

#### 4. PEMBAHASAN

Brokoli yang digunakan dalam penelitian ini adalah brokoli segar yang dibeli dari pedagang sayur di Pasar Kanjengan, Semarang pada malam hari sebelum penelitian dilakukan. Brokoli segar yang dibeli memiliki ciri berbentuk bulat, terdiri dari cabang-cabang kecil dan berdaging seolah-olah seperti kumpulan lengan. Pada setiap cabang terdapat sekelompok kuntum hijau disebut kepala bunga utama (Novary, 1997). Proses pembekuan brokoli didahului dengan proses *blanching*, dalam penelitian ini jenis proses *blanching* yang dilakukan adalah *steam blanching*. Pemilihan metode *steam blanching* didasarkan pada hasil uji sensori, di mana para responden lebih menyukai warna, tekstur serta *overall* brokoli yang di-*steam blanching*. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Roy *et al.*,(2009) dan Patras *et al.*,(2011) yang menyebutkan bahwa *steam blanching* memiliki keunggulan untuk mendapatkan warna sayur yang lebih bersih dan tekstur yang lebih baik. Setelah proses *blanching*, brokoli kemudian didinginkan secara cepat dengan merendam brokoli dalam air es, ditiriskan, dikemas dalam plastik *polyethylene*, lalu disimpan dalam suhu ruang, suhu *refrigerator*, dan suhu *freezer*.

##### 4.1. Kandungan Vitamin C

Kandungan vitamin C brokoli segar pada penelitian ini adalah  $3,44 \pm 0,18$  mg/100 gram sampel. Menurut Swiglo *et al.*, (2006), kandungan vitamin C pada brokoli segar adalah sebesar 84,5 mg/ 100 gram berat basah sampel dan menurut Tosun *et al.*, (2007), brokoli segar mengandung  $97,6 \pm 1,79$  mg/ 100 gram vitamin C. Perbedaan kandungan vitamin C pada beberapa penelitian tersebut dapat dikarenakan adanya perbedaan varietas dari bahan yang digunakan (Zhang & Hamauzu, 2004). Sedangkan menurut Singh *et al.*, (2007), perbedaan hasil pengujian terhadap senyawa fitokimia juga dapat disebabkan oleh beberapa faktor, misalnya perbedaan genetik dan lingkungan dari brokoli, serta adanya perbedaan cara pengukuran senyawa itu sendiri.

Proses *steam blanching* menyebabkan penurunan vitamin C pada brokoli. Pada hari pertama pengujian brokoli *steam blanched*, kandungan vitamin C brokoli yang akan disimpan pada suhu ruang, suhu *refrigerator* dan suhu *freezer* menurun dari kandungan brokoli segar (lihat pada tabel 2, halaman 25). Menurut Tosun *et al.*,(2007), *blanching*

merupakan salah satu unit pengolahan yang menggunakan panas dan air. Maka kandungan vitamin C brokoli menurun setelah di-*steam blanching* disebabkan karena terjadi kontak antara brokoli dengan air dan panas yang menyebabkan kerusakan jaringan pada brokoli. Gambar pada lampiran 5 menunjukkan bahwa struktur jaringan sel brokoli *steam blanched* mengalami pengerutan dan ukuran selnya lebih kecil dibandingkan dengan ukuran sel brokoli segar. Dalam penelitian Tosun *et al.*, (2007) ditemukan bahwa terjadi penurunan kandungan vitamin C hingga 32 % setelah proses *blanching*.

Dalam penelitian Patras *et al.*, (2011), proses *blanching* menyebabkan penurunan kandungan asam askorbat pada brokoli. Penurunan tingkat kandungan vitamin C ini menurut Patras *et al.*, (2011) disebabkan karena asam askorbat adalah senyawa nutrisi yang paling tidak stabil selama proses pengolahan dan senyawa askorbat sangat sensitif terhadap oksidasi dan mengalami *leaching* pada media larut air selama pengolahan, penyimpanan serta pemasakan bahan segar untuk dijadikan produk buah dan sayur beku maupun kaleng. Podsedek *et al.*, (2008) menegaskan pula bahwa kehilangan vitamin C selama pemasakan disebabkan karena adanya degradasi akibat panas dan *leaching* vitamin C dalam air yang digunakan dalam memasak.

