

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

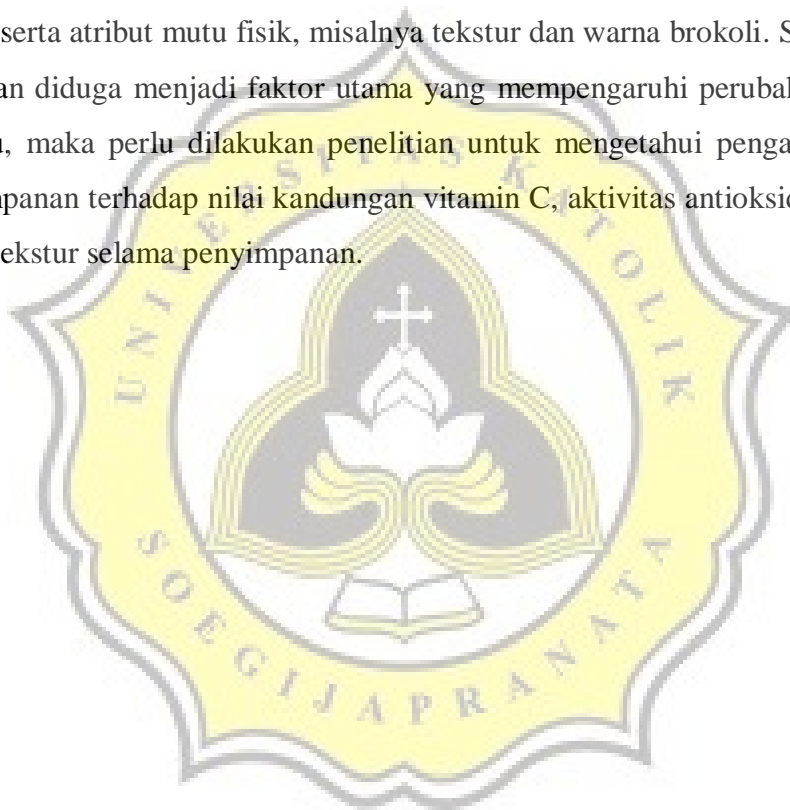
Berbagai sayuran dari kelompok *Brassicaceae*, seperti brokoli, *brussels sprouts*, kubis, dan kembang kol sudah dikenal luas oleh masyarakat. Asupan makanan yang kaya akan sayuran *Brassicaceae* akan memiliki pengaruh yang baik terhadap kesehatan, hal ini dikaitkan berbagai senyawa kimia dalam sayuran *Brassicaceae* yang dapat menghambat efek karsinogenik dalam tubuh manusia (Singh *et al.*, 2007). Menurut Miglio *et al.* (2008) dan Gliszczynska-Swiglo *et al.* (2006), tanaman *Brassica* mengandung banyak senyawa nutrisi yang menyehatkan seperti senyawa fenolik, vitamin, asam fitat, serat, gula terlarut, glukosinolat, mineral, polifenol, lemak, dan karotenoid.

Brokoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) adalah salah satu spesies tanaman *Brassica* yang dapat memberi nilai kesehatan, karena mengandung senyawa fitokimia seperti senyawa fenol, vitamin C, dan glukosinolat (Yuan *et al.*, 2009). Brokoli merupakan salah satu komoditi pertanian yang melimpah di Indonesia, khususnya di Pulau Jawa. Brokoli memiliki prospek sebagai komoditi ekspor yang sangat tinggi. Brokoli lebih dikenal sebagai salah satu sayuran oriental, sehingga brokoli belum terlalu dikenal oleh masyarakat Indonesia namun memiliki nilai jual tinggi. Namun di sisi lain, brokoli memiliki kelemahan yaitu daya tahan brokoli sangat rendah setelah panen, kuncup bunganya akan cepat membuka dan mengembang. Hal ini ditandai dengan perubahan warna bunga dari hijau menjadi kuning dalam waktu singkat, serta jika tidak disimpan pada suhu rendah maka umur simpan brokoli hanya sekitar 3 hari dengan pangkal batang berair dan seterusnya akan membusuk (Safaryani *et al.*, 2007).

