

IV. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Larutan CMC dibuat untuk pengujian sifat fisik dan diaplikasikan sebagai *edible coating* pada *fresh-cut* Apel Manalagi. CMC yang digunakan untuk pengujian sifat fisik dicetak menjadi *edible film* berukuran 10 x 20 cm (Lampiran 4). *Edible film* yang sudah kering dilepas secara hati-hati dari akrilik *glass plate* dan disimpan pada *aluminium foil*. Satu lembar *edible film* dapat dipotong-potong menjadi beberapa bagian untuk parameter uji WVTR, uji kekuatan tarik, uji pemanjangan, uji kemampuan biodegradasi dan uji kelarutan air. CMC yang diaplikasikan untuk *edible coating* pada *fresh-cut* Apel Manalagi bertujuan untuk menguji browning dan aktifitas mikrobia pada apel tersebut.

A. Uji WVTR (*Water Vapor Transmission Rate*)

Water Vapor Transmission Rate (WVTR) atau sering juga disebut *Moisture Vapor Transmission Rate* (MVTR) adalah metode untuk mengukur jumlah uap air yang dapat melewati lapisan kemasan. Satuan unit yang umum dipakai untuk metode ini adalah $\text{g H}_2\text{O}/\text{m}^2/8 \text{ jam}$ (berapa banyak (gram) uap air yang lewat dalam satuan meter persegi dalam 8 jam). Hasil analisis sidik ragam terhadap uji WVTR (Lampiran 2a) menunjukkan bahwa tidak ada interaksi pada konsentrasi CMC dengan konsentrasi minyak atsiri, konsentrasi minyak atsiri tidak menunjukkan beda nyata dan konsentrasi CMC menunjukkan adanya beda nyata. Hasil rerata pengujian WVTR dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian WVTR (g H₂O/m². 8jam)

Perlakuan	Minyak Atsiri					Rerata
	0%	Serai		Kayu Manis		
		0,4%	0,7%	0,4%	0,7%	
CMC 1%	36,1	35,4	34,6	37,0	35,3	35,7a
CMC 1,5%	32,7	33,8	34,3	33,0	32,8	33,3b
Rerata B	34,4	34,6	34,5	35,0	34,0	(-)

Keterangan : angka rerata yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata berdasarkan hasil DMRT pada taraf 5%

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa tidak ada interaksi pada konsentrasi CMC dan konsentrasi minyak atsiri. Nilai WVTR yang cenderung sama diduga karena konsentrasi minyak atsiri yang digunakan pada setiap perlakuan tergolong rendah, sehingga tidak membuat molekul pada CMC merenggang. Maizura *et. al.*, (2008) menyebutkan bahwa minyak atsiri dapat meningkatkan interaksi antar molekul pada *edible film*, namun apabila konsentrasi minyak atsiri dibawah 0,9% maka interaksi antar molekul tidak akan terjadi sehingga molekul dalam *edible film* tetap berikatan kuat. Hal tersebut menunjukkan *edible film* dengan penambahan konsentrasi minyak atsiri dibawah 1% memiliki nilai WVTR yang sama dengan *edible film* tanpa penambahan minyak atsiri.

Tabel 1 menunjukkan bahwa perlakuan yang memberikan pengaruh beda nyata ada pada konsentrasi CMC yang digunakan.. Hal tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi CMC yang digunakan berhubungan dengan kemampuan CMC tersebut menahan laju uap air, namun minyak atsiri tidak berpengaruh terhadap kemampuan CMC menahan laju uap air.

Tabel 1 menunjukkan bahwa ada beda nyata antara perlakuan CMC 1% dengan CMC 1,5%. Rerata pada perlakuan CMC dengan konsentrasi 1,5% memiliki nilai WVTR yang lebih rendah sebesar 33,3 g H₂O/m². 8jam daripada rerata perlakuan dengan CMC 1% yang memiliki nilai WVTR sebesar 35,7 g H₂O/m². 8jam. Nilai WVTR yang rendah menunjukkan bahwa *edible film* tersebut tidak mudah dilalui uap air. Hal tersebut diduga bahwa CMC dengan konsentrasi 1,5% memiliki kerapatan yang tinggi sehingga bisa menahan laju uap air dan CMC dengan konsentrasi 1% memiliki kerapatan yang lebih rendah sehingga mudah dilalui oleh uap air. CMC dengan konsentrasi 1,5% memiliki padatan terlarut yang lebih banyak ketika proses pembuatan dan pencetakan *edible film* daripada CMC dengan konsentrasi 1%. Padatan terlarut CMC yang banyak akan membentuk ikatan hidrogen yang lebih kuat, sehingga menghasilkan struktur *edible film* yang kompak (Polnaya *et. al.*, 2006).

Pada tabel 1, rerata pada berbagai konsentrasi minyak atsiri menunjukkan hasil yang tidak beda nyata. Hal tersebut diduga karena minyak atsiri yang ditambahkan memiliki konsentrasi yang kecil dan tidak memberikan dampak yang signifikan pada *edible film*, sehingga nilai rerata pada tiap konsentrasi minyak atsiri cenderung sama. Menurut Pranoto *et. al.*, (2005) apabila minyak atsiri dengan konsentrasi di bawah 1% dikombinasikan dengan bahan *edible film* yang memiliki konsentrasi diatas 1% tidak akan berpengaruh terhadap nilai WVTR dan kekuatan tarik. Hal tersebut dikarenakan konsentrasi minyak atsiri yang rendah belum mampu meregangkan ikatan molekul pada *edible film*. Konsentrasi minyak atsiri 0%, minyak atsiri Serai 0,4%, minyak atsiri Serai 0,7%, minyak atsiri Kayu

Manis 0,4% dan minyak atsiri Kayu Manis 0,7% tergolong rendah sehingga tidak menyebabkan kerapatan pada *edible film* berkurang. Penelitian yang dilakukan oleh Pranoto *et. al.*, (2005) menyebutkan bahwa minyak atsiri bawang putih dengan berbagai konsentrasi dibawah 0,7% dikombinasikan dengan aginat 1% memiliki nilai WVTR yang cenderung sama pada setiap perlakuan.