Pada hari kedua, setelah masing-masing sampel disimpan pada tiga jenis suhu penyimpanan, yaitu suhu ruang, suhu *refrigerator* dan suhu *freezer*, secara umum kandungan vitamin C pada seluruh sampel menurun sejak hari pertama pengujian. Kandungan vitamin C sampel brokoli segar yang disimpan pada suhu ruang pada hari kedua turun dari kandungan brokoli segar awal, sedangkan untuk brokoli *steam blanching* yang disimpan pada suhu ruang tidak dapat dilakukan pengujian karena sampel telah busuk (lihat gambar pada lampiran 5, halaman 86). Kandungan vitamin C sampel brokoli *steam blanching* yang disimpan pada suhu *refrigerator* dan suhu *freezer* pada hari kedua penyimpanan tidak berbeda dengan kandungan vitamin C di hari pertama (lihat tabel 2, halaman 25). Kemudian kandungan vitamin C brokoli *steam blanching* yang disimpan pada suhu *refrigerator* mengalami penurunan pada hari keempat pengujian. Namun pada hari ketujuh sampai hari kesebelas, kandungan vitamin C brokoli yang disimpan pada suhu *refrigerator* tidak berbeda. Pada hari kelima belas,

tidak dapat dilakukan pengujian terhadap sampel brokoli *steam blanching* yang disimpan pada suhu *refrigerator* karena sampel telah busuk. Kandungan vitamin C pada brokoli yang disimpan pada suhu *freezer* tidak berbeda di hari kedua sampai hari kelima belas pengujian.

Sampel brokoli segar yang disimpan pada suhu ruang mengalami penurunan pada hari kedua pengujian. Safaryani *et al.*, (2007) dalam penelitiannya menemukan bahwa brokoli segar yang disimpan pada suhu ruang (30°C), setelah disimpan selama 3 hari mengalami penurunan vitamin C sampai 0,012 % dan pada hari ketujuh turun sampai 0,011 % dari kandungan awal brokoli. Persen penurunan vitamin C yang lebih rendah dibandingkan dengan vitamin C brokoli segar yang disimpan pada suhu 10°C diduga karena pada suhu 30°C respirasi berlangsung cepat, sehingga terjadi kenaikan jumlah asam-asam organik yang mengakibatkan turunnya pH brokoli. Keadaan lingkungan yang asam menyebabkan vitamin C lebih stabil.

Sedangkan untuk sampel brokoli yang disimpan pada suhu *refrigerator*, kandungan vitamin C turun pada hari keempat, kemudian pada hari ketujuh sampai hari kesebelas cenderung stabil. Patras *et al.*, (2011) dalam penelitian penyimpanan brokoli (*blanching*) beku pada suhu *chiller* (4°C), menemukan bahwa kandungan vitamin C brokoli turun sekitar 27 % dari kandungan vitamin C awal di hari keempat dan sekitar 54 % pada hari kedelapan penyimpanan. Penurunan kandungan vitamin C ini disebabkan karena vitamin C atau asam askorbat merupakan zat nutrisi yang paling tidak stabil selama pengolahan dan penyimpanan. Hal ini berkaitan dengan karakteristik asam askorbat yang mudah teroksidasi dan larut ke dalam media air.

