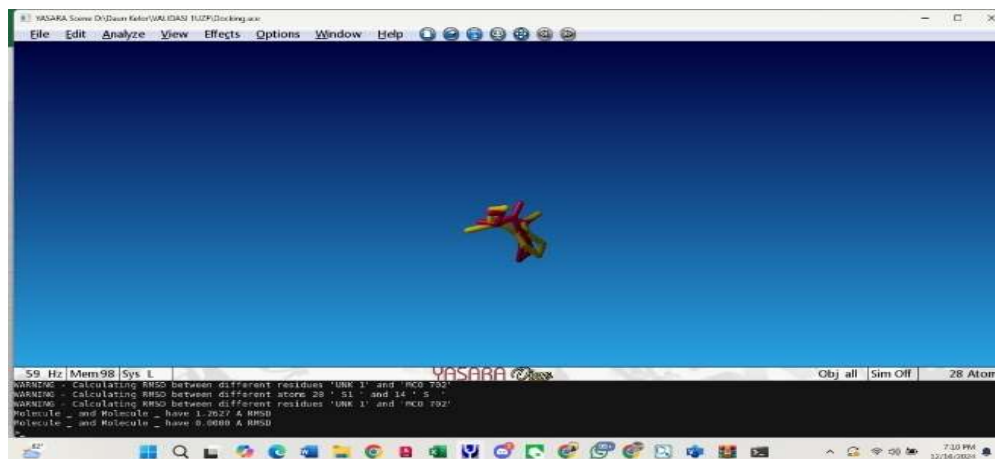
Tabel 4.6 terdapat senyawa aktif choline yang mengandung Vitamin B, untuk menahan proses penuaan kulit dan membantu pertumbuhan kolagen, yang dapat membuat kulit lebih lembab (Afria, U.E. et al, 2014). Selain choline, pada pegagan senyawa aktif yang berfungsi sebagai *antiaging* yaitu citric acid, betaine, D-(+)-proline, α -Linolenic acid, jasmone, asiaticoside, luteoline 7-O-malonyglucoside. Pada daun kelor juga terdapat senyawa aktif yang berfungsi untuk *antiaging* meliputi mycosporine, glutarylcarhitine, 3-BHA, 13-apo-beta-carotenone, Stearidonic acid, 4-Undecylbenzenesulfonic acid.

C. *Molecular Docking* Senyawa Aktif Daun Kelor dan Pegagan terhadap Penghambatan Antihipertensi dan *Antiaging*

Metode komputasi yang dikenal sebagai molekul docking memprediksi ikatan molekul target obat atau ligan asli dengan target reseptor atau protein. Ini juga memprediksi afinitas dan aktivitas molekul calon obat. Biasanya metode ini juga digunakan dalam penemuan obat baru (Pratama, Rifai and Marzuki, 2017). *Molecular docking* yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *software* Yasara, Marvin Sketch, cmd, PLANTS. Target ligand native diperoleh dari situs PDB (*Protein Data Bank*).

1. Antihipertensi

Untuk mengetahui penghambatan hipertensi target ligand native yang digunakan adalah *Angiotensin Converting Enzyme* (ACE) dengan kode pdb 1UZF. Kemudian target ligand dipreparasi dengan menggunakan *software* YASARA dan Marvin Sketch. Lalu dilakukan pengikatan target ligand native dengan protein menggunakan *software* cmd yang telah dimodifikasi sehingga dapat dilihat skor docking pada target ligand native. Berikutnya dilakukan validasi menggunakan YASARA dengan *redocking* ligand native pada protein target yang sebelumnya dipisahkan dengan ligand nativenya (Dewi, 2019). Tujuan memvalidasi ligand native untuk melihat RMSD yang berfungsi untuk mengetahui jarak ligan dengan ikatan reseptor. RMSD (*Root Mean Square Deviation*) dapat dikatakan valid apabila $<2\text{\AA}$ (Frimayanti, Lukman and Nathania, 2021). Hasil docking target ligand native ACE didapatkan RMSD 1.2627 Å sehingga dikatakan valid, dapat dilihat pada gambar 4.3.



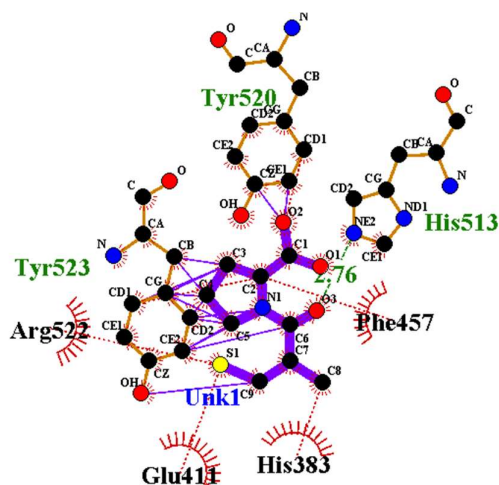
Gambar 4. 3 Hasil Docking Ligand Native ACE

Setelah divalidasi didapatkan hasil dari docking target ligand native ACE dan senyawa aktif pada daun kelor dan daun pegagan sebagai antihipertensi dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil Skor Docking Ligand Native ACE dengan Senyawa Aktif Daun Kelor dan pegagan

No	Senyawa Aktif Daun Kelor	Skore Docking ACE	Skor Docking	Senyawa Aktif Daun Pegagan	Skor Docking
			Daun Kelor		Daun Pegagan
1	L-(+)-Arginine	-53.1291	-82.0224	L-(-)-Carnitine	-63.6716
2	Neochlorogenic acid		-81.6132	D-(+)-Proline	-58.012
3	Choline		-51.444	2-Hydroxy lignoceric acid	-97.6718
4	Lactamide		-49.7581	Nicotinic Acid	-59.6775
5	1-[(3-Carboxypropyl)amino]-1-deoxy-beta-D-fructofuranose		-89.4531	Nicotinamide	-57.7868
6	D-(-)-Fructose		-61.6442	L-Isoleucine	-65.0749
7	D-(-)-Quinic acid		-60.5387	Naphthalene	-55.1322
8	4-Guanidinobutyric acid		-76.2796	Lineolyl Ethanolamide	-94.2164

Tabel di atas menunjukkan bahwa senyawa aktif pada daun kelor yaitu L-(+)-Arginine memiliki skor docking sebesar -82.0224 sedangkan pada senyawa aktif daun pegagan mendapatkan skor docking tertinggi adalah sebesar -97.6718 dan pada ligand native ACE sebesar -53.1291. Setelah diketahui skor docking, tahap selanjutnya ialah memvisualisasikan hasil docking. Visualisasi adalah proses menampilkan hasil *molecular docking* dalam bentuk gambar untuk melihat interaksi antara ligand dan reseptor (protein) (Astuti *et al.*, 2022). Redocking adalah proses menggabungkan antara reseptor (protein) dengan ligand yang memiliki skor docking tertinggi. Adapun visualisasi redocking ligand ACE dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



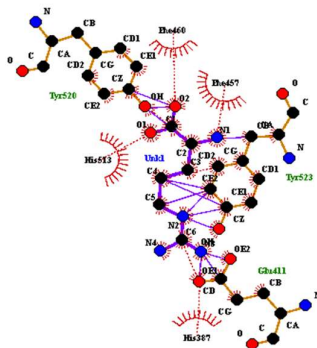
Gambar 4. 4 Visualisasi Redocking ACE

Visualisasi redocking ACE dengan menggunakan aplikasi YASARA dimana didocking reseptor (protein) dengan ligand native yang memiliki skor docking tinggi. Pada gambar 4.4 dapat dilihat visualisasi redocking ACE terdapat asam amino Arg522, Glu411, His383, Phe547 yang berikatan hidrofobik dan Tyr523, Tyr520, His513 yang berikatan hidrogen.

a) Daun Kelor

- L – Arginine

Gambar di bawah ini menunjukkan visualisasi docking L-Arginine dengan protein.

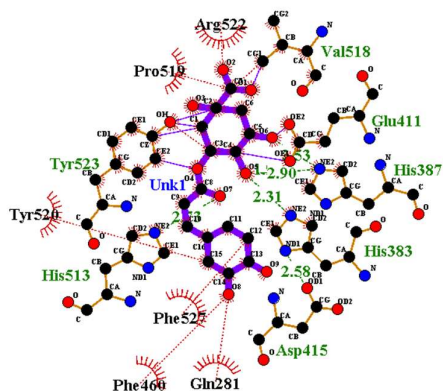


Gambar 4. 5 Visualisasi L-Arginine

Visualisasi L-Arginine dilakukan dengan protein dan senyawa L-Arginine sehingga dapat dilihat pada gambar 4.5 terdapat asam amino Tyr520, Tyr523, Glu411 yang berikatan hidrogen yang dimana memiliki ikatan lebih kuat dibandingkan dengan ikatan hidrofobik. Jika dibandingkan dengan visualisasi redocking ACE yang terdapat pada gambar 4.4 dapat disimpulkan bahwa pada visualisasi ini menyumbang skor docking lebih banyak dibandingkan dengan redocking ligand nativenya dimana berasal dari ikatan hidrogennya, sehingga berpotensi sebagai kandidat obat antihipertensi.

- Neochlorogenic Acid

Gambar di bawah ini visualisasi senyawa neochlorogenic acid.



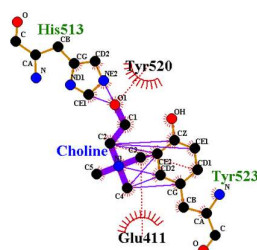
Gambar 4. 6 Visualisasi Neochlorogenic Acid

Gambar 4.6 menunjukkan visualisasi neochlorogenic acid dengan protein ligand nativenya, dimana dapat terlihat bahwa asam amino Val518, His383, Glu411, Asp415, His513, Tyr523 dan sebagainya berinteraksi dengan ikatan hidrogen

sedangkan asam amino Arg522, Pro519, Phe460, Phe527, Glu281, Tyr520 berinteraksi dengan ikatan hidrophobik. Apabila dibandingkan dengan redocking ACE pada gambar 4.4 maka dapat disimpulkan bahwa senyawa ini berpotensi sebagai kandidat obat antihipertensi karena asam amino pada senyawa aktifnya banyak yang berinteraksi dengan ikatan hidrogen.

- Choline

Gambar di bawah ini visualisasi senyawa aktif choline dengan protein.

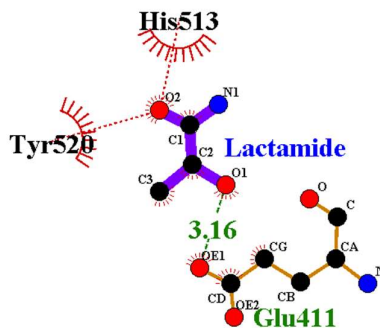


Gambar 4. 7 Visualisasi Choline

Gambar 4.7 menunjukkan visualisasi senyawa aktif choline dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dimana terdapat interaksi asam amino dengan ikatan hidrogen seperti His513, Tyr523 sedangkan pada asam amino Tyr520, Glu411 berinteraksi dengan ikatan hidrofobik sehingga jika dibandingkan dengan visualisasi redocking ACE memiliki skor docking lebih kecil dibandingkan senyawa choline.

- Lactamide

Gambar di bawah ini visualisasi lactamide dengan protein.

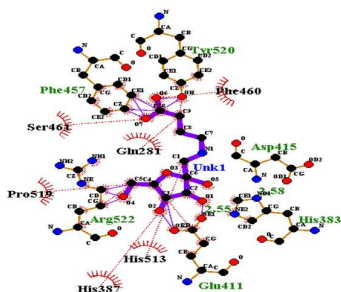


Gambar 4. 8 Visualisasi Lactamide

Gambar 4.8 menunjukkan visualisasi lactamide dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dimana dapat dilihat interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yaitu terdapat Glu411 sedangkan pada asam amino His513, Tyr520 berinteraksi dengan ikatan hidrofobik. sehingga memiliki skor docking yang lebih rendah dibandingkan dengan redocking ligand native ACE karena pada senyawa aktifnya memiliki interaksi dengan ikatan hidrogen yang lebih sedikit.

- 1-[(3-Carboxypropyl)amino]-1-deoxy-beta-D-fructofuranose

Gambar di bawah ini merupakan visualisasi senyawa aktif 1-[(3-Carboxypropyl)amino]-1-deoxy-beta-D-fructofuranose dengan protein.