Semakin tinggi nilai WVTR maka permeabilitas kemasan juga tinggi, maka semakin banyak uap air yang keluar dari dalam atau masuk ke dalam kemasan (Bayu, 2007). *Edible film* yang baik harus tidak mudah dilewati oleh uap air atau memiliki nilai laju transmisi uap air yang rendah. Struktur *edible film* yang kompak dapat menghambat difusi uap air melalui *edible film* (Rachel dkk., 2012). Menurut Dyah dkk., (2013) tingginya konsentrasi suatu bahan *edible film* akan meningkatkan jumlah polimer pembentuk film dan total padatan sehingga akan terbentuk *edible film* yang tebal. Peningkatan jumlah polimer akan memperkecil rongga dalam gel yang terbentuk, semakin tebal dan rapat matriks film yang terbentuk dapat mengurangi laju uap air karena sulit ditembus oleh uap air. Penelitian yang dilakukan oleh Rachel dkk., (2012) menggunakan CMC dengan konsentrasi antara 0%, 0,25% dan 0,5% dikombinasikan dengan Pati Ubi Jalar 2,5%, 3,5% dan 4,5% menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi dari CMC memiliki kecenderungan menurunnya nilai WVTR *edible film*.

Penelitian yang dilakukan oleh Babak *et. al.*, (2011) menunjukkan bahwa CMC sebesar 1% tanpa pemberian minyak atsiri memiliki nilai WVTR sebesar 20 g H₂O/m². 8jam. Sara *et. al.*, (2011) menyatakan bahwa CMC sebesar 1% dengan penambahan gliserol sebanyak 0,4 gram gliserol menunjukkan nilai WVTR sebesar

15 g H₂O/m². 8jam. Hal tersebut menunjukkan bahwa penelitian yang dilakukan oleh Babak *et. al.*, (2011) dan Sara *et. al.*, (2011) menghasilkan nilai WVTR yang lebih baik dibandingkan dengan CMC 1% yang dikombinasikan dengan minyak atsiri. Laxmikant *et. al.*, (2014) menyebutkan bahwa CMC 1% yang dikombinasikan dengan Alginat 1% memiliki nilai WVTR sebesar 2,90 15 g H₂O/m². 8jam, sedangkan CMC 1,5% yang dikombinasikan dengan Alginat 1% memiliki sebesar 1,26 15 g H₂O/m². 8jam. Hal tersebut menunjukkan bahwa CMC yang dikombinasikan dengan bahan *edible film* yang lain memiliki nilai WVTR lebih kecil dibandingkan CMC yang digunakan secara tunggal maupun dengan kombinasi minyak atsiri.

B. Uji Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Kekuatan tarik (*Tensile Strength*) merupakan sifat mekanik yang penting bagi *edible film*. *Edible film* dengan kekuatan tarik dan pemanjangan yang tinggi akan mampu melindungi produk yang dikemasnya dari gangguan mekanis (Azka dkk., 2015). Hasil analisis sidik ragam terhadap uji kekuatan tarik (Lampiran 2b) menunjukkan bahwa tidak ada interaksi pada konsentrasi CMC dengan konsentrasi minyak atsiri, konsentrasi minyak atsiri tidak menunjukkan beda nyata dan konsentrasi CMC menunjukkan adanya beda nyata. Hasil rerata pengujian kekuatan tarik disajikan dalam Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2, diketahui bahwa tidak ada interaksi pada konsentrasi CMC dan konsentrasi minyak atsiri. Nilai kekuatan tarik yang cenderung sama diduga karena konsentrasi minyak atsiri yang digunakan pada setiap perlakuan

tergolong rendah, sehingga tidak membuat molekul pada CMC merenggang dan mudah rusak.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik (MPa)

Perlakuan	Minyak Atsiri					Rerata
	0%	Serai		Kayu Manis		
		0,4%	0,7%	0,4%	0,7%	
CMC 1%	0,20	0,13	0,25	0,35	0,28	0,24b
CMC 1,5%	1,50	0,85	1,25	1,01	1,20	1,16a
Rerata B	0,85	0,49	0,75	0,68	0,74	(-)

Keterangan : angka rerata yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata berdasarkan hasil DMRT pada taraf 5%

Menurut Pranoto *et. al.*, (2005) apabila minyak atsiri dengan konsentrasi di bawah 1% dikombinasikan dengan bahan *edible film* yang memiliki konsentrasi diatas 1% tidak akan berpengaruh terhadap nilai WVTR dan kekuatan tarik. Hal tersebut dikarenakan konsentrasi minyak atsiri yang rendah belum mampu meregangkan ikatan molekul pada *edible film*. Hal tersebut menunjukkan *edible film* dengan penambahan konsentrasi minyak atsiri dibawah 1% tidak berpengaruh pada kekuatan tarik dan memiliki nilai kekuatan tarik yang sama dengan *edible film* tanpa penambahan minyak atsiri.

Tabel 2 menunjukkan bahwa perlakuan yang memberikan pengaruh beda nyata ada pada konsentrasi CMC yang digunakan. Rerata pada perlakuan konsentrasi CMC 1,5% memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi yaitu sebesar 38,1 MPa dibandingkan pada konsentrasi CMC 1% yang memiliki kekuatan tarik sebesar 37,8 MPa. Pada rerata penambahan minyak atsiri tidak ada beda nyata

antar konsentrasi, sehingga diketahui bahwa minyak atsiri tidak berpengaruh pada kekuatan tarik *edible film* CMC.

Pada tabel 2, rerata pada berbagai konsentrasi minyak atsiri menunjukkan hasil yang tidak beda nyata. Hal tersebut diduga karena minyak atsiri yang ditambahkan memiliki konsentrasi yang kecil dan tidak memberikan dampak yang signifikan pada *edible film*, sehingga memiliki nilai kekuatan tarik yang cenderung sama. Apabila minyak atsiri dengan konsentrasi di bawah 1% dikombinasikan dengan bahan *edible film* yang memiliki konsentrasi diatas 1% tidak akan berpengaruh terhadap nilai WVTR dan kekuatan tarik (Pranoto *et. al.*, 2005). Hal tersebut dikarenakan konsentrasi minyak atsiri yang rendah belum mampu meregangkan ikatan molekul pada *edible film*. Minyak atsiri 0%, minyak atsiri serai 0,4%, minyak atsiri serai 0,7%, minyak atsiri kayu manis 0,4% dan minyak atsiri kayu manis 0,7% termasuk dalam minyak atsiri yang memiliki konsentrasi di bawah 1%, sehingga tidak berpengaruh terhadap nilai kekuatan tarik meskipun memiliki konsentrasi yang berbeda. Penelitian yang dilakukan oleh Safirani, (2016) menyebutkan bahwa Pektin 1% yang dikombinasikan dengan minyak atsiri Serai 0,2%, 0,5%, 0,7% dan 1% memiliki nilai kekuatan tarik yang cenderung sama. Katut dkk., (2014) menyatakan bahwa minyak atsiri kayu manis 0%, 0,2%, 0,5% dan 0,7% yang dikombinasikan dengan tapioka 1,5% sebagai *edible film* memiliki nilai kekuatan tarik dan WVTR yang tidak berbeda nyata. Maizura *et. al.*, (2008) menyebutkan bahwa minyak atsiri dapat meningkatkan interaksi antar molekul pada *edible film*, namun apabila konsentrasi minyak atsiri dibawah 0,9% maka interaksi antar molekul tidak akan terjadi.