Sedangkan kandungan vitamin C sampel brokoli *steam blanching* yang disimpan pada suhu *freezer* tidak berbeda dari hari pertama sampai hari kelima belas. Hal ini serupa dengan hasil penelitian Volden *et al.*, (2009), yang menemukan bahwa kandungan vitamin C brokoli *blanching* pada hari pertama adalah sebesar 53,3 mg/100 gram bahan, kemudian setelah disimpan pada suhu *freezer* (-24°C) selama 3 , 6 dan 12 bulan kandungan vitamin C brokoli secara berurutan menjadi  $54,3 \pm 2,4$  mg/100 gram bahan,  $45,0 \pm 0,8$  mg/100 gram bahan dan  $39,2 \pm 1,5$  mg/100 gram bahan. Salah satu penyebab

kerusakan pada sayur dan buah adalah akibat dari aktivitas enzim degradatif. Sehingga proses pemanasan, salah satunya *blanching* diperlukan untuk menginaktifkan enzim tersebut dan diharapkan supaya selama penyimpanan kerusakan akibat aktivitas enzim degradatif dapat diminimalkan. Hal tersebut serupa dengan Jones *et al.*, (2006), yang mengatakan bahwa pembekuan sayuran, salah satunya adalah brokoli adalah proses pengolahan yang sering dilakukan oleh industri makanan dan selalu didahului dengan proses *blanching* pada bahan yang dimaksudkan untuk menginaktifkan enzim yang dapat menyebabkan pembusukan.

Sedangkan menurut Safaryani *et al.*, (2007), kandungan vitamin C pada brokoli dapat berkurang sampai lebih dari 50 % hanya dalam beberapa hari. Namun dengan adanya penyimpanan dalam suhu rendah, diharapkan dapat mengurangi kegiatan respirasi dan metabolisme, menghambat penuaan, mencegah kehilangan air dan mencegah kelayuan. Jika brokoli tidak disimpan pada suhu rendah, maka aktivitas enzim akan meningkat. Dengan adanya enzim asam askorbat oksidase, maka asam L-askorbat akan teroksidasi menjadi asam L-dehidroaskorbat. Asam dehidroaskorbat sangat labil dan mudah berubah menjadi asam L-diketoglulonat yang tidak lagi memiliki keaktifan sebagai vitamin C.

Brokoli selama penyimpanan pada berbagai kondisi dan suhu penyimpanan mengalami penurunan nilai kandungan vitamin C. Hal ini dapat dilihat dari kerusakan mekanis yang terjadi pada jaringan sel brokoli. Sebagai contohnya dapat dilihat pada penelitian Montero *et al.*, (2009). Dalam penelitian tersebut dikatakan bahwa kerusakan mekanis pada bahan pangan sering terjadi pada saat penanganannya, contohnya adalah deformasi plastis, luka, dan kerusakan jaringan pada sayuran akibat tekanan dari luar. Kerusakan mekanis berhubungan dengan kehilangan vitamin dan perubahan nutrisi di dalam sayuran. Ditemukan bahwa terjadi penurunan vitamin C sebesar 35 % dan 24 % pada buah asam varietas Montenegrina dan Rainha yang diberikan perlakuan tekanan mekanis untuk merusak jaringan sel buah tersebut. Selain itu, vitamin C diketahui sebagai salah satu senyawa paling sensitif terhadap kerusakan, terutama jika penanganan dan kondisi penyimpanan tidak sesuai. Penurunan vitamin C akan bertambah seiring dengan bertambahnya waktu penyimpanan, suhu semakin tinggi,

kelembaban yang rendah, kerusakan fisik, dan *chilling injury* (Lee & Kader, 2000). Dalam penelitian ini, gambar kerusakan jaringan sel brokoli selama penyimpanan dapat dilihat pada lampiran 5 (halaman 86). Dalam gambar tersebut terlihat bahwa semakin lama penyimpanan brokoli, jaringan batang brokoli bagian luar mengalami pelunakan dan selnya mengalami kerusakan.