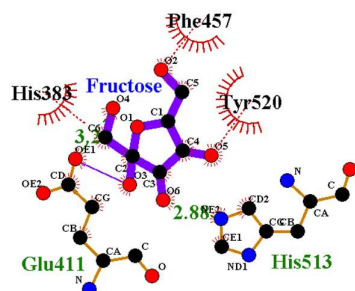


Gambar 4. 9 Visualisasi 1-[(3-Carboxypropyl)amino]-1-deoxy-beta-D-fructofuranose

Gambar 4.9 memvisualisasikan senyawa aktif 1-[(3-Carboxypropyl)amino]-1-deoxy-beta-D-fructofuranose dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya dimana menunjukkan terdapat asam amino yang berinteraksi dengan ikatan hidrogen seperti His383, Phe47, Glu411, Asp415, Tyr520, Arg522 sedangkan asam amino yang berinteraksi dengan ikatan hidrofobik seperti His38, His513, Ser461, Pro519, Glu281. Jika dibandingkan dengan redocking ligand native ACE yang terdapat pada gambar 4.4 dapat disimpulkan bahwa senyawa aktif ini memiliki skor docking lebih besar karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen lebih banyak dibandingkan ligand native ACE. Oleh karena itu, senyawa ini berpotensi sebagai kandidat obat antihipertensi.

- D-(-)-Fructose

Gambar di bawah ini visualisasi D-(-)-Fructose dengan protein.

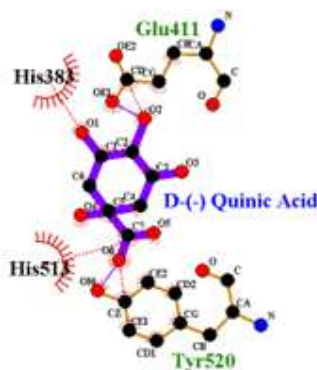


Gambar 4. 10 Visualisasi D-(-)-Fructose

Gambar 4.10 memvisualisasikan senyawa aktif D-(-)-Fructose dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya dimana menunjukkan asam amino yang berinteraksi dengan ikatan hidrogen yaitu Glu411, His513, sedangkan asam amino yang berinteraksi dengan ikatan hidrofobik terdapat pada His383, Phe457, Tyr520. Dari hasil visualisasi dapat disimpulkan bahwa senyawa aktif ini memiliki skor docking yang lebih rendah dibandingkan dengan ligand nativenya karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yang lebih sedikit.

- D-(-)-Quinic acid

Gambar di bawah ini visualisasi D-(-)-Quinic acid dengan protein.



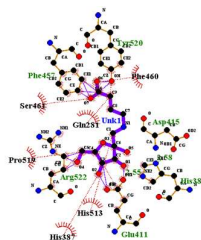
Gambar 4. 11 Visualisasi D-(-)-Quinic Acid

Gambar 4.11 memvisualisasikan D-(-)-Quinic Acid dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya dimana menunjukkan terdapat asam amino seperti Glu 411 dan Tyr520 yang berinteraksi dengan ikatan hidrogen sedangkan asam amino yang berikatan dengan ikatan hidrofobik seperti Hiss513, His383. Apabila dibandingkan dengan visualisasi redocking ACE pada gambar 4.4, dimana pada senyawa aktif ini

memiliki skor docking yang lebih tinggi dibandingkan redocking ACE karena memiliki interaksi asam amino yaitu Glu411 dengan ikatan hydrogen, sedangkan pada redocking ACE asam amino ini berinteraksi dengan ikatan hidrofobik. Oleh karena itu, senyawa aktif ini berpotensi sebagai kandidat obat antihipertensi.

- 4-Guanidinobutyric acid

Gambar di bawah ini menunjukkan visualisasi 4-Guanidinobutyric acid dengan protein.



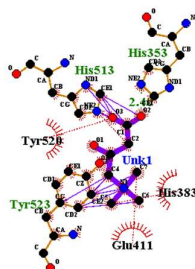
Gambar 4. 12 Visualisasi 4-Guanidinobutyric acid

Gambar 4.12 menunjukkan visualisasi 4-Guanidinobutyric acid dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dimana terdapat asam amino yang berinteraksi dengan ikatan hydrogen yaitu Phe457, Glu411, Arg522, Tyr520, Asp415. Selain itu asam amino berinteraksi juga dengan ikatan hidrofobik seperti His387, Ser463, Phe460, dan sebagainya. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa dari visualisasi senyawa aktif ini menunjukkan skor docking yang lebih tinggi dibandingkan dengan redocking ACE, hal ini karena pada senyawa aktif ini memiliki interaksi asam amino dengan ikatan hydrogen yang lebih banyak dibandingkan dengan redocking ACE sehingga senyawa aktif ini berpotensi sebagai kandidat obat antihipertensi.

b) Daun Pegagan

- L-(-)-Carnitine

Gambar di bawah ini visualisasi L-(-)-Carnitine dengan protein.

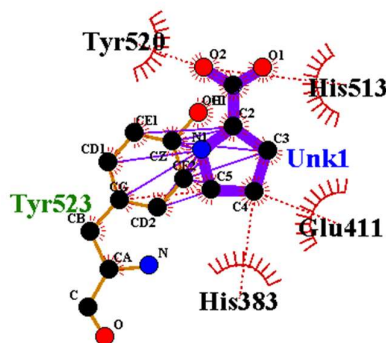


Gambar 4. 13 Visualisasi L-(-)-Carnitine

Gambar 4.13 menunjukkan visualisasi L-(-)-Carnitine dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dimana dapat dilihat pada gambar di atas asam amino yang berinteraksi dengan ikatan hidrogen seperti His513, His353, Tyr523. Selain itu asam amino juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik seperti Tyr520, His383, Glu411. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa senyawa aktif ini memiliki skor docking yang lebih tinggi dari redocking ACE sehingga senyawa ini berpotensi sebagai kandidat obat antihipertensi.

- D-(+)-Proline

Gambar di bawah ini visualisasi D-(+)-Proline dengan protein.

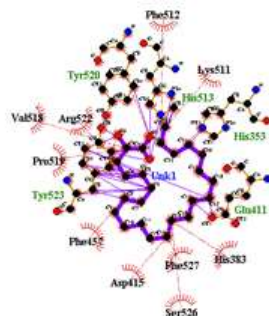


Gambar 4. 14 Visualisasi D-(+)-Proline

Gambar 4.14 menunjukkan visualisasi senyawa aktif D-(+)-Proline dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dapat dilihat bahwa interaksi asam amino dengan ikatan hidrofobik seperti Tyr520, His513, Glu411, His383 sedangkan asam amino yang berinteraksi dengan ikatan hidrogen seperti Tyr523. Hal ini membuktikan bahwa jika dibandingkan dengan ligand native ACE, senyawa ini memiliki skor docking yang lebih kecil.

- 2-Hydroxy lignoceric acid

Gambar di bawah ini visualisasi 2-Hydroxy lignoceric acid dengan protein.

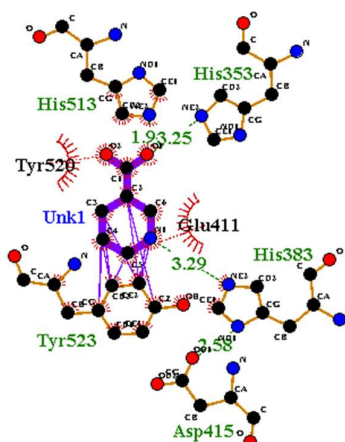


Gambar 4. 15 Visualisasi 2-Hydroxy lignoceric acid

Gambar 4.15 menunjukkan visualisasi 2-Hydroxy lignoceric acid dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dimana dapat dilihat bahwa asam amino yang berinteraksi dengan ikatan hidrogen seperti Tyr520, Tyr523, Glu411, His353 dan sebagainya sedangkan Phe512, Val518, Ser526, Lys511. Hal ini dapat disimpulkan bahwa senyawa ini memiliki skor docking yang lebih tinggi dibandingkan ligand native ACE karena banyak asam amino yang berinteraksi dengan ikatan hidrogen sehingga senyawa ini berpotensi sebagai kandidat obat antihipertensi.

- Nicotinic Acid

Gambar di bawah ini visualisasi Nicotinic Acid dengan protein.

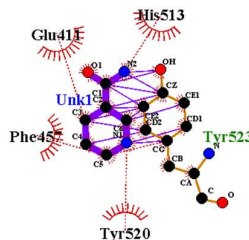


Gambar 4. 16 Visualisasi Nicotinic Acid

Gambar 4.16 menunjukkan visualisasi senyawa aktif ini nicotinic acid dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dapat dilihat bahwa terdapat asam amino yang berinteraksi dengan ikatan hidrogen yaitu His513, His353, Tyr523, Asp415, His383 sedangkan asam amino yang berinteraksi dengan ikatan hidrofobik adalah Tyr520 dan Glu411. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa senyawa aktif ini memiliki skor docking lebih tinggi dibandingkan dengan redocking ACE karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen lebih banyak sehingga senyawa aktif ini berpotensi sebagai obat antihipertensi.

- Nicotinamide

Gambar di bawah ini visualisasi nicotinamide dengan protein.

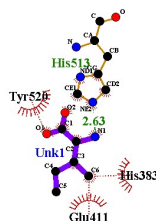


Gambar 4. 17 Visualisasi Nicotinamide

Gambar 4.17 menunjukkan visualisasi nicotinamide dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dapat dilihat bahwa interaksi asam amino dengan ikatan hidrogen yaitu Tyr523. Selain itu asam amino juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik seperti Glu411, His513, Phe457, Tyr520. Hal ini dapat disimpulkan bahwa senyawa aktif ini memiliki skor docking yang lebih tinggi dibandingkan dengan redocking ACE karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrofobik lebih sedikit sehingga senyawa aktif ini berpotensi sebagai kandidat obat antihipertensi.

- L-Isoleucine

Gambar di bawah ini visualisasi L-Isoleucine dengan protein.

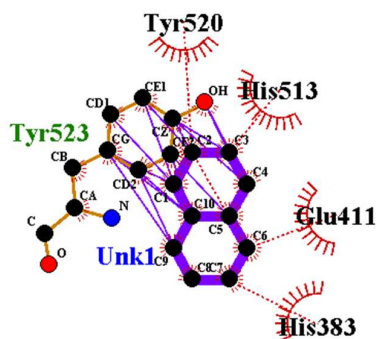


Gambar 4. 18 Visualisasi L-Isoleucine

Gambar 4.18 menunjukkan visualisasi L-Isoleucine dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dapat dilihat bahwa interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yaitu His513. Selain itu asam amino juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik seperti Tyr520, His383, Glu411. Hal ini dapat disimpulkan bahwa senyawa aktif ini memiliki skor docking yang lebih tinggi dibandingkan dengan redocking ACE karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrofobik lebih sedikit sehingga senyawa aktif ini berpotensi sebagai kandidat obat antihipertensi.

- Naphtalene

Gambar di bawah ini visualisasi naphtalene dengan protein.



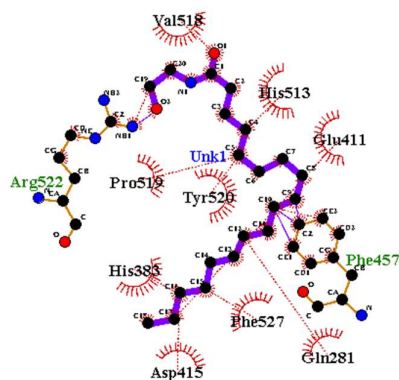
Gambar 4. 19 Visualisasi Naphtalene

Gambar 4.19 menunjukkan visualisasi naphtalene dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dapat dilihat bahwa asam amino yang berinteraksi dengan ikatan hidrogen yaitu Tye523. Selain itu asam amino juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik seperti Tyr520, His513, Glu411, His383. Hal ini dapat disimpulkan bahwa senyawa aktif ini memiliki skor docking yang lebih tinggi dibandingkan dengan redocking ACE karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan

hidrofobik lebih sedikit sehingga senyawa aktif ini berpotensi sebagai kandidat obat antihipertensi.

- Lineolyl Ethanolamide

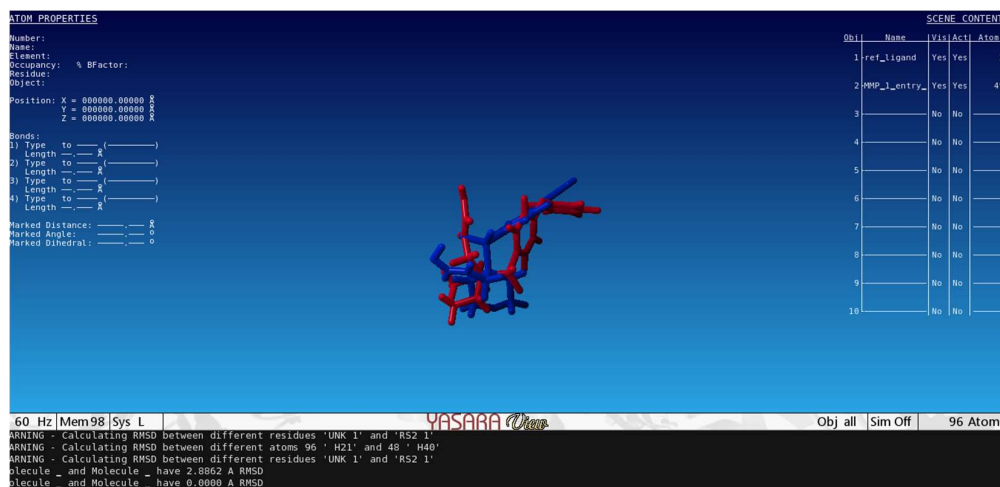
Gambar di bawah ini menunjukkan visualisasi lineolyl ethanolamide.