Penelitian yang dilakukan oleh Babak *et. al.*, (2011) menunjukkan bahwa CMC dengan konsentrasi 1% memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 0,34 MPa. Sara *et. al.*, (2011) menyatakan bahwa CMC sebesar 1% dengan penambahan gliserol sebanyak 0,4 gram gliserol menunjukkan nilai kekuatan tarik sebesar 0,24 MPa. Pada perlakuan CMC 1% dengan penambahan minyak atsiri Kayu Manis 0,4% memberikan nilai kekuatan tarik sebesar 0,35 MPa, perlakuan tersebut memberikan nilai kekuatan tarik yang lebih baik dari penelitian Babak *et. al.*, (2011) dan Sara *et. al.*, (2011). Laxmikant *et. al.*, (2014) menyebutkan bahwa CMC 1% yang dikombinasikan dengan Alginat 1% memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 9,42 MPa, sedangkan CMC 1,5% yang dikombinasikan dengan Alginat 1% memiliki kekuatan tarik sebesar 10,59 MPa. Hal tersebut menunjukkan bahwa CMC yang dikombinasikan dengan bahan *edible film* yang lain memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan CMC yang digunakan secara tunggal maupun dengan kombinasi minyak atsiri.

Meningkatnya konsentrasi CMC berpengaruh terhadap peningkatan nilai kekuatan tarik. Sama seperti pada uji WVTR, hal ini disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi bahan suatu *edible film*, maka akan meningkatkan jumlah ikatan hidrogen yang terbentuk sehingga membentuk *edible film* yang lebih tegar. Semakin banyak konsentrasi CMC untuk *edible film* maka akan semakin banyak dan kuat molekul CMC berikatan, sehingga CMC tidak akan mudah rusak/ ketika ditarik (Polnaya *et. al.*, 2006). Penelitian yang dilakukan oleh Rachel dkk., (2012) menggunakan CMC dengan konsentrasi 0%, 0,25% dan 0,5% dikombinasikan

dengan Pati Ubi Jalar 2,5%, 3,5% dan 4,5% menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi dari CMC maka memiliki kekuatan tarik yang semakin besar.

C. Uji Pemanjangan (*Elongation*)

Pemanjangan sama pentingnya dengan kekuatan tarik, dimana presentase pemanjangan yang tinggi akan mampu melindungi produk yang dikemasnya dari gangguan mekanis dengan baik (Azka dkk., 2015). Hasil analisis sidik ragam terhadap uji pemanjangan (Lampiran 2c) menunjukkan bahwa ada interaksi pada konsentrasi CMC dengan konsentrasi minyak atsiri, sedangkan konsentrasi minyak atsiri dan konsentrasi CMC tidak menunjukkan beda nyata. Hasil rerata pengujian pemanjangan disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Pemanjangan (%)

Perlakuan	Minyak Atsiri					Rerata
	0%	Serai		Kayu Manis		
		0,4%	0,7%	0,4%	0,7%	
CMC 1%	198bc	138c	354a	274abc	294ab	247
CMC 1,5%	345ab	255abc	255abc	221bc	179bc	251
Rerata B	271	197	304	247	237	(+)

Keterangan : angka rerata yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata berdasarkan hasil DMRT pada taraf 5%

Tabel 3 menunjukkan bahwa pada perlakuan konsentrasi CMC 1% dengan minyak atsiri Serai 0,7% memiliki kecenderungan nilai pemanjangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan konsentrasi CMC 1% dan minyak atsiri Kayu Manis 0,4%, konsentrasi CMC 1% dan minyak atsiri Kayu Manis 0,7%,

konsentrasi CMC 1,5% dan minyak atsiri 0%, konsentrasi CMC 1,5% dan minyak atsiri Serai 0,4%, konsentrasi CMC 1% dan minyak atsiri Serai 0,7% serta perlakuan CMC 1% dan minyak atsiri serai 0,4%. Hal tersebut membuktikan bahwa minyak atsiri yang ditambahkan pada CMC akan berpengaruh pada pemanjangan.

Perlakuan CMC 1% dengan minyak atsiri Serai 0,7% diduga memiliki ikatan molekul yang tidak rapat karena konsentrasi CMC yang rendah dan minyak atsiri yang tinggi, sehingga menyebabkan presentase pemanjangannya menjadi tinggi. Paramawati (2001) mengatakan bahwa CMC secara alami memiliki ikatan hidrogen, ikatan tersebut merupakan salah satu ikatan yang paling lemah. Dengan demikian penambahan minyak atsiri akan membuat *edible film* menjadi renggang dan lentur. Penelitian yang dilakukan Miksusanti (2009) menyebutkan bahwa *edible film* Pati Sagu memiliki pemanjangan yang tinggi seiring dengan naiknya konsentrasi minyak atsiri yang ditambahkan. Hal tersebut karena minyak atsiri memiliki efek *plasticizer*, sehingga *edible film* menjadi lebih lunak dan elastis.

Minyak atsiri yang berasal dari Serai maupun Kayu Manis termasuk ke dalam minyak nabati yang memiliki sifat hidrofobik. Hal tersebut menyebabkan rantai polimer dari CMC menjadi lebih fleksibel dan meningkatnya interaksi antar molekul. Rantai polimer yang fleksibel pada CMC dan interaksi antar molekul yang meningkat akan menyebabkan lemahnya kekuatan *edible film*, namun membuat *edible film* menjadi elastis (Pranoto *et. al.*, 2005).