Menurut Fellows (2000), *freezing* merupakan unit operasi di mana temperatur bahan pangan diturunkan hingga di bawah titik bekunya dan sebagian dari air dalam bahan pangan berubah bentuk menjadi kristal es. Sehingga diduga selama pembekuan, beberapa senyawa nutrisi termasuk vitamin C yang larut air akan tersimpan dalam bentuk kristal es. Andarwulan & Koswara (1992) menambahkan pula jika vitamin C lebih stabil dalam bentuk kristal, tetapi mudah rusak atau terdegradasi jika berada dalam bentuk larutan, terutama jika terdapat udara, logam, dan cahaya. Sedangkan menurut Klein & Kurilich (2000), proses blanching menyebabkan penurunan vitamin C pada brokoli. Sehingga sebaiknya, untuk mempertahankan kandungan vitamin C dilakukan proses pemasakan cepat dan menggunakan sedikit air. Tetapi brokoli setelah blanching yang dibekukan dan disimpan pada suhu  $-20^{\circ}\text{C}$  tidak mengalami penurunan vitamin C yang signifikan di hari pertama sampai pada hari penyimpanan ke-225.

#### **4.2. Aktivitas Antioksidan**

Nilai aktivitas antioksidan paling tinggi terdapat pada brokoli segar pada hari pertama pengujian, yaitu sebesar  $32,21 \pm 2,43$  %. Proses *steam blanching* menyebabkan penurunan terhadap nilai aktivitas antioksidan brokoli. Volden *et al.*, (2009) dalam penelitiannya menemukan bahwa *blanching* pada suhu  $98^{\circ}\text{C}$  selama 3 menit menyebabkan penurunan secara signifikan pada kapasitas antioksidan kembang kol, yaitu sebesar 25-31 %. Sedangkan menurut penelitian Zhang & Hamauzu (2004), nilai aktivitas antioksidan pada kuntum brokoli segar adalah sebesar  $60,5 \pm 2,5$  %. Setelah dilakukan perebusan selama 120 detik, nilai aktivitas antioksidan pada kuntum bunga brokoli dapat bertahan sampai 39,2% dari nilai aktivitas antioksidan kuntum brokoli segar. Terjadinya penurunan nilai aktivitas antioksidan baik pada kuntum bunga maupun batang brokoli disebabkan karena adanya kehilangan yang signifikan pada

senyawa antioksidan seperti vitamin dan senyawa fenolik lainnya, yang disebabkan karena terjadi *leaching* selama proses pemasakan.

Sedangkan menurut penelitian Patras *et al.*, (2011), proses *blanching* tidak menyebabkan penurunan yang signifikan pada nilai aktivitas antioksidan sayuran. Nilai aktivitas antioksidan brokoli segar adalah sebesar  $0,53 \pm 0,01$  g/L dan hasil ini tidak berbeda nyata dengan nilai aktivitas antioksidan brokoli setelah *blanching*, yaitu sebesar  $0,52 \pm 0,02$  g/L. Kemudian hasil penelitian Swiglo *et al.*, (2006), perebusan brokoli selama 5 menit dapat menyebabkan penurunan aktivitas antioksidan senyawa polifenol sebesar 29 %, namun pengukusan selama 5 menit menyebabkan kenaikan nilai aktivitas antioksidan sebesar 3 kali. Menurut Roy *et al.*, (2009), peningkatan nilai aktivitas antioksidan pada brokoli setelah *steam blanching* disebabkan karena adanya peningkatan jumlah senyawa flavonoid terlarut dari matriks jaringan selama *blanching* sehingga senyawa ini dapat lebih mudah terekstrak. Selain itu, senyawa non-fenolik juga dapat meningkat dan terlarut dalam jaringan sehingga dapat meningkatkan total senyawa antioksidan.