Perlu dilakukan proses pengolahan yang dapat menjaga kualitas brokoli setelah panen. Proses pengolahan ini diharapkan dapat memperpanjang umur simpan brokoli namun kualitas brokoli tetap terjaga, sehingga distribusi brokoli dapat menjadi semakin panjang dan brokoli dapat menjadi salah satu komoditas ekspor Indonesia maupun industri *horeca* (*hotel-restaurant-catering*). Salah satu proses pengolahan yang dinilai dapat memenuhi kriteria tersebut adalah pembekuan. Metode pembekuan sayuran sendiri bukan pertama kali dilakukan untuk brokoli, namun sudah dilakukan pada

beberapa komoditas sayuran lainnya seperti jagung (*corn kernel*), kacang polong, kentang dan buncis.

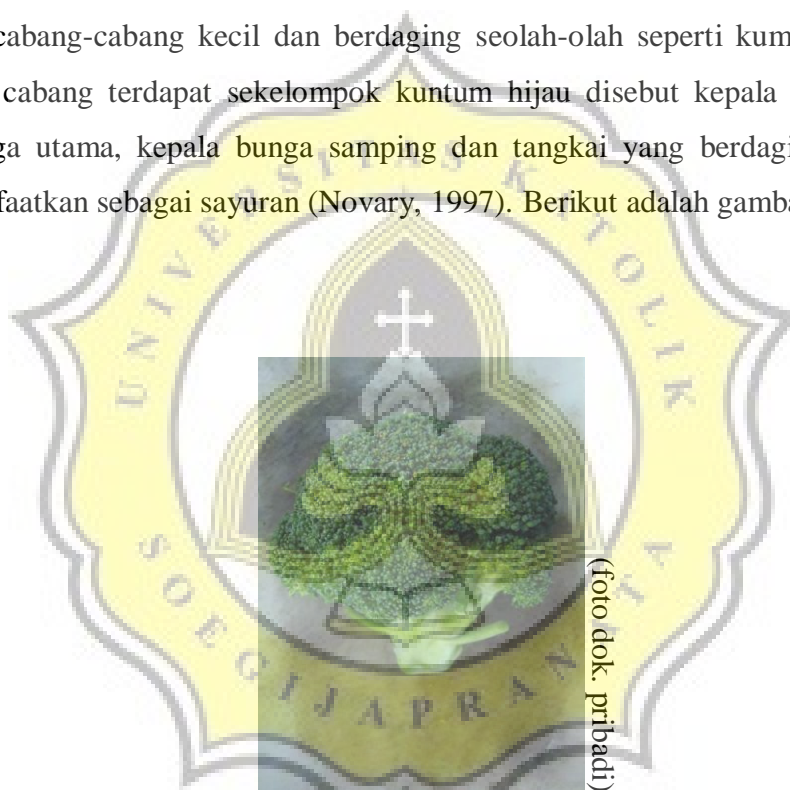
Pembekuan sayuran adalah teknik preservasi yang paling sering dilakukan, dibandingkan dengan teknik pengalengan dan pengeringan. Hal ini disebabkan karena pembekuan dapat memberikan keunggulan dalam menjaga kualitas sayuran beku tetap sama seperti bentuk segarnya jika dilihat dari sisi atribut sensori dan nutrisi (Patras *et al.*, 2011). Di sisi lain metode pembekuan diduga akan berdampak pada kualitas nilai fungsional brokoli, misalnya terhadap nilai kandungan vitamin C dan aktivitas antioksidan, serta atribut mutu fisik, misalnya tekstur dan warna brokoli. Suhu dan lama penyimpanan diduga menjadi faktor utama yang mempengaruhi perubahan mutu dari brokoli beku, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh suhu dan lama penyimpanan terhadap nilai kandungan vitamin C, aktivitas antioksidan, kadar air, warna serta tekstur selama penyimpanan.