Hendrianto dan Rukmi (2015) menyatakan bahwa CMC merupakan salah satu zat emulsifier (emulgator), yaitu zat yang dapat mengikat air dan minyak.

Perbedaan polaritas antara air dan minyak menyebabkan keduanya tidak bisa larut satu sama lainnya. Air memiliki gugus polar yang hanya berikatan dengan senyawa yang memiliki gugus polar juga, sedangkan minyak memiliki gugus non polar. Ketika disatukan dalam wadah dan diaduk, secepat mungkin mereka akan terpisah kembali. Christian dkk., (2016) menyatakan air dan minyak dapat bercampur membentuk emulsi cair apabila suatu pengemulsi (emulgator) ditambahkan dalam larutan tersebut. Contoh pengemulsi tersebut adalah CMC yang memiliki gugus polar dan non-polar. Bagian non-polar akan berinteraksi dengan minyak dan mengelilingi partikel-partikel minyak, sedangkan bagian yang polar akan berinteraksi kuat dengan air. Apabila bagian polar ini terionisasi menjadi bermuatan negative, maka partikel-partikel minyak juga akan bermuatan negatif. Muatan tersebut akan mengakibatkan partikel-partikel minyak saling tolak-menolak dan tidak akan bergabung, sehingga emulsi menjadi stabil dan minyak tersebar secara homogen pada larutan CMC. Minyak atsiri yang tercampur secara homogen, akan membuat molekul CMC pada *edible film* menjadi tidak berikatan secara kuat, sehingga *edible film* akan mudah memanjang (Mulia dkk., 2016).

Penelitian yang dilakukan oleh Babak *et. al.*, (2011) menunjukkan bahwa CMC dengan konsentrasi 1% memiliki nilai pemanjangan sebesar 2,01%. Sara *et. al.*, (2011) menyatakan bahwa CMC sebesar 1% dengan penambahan gliserol sebanyak 4% gliserol menunjukkan nilai pemanjangan sebesar 0,26 %. Laxmikant *et. al.*, (2014) menyebutkan bahwa CMC 1% yang dikombinasikan dengan Alginat 1% memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 1,02%, sedangkan CMC 1,5%

yang dikombinasikan dengan Alginat 1% memiliki kekuatan tarik sebesar 1,32%. Pada perlakuan CMC 1% dengan penambahan minyak atsiri Serai 0,7% memberikan nilai pemanjangan sebesar 354%, perlakuan tersebut memberikan nilai pemanjangan yang lebih baik dari penelitian Babak *et. al.*, (2011) dan Sara *et. al.*, (2011). Hal tersebut menunjukkan bahwa pemberian minyak atsiri dapat meningkatkan pemanjangan *edible film* CMC.

Tabel 3 menunjukkan bahwa rerata konsentrasi CMC tidak menunjukkan beda nyata. Hal tersebut diduga karena komponen yang berperan utama dalam pemanjangan adalah penambahan gliserol. Bahan tambahan yang sering digunakan dalam pembuatan *edible film* CMC adalah gliserol. Gliserol berperan sebagai *plasticizer* sehingga *edible film* menjadi lebih elastis. *Edible film* tanpa penambahan gliserol bersifat kaku dan tidak elastis sehingga kemampuan *edible film* tersebut untuk memanjang menjadi berkurang dan berakibat pada nilai presentasi pemanjangan yang kecil/rendah (Bayu, 2008). Semakin tinggi konsentrasi gliserol, maka nilai pemanjangan suatu *edible film* akan meningkat, hal ini disebabkan karena dengan adanya peningkatan jumlah gliserol maka akan menurunkan kekuatan gaya antar molekul sehingga mobilitas antar rantai molekul meningkat dan persentase pemanjangan *edible film* pun semakin meningkat (Gandhi, 2015). *Edible film* dengan perlakuan CMC 1% dan CMC 1,5% pada Tabel 3 dibuat dengan menggunakan konsentrasi gliserol yang sama yaitu 1,5% sehingga memiliki nilai pemanjangan yang cenderung sama. Penelitian yang dilakukan oleh Bayu (2008) menyebutkan kitosan dengan konsentrasi 2% dan 3%

yang ditambah dengan gliserol 2% memiliki nilai pemanjangan yang sama yaitu 5,2%.

Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa konsentrasi minyak atsiri yang digunakan menunjukkan tidak ada beda nyata. Hal tersebut diduga karena minyak atsiri yang digunakan memiliki konsentrasi rendah. Menurut Tongnuanchan *et. al.*, (2012) minyak atsiri dengan konsentrasi lebih dari 1,5% berpotensi meningkatkan fleksibilitas dan permeabilitas uap air. Konsentrasi minyak atsiri dibawah 1,5% tidak akan memberikan beda nyata. Konsentrasi minyak atsiri pada Tabel 3 yaitu minyak atsiri 0%, minyak atsiri serai 0,4%, minyak atsiri serai 0,7%, minyak atsiri kayu manis 0,4% dan minyak atsiri kayu manis 0,7% termasuk dalam minyak atsiri yang memiliki konsentrasi di bawah 1,5% sehingga memiliki rerata yang tidak beda nyata.

D. Pengujian Kemampuan Degradasi (Biodegradabilitas)

Uji kemampuan degradasi dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan sampel *edible film* sampai mengalami degradasi. Perbedaan *edible film* sebelum dan sesudah dilakukan penguburan tersaji pada Gambar 4.



Gambar 4. Sampel edible film (a) sebelum uji biodegradasi dan (b) setelah uji biodegradasi.