Gambar 4. 20 Visualisasi Lineolyl Ethanolamide

Gambar 4.20 menunjukkan visualisasi lineolyl ethanolamide dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dapat dilihat bahwa interaksi asam amino yang langsung berinteraksi dengan ikatan hidrogen yaitu Arg522 dan Phe457 sehingga menyumbang skor docking yang lebih banyak. Selain itu asam amino juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik seperti His513, Asp415, Tyr520, Glu411, Pro5219. Sehingga jika dibandingkan dengan redocking ACE maka senyawa ini berpotensi sebagai kandidat antihipertensi.

2. Antiaging



Gambar 4. 21 Hasil Docking Ligand Native MMP-1

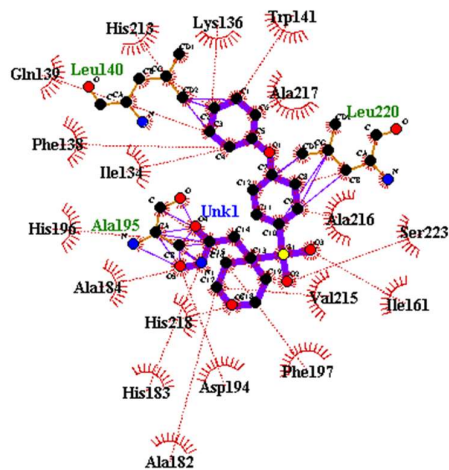
Dalam mengetahui penghambatan penuaan pada kulit, target ligand obat yang digunakan adalah Matriks Metalloproteins-1 (MMP-1) dengan kode pdb 966C. Kemudian target ligand dipreparasi dengan menggunakan software YASARA dan Marvin Sketch. Lalu dilakukan pengikatan target ligand native dengan protein menggunakan software cmd yang telah dimodifikasi sehingga dapat dilihat skor docking pada target ligand native. Berikutnya dilakukan validasi menggunakan YASARA untuk melihat RMSD yang berfungsi untuk mengetahui jarak ligan dengan ikatan reseptor.

Molecular docking untuk penghambatan penuaan pada kulit digunakan ligand nativenya MMP – 1 dengan RMSD 2.7061 Å yang dapat dilihat pada gambar 4.21. Ligand ini dinyatakan valid sehingga dapat didocking dengan senyawa aktif pada daun pegagan. Penelitian yang dilakukan oleh Laksmiani dan Nugraha (2019) mendukung hal ini, dengan menyatakan bahwa $\text{RMSD} < 3 \text{ Å}$ dianggap valid dan dapat digunakan untuk proses docking dengan senyawa aktif. Adapun hasil *molecular docking* daun pegagan sebagai *antiaging* dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Skor Docking Daun Kelor dan Pegagan sebagai *Antiaging*

No	Senyawa Aktif Daun Kelor	Skore Docking MMP-1	Skor Docking	Senyawa Aktif Daun Pegagan	Skor Docking
			Daun Kelor		Daun Pegagan
1	Choline	-102.69	-49.7614	Citric Acid	-56.343
2	mycosporine		-83.7951	Choline	-44.314
3	Glutarycarnitine		-76.1991	Betaine	-42.771
4	Jasmone		-68.0714	D-(+)-Proline	-50.854
5	3-BHA		-68.0595	Jasmone	-57.03
6	13-Apo-beta-carotenone		-74.901	13-apo-beta-carotenone	-64.431
7	Stearidonic acid		-78.2937	Asiaticoside	-97.916
8	4-Undecylbenzene sulfonic acid		-99.0269	Luteolin 7-O-malonylglucoside	-102.85

Tabel 4.8 menunjukkan bahwa ligand native *Collagenase-1* di docking dengan senyawa aktif pada daun pegagan sehingga didaatkan skor docking yang paling tinggi terdapat pada senyawa Luteolin 7-O-malonylglucoside yaitu sebesar -123.513 dan pada senyawa aktif daun kelor didapatkan skor docking paling tinggi terdapat pada 4-Undecylbenzenesulfonic acid sebesar -99.0269 sedangkan ligand native sebesar -102.695. Setelah diketahui skor docking, tahap selanjutnya ialah memvisualisasikan hasil docking. Visualisasi adalah proses menampilkan hasil molecular docking dalam bentuk gambar untuk melihat interaksi antara ligand dan reseptor (protein) (Astuti et al., 2022). Redocking adalah proses menggabungkan antara reseptor (protein) dengan ligand yang memiliki skor docking tertinggi. Adapun visualisasi redocking ligand MMP-1 dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



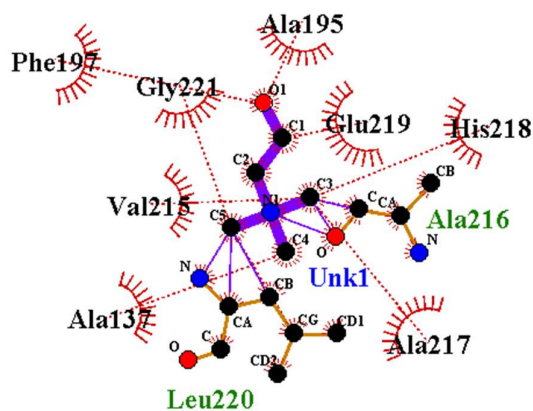
Gambar 4. 22 Visualisasi Redocking MMP-1

Gambar 4.22 menunjukkan interaksi antara reseptor (protein) pada ligand native yang telah dipisahkan dan ligand native dengan *conformers* yang memiliki skor tertinggi. Dapat dilihat bahwa terdapat interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yaitu Leu220, Ala195, Leu140. Selain itu terdapat interaksi asam amino dengan ikatan hidrofobik seperti Ala182, Phe 197, His183, Ile161, Val215, His218, His183, dan sebagainya.

a) Daun Kelor

- Choline

Gambar di bawah ini visualisasi choline dengan protein.

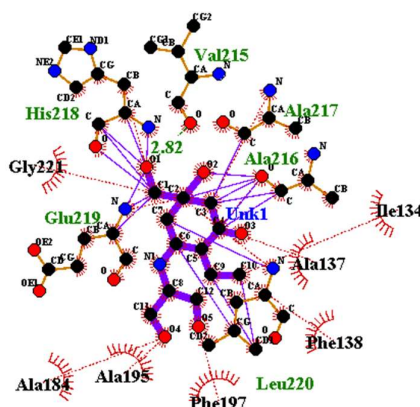


Gambar 4. 23 Visualisasi Choline

Gambar 4.23 menunjukkan visualisasi choline dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dapat dilihat bahwa interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen seperti Leu 220 dan Ala216. Selain itu asam amino juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik seperti Phe197, Val215, Ala137, Ala217, His218, Glu219. Hal ini dapat disimpulkan bahwa senyawa aktif ini memiliki skor docking yang lebih rendah dibandingkan dengan redocking ligand MMP-1 karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yang lebih sedikit sehingga senyawa aktif ini tidak lebih poten dibandingkan ligand nativenya

- Mycosporine

Gambar di bawah ini visualisasi mycosporine dengan protein.

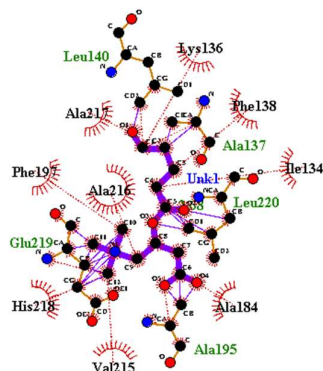


Gambar 4. 24 Visualisai Mycoporine

Gambar 4.23 menunjukkan visualisasi mycosporine dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dapat dilihat bahwa interaksi asam amino dengan ikatan hidrogen yaitu His218, Ala217, Ala216, Glu219, Leu220, Val215. Selain itu asam amino juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik seperti Ile134, Ala184, Ala198, Phe197, Phe138. Hal ini dapat disimpulkan bahwa senyawa aktif ini dapat bertindak sebagai *antiaging* namun tidak lebih poten dibandingkan dengan ligand nativenya MMP-1.

- Glutarycarnitine

Gambar di bawah ini visualisasi glutarycarnitine dengan protein.

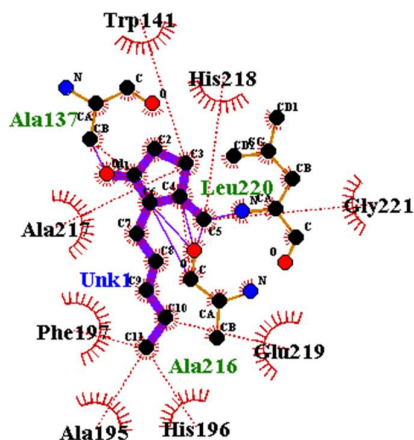


Gambar 4. 25 Visualisasi Glutarycarnitine

Gambar 4.24 menunjukkan visualisasi glutaryl carnitine dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dapat dilihat bahwa interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yaitu Leu140, Glu219, Ala137, Ala195, Leu220. Selain itu asam amino juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik seperti Ala21, Ile134, His218, Val215, Lys136, Phe138. Hal ini dapat disimpulkan bahwa senyawa aktif ini dapat bertindak sebagai *antiaging* namun tidak lebih poten dibandingkan dengan ligand nativenya MMP-1.

- Jasmone

Gambar di bawah ini visualisasi jasmone dengan protein.



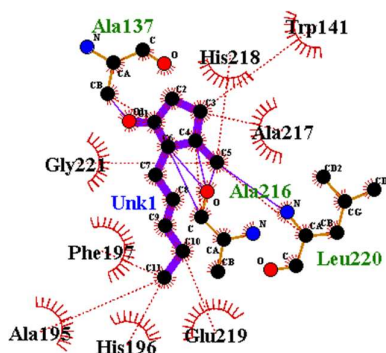
Gambar 4. 26 Visualisasi Jasmone

Gambar 4.25 menunjukkan visualisasi jasmone dengan reseptor (protein) dengan ligand nativenya, dimana dapat dilihat interaksi antara asam amino dengan ikatan

hidrogen yaitu Ala137, Leu220, Ala216. Selain itu juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik seperti Trp141, His218, Gly221, Ala195. Hal ini dapat disimpulkan bahwa senyawa aktif ini dapat bertindak sebagai *antiaging* namun tidak lebih poten dibandingkan dengan ligand nativenya MMP-1.

- 3 – BHA

Gambar di bawah ini visualisasi 3 – BHA dengan protein.

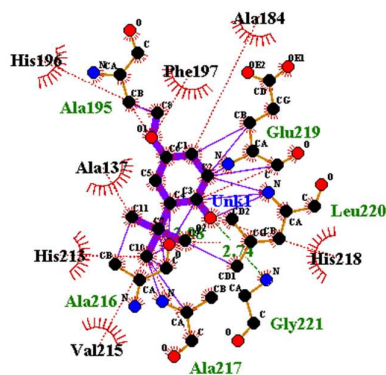


Gambar 4. 27 Visualisasi 3 – BHA

Gambar 4.26 menunjukkan visualisasi 3-BHA dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dimana dapat dilihat bahwa interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yaitu Ala137, Ala216, Leu220. Selain itu juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik seperti His196, Ala195, Phe197, Glu219, Gly221. Hal ini dapat disimpulkan bahwa senyawa aktif ini memiliki skor docking yang lebih rendah dibandingkan dengan redocking ligand MMP-1 karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yang lebih sedikit sehingga senyawa aktif ini tidak lebih poten dibandingkan ligand nativenya.

- 13 – Apo – Beta – Carotenone

Gambar di bawah ini visualisasi 13 – apo – beta – carotenone dengan protein.

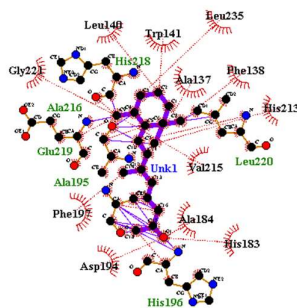


Gambar 4. 28 Visualisasi 13-Apo-Beta-Carotenone

Gambar 4.27 menunjukkan visualisasi 13 – apo – beta – carotenone dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dimana dapat dilihat bahwa interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen seperti Ala195, Leu220, Ala217, Gly221, Glu219, Ala216. Selain itu juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik seperti Ala184, Phe197, His196, His218, His213, Val215. Hal ini dapat disimpulkan bahwa redocking ligand MMP-1 karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yang lebih kuat dibandingkan dengan senyawa aktif ini sehingga memiliki skor docking yang lebih rendah.