Pada hari kedua pengujian, baik nilai aktivitas antioksidan brokoli segar yang disimpan pada suhu ruang dan *steam blanched* yang disimpan pada suhu *refrigerator* dan *freezer* turun dari nilai aktivitas antioksidan brokoli di hari pertama. Tetapi sampel brokoli *steam blanched* yang disimpan di suhu ruang sudah mengalami kerusakan di hari kedua, sehingga tidak dapat dilakukan pengujian. Demikian pula sampel brokoli segar juga rusak pada hari keempat penyimpanan. Sedangkan brokoli *steam blanching* yang disimpan pada suhu *refrigerator* dapat bertahan sampai pada hari kesebelas pengujian. Sampel brokoli *steam blanching* yang disimpan pada suhu *freezer* dapat bertahan sampai pada hari terakhir pengujian dengan nilai aktivitas antioksidan yang tidak saling berbeda di hari keempat sampai kelima belas penyimpanan.

Nilai aktivitas antioksidan brokoli yang disimpan pada suhu *freezer* tidak berbeda pada hari keempat sampai hari terakhir pengujian. Menurut Singh & Heldman (2001), *freezing* merupakan salah satu cara yang sering dilakukan untuk mengawetkan bahan pangan supaya mempunyai umur simpan yang lebih panjang. Suhu yang rendah ( $<0^{\circ}\text{C}$ )

dapat memperlambat pertumbuhan mikroorganisme, reaksi enzimatik dan reaksi oksidatif. Selain itu menurut Jones *et al.*, (2006), pembekuan sayuran, salah satunya adalah brokoli adalah proses pengolahan yang sering dilakukan oleh industri makanan dan selalu didahului dengan proses *blanching* pada bahan yang dimaksudkan untuk menginaktifkan enzim yang dapat menyebabkan pembusukan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Patras *et al.*,(2011), nilai aktivitas antioksidan brokoli yang telah diberi perlakuan *blanching*, dibekukan kemudian disimpan pada suhu *chiller* dan diukur pada hari pertama, keempat, keenam dan kedelapan secara berurutan adalah sebesar  $0,51 \pm 0,02$  g/L;  $0,53 \pm 0,02$  g/L;  $0,52 \pm 0,03$  g/L; dan  $0,29 \pm 0,02$  g/L. Aktivitas antioksidan dari sebuah produk makanan dapat terjaga atau bahkan meningkat. Hal tersebut disebabkan adanya kemungkinan senyawa antioksidan lain yang muncul selama proses. Sedangkan penurunan nilai aktivitas antioksidan diduga disebabkan adanya penurunan pada senyawa antioksidan, seperti vitamin C, polifenol, glukosinolat, dan sebagainya selama penyimpanan.

Hasil pengujian nilai aktivitas antioksidan pada penelitian ini berbeda dengan hasil dari beberapa penelitian lainnya. Menurut Podsedek (2007), pengolahan dengan menggunakan panas mempengaruhi besarnya nilai aktivitas antioksidan pada sayuran dan yang sering terjadi adalah terjadinya penurunan nilai aktivitas antioksidan setelah dilakukan pemasakan dengan menggunakan panas. Namun besarnya nilai aktivitas antioksidan akibat pemasakan dapat berbeda-beda antar hasil penelitian, hal ini disebabkan adanya perbedaan metode ekstraksi dan jenis senyawa antioksidan yang terekstrak di dalam cairan. Selain itu, menurut Singh *et al.*, (2007) dan Volden *et al.*, (2008), adanya variasi nilai dari hasil berbagai penelitian dapat disebabkan karena adanya pengaruh lingkungan dan genetik, serta perbedaan metode pengujian yang dilakukan.

### **4.3. Kadar Air**

Pada hari pertama pengujian kadar air, ditemukan nilai kadar air brokoli segar adalah  $90,91 \pm 0,24$  %, sedangkan kadar air brokoli *steam blanched* yang akan disimpan pada suhu ruang, *refrigerator* dan *freezer* meningkat. Peningkatan ini terjadi karena

selama proses *steam blanching*, uap air terserap ke dalam jaringan brokoli dan diikuti pula dengan melunaknya jaringan brokoli (Howard *et al.*, 1999).