Hasil analisis sidik ragam terhadap uji kemampuan degradasi (Lampiran 2d) menunjukkan menunjukkan bahwa tidak ada interaksi perlakuan konsentrasi CMC dengan konsentrasi minyak atsiri, sedangkan konsentrasi minyak atsiri tidak menunjukkan beda nyata dan konsentrasi CMC menunjukkan adanya beda nyata. Hasil rerata pengujian Kemampuan Degradasi disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kemampuan Degradasi (%)

Perlakuan	Minyak Atsiri					Rerata
	0%	Serai		Kayu Manis		
		0,4%	0,7%	0,4%	0,7%	
CMC 1%	96.6	89.3	90.6	81.3	90.6	89.7a
CMC 1,5%	89.3	77.3	77.3	77.3	82.6	80.8b
Rerata B	93.0	83.3	84.0	79.3	86.6	(-)

Keterangan : angka rerata yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata berdasarkan hasil DMRT pada taraf 5%

Tabel 4 menunjukkan bahwa konsentrasi CMC dan minyak atsiri tidak terjadi interaksi. Hal tersebut diduga karena CMC dan minyak atsiri merupakan bahan organik yang mudah terurai. CMC (*Carboxymethyl Cellulose*) merupakan eter polimer linier dan berupa senyawa yang memiliki sifat *biodegradable* tinggi karena berasal dari bahan alami yaitu selulosa kayu. Kecepatan penguraian CMC ditentukan oleh konsentrasinya (Klose dan Glicksman, 1972). Retno dkk., (2010) menyebutkan bahwa minyak atsiri merupakan bahan alami yang sangat mudah terurai, sehingga kecepatan degradasi *edible film* CMC yang ditambah minyak atsiri ditentukan oleh konsentrasi CMC yang digunakan.

Tabel 4 menunjukkan bahwa rerata pada perlakuan CMC dengan konsentrasi 1% memiliki nilai kemampuan degradasi yang lebih tinggi yaitu 89,7% daripada rerata perlakuan dengan konsentrasi CMC 1,5% yaitu 80,8%. Nilai kemampuan degradasi yang tinggi menunjukkan bahwa *edible film* tersebut cepat mengalami penguraian ketika dikubur di dalam tanah. Hal tersebut diduga bahwa CMC dengan konsentrasi 1,5% memiliki ketebalan dan kerapatan tiap ikatan molekul yang lebih tinggi daripada CMC dengan konsentrasi 1%, sehingga CMC 1,5% membutuhkan waktu untuk terurai yang lebih lama daripada CMC 1%. Polnaya *et. al.*, (2006) menyebutkan bahwa semakin tinggi konsentrasi CMC untuk *edible film*, maka ketebalan dan kerapatan yang dihasilkan juga akan meningkat. Hal tersebut menyebabkan penguraian membutuhkan waktu yang lebih lama.

Berdasarkan Tabel 4 diketahui bahwa rerata konsentrasi minyak atsiri tidak menunjukkan beda nyata. Hal tersebut diduga karena minyak atsiri merupakan bahan organik yang mudah terurai berapapun konsentrasinya. Minyak atsiri merupakan bahan yang berasal dari ekstrak tumbuhan, sehingga bersifat organik dan mudah terurai. Konsentrasi minyak atsiri yang berbeda-beda tidak akan berpengaruh terhadap kecepatan penguraian (Retno dkk., 2010). Ketika diuji dengan metode penguburan maka minyak atsiri 0%, minyak atsiri Serai 0,4%, minyak atsiri Serai 0,7%, minyak atsiri Kayu Manis 0,4% dan minyak atsiri Kayu Manis 0,7% yang ada dalam *edible film* akan ikut terurai dengan baik. Hal tersebut membuktikan bahwa minyak atsiri tidak mempengaruhi kecepatan *edible film* CMC untuk terurai.

Penelitian yang dilakukan oleh Zulferiyenni dkk., (2014) menyatakan bahwa CMC 1% memiliki nilai kemampuan degradasi sebesar 100% setelah dikubur selama 7 hari, demikian pula Ulfa, (2016) menyatakan bahwa CMC 1% yang dikombinasikan dengan gliserol 0,25% dan 0,5% memiliki nilai kemampuan degradasi sebesar 100%. Hal tersebut menunjukkan bahwa penelitian CMC yang dikombinasikan dengan minyak atsiri masih kurang baik dibandingkan dengan penelitian milik Zulferiyenni dkk., (2014) dan Ulfa (2016), namun memiliki selisih nilai kemampuan degradasi yang kecil. Penelitian yang dilakukan oleh Yeti dkk., (2016) menunjukkan bahwa CMC sebanyak 5% memiliki kemampuan terdegradasi sebesar 100% daripada CMC dengan konsentrasi 10% yang hanya memiliki kemampuan terdegradasi sebesar 75,57%. Hal tersebut membuktikan bahwa semakin rendah konsentrasi CMC maka kemampuan terdegradasinya juga akan semakin meningkat.

E. Pengujian Kelarutan Air

Uji kelarutan air berfungsi untuk mengetahui seberapa banyak dan cepat *edible film* terlarut dalam air (Sri dkk., 2013). Hasil uji Kelarutan Air menunjukkan bahwa semua kombinasi perlakuan memiliki presentase kelarutan air yang sama yaitu 100%. Presentase hasil pengujian Kelarutan Air disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Presentase Hasil Pengujian Kelarutan Air (%)

Perlakuan	Minyak Atsiri				
	0%	Serai		Kayu Manis	
		0,4%	0,7%	0,4%	0,7%
CMC 1%	100%	100%	100%	100%	100%
CMC 1,5%	100%	100%	100%	100%	100%

Menurut Arrum dkk., (2009) CMC merupakan zat dengan sifat yang mudah larut dalam air panas dan air dingin. Struktur CMC (*Carboxyl Methyl Cellulose*) merupakan rantai polimer yang terdiri dari unit molekul *sellulosa*. Setiap unit *anhidroglukosa* memiliki tiga gugus hidroksil dan beberapa atom Hidrogen dari *gugus hidroksil* tersebut disubstitusi oleh *carboxymethyl*. Gugus *hidroksil* yang tergantikan dikenal dengan derajat penggantian (*degree of substitution*) disingkat DS. Jumlah gugus hidroksil yang tergantikan atau nilai DS mempengaruhi sifat kekentalan dan sifat kelarutan CMC dalam air. CMC dengan nilai DS kurang dari 0,3 hanya larut dalam larutan alkali sedangkan harga DS sama dengan atau lebih dari 0,4 dapat larut dalam air (Arrum, 2005). Netty (2010) menyatakan bahwa CMC yang sering digunakan untuk pembuatan *edible film* adalah yang memiliki nilai DS sebesar 0,7 atau sekitar 7 gugus *Carboxymethyl* per 10 unit anhidroglukosa karena memiliki sifat sebagai zat pengental cukup baik. pH CMC menjadi pertimbangan dalam penggunaannya, Imersion (1992) menyebutkan bahwa jika pH di bawah 1, larutan menjadi tidak homogen karena terbentuk endapan, sehingga untuk penggunaan di bidang industri, khususnya industri makanan, disarankan sifat CMC tidak terlalu asam. Dijelaskan