- Stearidonic acid

Gambar di bawah ini visualisasi stearidonic acid dengan protein.



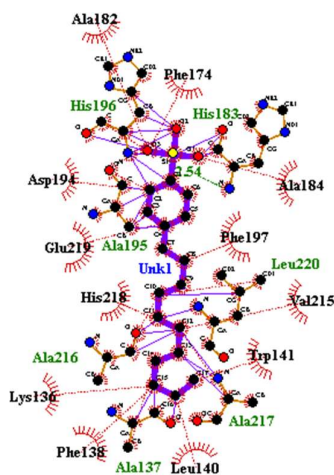
Gambar 4. 29 Visualisasi Stearidonic Acid

Gambar 4.28 menunjukkan visualisasi stearidonic acid dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dimana dapat dilihat interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yaitu Ala195, His196, Leu220, Glu210, His218, Ala216. Selain itu juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik seperti Gly221, Leu235, Val215,

Phe917, Asp194. Hal ini dapat disimpulkan bahwa redocking ligand MMP-1 karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yang lebih kuat dibandingkan dengan senyawa aktif ini sehingga memiliki skor docking yang lebih rendah.

- 4 – Undecylbenzene

Gambar di bawah ini visualisasi 4 – Undecylbenzene.



Gambar 4. 30 Visualisasi 4 – Undecylbenzene

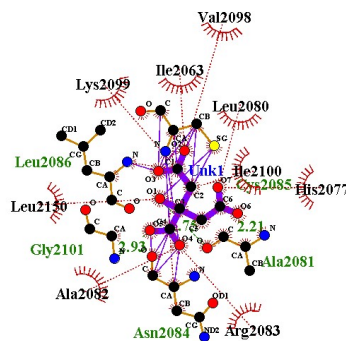
Gambar 4.29 menunjukkan visualisasi 4 – undecylbenzene dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dimana dapat dilihat interaksi asam amino dengan ikatan hidrogen seperti His196, Leu220, Ala216, Ala137, Ala21, His183. Selain itu juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik seperti Ala182, Val215, Leu140, Glu219, Phe138. Hal ini dapat disimpulkan bahwa redocking ligand MMP-1 karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yang lebih kuat dibandingkan dengan senyawa aktif ini sehingga memiliki skor docking yang lebih rendah.

Senyawa aktif daun kelor terbukti dapat bertindak sebagai *antiaging* namun tidak lebih poten dibandingkan ligand nativenya MMP-1 (Matrix Metalloproteins – 1).

(b) Daun Pegagan

- Citric Acid

Gambar di bawah ini visualisasi citric acid dengan protein.

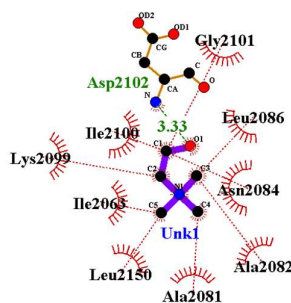


Gambar 4. 31 Visualisasi Citric Acid

Gambar 4.30 menunjukkan visualisasi citric acid dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dimana terdapat interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yaitu Ala2081, Leu2086, Gly2101, Asn2084. Selain itu juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik yaitu Ile2063, Val2098, Arg2083, Leu2150, Ala2082. Hal ini dapat disimpulkan bahwa redocking ligand MMP-1 karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yang lebih kuat dibandingkan dengan senyawa aktif ini sehingga memiliki skor docking yang lebih rendah.

- Choline

Gambar di bawah ini visualisasi Choline dengan protein.



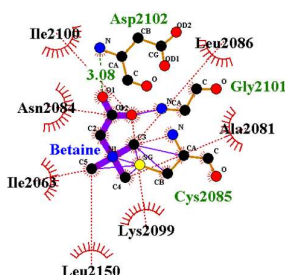
Gambar 4. 32 Visualisasi Choline

Gambar 4.31 menunjukkan visualisasi choline dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dimana terdapat interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yaitu Asp2102. Selain itu juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik yaitu Lys2099, Ile2100, Ile2063, Leu2150, Ala2081, Gly2101. Hal ini dapat disimpulkan bahwa redocking ligand MMP-1 karena memiliki interaksi antara asam amino dengan

ikatan hidrogen yang lebih kuat dibandingkan dengan senyawa aktif ini sehingga memiliki skor docking yang lebih rendah. Senyawa ini dapat berperan sebagai *antiaging* namun tidak lebih poten dari ligand nativenya.

- Betaine

Gambar di bawah ini visualisasi betaine dengan protein.

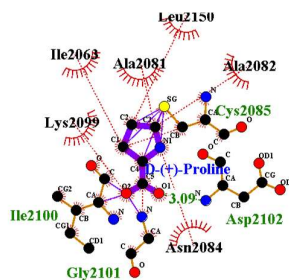


Gambar 4. 33 Visualisasi Betaine

Gambar 4.32 menunjukkan visualisasi betaine dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dimana terdapat interaksi antara asam amino dengan protein yaitu Asp2102, Gly2101, Cys2085. Selain itu juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik yaitu Ile2100, Asn2084, Ile2063, Lys2099, Leu2150. Hal ini dapat disimpulkan bahwa redocking ligand MMP-1 karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yang lebih kuat dibandingkan dengan senyawa aktif ini sehingga memiliki skor docking yang lebih rendah.

- D-(+)-Proline

Gambar di bawah ini visualisasi D-(+)-Proline dengan protein.

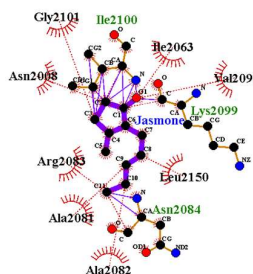


Gambar 4. 34 Visualisasi D-(+)-Proline

Gambar 4.33 menunjukkan visualisasi D-(+)-proline dengan reseptor (protein), dimana terdapat interaksi antara asam amino dengan protein yaitu Cys2085, Ile2100, Gly2101, Asp2102. Selain itu juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik yaitu Asn2084, Lys2099, Ile2063, Leu2150, Ala2082. Hal ini dapat disimpulkan bahwa redocking ligand MMP-1 karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yang lebih kuat dibandingkan dengan senyawa aktif ini sehingga memiliki skor docking yang lebih rendah. Senyawa aktif ini dapat bertindak sebagai *antiaging* namun tidak lebih poten dibandingkan dengan ligand nativenya MMP-1.

- Jasmone

Gambar di bawah ini visualisasi jasmone dengan protein.

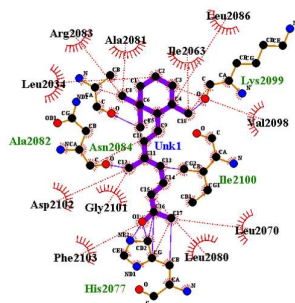


Gambar 4. 35 Visualisasi Jasmone

Gambar 4.34 menunjukkan visualisasi jasmone dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dimana terdapat interaksi antara asam amino dengan protein yaitu Ile2100, Lys2099, Asn2084. Selain itu juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik yaitu Gly2104, Ala2082, Asn2008, Arg2045, Leu2150. Hal ini dapat disimpulkan bahwa senyawa aktif ini memiliki skor docking yang lebih rendah dibandingkan dengan redocking ligand MMP-1 karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yang lebih sedikit sehingga senyawa aktif ini tidak lebih poten dibandingkan ligand nativenya.

- 13 – Apo – Beta – Carotenone

Gambar di bawah ini visualisasi 13 – Apo – Beta – Carotenone dengan protein.

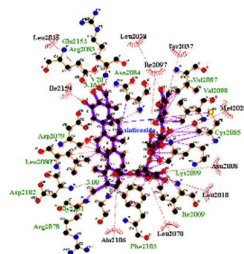


Gambar 4. 36 Visualisasi 13 - Apo - Beta – Carotenone

Gambar 4.35 menunjukkan visualisasi 13 – Apo – beta – carotenone dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dimana terdapat interaksi antara asam amino dengan protein yaitu Ala2082, Asn2054, His2077, Ile2100, Lys2099. Selain itu juga berinteraksi dengan ikatan hidrofobik yaitu Leu2070, Leu2050, Asp2102, Phe2103, Arg2083, Leu2034. Hal ini dapat disimpulkan bahwa redocking ligand MMP-1 karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yang lebih kuat dibandingkan dengan senyawa aktif ini sehingga memiliki skor docking yang lebih rendah. Senyawa aktif ini dapat bertindak sebagai *antiaging* namun tidak lebih poten dibandingkan dengan ligand nativenya MMP-1.

- Asiaticoside

Gambar di bawah ini visualisasi asiaticoside dengan protein.



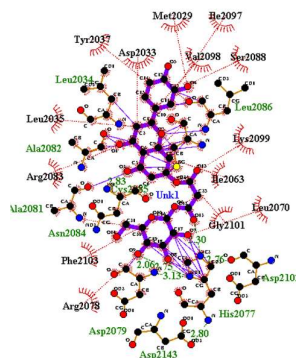
Gambar 4. 37 Visualisasi Asiaticoside

Gambar 4.36 menunjukkan visualisasi asiaticoside dengan reseptor (protein) dari ligand nativenya, dimana terdapat interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yaitu Glu2153, Arg2083, Asn2084, Arg2102, Leu2080, Asp2029. Selain itu berinteraksi juga dengan ikatan hidrofobik yaitu Leu2053, Ile2154, Lyn2037, Leu2018, Leu2070, Ala2106. Hal ini dapat disimpulkan bahwa redocking ligand MMP-1 karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yang

lebih kuat dibandingkan dengan senyawa aktif ini sehingga memiliki skor docking yang lebih rendah. Senyawa aktif ini dapat bertindak sebagai *antiaging* namun tidak lebih poten dibandingkan dengan ligand nativenya MMP-1.

- Luteolyn 7 – O – malonyglucoside

Gambar di bawah ini visualisasi Luteolyn 7 – O – malonyglucoside dengan protein.



Gambar 4. 38 Visualisasi Luteolyn 7 – O – malonyglucoside

Gambar 4.37 menunjukkan interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yaitu Leu2034, Ala2082, Ala2081, Asn2084, Asp2079, Asp2143. Selain itu berinteraksi juga dengan ikatan hidrofobik yaitu Tyr2037, Asp2033, Met2029, Ile2097, Arg2078, Gly210. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa luteolin 7-o-malonyglucoside lebih poten dibandingkan dengan enzim MMP - 1 untuk bertindak sebagai *antiaging* pada kulit karena memiliki interaksi antara asam amino dengan ikatan hidrogen yang lebih kuat dibandingkan dengan ligand nativenya. Hal ini sesuai dengan penelitian (Syamsul *et al.*, 2022) dimana luteolin memiliki potens menjadi obat baru untuk *antiaging*.

4.5. Karakterisasi Bubuk Enkapsulasi Daun Pegagan dan Daun Kelor

4.5.1. Enkapsulasi

Tabel 4.9 menyajikan hasil analisis rendemen pada bahan serta enkapsulasi ekstrak daun kelor dan pegagan. Analisis ini didasarkan pada perbandingan antara berat

ekstrak yang dicampur dengan penyalut sebelum proses *spray drying* dan berat bubuk yang dihasilkan setelah proses tersebut.

Tabel 4. 9 Rendemen Ekstrak dan Enkapsulasi Daun Kelor dan Pegagan

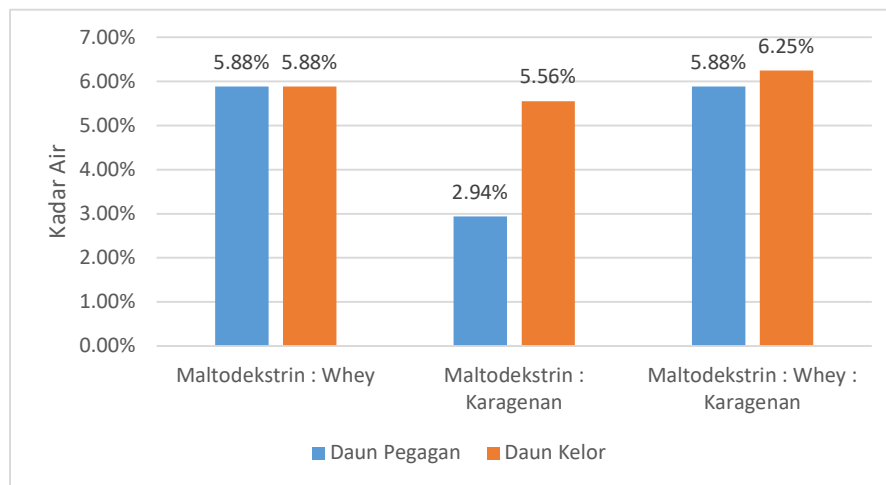
Bahan	% Rendemen		
	Enkapsulasi		
	Maltodekstri n : WPI	Maltodekstrin : Karagenan	Maltodekstrin : WPI : Karagenan
Daun Kelor	55.00%	7.27%	25.00%
Daun Pegagan	66.82%	32.95%	9.55%

Tabel di atas menunjukkan bahwa rendemen tertinggi dalam enkapsulasi ekstrak daun kelor diperoleh pada variasi bahan penyalut maltodekstrin dan *whey protein isolate* yaitu sebesar 55%, sementara pada enkapsulasi ekstrak daun pegagan mencapai 66,82%. *Whey protein isolate* memiliki kemampuan sebagai pengemulsi yang baik dan dapat meningkatkan viskositas larutan, sedangkan maltodekstrin memiliki ketahanan tinggi terhadap oksidasi serta dapat menurunkan viskositas emulsi. Peningkatan viskositas sampel berkontribusi pada peningkatan total padatan terlarut, yang pada akhirnya menghasilkan rendemen yang lebih tinggi.

Hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Purnomo, Khasanah, dan Anandito (2014), yang menunjukkan bahwa rendemen tertinggi diperoleh pada kombinasi maltodekstrin dan kappa karagenan sebagai bahan penyalut. Perbedaan ini disebabkan oleh sifat kappa karagenan yang mampu membentuk gel dalam air, sehingga meningkatkan viskositas secara berlebihan. Menurut Sadiah dan Indiarso (2022), viskositas yang terlalu tinggi dapat memperlambat proses pengeringan, menghasilkan droplet yang lebih besar dan panjang. Hal ini dapat menghambat proses atomisasi, yang pada akhirnya menyebabkan penurunan rendemen enkapsulat.

4.5.2. Kadar Air Produk Hasil Enkapsulasi

Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas produk adalah kadar air. Kadar air yang rendah dapat mencegah pertumbuhan bakteri dan kerusakan pada produk. Gambar 4.39 menunjukkan hasil uji analisis kadar air.



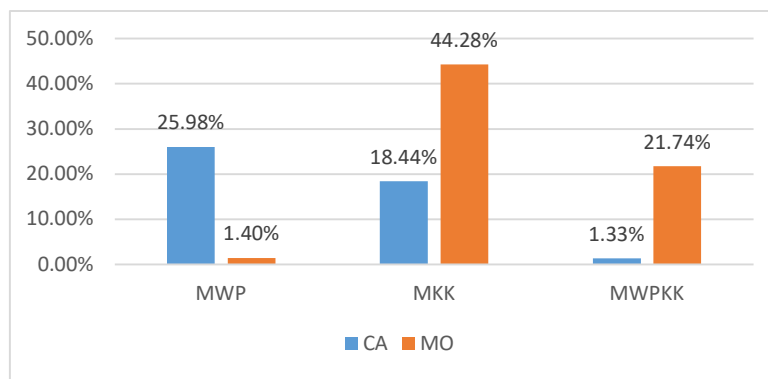
Gambar 4. 39 Grafik Kadar Air Kombinasi Bahan Penyalut

Gambar di atas menunjukkan bahwa kadar air yang paling rendah terdapat pada variasi bahan penyalut maltodekstrin dan kappa karagenan yaitu 2.94% pada bubuk enkapsulasi ekstrak daun pegagan dan 5.56% pada bubuk enkapsulasi ekstrak daun kelor. Hal ini disebabkan penurunan kadar air berbanding lurus terhadap penambahan bahan penyalut karena bahan penyalut dapat meningkatkan total padatan pada ekstrak daun (Permatasari, Purwadi and Thohari, 2010). Penelitian ini berbeda dengan penelitian (Purnomo, Khasanah and Anandito, 2014) di mana dalam penelitian ini, kombinasi bahan penyalut maltodekstrin dan whey protein isolate (MWP) memiliki kadar air yang lebih tinggi daripada kombinasi bahan penyalut maltodekstrin dan karagenan (MKK), dengan kadar air 5.74%. Hal ini disebabkan oleh perbedaan perbandingan kombinasi bahan penyalut serta viskositas dari bahan penyalut maltodekstrin dan kappa karagenan terlalu tinggi maka dilakukan pengenceran sehingga jumlah air pada variasi bahan ini tinggi dibandingkan bahan penyalut yang lain. Dimana saat dilakukan pengeringan jumlah air yang hilang terdapat di bahan penyalut maltodekstrin dan kappa karagenan menguap lebih banyak sehingga memiliki kadar air yang rendah. Menurut standar

produk SNI 01-4320-1996 kadar air yang diperbolehkan yaitu berkisar $< 6\%$.

4.5.3. Uji Kadar Abu Produk Hasil Enkapsulasi

Abu digunakan untuk menentukan kandungan mineral dalam bahan organik. Abu adalah sisa zat anorganik yang terbentuk setelah pembakaran bahan organik. Pengukuran kadar abu dilakukan dengan metode gravimetri. Semakin rendah kadar abu, semakin sedikit kandungan mineral yang terdapat dalam sampel (Paramita *et al.*, 2022). Hasil uji kadar abu dapat dilihat pada gambar 4.40.

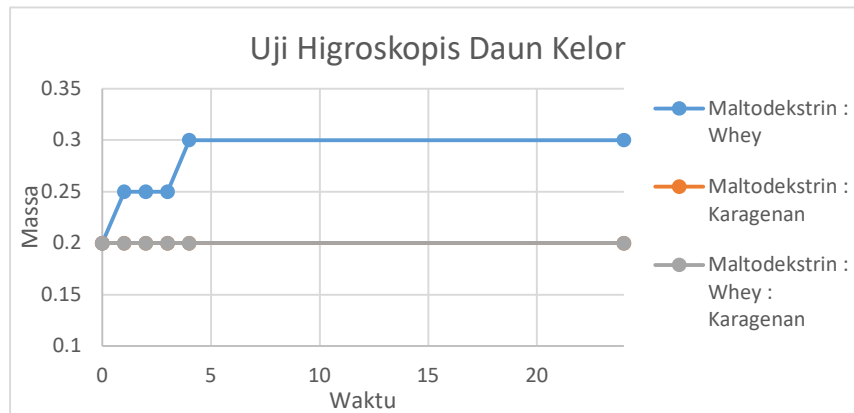


Gambar 4. 40 Kadar Abu Enkapsulasi Daun Kelor dan Daun Pegagan

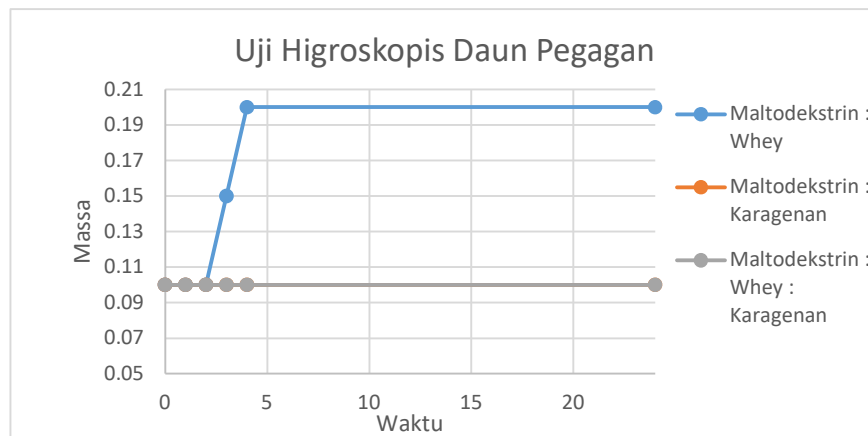
Kadar mineral terendah dalam enkapsulasi daun pegagan ditemukan pada bahan penyalut yang terdiri dari maltodekstrin, kappa karagenan, dan whey protein isolate, yaitu sebesar 1,33%. Sementara itu, kadar abu terendah dalam enkapsulasi daun kelor terdapat pada variasi bahan penyalut yang sama, dengan nilai sebesar 1,4%. Tingkat kemurnian dan kualitas enkapsulasi daun kelor dan daun pegagan yang lebih tinggi ditunjukkan oleh kadar abu yang rendah. Mineral yang terlepas dari bahan dan terkait dengan pelarut juga memiliki kadar abu yang rendah, yang memungkinkan mereka untuk terbuang dan larut dalam air. Berdasarkan penelitian dari (Permatasari, Purwadi and Thohari, 2010) enkapsulasi daun pegagan yang teren kapsulasi dengan gelatin memiliki kadar abu yang paling rendah pada kadar gelatin 6% yaitu sebesar 0.08%.

4.5.3. Uji Higroskopis Produk Hasil Enkapsulasi

Pengujian higroskopis dilakukan dengan mengamati perubahan berat dan warna sampel, seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.41 dan 4.42.



Gambar 4. 41 Grafik Uji Higroskopis pada Bubuk Enkapsulasi Daun Kelor

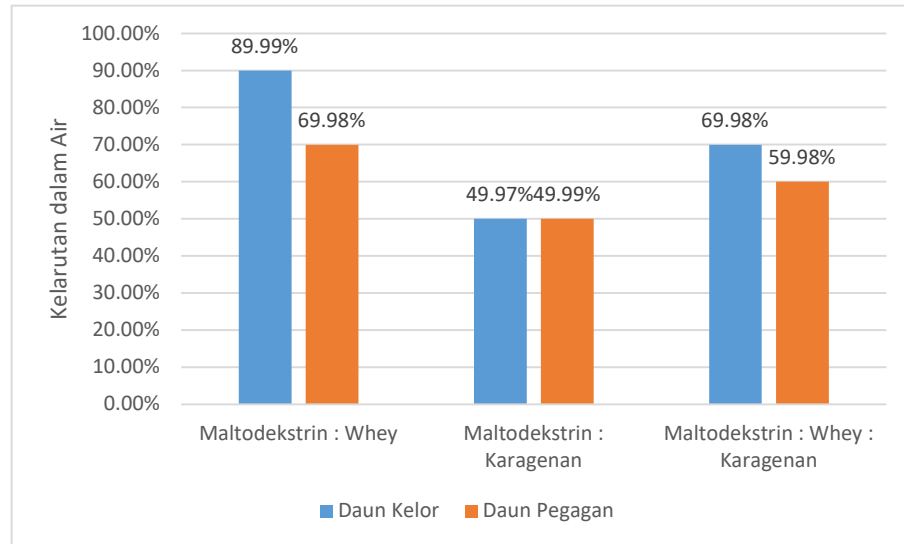


Gambar 4. 42 Grafik Uji Higroskopis pada Bubuk Enkapsulasi Daun Pegagan

Gambar di atas menunjukkan bahwa bubuk enkapsulasi daun kelor dan daun pegagan yang paling higroskopis terdapat pada bahan penyalut maltodekstrin dan kappa karagenan serta variasi kombinasi ketiga bahan penyalut, hal ini karena tidak terjadi penambahan massa bobot pada kedua variasi bahan penyalut tersebut selama 24 jam. Setelah 24 jam, massa 0,1 gram ditambahkan ke bahan penyalut maltodekstrin dan whey protein isolate. Perbedaan tekanan uap air yang signifikan antara fase padat dan cair terjadi karena bubuk menjadi lebih higroskopis ketika kadar air berkurang (Purnomo, Khasanah and Anandito, 2014).

4.5.4. Uji Kelarutan terhadap Air Produk Hasil Enkapsulasi

Hasil analisis kelarutan terhadap air pada enkapsulasi ekstrak daun kelor dan pegagan dapat dilihat pada gambar 4.43.