Brokoli segar mengalami kerusakan pada hari keempat dan brokoli *steam blanching* yang disimpan di suhu ruang, pada hari kedua hingga selanjutnya mengalami kerusakan karena brokoli busuk. Hal ini ditandai dengan meningkatnya jumlah air dalam plastik pengemas, plastik pengemas mengalami penggembungan, dan muncul bau yang tidak sedap. Kerusakan ini diakibatkan karena brokoli yang sudah di-*steam blanching* mengalami peningkatan kadar air. Kadar air yang tinggi akan menyebabkan pertumbuhan mikroba pembusuk semakin meningkat. Menurut Winarno *et al.*, (1980), pertumbuhan mikrobial pada bahan pangan sangat erat hubungannya dengan jumlah kandungan air pada bahan tersebut. Pertumbuhan mikrobial tidak pernah terjadi tanpa adanya air. Menurut Safaryani *et al.*, (2007), laju respirasi adalah petunjuk mengenai potensi daya simpan sayuran. Laju respirasi yang tinggi biasanya disertai dengan umur simpan yang pendek dan faktor yang sangat mempengaruhi laju respirasi adalah suhu penyimpanan. Peningkatan suhu antara 0 – 35°C akan meningkatkan laju respirasi sayuran.

Brokoli *steam blanching* yang disimpan pada suhu *refrigerator* dapat bertahan sampai pada hari kesebelas penyimpanan dengan nilai kadar air yang tidak berbeda pada setiap hari pengujian. Hal ini disebabkan karena selama penyimpanan di dalam *refrigerator*, suhu, dan kelembaban udara dapat dikontrol. Sehingga nilai kadar air brokoli cenderung stabil sampai pada hari kesebelas. Sedangkan kadar air brokoli yang disimpan pada suhu *freezer* juga tidak berbeda pada hasil setiap pengujian kadar air. Hal ini disebabkan karena selama penyimpanan di dalam *freezer*, sebagian besar air dalam jaringan brokoli diubah menjadi bentuk kristal es (Fellows, 2000). Kemudian menurut Howard *et al.*, (1999) mengatakan fluktuasi nilai kadar air sayuran selama penyimpanan dalam *refrigerator* dan *freezer* disebabkan adanya variasi pada sampel.

#### 4.4. Tekstur

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian tekstur (*hardness*) dari sampel brokoli. Menurut Bourne (2002), *hardness* secara subjektif dapat diartikan sebagai tenaga

tertinggi yang terjadi saat pertama kali uji penekanan sampel (*compressive*) berlangsung. *Hardness* juga dapat didefinisikan sebagai sebuah tenaga yang dibutuhkan untuk merusak atau menghancurkan sampel di antara gigi geraham. Tingkat kekerasan brokoli segar pada hari pertama adalah sebesar  $9660,4 \pm 628,6$  gf, kemudian turun pada hari kedua penyimpanan. Sedangkan tingkat kekerasan brokoli setelah dilakukan *steam blanching* selama 2 menit secara umum lebih rendah dibandingkan dengan tingkat kekerasan brokoli segar (lihat pada tabel 5, halaman 31).

Hasil penelitian ini sesuai dengan Miglio *et al.*, (2008) yang mengatakan bahwa penurunan tingkat kekerasan pada brokoli setelah *blanching* disebabkan karena selama *blanching*, brokoli mengalami proses pemanasan, struktur membran selnya rusak dan menyebabkan selnya terpisah. Hal itu mengakibatkan hilangnya tekanan turgor pada dinding sel sehingga tekstur brokoli *blanching* menjadi lebih lunak daripada brokoli segar. Hal ini dapat dilihat pada gambar penampang melintang batang brokoli di lampiran 5. Namun di sisi lain, Barrett *et al.*, (2000) mengatakan bahwa, brokoli segar yang disimpan pada kondisi beku akan mengalami penurunan tingkat kekerasannya. Hal ini disebabkan karena aktifitas enzim *polygalacturonase* yang berperan dalam mengkatalis pelunakan atau kerusakan mekanis pada dinding sel brokoli. Tetapi di sisi lain, *blanching* pada brokoli memberikan efek untuk mengaktifkan enzim pektin esterase. Enzim pektin esterase akan menghidrolisa gugus metil pada rantai pektin dan meningkatkan keberadaan gugus karboksil yang dapat berikatan dengan kalsium sehingga tingkat kerenyahan brokoli meningkat.

