

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Ketebalan

Hasil rata-rata ketebalan *edible film whey* dengan penambahan ekstrak daun kelor dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rataan Uji Ketebalan *Edible Film* (mm)

Perlakuan	Rata – rata
A	0,20 ^d
B	0,16 ^c
C	0,12 ^b
D	0,11 ^b
E	0,08 ^a

Keterangan : Superskrip yang berbeda menunjukkan pengaruh berbeda nyata ($P < 0,05$).

Dari tabel 3, terlihat rata-rata ketebalan *edible film whey* dengan penambahan ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) berkisar antara 0.08 – 0.20 mm. Dimana ketebalan tertinggi adalah perlakuan A dan ketebalan terendah pada perlakuan E. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa penambahan ekstrak berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap ketebalan *edible film whey*.

Berdasarkan hasil uji lanjut DMRT menunjukkan bahwa perlakuan A berbeda nyata ($P < 0,05$) terhadap perlakuan B, C, D dan E. Perlakuan B berbeda nyata ($P < 0,05$) terhadap perlakuan A, C, D dan E. Perlakuan C tidak berbeda nyata ($P > 0,05$) terhadap perlakuan D, namun berbeda nyata ($P < 0,05$) terhadap perlakuan A, B dan E. Perlakuan D berbeda tidak nyata ($P > 0,05$) terhadap perlakuan C, tetapi berbeda nyata ($P < 0,05$) terhadap perlakuan A, B dan E. Perlakuan E berbeda nyata ($P < 0,05$) terhadap perlakuan A, B, C dan D.

Penambahan ekstrak daun kelor pada *edible film whey* menghasilkan ketebalan yang menurun seiring meningkatnya konsentrasi ekstrak yang ditambahkan. Perlakuan A (0%) sebagai kontrol menghasilkan ketebalan tertinggi

yaitu sebesar 0,20 mm dibandingkan dengan perlakuan E (0,8%) dengan konsentrasi paling tinggi menghasilkan ketebalan paling rendah yaitu sebesar 0,08 mm. Penurunan ketebalan berkaitan dengan berkurangnya padatan terlarut dalam larutan pembentuk *film*. Temuan ini sejalan dengan penelitian Rezeki dkk. (2025), pada *film* kitosan-alginat dengan ekstrak kelor, dimana ketebalan menurun dari 0,043 mm menjadi 0,041 mm akibat berkurangnya padatan terlarut dalam larutan *film*.

Selain itu, sesuai dengan penelitian Kola dan Carvalho (2023), menyatakan bahwa penelitian chitosan dengan ekstrak sage dan rosemary, dimana ketebalan *film* menurun signifikan dari 0,056 mm menjadi 0,026 mm akibat interaksi polifenol dengan matriks polimer. Senyawa bioaktif dalam ekstrak tanaman tersebut mampu membentuk ikatan hidrogen dengan gugus amino dan hidroksil pada protein *whey*, sehingga memperkuat kompaksi matriks polimer. Hal serupa juga dapat terjadi pada penggunaan ekstrak daun kelor, yang kaya akan flavonoid dan tanin. Interaksi senyawa bioaktif ini dengan protein *whey* berpotensi menghasilkan *film* yang lebih rapat dan tipis, sekaligus memberikan aktivitas antioksidan yang mendukung fungsi kemasan pangan aktif.

Peningkatan konsentrasi pada kisaran 0,4% (C) dan 0,6% (D) tidak lagi menyebabkan perubahan struktur matriks yang signifikan. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Nemati *et al.* (2023), *whey* protein *edible film* yang ditambahkan *cumin essential oil* (mengandung fenolik), penambahan ekstrak tersebut tidak menunjukkan perubahan ketebalan yang signifikan meskipun terjadi interaksi antara fenolik dan protein dalam matriks *film*. Selain itu, menurut Kontogianni *et al.* (2022) menyatakan bahwa penelitian *whey* protein dengan

ekstrak rosemary dan sage menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pada ketebalan *film*. Hal ini menandakan bahwa matriks *whey* protein relatif stabil terhadap jenis ekstrak, namun ekstrak kelor memiliki komposisi polifenol yang lebih reaktif sehingga mampu mempengaruhi struktur *film* secara nyata.