selanjutnya bahwa larutan CMC 1% biasanya mempunyai pH 7,0 – 8,5 dan pada rentang 5 – 9 tidak terlalu berpengaruh terhadap viskositas CMC. Pada pH kurang dari 3 viskositas CMC bertambah karena terbentuknya gel yang sedikit larut, sedang pada pH di atas 10 viskositas CMC sedikit berkurang. CMC merupakan molekul polimer berantai panjang dan karakteristiknya bergantung pada panjang rantai atau derajat polimerisasi (DP). Nilai DS dan nilai DP ditentukan oleh berat molekul polimer, dengan bertambah besar berat molekul CMC maka sifatnya sebagai zat pengental semakin meningkat (Netty, 2010).

Tabel 5 menunjukkan bahwa semua perlakuan memiliki presentase kelarutan dalam air yang baik. Hal tersebut dikarenakan CMC yang dipakai untuk membuat *edible film* merupakan CMC yang memiliki nilai DS sebesar 0,7 atau sekitar 7 gugus *Carboxymethyl* per 10 unit anhidroglukosa, sehingga dapat dengan mudah terlarut dalam air meskipun ada perbedaan konsentrasi CMC yaitu 1% dan 1,5% (Netty, 2010).

F. Pengujian Warna

Warna merupakan salah satu parameter suatu bahan pangan yang penting. Kesukaan konsumen terhadap produk pangan juga ditentukan oleh warna pangan tersebut. Pengujian warna terhadap *edible coating fresh-cut* Apel Manalagi dilakukan menggunakan metode uji organoleptik. Hasil uji organoleptik terhadap warna pada *Fresh-cut* Apel Manalagi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Warna (%)

Perlakuan	Score	Hari Pengamatan					
		H0	H3	H6	H9	H12	H15
P1	1						
	2				16,7%	33,3%	50%
	3		100%	100%	83,3%	66,7%	50%
	4	100%					
P2	1						
	2						
	3		50%	83,3%	100%	100%	100%
	4	100%	50%	16,7%			
P3	1						
	2						83,3%
	3			33,3%	50%	100%	16,7%
	4	100%	100%	66,7%	50%		
P4	1						
	2						100%
	3		66,7%	83,3%	100%	100%	
	4	100%	33,3%	16,7%			
P5	1						
	2			66,7%	83,3%	83,3%	100%
	3		100%	33,3%	16,7%	16,7%	
	4	100%					
P6	1						
	2			16,7%	66,7%	66,7%	100%
	3		100%	83,3%	33,3%	33,3%	
	4	100%					
P7	1						
	2					66,7%	100%
	3			66,7%	100%	33,3%	
	4	100%	100%	33,3%			
P8	1						
	2				33,3%	100%	100%
	3		50%	50%	66,7%		
	4	100%	50%	50%			
P9	1						
	2					100%	100%
	3		66,7%	83,3%	100%		
	4	100%	33,3%	16,7%			
P10	1						
	2					100%	100%
	3		66,7%	100%	100%		
	4	100%	33,3%				

Keterangan : P1 : CMC 1% dan minyak atsiri 0%, P2 : CMC 1,5% dan minyak atsiri 0%, P3 : CMC 1% dan Serai 0,4%, P4 : CMC 1,5% dan Serai 0,4%, P5 : CMC 1% dan Serai 0,7%, P6 : CMC 1,5% dan Serai 0,7%, P7 : CMC 1% dan Kayu Manis 0,4%, P8 : CMC 1,5% dan Kayu Manis 0,4%, P9 : CMC 1% dan Kayu Manis 0,7%, P10 : CMC 1,5% dan Kayu Manis 0,7%. 1 : sangat tidak suka, 2 : tidak suka, 3 : suka dan 4 : sangat suka

Tabel 6 menunjukkan bahwa pada hari ke-0 semua panelis menilai sangat suka (4) pada setiap perlakuan *edible coating fresh-cut* Apel Manalagi. Pada hari ke-3 perlakuan P3 dan P10 merupakan hasil terbaik dan memiliki tingkat kesukaan yang paling tinggi karena semua panelis menilai sangat suka (4) dan perlakuan P1, P5 dan P10 tingkat kesukaan semua panelis menurun menjadi suka (3). Pada perlakuan lain juga terjadi penurunan tingkat kesukaan, namun tidak semua panelis mengalami penurunan tingkat kesukaan. Pada hari ke-6 perlakuan P3 semua panelis mengalami penurunan tingkat kesukaan dari sangat suka (4) menjadi suka (3). Perlakuan P5 menjadi perlakuan yang terburuk karena sebanyak 66,7% panelis menilai tidak suka (2). Pada hari ke-9 perlakuan P3 masih menjadi perlakuan terbaik karena setengah dari jumlah panelis masih menilai sangat suka (4). Pada hari ke-12 perlakuan P2, P3 dan P4 semua panelis menilai suka (3), sedangkan perlakuan lain sudah mulai mengalami penurunan tingkat kesukaan menjadi tidak suka (2). Pada hari ke-15 perlakuan P2 tetap mendapat penilaian suka (3) oleh semua panelis dan perlakuan yang lain mendapat nilai tidak suka (2) oleh sebagian besar panelis, hal tersebut dikarenakan pada hari ke-15 *fresh-cut* Apel Manalagi sudah mengalami *browning* yang sangat parah.

Berdasarkan data pada tabel 6 diketahui bahwa tren nilai kesukaan panelis terhadap warna cenderung menurun. Pada hari ke-12 sampai hari ke-15 penurunan

tingkat kesukaan terjadi sangat drastis pada setiap kombinasi perlakuan karena tingkat *browning* yang tinggi, sehingga bisa diketahui bahwa Apel Manalagi hanya layak dikonsumsi sampai hari ke-9 (Lampiran 5).