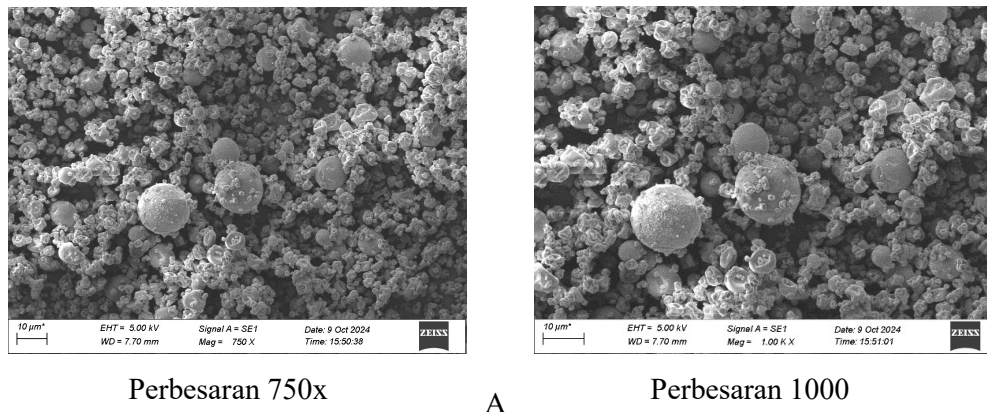


Gambar 4. 43 Grafik Kelarutan terhadap Air Kombinasi Bahan Penyalut

Gambar di atas menunjukkan bahwa kelarutan yang paling tinggi terdapat pada sampel enkapsulasi daun kelor variasi bahan penyalut maltodekstrin dan *whey protein isolate* adalah 89.99% dan pada sampel enkapsulasi daun pegagan yaitu sebesar 69.98%. Hal ini disebabkan oleh penggunaan maltodekstrin dan *whey protein isolate* menyebabkan kelarutan semakin meningkat dibandingkan dengan variasi bahan penyalut maltodekstrin dan kappa karagenan, di mana sifat kappa karagenan memungkinkannya membentuk gel dalam air, membuatnya sulit larut dalam air. Penelitian ini sejalan dengan penelitian dari (Sadiah and Indiarto, 2022), penggunaan maltodekstrin dan whey protein isolate sebagai bahan penyalut dengan proporsi maltodekstrin yang lebih rendah dapat meningkatkan kelarutan. Menurut (Keogh and O’Kennedy, 1999) *whey* adalah emulsifier yang baik yang dapat membantu peleburan zat dalam suspensi dalam fase air dan minyak sehingga penggunaan whey akan mempercepat pelarutan mikrokapsul yang akan digunakan pada makanan.

4.5.5. Morfologi Analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Karakteristik mikrokapsul ekstrak serbuk daun *Centella Asiatica* dan *Moringa Oleifera*, seperti retensi, stabilitas penyimpanan, perlindungan bahan pelapis, dan laju pelepasan bahan aktif, dipengaruhi oleh morfologi permukaan mikrokapsul melalui penggunaan *Scanning Electron Microscope* (SEM) (Yuliani, Desmawarni and Harimurti, 2007). Pada penelitian ini digunakan teknik SEM untuk mengetahui struktur mikroenkapsulan dari sampel dan variasi terbaik, yakni daun pegagan dan daun kelor dengan penyalut maltodekstrin dan kappa karaagenan. Hasil SEM dari semua formula dapat terlihat pada gambar dibawah ini.



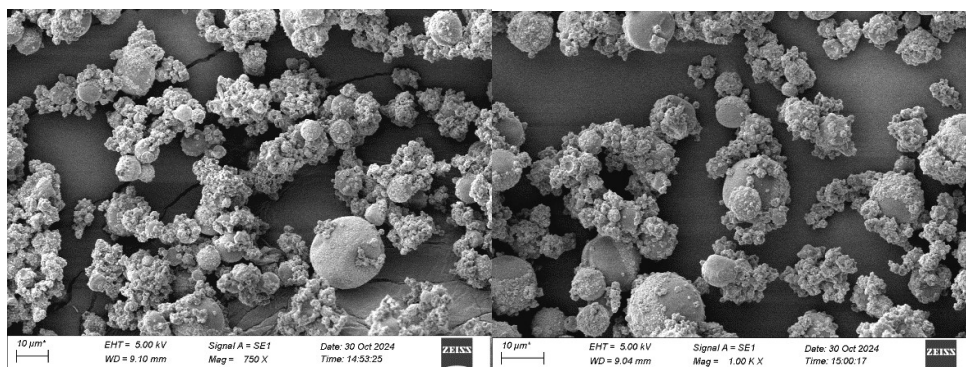
Gambar 4. 44 Morfologi Analisis SEM daun pegagan (*Centella asiatica*) dengan perbesaran 750x dan 1 000x

Berdasarkan gambar 4.44 keadaan morfologi dari serbuk daun pegagan (*Centella asiatica*) memperlihatkan distribusi ukuran partikel yang hampir seragam dan memiliki bentuk permukaan yang tidak rata, memiliki cekungan-cekungan pada permukaannya, tidak adanya retakan dan teraglomerasi. Hasil ini sama dengan hasil penelitian terdahulu seperti pada gambar 2.5 (B). 3 tipe pada mikroenkapsulasi yaitu, mononuklir, polinuklir dan matriks. Dapat dilihat pada gambar 4.44 menghasilkan tipe matriks dan tidak beraturan pada seluruh permukaan mikrokapsul. Bahan inti terdispersi merata dalam bahan penyalutnya merupakan tipe matriks mikrokapsul (Sucianti, Nurhaeni and Hardi, 2020).

Menurut penelitian (Septevani, Sondari and Ghozali, 2013) terkait bentuk permukaan yang memiliki cekungan dan berkerut itu akibat (*Spray dryer*). Hal ini dikarenakan adanya perbedaan suhu umpan dan suhu operasi, dimana umpan

larutan emulsi zat terenkapsulasi yaitu suhu kamar dengan suhu operasi diatas 100°C saat di *spray drayer* akibatnya penguapan air meningkat lebih cepat sebagian permukaan memiliki cekungan dan berkerut. Gambar 4.44 bentuk permukaan yang memiliki cekungan dan berkerut sesuai dengan hasil literature terdahulu seperti pada gambar 2.5 (a). Tekanan pada suhu pemanasan *spray drying* tidak mampu ditahan oleh enkapsulan maltodekstrin (Yuliani, Desmawarni and Harimurti, 2007). Gambar 4.43 juga menunjukkan bentuk agregat, yakni antara partikel satu dengan yang lain terjadi penggumpalan. Jumlah agregat meningkat dengan adanya penambahan karageenan karena adanya double helix (pilihan ganda) (Suryani, Santoso and Rusli, 2015). Pernyataan ini sesuai dengan hasil riset terdahulu pada gambar 2.5.

Pada perbesaran 750x partikel serbuk memiliki diameter sebesar $0,083\mu\text{m}$ hingga $3,937\mu\text{m}$, sedangkan pada perbesaran 1000x partikel serbuk memiliki diameter $0,061$ hingga $5,058\mu\text{m}$. Proses pengeringan menyebabkan distribusi ukuran partikel yang tidak merata (Nining, Suwandi and Wikarsa, 2017). Adanya perbedaan ukuran partikel bergantung pada banyaknya penyalut. Ukuran partikel semakin besar apabila bahan inti lebih sedikit dibanding jumlah penyalut disebabkan oleh ketebalan dinding mikrokapsul yang meningkat. Secara keseluruhan hasil yang di dapatkan mampu memenuhi syarat untuk ukuran partikel mikrokapsul yakni dengan ukuran partikel $1\text{-}1000\mu\text{m}$ (Sucianti, Nurhaeni and Hardi, 2020).



Gambar 4. 45 Morfologi Analisis SEM daun kelor (*Moringa oleifera*) dengan perbesaran 750x dan 1 000x

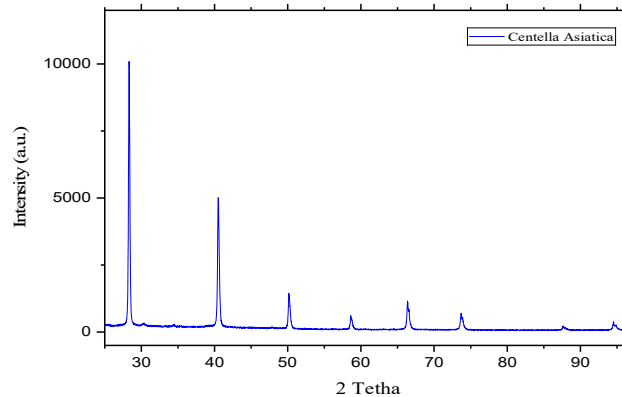
Gambar 4.45 keadaan morfologi dari serbuk daun kelor (*Moringa Oleifera*) menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel yang tidak beraturan dan memiliki bentuk permukaan yang tidak rata (bergigi), serta lubang yang tidak beraturan dan teraglomerasi. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu pada gambar 2.6 (A). Permukaan bergigi dari sampel dikaitkan dengan penyusutan selama proses pengeringan (Janiszewska and Witrowa-Rajchert, 2009). Tidak adanya retakan dan kerusakan pada mikrosfer berperan dalam memastikan perlindungan dan retensi yang lebih besar dari ekstrak mikroenkapsulasi (Alves *et al.*, 2017). Gambar 4.44 juga menunjukkan bahwa sampel membentuk aglomerat, yaitu terjadinya partikel kecil yang terletak di permukaan partikel yang lebih besar. Hal ini memberikan senyawa mikroenkapsulasi dengan stabilitas yang ditingkatkan karena partikel luar melindungi yang dalam (Alves *et al.*, 2017). Morfologi mikrokapsul bergantung pada beberapa parameter pengeringan, termasuk komposisi formulasi, suhu pengeringan, pelarut yang digunakan dan laju pengeringan (Kosaraju, D'ath and Lawrence, 2006).

Pada perbesaran 750x partikel serbuk memiliki diameter sebesar 0,083 μm hingga 4,138 μm , sedangkan pada perbesaran 1000x partikel serbuk memiliki diameter sebesar 0,061 hingga 4,953 μm . Proses pengeringan menyebabkan distribusi ukuran partikel yang tidak merata (Nining, Suwandi and Wikarsa, 2017). Adanya perbedaan ukuran partikel bergantung pada banyaknya penyalut. Ukuran partikel semakin besar apabila bahan inti lebih sedikit dibanding jumlah penyalut disebabkan oleh ketebalan dinding mikrokapsul yang meningkat. Secara keseluruhan hasil yang di dapatkan mampu memenuhi syarat untuk ukuran partikel mikrokapsul yakni dengan ukuran partikel 1-1000 μm (Sucianti, Nurhaeni and Hardi, 2020).

4.5.6. Analisis Difraksi Sinar-X (XRD)

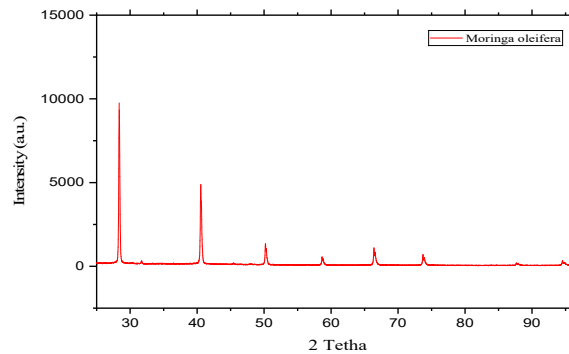
Analisa difraksi sinar-X mengukur pola struktur, karakteristik dan kristalinitas senyawa penyusun yang ada dalam mikrokapsul (Zanetti *et al.*, 2019). Kristalinitas yang diukur dapat mempengaruhi stabilitas mikrokapsul yang terbentuk (Premi and Sharma, 2017). Dengan jarak 2 θ kristalinitas daun pegagan dan daun kelor di analisa. Analisa XRD dilakukan pada sampel terbaik yaitu daun

pegagan dan daun kelor dengan bahan penyalut maltodekstrin dan kappa karagenan dengan pengeringan *Spray dryer*, didapatkan hasil analisa XRD daun pegagan pada gambar 4.46 dan daun kelor pada gambar 4.47.

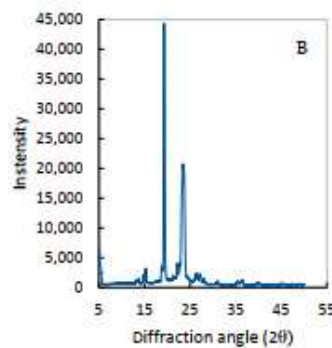


Gambar 4. 46 Hasil XRD Daun Pegagan

Hasil analisa XRD pada sampel enkapsulasi daun pegagan (*Centella Asiatica*) menunjukkan puncak puncak peak yang mengindikasi adanya fasa kristalinitas. Puncak kristalinitas terlihat pada sudut $28,367^\circ$; $40,538^\circ$; $50,194^\circ$; $58,653^\circ$; $66,402^\circ$; $73,725^\circ$; $87,945^\circ$; $94,538^\circ$. Puncak yang menyebar luas menunjukkan sifat amorf sekitar 29° hingga 39° , 41° hingga 49° , 51° hingga 57° 60° sampai 65° , 68° sampai 73° , 75° sampai 93° . Secara keseluruhan, pola xrd menunjukkan bahwa mikrokapsul secara struktural kristal. Sifat kristal amorf dapat membantu pelepasan senyawa aktif serta meningkatkan kelarutan dalam air (Dadi *et al.*, 2020) dan dapat mempengaruhi stabilitas penyimpanan mikrokapsul (Sarabandi *et al.*, 2019). Struktur XRD daun pegagan Kristalinitas daun pegagan serbuk sebesar 76%.