Secara umum, seluruh nilai ketebalan masih berada di bawah standar maksimal 0,25 mm sesuai standar JIS (2019), sehingga *edible film* yang dihasilkan memenuhi kriteria ketebalan *edible film* yang sebagai kemasan yang bisa dikonsumsi. Ketebalan merupakan parameter yang penting karena berpengaruh terhadap sifat mekanik dan daya hambat uap air (Esfandiari *et al.*, 2025). *Film* yang terlalu tebal cenderung lebih kaku dan kurang fleksibel, sedangkan *film* yang terlalu tipis berpotensi menurunkan kekuatan mekanik (Baruna, 2019).

4.2 Kadar Air

Nilai rata-rata persentase kadar air *edible film whey* dengan penambahan ekstrak daun kelor dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rataan Uji Kadar Air *Edible Film* (%)

Perlakuan	Rata – rata
A	22,06
B	21,93
C	21,69
D	21,51
E	20,37

Berdasarkan Tabel 4, terlihat bahwa rata-rata kadar air *edible film whey* dengan penambahan ekstrak daun kelor pada perlakuan A sampai dengan perlakuan E berkisar antara 20,37% - 22,06%. Berdasarkan hasil analisa statistik menunjukkan bahwa penambahan ekstrak daun kelor berpengaruh tidak nyata ($P > 0,05$) terhadap kadar air *edible film whey*.

Hasil penelitian menunjukkan penambahan senyawa bioaktif dari ekstrak daun kelor sampai 0,8% dalam formulasi *edible film* tidak mempengaruhi kadar air *film*. Hal ini diduga karena kadar air ekstrak daun kelor yang digunakan relatif lebih rendah yaitu sebesar 15,02% sedangkan kadar air *edible film* yang dihasilkan berkisar antara 20,37% - 22,06%. Dengan demikian, penambahan ekstrak tidak memberikan kontribusi air yang signifikan terhadap matriks *film*. Selain itu, konsentrasi ekstrak yang ditambahkan juga tergolong rendah sehingga tidak mampu mengubah keseimbangan air dalam sistem *film*. Hasil ini sejalan dengan penelitian Juliyarsi *et al.* (2020) penambahan ekstrak kunyit hingga 0,6% pada *edible film whey* tidak berpengaruh nyata terhadap kadar air.

Lebih lanjut, penelitian Juliyarsi *et al.* (2023) dengan penambahan ekstrak rosella hingga konsentrasi 0,6% menunjukkan tidak memberikan perbedaan nyata terhadap kadar air *edible film whey* dibandingkan kontrol, hal ini disebabkan proses ekstraksi rosella melalui pengeringan dan penguapan saat konsentrasi menghasilkan ekstrak kental dengan kadar air rendah, sehingga penambahannya tidak mempengaruhi kadar air. Temuan tersebut sejalan dengan Zul'adhar *et al.* (2024) juga menyatakan bahwa penambahan *whey protein isolate* berbasis kitosan pada *edible film* berpengaruh tidak nyata terhadap kadar air meskipun mempengaruhi sifat fisik lainnya. Hasil ini menunjukkan bahwa kadar air *edible film* lebih dipengaruhi oleh karakteristik matriks penyusun *film* dan jumlah bahan yang digunakan daripada sekadar adanya penambahan bahan aktif.