#### 4.5. Warna

Warna merupakan salah satu atribut fisik yang harus diperhatikan dalam suatu produk pangan karena terkait langsung dengan penerimaan konsumen. Penilaian kualitas bahan pangan pertama kali oleh seorang konsumen adalah penampakan visual. Warna yang tidak normal, terutama yang berhubungan dengan penurunan *eating quality* atau kerusakan bisa menyebabkan penolakan produk oleh konsumen (Avila & Silva dalam Akoy *et al.*, 2008). Warna dapat ditentukan secara objektif dengan menggunakan alat yang disebut *chromameter* dan hasil pengukuran warna didapatkan dalam bentuk  $L^*a^*b^*$  atau  $L^*C^*h^*$ . Dalam satuan warna ini,  $L^*$  menyatakan *lightness*, sama dengan

$L^*$  pada satuan CIELAB,  $C^*$  adalah *chroma*, dan  $h$  adalah sudut *hue*. Sudut *hue*  $h$  didefinisikan dimulai dari absis  $0^0$  berarti  $+a^*$  (merah),  $90^0$  berarti  $+b^*$  (kuning),  $180^0$  berarti  $-a^*$  (hijau), dan  $270^0$  berarti  $-b^*$  (biru). *Hue* adalah istilah yang dipakai dalam dunia warna untuk klasifikasi macam warna seperti merah, kuning, biru, dan lain-lain. *Lightness* adalah seberapa cerah warna suatu bahan, warna ini dapat dibedakan menjadi warna cerah dan gelap (Minolta Co., 1998).

*Steam blanching* menyebabkan perubahan terhadap nilai  $L^*$ ,  $a^*$ , dan  $b^*$  sampel brokoli. Pada hasil penelitian ini, nilai  $L^*$  (*lightness*) pada brokoli setelah *steam blanching* menurun. Dan selama penyimpanan, secara umum terjadi penurunan nilai  $L^*$  pada semua sampel. Penurunan nilai  $L^*$  menunjukkan bahwa sampel semakin gelap. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Volden *et al.*, (2009), *blanching* menurunkan nilai  $L^*$  pada berbagai varietas kembang kol. Demikian pula dengan hasil penelitian Miglio *et al.*, (2008), di mana perebusan dan pengukusan menurunkan nilai  $L^*$  pada wortel. Selain itu Barrett *et al.*, (2000) menegaskan bahwa penurunan nilai  $L^*$  menunjukkan bahwa sampel semakin gelap. Nilai *lightness* brokoli segar adalah sekitar 39,24, namun setelah dilakukan *blanching* selama 135 detik nilai *lightness* brokoli berkurang hingga 23,6 % atau nilai *lightness* brokoli menjadi sekitar 29,97. Dalam penelitian Patras *et al.*, (2011), ditemukan bahwa nilai  $L^*$  brokoli beku yang disimpan pada suhu *chiller* mengalami penurunan. Turunnya nilai  $L^*$  berkaitan dengan aktivitas enzim PPO, terutama pada brokoli beku yang tidak di-*blanching* terlebih dahulu.