(a)



(b)

Gambar 4. 47 (a) Hasil X-Ray Diffraction Enkapsulasi Daun Kelor (*Moringa oleifera*) (b) Penelitian (Tafu and Jideani, 2021)

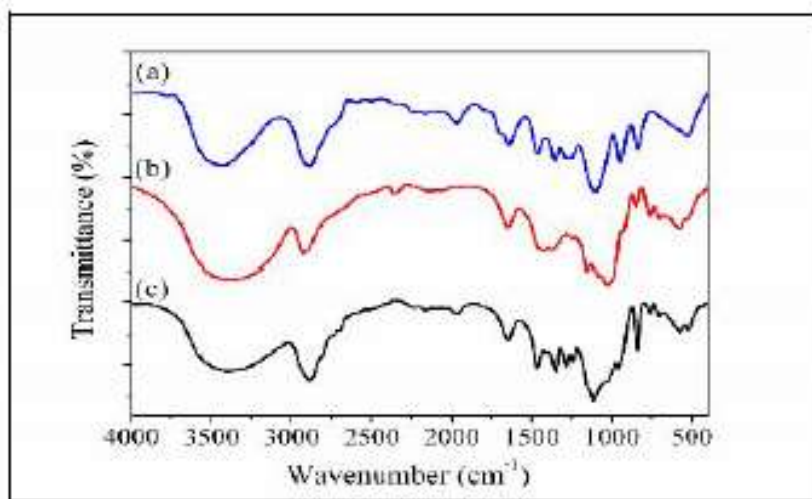
Gambar 4.47 (a) menunjukkan difraktogram daun kelor dengan dua puncak difraksi utama, sangat intens dan jelas terlihat pada sudut 2θ : $28,326^\circ$; $40,498^\circ$ dan beberapa puncak kecil di 2θ : $50,154^\circ$; $58,633^\circ$; $66,382^\circ$; $73,705^\circ$; $87,661^\circ$; $94,518^\circ$. Puncak yang menyebar luas menunjukkan sifat amorf sekitar 29° hingga 39° , 41° hingga 49° , 51° hingga 57° , 60° sampai 65° , 68° sampai 73° , 75° hingga 87° , 89° hingga 94° . Secara keseluruhan, pola xrd menunjukkan bahwa mikrokapsul secara struktural semi-kristalin atau sebagian amorf dan kristalinitas daun kelor serbuk sebesar 75%. Hasil ini sesuai dengan penelitian (Tafu and Jideani, 2021) yang menghasilkan pola XRD semi-kristalin atau sebagian amorf seperti pada gambar 4.47 (b).

Tabel 4. 10 Komposisi Enkapsulasi daun pegagan dan daun kelor serbuk

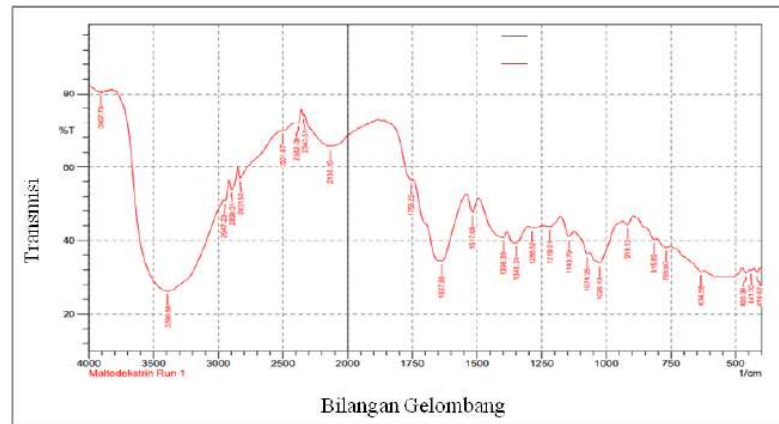
Variasi Sampel	2 Tetha (θ)
Daun Pegagan Serbuk	28,367 ; 40,538 ; 50,194 ; 58,653 ; 66,402 ; 73,725 ; 87,945 ; 94,538
Daun Kelor Serbuk	28,326 ; 40,498 ; 50,154 ; 58,633 ; 66,382 ; 73,705 ; 87,661 ; 94,518

4.5.7. Analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

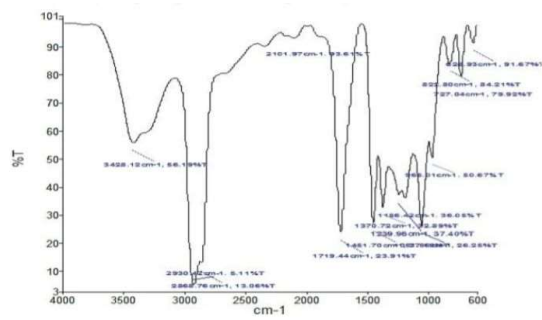
Gugus fungsi yang khas dari suatu senyawa diidentifikasi dan dianalisis dengan FT-IR (Sanjiwani *et al.*, 2020). FTIR dilakukan dalam rentang 4000-400 cm^{-1} . Setelah dilakukan pengujian dengan menggunakan spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infrared*) dihasilkan grafik enkapsulasi dengan penyalut maltodekstrin dan kappa karagenan daun pegagan pada gambar 4.50.



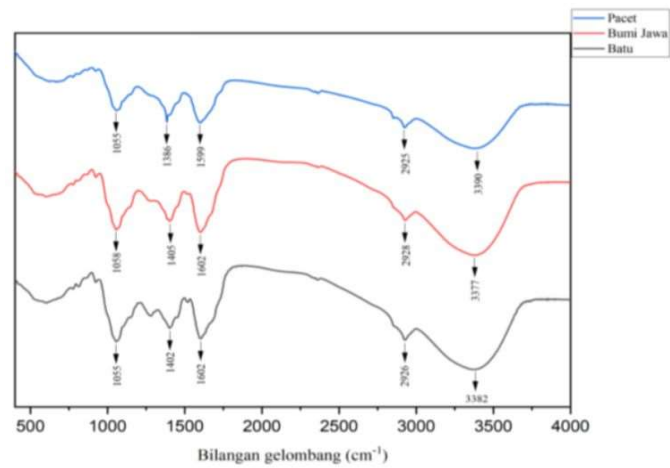
(a)



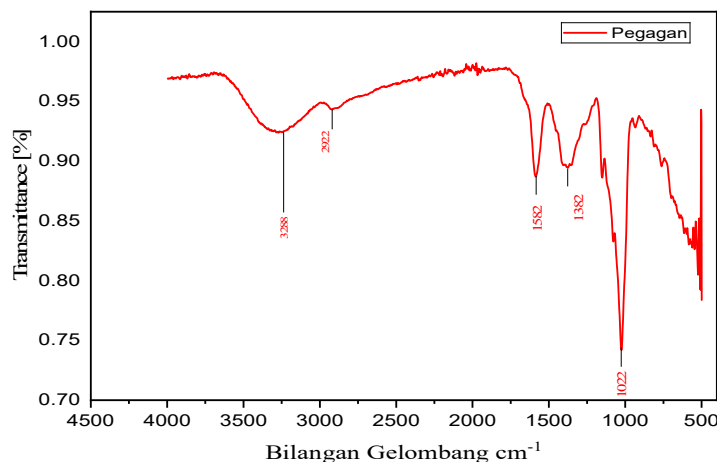
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4. 48 Hasil Spektroskopi FTIR (a) Maltodekstrin (b) Kappa Karagenan (c) Penelitian (Pratiwi Dyah Indriyani, Tyas Prasetyaningrum and Lisa Adhani, 2023) (d) penelitian (Nilasari, Rafi and Mulyati, 2022) (e) Enkapsulasi Daun Pegagan Penyalut Maltodekstrin Dan Kappa Karagenan

Pada gambar 4.48 (a) Maltodekstrin memiliki gugus fungsi $-OH$ pada panjang gelombang $3600-3200\text{ cm}^{-1}$. Pada panjang gelombang 2928 cm^{-1} merupakan gugus $C-H$ *stretch* dari gugus $-CH_2$. Gugus $C-O$ *stretch* dari gugus $C-O-C$ pada panjang gelombang 1274 cm^{-1} . Pada panjang gelombang 1019 cm^{-1} terdapat gugus $C-H$ *stretch* dari gugus *pyran ring* dan gugus $O-H$ *stretch* dari gugus α -*Glycosidic bond*. Pada gambar 4.48 (b) kappa karagenan dari *eucheuma cottonii* yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan spektrum 1264 cm^{-1} untuk ester sulfat, $928,76\text{ cm}^{-1}$ untuk 3,6-anhydrogalaktosa, dan $847,74\text{ cm}^{-1}$ untuk galaktosa-4-sulfat. Pada gambar 4.48 (e) hasil FTIR daun pegagan memiliki nilai puncak tertinggi yaitu pada puncak 3288 cm^{-1} didasarkan pada literature dengan rentang panjang gelombang $3400-3200\text{ cm}^{-1}$ merupakan gugus hidroksil polimer $O-H$ *stretch* dari H, karakteristik dari polifenol (Biosci, Karthika and Vijayakumar, 2023). Ini menunjukkan bahwa adanya senyawa fenolik dalam ekstrak daun pegagan. Fenolik adalah senyawa cicin benzene aromatic dengan satu atau lebih gugus hidroksil, terutama di sintesis oleh tanaman sebagai pertahanan terhadap

serangan pathogen, tanaman yang kaya akan fenolik berfungsi sebagai sumber antimikroba yang sangat baik (Chandra, 2019). Puncak gelombang tertinggi ini berbeda dengan beberapa penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada gambar 4.28 (c dan d), dimana penelitian (Nilasari, Rafi and Mulyati, 2022) yang menghasilkan puncak 3377 cm^{-1} berbeda pula dengan penelitian (Pratiwi Dyah Indriyani, Tyas Prasetyaningrum and Lisa Adhani, 2023) dengan puncak 3428 cm^{-1} . Meskipun demikian FTIR penelitian ini masih dalam rentang yang sama dengan penelitian terdahulu.

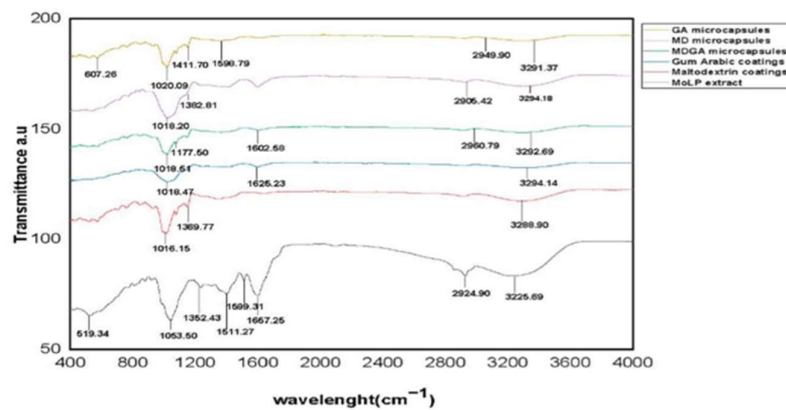
Terdapat vibrasi *stretch* C-H (alfatik) pada puncak 2922 cm^{-1} (Gulu, Jideani and Jacobs, 2019). Pada puncak 1582 cm^{-1} terdapat gugus C=C-C sesuai dengan literature pada gelombang $1590\text{-}1650\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan adanya cincin aromatik. Gugus fungsi serapan dari bengkokan O-H golongan senyawa fenol pada puncak 1382 cm^{-1} yang didasarkan pada literatur dengan rentang gelombang $1410\text{-}1310\text{ cm}^{-1}$ (Nilasari, Rafi and Mulyati, 2022). Pada puncak 1022 cm^{-1} yaitu C-O (ester) (Pratiwi Dyah Indriyani, Tyas Prasetyaningrum and Lisa Adhani, 2023). Hasil grafik FTIR enkapsulasi daun pegagan ini sudah sesuai dengan literature pada gambar 4.50 (c,d).