Kadar air *edible film* lebih banyak dipengaruhi oleh komponen utama penyusunnya seperti protein, CMC dan *plasticizer* gliserol yang bersifat hidrofilik dan mampu mengikat air dalam matriks *film*. Penelitian tentang *edible film*

menunjukkan bahwa keberadaan *plasticizer* seperti gliserol dan bahan hidrokoloid lebih dominan mempengaruhi sifat fisik *film* termasuk kadar air dibandingkan komponen tambahan dalam jumlah kecil. Sesuai dengan penelitian Putri dkk. (2019) menyatakan bahwa *edible film* berbasis pati dengan penambahan CMC sebagai komponen hidrokoloid dan *plasticizer* seperti gliserol memiliki kemampuan mengikat air dan mempengaruhi karakteristik fisik *edible film* secara signifikan.

Kadar air merupakan parameter penting yang menentukan karakteristik fisik dan kualitas *edible film* selama penyimpanan karena berkaitan dengan stabilitas struktur matriks, fleksibel serta potensi pertumbuhan mikroorganisme. Menurut Apriliyani *et al.* (2020), kadar air yang rendah sangat diharapkan agar *edible film* dapat berfungsi secara optimal sebagai kemasan primer dan tidak memicu kerusakan produk secara biologis. Jika dibandingkan dengan standar JIS (2019) yang menetapkan kadar air maksimal sebesar 13%, maka seluruh perlakuan dalam penelitian ini belum memenuhi standar tersebut.

Sejalan dengan penelitian Juliyarsi *et al.* (2020), pada pembuatan *edible film whey* dengan penambahan ekstrak kunyit menghasilkan kadar air berkisar 15,77 – 17,51% yang lebih rendah dibandingkan penelitian ini namun masih berada diatas standar JIS (2019). Perbedaan kadar air antar penelitian dapat dipengaruhi ekstrak yang telah mengalami proses penguapan hingga berbentuk kental memiliki kandungan air lebih rendah, sehingga kontribusi air bebas ke dalam sistem *film* menjadi lebih kecil. Namun demikian, tingginya kadar air pada *edible film whey* dapat disebabkan oleh kemampuan gugus hidroksil pada protein dan *plasticizer*

dalam membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air, sehingga meningkatkan retensi air dalam matriks *film* (Chakravartula *et al.*, 2019).

4.3 Laju Transmisi Uap Air (WVTR)

Hasil rata-rata laju transmisi uap air *edible film whey* dengan penambahan ekstrak daun kelor dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Rataan Laju Transmisi Uap Air *Edible Film* (g/m²/h)

Perlakuan	Rata – rata
A	2,12 ^a
B	2,27 ^a
C	2,32 ^{ab}
D	2,35 ^{ab}
E	2,71 ^b

Keterangan : Superskrip yang berbeda menunjukkan pengaruh berbeda nyata (P<0,05).

Dari Tabel 5, terlihat bahwa rata-rata nilai laju transmisi uap air (WVTR) *edible film* berkisar antara 2,12 – 2,71 g/m²/h. Dimana laju transmisi uap air tertinggi adalah perlakuan E dan ketebalan terendah pada perlakuan A. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa penambahan ekstrak berpengaruh nyata (P<0,05) terhadap laju transmisi uap air *edible film whey*.

Berdasarkan hasil uji lanjut DMRT menunjukkan bahwa perlakuan A berbeda nyata (P<0,05) dengan perlakuan E, akan tetapi tidak berbeda nyata (P>0,05) dengan perlakuan B, C, dan D. Perlakuan B berbeda nyata dengan perlakuan E, akan tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan A, C dan D. Perlakuan C dan D tidak berbeda nyata dengan perlakuan A, B dan E. Perlakuan E berbeda nyata dengan perlakuan A dan B, akan tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan C dan D.

Hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan nilai laju transmisi uap air seiring bertambahnya konsentrasi ekstrak daun kelor. Nilai laju transmisi uap air

tertinggi pada perlakuan E (0,8%) yaitu sebesar 2,71 g/m²/h. Peningkatan ini diduga berkaitan dengan kandungan senyawa bioaktif seperti fenolik dan flavonoid dalam ekstrak daun kelor bersifat hidrofilik. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Farabi dkk. (2023), kandungan ekstrak daun kelor kaya akan senyawa bioaktif polar seperti fenolik dan flavonoid yang larut dalam pelarut etanol, sehingga bersifat hidrofilik. Keberadaan senyawa hidrofilik diduga meningkatkan jarak antar molekul protein dan menurunkan kerapatan struktur, sehingga uap air lebih mudah berdifusi melalui matriks *film*. Hal ini sejalan dengan penelitian Sari. (2022), menunjukkan peningkatan konsentrasi ekstrak daun sirih pada *edible film whey* menyebabkan peningkatan WVTR akibat bertambahnya senyawa hidrofilik matriks *film*.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sari. (2022), perlakuan tanpa penambahan ekstrak dengan konsentrasi 0% menunjukkan nilai WVTR terendah, sejalan dengan penelitian ini dimana laju transmisi uap air terendah pada perlakuan tanpa penambahan ekstrak 0% (A) sebesar 2,12 g/m²/h. Kondisi ini terjadi karena jumlah senyawa hidrofilik yang lebih rendah dalam matriks *film* menyebabkan struktur *film* menjadi lebih rapat dan kompak. Struktur yang lebih padat tersebut meningkatkan hambatan terhadap difusi air, sehingga permeabilitas dan laju transmisi uap air cenderung menurun.

Peningkatan nilai WVTR seiring bertambahnya konsentrasi ekstrak daun kelor berkaitan dengan penurunan ketebalan *edible film* (Tabel 3). Menurut Baruna (2019), *film* yang lebih tipis memiliki jalur difusi yang lebih pendek sehingga hambatan terhadap pergerakan uap air berkurang. Akibatnya laju transmisi uap air cenderung meningkat pada *film* dengan ketebalan lebih rendah. Namun sesuai

dengan standar JIS (2019) yang menetapkan batas maksimum WVTR sebesar 10 g/m²/h seluruh perlakuan dalam penelitian ini masih berada di bawah nilai tersebut. Dengan demikian, *edible film* yang dihasilkan telah memenuhi standar mutu dalam hal kemampuan menghambat transmisi uap air.

4.4 Aktivitas Antioksidan

Hasil rata-rata aktivitas antioksidan *edible film whey* dengan penambahan ekstrak daun kelor dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Rataan Aktivitas Antioksidan *Edible Film* (%)

Perlakuan	Rata – rata
A	11,69 ^a
B	23,98 ^{ab}
C	26,70 ^{ab}
D	30,85 ^b
E	34,80 ^b

Keterangan : Superskrip yang berbeda menunjukkan pengaruh berbeda nyata ($P < 0,05$).

Dari Tabel 6, terlihat bahwa rata-rata aktivitas antioksidan *edible film* berkisar antara 11,69% - 34,80%. Dimana aktivitas antioksidan tertinggi adalah perlakuan E dan ketebalan terendah pada perlakuan A. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa penambahan ekstrak berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap aktivitas antioksidan *edible film whey*.

Berdasarkan hasil uji lanjut DMRT pada parameter aktivitas antioksidan, Perlakuan A berbeda nyata ($P < 0,05$) dengan perlakuan D dan E, akan tetapi tidak berbeda nyata ($P > 0,05$) dengan perlakuan B dan C. Perlakuan B dan C tidak berbeda nyata baik dengan perlakuan A, D dan E. Perlakuan D dan E tidak berbeda nyata dengan perlakuan B dan C, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan A.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat peningkatan aktivitas antioksidan pada *edible film whey* setelah ditambahkan ekstrak daun kelor sampai