Hingga pengamatan hari ke-15 diketahui bahwa perlakuan P2 (CMC 1,5% dengan minyak atsiri 0%) merupakan perlakuan yang memiliki warna terbaik dan proses *browning* yang paling lambat dibandingkan perlakuan lain. Pada pengujian WVTR diketahui bahwa perlakuan CMC 1,5% dan minyak atsiri 0% memiliki nilai WVTR yang paling rendah. Hal tersebut membuktikan konsentrasi bahwa CMC pada perlakuan tersebut bisa menahan laju uap air untuk keluar maupun udara dari luar untuk masuk, sehingga menghambat oksigen untuk bereaksi dengan enzim fenolase. Kadar CMC pada perlakuan P2 memiliki nilai kekuatan tarik dan pemanjangan yang cukup baik juga. Kekuatan tarik dan pemanjangan yang baik mampu melindungi produk yang dikemasnya dari gangguan mekanis dengan baik, jadi ketika *fresh-cut* Apel mengalami guncangan dan benturan, sehingga CMC yang melapisi tidak mudah sobek/rusak.

Made (2016) menyebutkan bahwa Apel Manalagi yang dipotong-potong biasanya akan mengalami *browning* yang sangat parah dalam waktu sekitar 24 jam dan akan mengalami pembusukan dalam jangka waktu 5-7 hari. Proses *browning* yang dialami oleh Apel Manalagi merupakan proses pencokelatan enzimatik yang dipengaruhi oleh kerja enzim fenolase. Ketika apel dikupas atau dipotong, enzim yang tersimpan di dalam jaringan apel akan terbebas. Apabila enzim tersebut mengalami kontak dengan oksigen di udara, fenolase akan mengkatalisis konversi biokimia dari komponen fenolik yang ada pada apel

sehingga komponen tersebut berubah menjadi pigmen coklat atau melanin (Gabriella, 2015). *Fresh-cut* Apel Manalagi yang diberi *edible coating* CMC dan minyak atsiri memiliki kecepatan *browning* yang rendah, hal tersebut dikarenakan CMC memberikan lapisan penutup pada bagian Apel yang dipotong. Lapisan CMC akan menghambat oksigen yang akan mengenai bagian Apel yang dipotong, hal tersebut membuat enzim fenolase tidak bereaksi dengan oksigen sehingga proses *browning* dapat dicegah (Made, 2016).

G. Pengujian Mikrobiologi

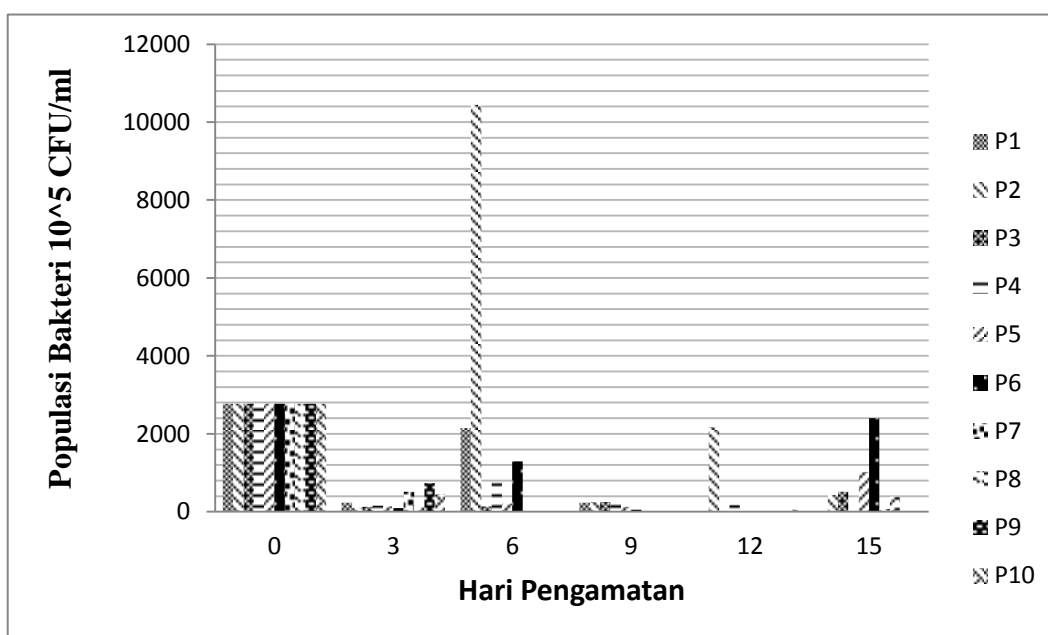
Uji mikrobiologi dilakukan untuk mengetahui jumlah mikroorganisme pada *fresh-cut* Apel Manalagi. Hasil pengujian mikrobiologi terhadap *edible coating* CMC pada *Fresh-cut* Apel Manalagi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Populasi Bakteri pada *fresh-cut* Apel Manalagi (10^{-5} CFU/ml)

Perlakuan	Hari Pengamatan (10^{-5} CFU/ml)					
	0	3	6	9	12	15
P1	2770	235.5	2145	233	<i>spreader</i>	0
P2	2770	98.5	10445	252	2170	430
P3	2770	124.5	135	250	<i>spreader</i>	510
P4	2770	158.5	760	210.5	185.5	<i>spreader</i>
P5	2770	134	210	124	<i>spreader</i>	1020
P6	2770	91.5	1290	56	0	2400
P7	2770	516	0	0	<i>spreader</i>	69
P8	2770	142.5	0	0	<i>spreader</i>	386
P9	2770	736	<i>spreader</i>	0	<i>spreader</i>	0
P10	2770	449	0	0	54	<i>spreader</i>

Keterangan : P1 : CMC 1% dan minyak 0%, P2 : CMC 1,5% dan minyak atsiri 0%, P3 : CMC 1% dan Serai 0,4%, P4 : CMC 1,5% dan Serai 0,4%, P5 : CMC 1% dan Serai 0,7%, P6 : CMC 1,5% dan Serai 0,7%, P7 : CMC 1% dan Kayu Manis 0,4%, P8 : CMC 1,5% dan Kayu Manis 0,4%, P9 : CMC 1% dan Kayu Manis 0,7%, P10 : CMC 1,5% dan Kayu Manis 0,7%.

Berdasarkan Tabel 7 dapat diketahui bahwa jumlah populasi bakteri pada hari ke-3 mengalami penurunan dibandingkan pada hari ke-0 pengamatan. Hal tersebut membuktikan bahwa minyak atsiri mulai bekerja menghambat perkembangan bakteri pada hari ke-3. Histogram populasi Bakteri pada *fresh-cut* Apel Manalagi dalam 10^{-5} selama 15 hari pengamatan tersaji pada Gambar 4.