Kemudian nilai  $a^*$  yang semakin negatif atau menurun menunjukkan warna hijau yang lebih kuat. *Steam blanching* menyebabkan penurunan pada nilai  $a^*$  ( $a^*$  semakin negatif) brokoli. Namun setelah dilakukan penyimpanan pada tiga jenis suhu, nilai  $a^*$  dari sampel secara umum mengalami peningkatan. Menurut Miglio *et al.*, (2008), intensitas warna hijau dari sayur mentah dan yang sudah diolah tidak hanya berkaitan dengan konsentrasi pigmen, tetapi juga penyebaran dan pemantulan warna dari permukaan hijau sayuran. Perubahan intensitas warna hijau disebabkan karena adanya perubahan pada permukaan sayur, seperti hilangnya udara di antara dinding sel. Kemudian perubahan nilai  $a^*$  pada brokoli segar menunjukkan nilai  $a^*$  semakin positif atau naik, hal ini menunjukkan bahwa intensitas warna hijau brokoli semakin berkurang. Menurut Barrett

*et al.*,(2000), perubahan intensitas warna hijau pada brokoli selama pasca panen dipengaruhi oleh aktivitas enzim LPO (*lypoxigenase*) dan adanya oksidasi pada asam lemak tidak jenuh, yang akhirnya menyebabkan terjadinya *bleaching* pada klorofil dan karotenoid.

*Steam blanching* juga menyebabkan perubahan yang signifikan terhadap nilai  $b^*$  brokoli. Nilai  $b^*$  yang semakin tinggi menunjukkan peningkatan intensitas warna kuning, sedangkan nilai  $b^*$  yang semakin negatif menunjukkan intensitas warna biru. *Steam blanching* menyebabkan peningkatan nilai  $b^*$  brokoli. Hal ini sesuai dengan penelitian Miglio *et al.*,(2008) yang menyebutkan bahwa nilai  $b^*$  kuntum bunga brokoli segar adalah  $7,3 \pm 1,2$  dan setelah dilakukan perebusan serta pengukusan, nilai  $b^*$  kuntum bunga brokoli adalah sebesar  $11,9 \pm 2,6$  dan  $12,6 \pm 4,6$ . Suhu penyimpanan juga berpengaruh terhadap perubahan nilai  $b^*$ . Sampel brokoli *steam blanching* yang disimpan di suhu *refrigerator* mengalami peningkatan warna kuning dari hari ke hari.

Selanjutnya, nilai  $\Delta E$  dan *chroma* menunjukkan besarnya perubahan dan tingkat kecerahan dari sampel. Perlakuan *steam blanching* memberikan pengaruh terhadap nilai *chroma*. Hal ini sesuai dengan penelitian Miglio *et al.*,(2008), yang menyebutkan bahwa nilai  $C^*$  kuntum bunga brokoli segar adalah  $8,6 \pm 1,3$  dan setelah dilakukan perebusan dan pengukusan, nilai  $C^*$  bertambah hingga mencapai nilai  $14,0 \pm 2,9$  dan  $13,0 \pm 2,8$ . Peningkatan nilai  $C^*$  juga ditemukan dalam penelitian Barrett *et al.*,(2000), nilai  $C^*$  dari brokoli segar adalah sebesar 18,82. Setelah dilakukan *blanching* selama 45 detik, 90 detik, 135 detik, dan 180 detik nilai  $C^*$  berubah menjadi 27,95; 22,00; 24,11; dan 21,55. Nilai  $\Delta E$  sampel brokoli *steam blanching* yang disimpan pada suhu *refrigerator* semakin meningkat dari hari ke hari. Besarnya perubahan warna tersebut diikuti dengan penurunan nilai *chroma* atau dapat diartikan sampel semakin kehilangan tingkat kecerahan. Namun nilai  $\Delta E$  pada brokoli *steam blanching* yang disimpan pada suhu *freezer* tidak berbeda nyata di setiap hari pengujian, begitu pula dengan nilai  $C^*$  brokoli beku (lihat pada tabel 7, halaman 37). Hal ini menunjukkan bahwa mutu dari segi fisik yaitu warna, brokoli yang disimpan dalam kondisi beku dapat lebih dipertahankan. Patras *et al.*,(2011) menegaskan bahwa pembekuan dapat memberikan keunggulan

dalam menjaga kualitas sayuran beku tetap sama seperti bentuk segarnya jika dilihat dari sisi atribut sensori dan nutrisi.