Tabel 4. 11 Analisis FTIR Serbuk Daun Pegagan

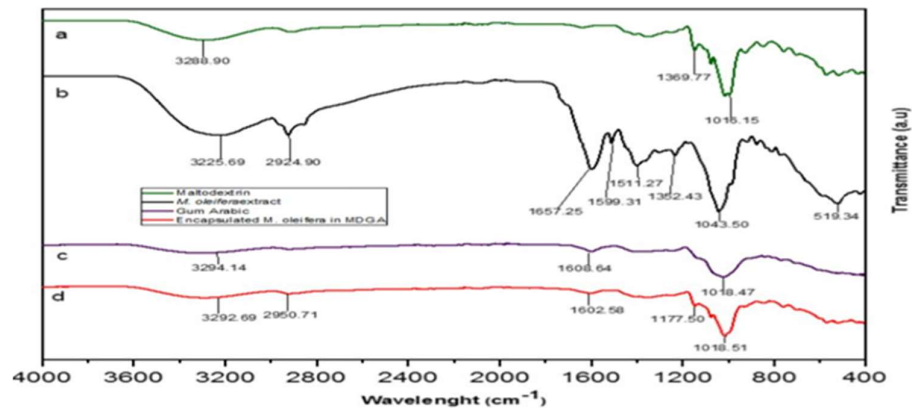
Region	Wavenumber (cm^{-1})	Grouping	Referensi
1	3288 cm^{-1}	O-H <i>stretching</i> N-H <i>stretching (aliphatic primary amine)</i>	(Biosci, Karthika and Vijayakumar, 2023)
2	2922 cm^{-1}	C-H <i>stretching (Alkanes)</i>	(Gulu, Jideani and Jacobs, 2019)
3	1583 cm^{-1}	C=C-C	(Lionetto <i>et al.</i> , 2012)

4	1370 cm^{-1}	O-H <i>stretch</i> (golongan senyawa fenol)	(Nilasari, Rafi and Mulyati, 2022)
5	1022 cm^{-1}	C-O (<i>ester</i>)	(Pratiwi Dyah Indriyani, Tyas Prasetyaningrum and Lisa Adhani, 2023)

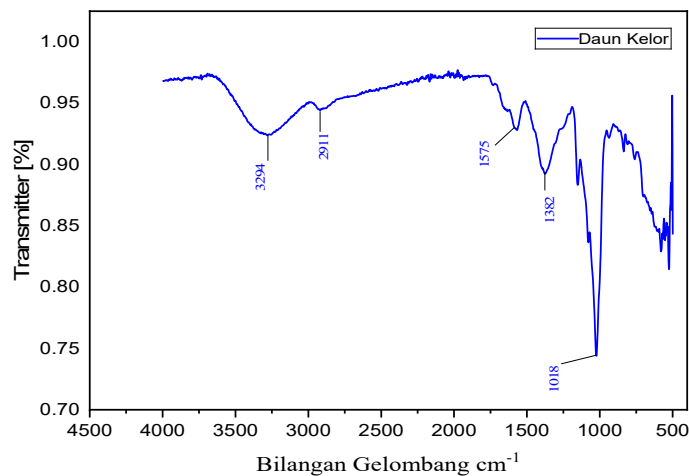
Setelah dilakukan pengujian dengan menggunakan spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infrared*) dihasilkan grafik enkapsulasi daun kelor dengan penyalut maltodekstrin dan kappa karagenan pada gambar 4.49 (c) dan pada penelitian terdahulu (George et al., 2021) dengan penyalut gum arab dan maltodekstrin pada gambar 4.49 (a).



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 49 (a) Hasil Spektroskopi FTIR Enkapsulasi Daun Kelor dengan penyalut Gum Arab dan Maltodekstrin Penelitian (George et al., 2021) (b) penelitian (Paramita *et al.*, 2022) (c) Hasil Spektroskopi FTIR Enkapsulasi Daun Kelor Enkapsulasi Maltodekstrin dan Kappa Karagenan

Hasil FTIR daun kelor memiliki nilai puncak tertinggi yaitu pada puncak 3294 cm^{-1} didasarkan pada literature dengan rentang panjang gelombang $3400\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$ merupakan gugus hidroksil polimer O-H stretch dari H, karakteristik dari polifenol (Biosci, Karthika and Vijayakumar, 2023). Ini menunjukkan bahwa adanya senyawa fenolik dalam ekstrak daun pegagan. Fenolik adalah senyawa cicin benzene aromatic dengan satu atau lebih gugus hidroksil, terutama di sintesis oleh tanaman sebagai pertahanan terhadap serangan pathogen, tanaman yang kaya akan

fenolik berfungsi sebagai sumber antimikroba yang sangat baik (Chandra, 2019). Hasil ini berbeda dengan beberapa penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada gambar 4.49 (a), dimana penelitian (George *et al.*, 2021) yang menghasilkan puncak 3225 cm^{-1} berbeda pula dengan gambar 4.49 (b) penelitian (Paramita *et al.*, 2022) menghasilkan puncak 3256 cm^{-1} . Meskipun demikian hasil FTIR penelitian ini masih dalam rentang puncak yang sama dengan penelitian terdahulu. Terdapat vibrasi *stretch* C-H (alfatik) pada puncak 2911 cm^{-1} didasarkan pada literature dengan rentang panjang gelombang $2900\text{--}2950$ (Gulu, Jideani and Jacobs, 2019).

Gugus fungsional C-N, N-H, C-C, C=O dan N-C dari Amide II (*protein groups*) terdeteksi pada panjang gelombang 1582 cm^{-1} didasarkan pada literatur dengan rentang gelombang $(1510\text{--}1590)\text{ cm}^{-1}$ (Paramita *et al.*, 2022). Gugus fungsi serapan dari puncak 1382 cm^{-1} yang didasarkan pada literatur yaitu (aromatic C=O, C=N, NH dan C=C vibrasi *stretch* aromatik (George *et al.*, 2021). Pada puncak 1018 cm^{-1} terindikasi gugus C-C dan C-O *stretch* (Kang *et al.*, 2019) ; (Zanetti *et al.*, 2019).

Tabel 4. 12 Analisis FTIR Serbuk Daun Kelor

Region	Wavenumber (cm^{-1})	Grouping	Referensi
1	3294 cm^{-1}	O-H <i>stretching</i> N-H <i>stretching</i> (<i>aliphatic primary amine</i>)	(Biosci, Karthika and Vijayakumar, 2023)
2	2911 cm^{-1}	C-H <i>stretching</i> (<i>Alkanes</i>)	(Gulu, Jideani and Jacobs, 2019)
3	1582 cm^{-1}	C-N, N-H, C-C, C=O dan N-C (Amida II Protein groups)	(Paramita <i>et al.</i> , 2022)
4	1382 cm^{-1}	<i>aromatic</i> C=O, C=N, NH dan C=C vibrasi <i>stretch</i> aromatik	(George <i>et al.</i> , 2021)
6	1018 cm^{-1}	C-C dan C-O <i>stretch</i>	(Kang <i>et al.</i> , 2019) ; (Zanetti <i>et al.</i> , 2019)

4.5.8. Uji Antioksidan

Aktivitas antioksidan diukur menggunakan metode DPPH, yang praktis, cepat, dan memerlukan sampel dalam jumlah kecil. Larutan radikal bebas 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) mengandung atom nitrogen yang tidak berpasangan. Pengukuran aktivitas antioksidan dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS. (Yahya and Nurrosyidah, 2020). Persentase penurunan intensitas warna DPPH, juga dikenal sebagai persen inhibisi merupakan cara untuk mengukur aktivitas penangkalan radikal bebas. Persentase inhibisi atau % inhibisi mengukur seberapa efektif senyawa antioksidan dalam sampel menyerap radikal bebas pada konsentrasi larutan uji. Hasil uji antioksidan pada sampel enkapsulasi ekstrak daun kelor dan daun pegagan dengan kombinasi bahan penyalut maltodekstrin dan kappa karagenan dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$\text{Aktivitas Antioksidan (\% Discoloration)} = 1 - \left(\frac{At_i}{At_0} \right) \times 100$$

Tabel 4. 13 Uji Aktivitas Antioksidan

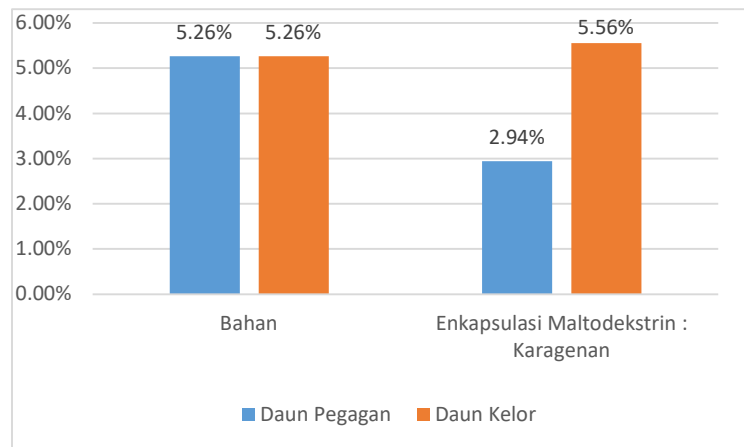
Nama Sampel	Absorbansi	Aktivitas Antioksidan
		% Discoloration
Enkapsulasi Daun Pegagan	0.4416	77.255
	0.4429	76.01
	0.4266	91.615
Enkapsulasi Daun Kelor	0.4841	80.454
	0.4874	73.502
	0.4928	62.128

Tabel 4.13 menunjukkan aktivitas antioksidan rerata yang terdapat pada enkapsulasi daun pegagan yaitu sebesar 81,62%. Sedangkan aktivitas antioksidan rerata pada enkapsulasi daun kelor yaitu sebesar 72,041%. Pengolahan ekstrak daun kelor selama enkapsulasi menyebabkan kandungan antioksidan bubuk enkapsulasi turun. Hal ini sesuai dengan penelitian (Saloko, Handito and Aeni, 2020) yang menyatakan bahwa pengeringan menggunakan suhu tinggi dapat mengurai senyawa fenol sehingga kemampuannya sebagai antioksidan menurun. Meskipun demikian, penurunan aktivitas antioksidan yang tidak signifikan serta tetap berada

dalam golongan antioksidan kuat masih dapat digunakan pada bahan pangan. Penelitian ini tidak sejalan dengan penelitian dari (Saloko, Handito and Aeni, 2020), dimana aktivitas antioksidan enkapsulasi ekstrak daun pegagan pada penelitian ini adalah sebesar 74.4%, hal ini karena penggunaan *freeze drying* untuk pengeringan, sehingga aktivitas antioksidan meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi maltodekstrin. Selain itu penelitian dari (Purwandari *et al.*, 2022) menyatakan aktivitas antioksidan pada enkapsulasi ekstrak daun kelor sebesar 81%, hal ini disebabkan penelitian ini menggunakan kitosan dan NaTPP sebagai bahan penyalut, yang bahan penyalut tersebut juga memiliki aktivitas antioksidan.

4.6. Perbandingan Kadar Air Bahan dan Bubuk Enkapsulasi Ekstrak daun Kelor dan Pegagan

Kadar air merupakan kriteria penting untuk menentukan kondisi penyimpanan dan umur simpan produk makanan yang di *filler*. Menurut standar produk bahan pangan yang memiliki stabilitas tinggi kadar airnya <6%. Perbandingan kadar air bahan dan enkapsulasi ekstrak daun kelor dan pegagan terdapat pada gambar 4.50.



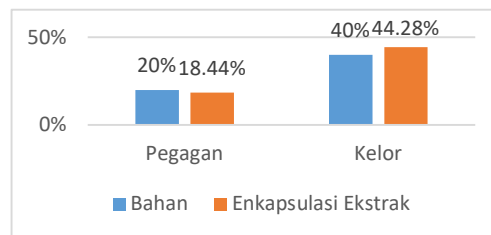
Gambar 4. 50 Perbandingan Kadar Air Bahan dan Enkapsulasi

Gambar di atas menunjukkan bahwa kadar air pada bubuk pegagan dan daun kelor adalah 5.26%, sedangkan bubuk enkapsulasi daun pegagan kadar airnya sebesar 2.94% dan enkapsulasi ekstrak daun kelor yaitu sebesar 5.56%. Hal ini menggambarkan bahwa bubuk enkapsulasi daun pegagan dan daun kelor

mempunyai stabilitas penyimpanan lebih bagus dibandingkan dengan bubuk daun pegagan dan daun kelornya saja. Dengan penambahan bahan penyalut, total padatan bahan menjadi lebih tinggi. Semakin tinggi total padatan yang dikeringkan, semakin cepat proses penguapan, yang menyebabkan kadar air menjadi lebih rendah. (Purnomo, Khasanah and Anandito, 2014).

4.7. Perbandingan Kadar Abu Bahan dan Enkapsulasi Ekstrak Daun Kelor dan Daun Pegagan

Kadar abu sebagai parameter kandungan mineral yang terdapat pada sampel. Perbandingan kadar abu bahan dan enkapsulasi ekstrak dapat dilihat pada gambar 4.51.



Gambar 4. 51 Grafik Perbandingan Bahan dan Enkapsulasi Ekstrak Daun Pegagan dan kelor

Gambar di atas menunjukkan bahwa kadar abu pada enkapsulasi ekstrak daun kelor dan pegagan lebih rendah dibandingkan bubuk daun pegagan dan kelor yaitu sebesar 18.44% dan 44.28% dibandingkan dengan bubuk pegagan dan kelor. Hal ini terjadi karena pada bubuk daun pegagan dan kelor masih terdapat kandungan mineral yang tinggi (Sartian, Hermanto and Asyik, 2024).