Gambar 5. Histogram populasi bakteri pada *fresh-cut* Apel Manalagi

Berdasarkan histogram populasi bakteri pada Gambar 4, dapat diketahui bahwa tren populasi bakteri pada *fresh-cut* Apel Manalagi cenderung naik mulai hari ke-6. Kenaikan yang signifikan mulai terjadi pada hari ke-12 pada beberapa kombinasi perlakuan. Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui bahwa *fresh-cut* Apel Manalagi masih layak konsumsi hingga hari ke-9, namun perlakuan P9 (CMC 1% dengan minyak atsiri Kayu Manis 0,7%) dan P10 (CMC 1,5% dengan minyak atsiri Kayu Manis 0,7%) merupakan perlakuan yang memiliki daya hambat mikrobial paling baik. Kedua perlakuan tersebut mampu menghambat

perkembangan mikrobial hingga hari ke-12, sehingga pada perlakuan P9 dan P10 *fresh-cut* Apel Manalagi masih layak dikonsumsi hingga hari ke-12.

Minyak atsiri Kayu Manis mengandung sinamaldehid, tannin, saponin dan flavanoid (Balchin, 2006). Tannin dan flavanoid merupakan golongan fenol. Salah satu fungsi tannin dan flavanoid adalah sebagai antimikroba. Tannin memiliki aktivitas antibakteri yang berhubungan dengan kemampuannya untuk menginaktivkan adhesin sel mikroba juga menginaktivkan enzim dan mengganggu transpor protein pada lapisan dalam sel. Mekanisme kerja tannin sebagai antibakteri adalah menghambat enzim *reverse* transkriptase dan DNA topoisomerase sehingga sel bakteri tidak dapat terbentuk (Robinson, 1995). Flavonoid dapat membentuk kompleks dengan protein ekstraseluler yang dapat merusak dinding sel bakteri yaitu terjadi kebocoran sehingga mengakibatkan keluarnya senyawa intraseluler (Cowan, 1999). Menurut Robinson (1995), mekanisme kerja saponin sebagai antibakteri adalah menurunkan tegangan permukaan sehingga mengakibatkan naiknya permeabilitas atau kebocoran sel dan mengakibatkan senyawa intraseluler akan keluar. Namun secara umum, komponen terbesar dari kayu manis, serta yang paling dominan berperan sebagai agen bakteritoksik adalah sinamaldehid dan eugenol (Balchin, 2006). Menurut Yusufi (2014) Sinamaldehid termasuk dalam flavonoid yang mekanisme kerjanya mengganggu proses difusi makanan ke dalam sel sehingga pertumbuhan bakteri terhenti atau mati, merusak permukaan sel bakteri, menghambat aktivitas enzim amino acid dekarboksilase, mengikat protein seluler sehingga tidak bekerja dengan baik.

Minyak atsiri Serai memiliki kandungan berupa fenol, sitral dan sinamaldehida. Fenol pada minyak atsiri Serai memiliki mekanisme penghambatan bakteri yang sama dengan fenol pada minyak atsiri Kayu Manis. Mekanisme kerja sitral membunuh bakteri adalah dengan cara mengubah permeabilitas membran sel, menghilangkan ion-ion dalam sel, menghalangi *proton-pump*, dan menurunkan produksi adenosin trifosfat (ATP). Sitral bersifat lipofilik yang dapat melewati dinding bakteri karena dinding bakteri terdiri atas polisakarida, asam lemak, dan fosfolipid. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan dinding sel sehingga dapat membunuh bakteri. Mekanisme kerja minyak atsiri adalah dengan menghambat stabilitas membran sel bakteri dan menyebabkan material sitoplasma menghilang (Diastrri, 2015).

Secara umum, komponen terbesar dari serai dan kayu manis, serta yang paling dominan berperan sebagai agen bakteritoksik adalah sinamalaldehyd dan eugenol (Balchin, 2006). Menurut Yusufi (2014) Sinamaaldehyd termasuk dalam flavonoid yang mekanisme kerjanya mengganggu proses difusi makanan ke dalam sel sehingga pertumbuhan bakteri terhenti atau mati, merusak permukaan sel bakteri, menghambat aktivitas enzim amino acid dekarboksilase, mengikat protein seluler sehingga tidak bekerja dengan baik. Pada perlakuan minyak atsiri Kayu Manis diketahui memiliki daya hambat terhadap pertumbuhan mikrobia lebih baik dari pada minyak atsiri Serai. Hal tersebut dikarenakan jenis antimikrobia yang terkandung pada minyak atsiri Kayu Manis lebih banyak dari pada jenis antimikrobia pada minyak atsiri Serai, sehingga minyak atsiri Kayu Manis memiliki kemampuan dalam menghambat mikrobia yang lebih baik.

Rojas *et. al.*, (2007) menyatakan bahwa *essential oil* dari ekstrak tumbuhan mampu mendegradasi dinding sel, kerusakan membran sitoplasma dan membran protein, kebocoran sel, koagulasi sitoplasma, serta penipisan kekuatan motif proton. Perlakuan P1 dan P2 hanya terdiri dari CMC saja tanpa ada penambahan minyak atsiri baik, sehingga perlakuan tersebut tidak memiliki antimikrobia yang dapat menghambat pertumbuhan dari bakteri. CMC dengan konsentrasi 1% juga memiliki nilai WVTR yang tinggi, sehingga diketahui pada kombinasi perlakuan CMC 1% memiliki molekul CMC yang tidak berikatan kuat. Rendahnya konsentrasi CMC pada perlakuan tersebut menyebabkan banyak rongga yang terbentuk diantara polimer-polimer CMC, hal tersebut memungkinkan bakteri dari luar untuk masuk. Pada kombinasi perlakuan CMC 1% diketahui juga memiliki nilai kekuatan tarik yang buruk, hal tersebut akan mengakibatkan lapisan CMC mudah rusak/sobek saat terkena guncangan ataupun benturan. Lapisan CMC yang rusak/sobek akan menyebabkan bagian *fresh-cut* Apel Manalagi bersentuhan dengan udara luar, sehingga bakteri dapat masuk dan berkembang.