dengan konsentrasi 0,8% dibandingkan tanpa penambahan ekstrak daun kelor berkaitan dengan senyawa bioaktif seperti flavonoid, fenolik dan tanin yang terkandung dalam daun kelor (*Moringa oleifera*). Menurut penelitian yang dilakukan Asyura dkk. (2025), ekstrak daun kelor mengandung flavonoid, fenolik dan tanin sebagai komponen dominan yang berperan dalam aktivitas antioksidan. Beberapa flavonoid utama seperti quercetin dan turunan kaempferol glikosida telah diidentifikasi sebagai komponen dominan yang berkontribusi terhadap kemampuan penangkapan radikal bebas pada daun kelor (Llorent-mart *et al.*, 2023). Senyawa polifenol tersebut bekerja dengan cara mendonorkan elektron atau atom hidrogen kepada radikal bebas, sehingga menghentikan reaksi oksidasi berantai yang dapat merusak komponen pangan. Selain itu, kandungan senyawa lain seperti katekin dan asam kafeat dalam ekstrak kelor juga turut mendukung aktivitas antioksidan (Gomes *et al.*, 2025).

Aktivitas antioksidan pada penelitian ini memiliki nilai tertinggi 34,80% pada perlakuan E (0,8%). Temuan ini sejalan dengan penelitian Juliyarsi *et al.* (2020) yang melaporkan bahwa semakin tinggi konsentrasi yang diberikan semakin tinggi aktivitas antioksidan *film*. Selain itu, penelitian Juliyarsi *et al.* (2023) dengan penambahan ekstrak rosella juga terjadi peningkatan aktivitas antioksidan seiring meningkatnya konsentrasi ekstrak. Fenomena tersebut memperkuat bahwa protein *whey* mampu berfungsi sebagai *carrier* senyawa bioaktif tanpa merusak aktivitas antioksidannya dan aktivitas antioksidan meningkat seiring bertambahnya konsentrasi ekstrak.

Menurut penelitian yang dilakukan Nilasari dkk. (2023), penambahan ekstrak daun kelor pada *edible film* pati talas meningkatkan aktivitas antioksidan

secara signifikan. Meskipun perlakuan A (0%) memiliki aktivitas antioksidan (11,69%), hal ini kemungkinan berasal dari *whey* itu sendiri. *Whey* protein diketahui mengandung asam amino sulfur seperti sistein yang memiliki kemampuan antioksidan terbatas (Granda-Restrepo *et al.*, 2014). Namun, penambahan ekstrak daun kelor secara drastis memperkuat sifat fungsional tersebut.

Nilai aktivitas antioksidan dari ekstrak kental daun kelor sebesar 37,85%, sedangkan *edible film* yang ditambahkan ekstrak memiliki nilai aktivitas antioksidan tertinggi 34,80%. Pembuatan *edible film whey* melibatkan pemanasan yang berpotensi menyebabkan sebagian struktur kimia senyawa aktif mengalami kerusakan atau perubahan. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan Singh *et al.* (2022) stabilitas fenolik dapat dipengaruhi kondisi pengolahan termasuk suhu. Selain itu, Singh *et al.* (2022) juga menyatakan bahwa senyawa fenolik dapat berinteraksi dengan protein *whey* melalui ikatan hidrogen atau interaksi non-kovalen, ikatan ini mengikat sebagian gugus hidroksil fenolik yang seharusnya berperan sebagai donor elektron dalam reaksi penangkapan radikal DPPH sehingga mengakibatkan tidak seluruh molekul fenolik tersedia untuk bereaksi.

Secara fungsional, peningkatan aktivitas antioksidan ini menunjukkan bahwa *edible film whey* dengan ekstrak daun kelor berpotensi sebagai kemasan aktif (*active packaging*). *Film* ini tidak hanya berfungsi sebagai pelindung makanan dari pengaruh luar seperti udara dan kelembapan, tetapi juga membantu memperlambat proses oksidasi lemak dan komponen sensitif lainnya pada produk pangan yang dikemas. Sesuai dengan pendapat Lai. (2022), *film* aktif diperkaya antioksidan alami dapat menunda pembentukan produk oksidasi seperti aldehid dan keton yang

menyebabkan bau tengik dan perubahan rasa, sehingga berkontribusi terhadap perpanjangan umur simpan dan stabilitas mutu selama penyimpanan.