1.2. Tinjauan Pustaka

1.2.1. Brokoli

Brokoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) merupakan sayuran berbentuk kuntum bunga, berwarna hijau tua atau muda. Brokoli memiliki daya tahan yang sangat rendah setelah panen, kuncup bunganya akan cepat membuka dan mengembang. Warna bunga juga cepat berubah warna dari hijau ke kuning karena laju respirasi pada bagian bunga yang tersusun dari jaringan muda dan sangat aktif dalam proses biologis sangat tinggi (Safaryani *et al.*, 2007). Brokoli tergolong ke dalam keluarga kubis-kubisan dan termasuk sayuran yang tidak tahan terhadap udara panas. Brokoli 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. Kepala bunga utama, kepala bunga samping dan tangkai yang berdaging semuanya dapat dimanfaatkan sebagai sayuran (Novary, 1997). Berikut adalah gambar dari brokoli segar.



Gambar. 1 Brokoli Segar

Menurut Miglio *et al.* (2008), Gliszczynska-Swiglo *et al.* (2006), dan Podsedek *et al.* (2008) konsumsi sayuran *Brassica* dipercaya dapat mengurangi risiko serangan penyakit degeneratif, kanker, dan penyakit kardiovaskular. Hal ini disebabkan sayuran *Brassica* mengandung berbagai senyawa yang baik untuk menunjang kesehatan seperti mineral, senyawa antioksidan, seperti vitamin C dan E, senyawa fenolik, karotenoid serta glukosinolat. Menurut Jones *et al.*, (2006) dan Roy *et al.*, (2009), brokoli segar mengandung berbagai macam senyawa fitokimia, termasuk glukosinolat, flavonol,

karotenoid, vitamin, dan mineral. Senyawa antioksidatif utama yang terkandung dalam brokoli adalah flavonoid dan vitamin. Pada tabel 1 berikut ini dapat dilihat komposisi gizi dari 100 gram brokoli segar.

Tabel 1. Komposisi Gizi pada 100 gram Brokoli

| Nutrisi (satuan) | Nilai per 100 gram Bahan |
|----------------------|--------------------------|
| Energi (kkal) | 35,0 |
| Karbohidrat (g) | 2,0 |
| Lemak (g) | 0,3 |
| Protein (g) | 4,6 |
| Asam organik (g) | 0,3 |
| Asam lemak total (g) | 0,3 |
| Serat (g) | 2,5 |
| Total gula (g) | 2,0 |
| Mineral (mg) | 589,1 |
| Vitamin C (mg) | 120,0 |

(National Institute for Health and Welfare, 2011)

Brokoli dapat dikonsumsi mentah sebagai salah satu bahan pelengkap salad (Podsedeck, 2007 dan Howard *et al.*, 1999). Namun menurut Roy *et al.*, (2009); Zhang & Hamazu, (2004); dan Miglio *et al.*, (2008) secara umum, berbagai jenis sayuran, termasuk brokoli akan melalui proses pemasakan terlebih dahulu sebelum dikonsumsi. Dalam hal ini, proses pengolahan panas yang sering dilakukan diketahui menyebabkan adanya perubahan yang signifikan pada komposisi kimia, mempengaruhi konsentrasi dan ketersediaan dari senyawa bioaktif sayuran. Misalnya penurunan nutrisi yang larut air dan sensitif terhadap panas, seperti vitamin C. Namun demikian, pada beberapa kondisi yang menggunakan panas, ketersediaan dari senyawa protektif justru akan meningkat saat sayuran dimasak.

1.2.2. *Blanching*

Menurut Rungapamestry *et al.*, (2007), brokoli adalah salah satu sayuran *Brassica* yang paling sering dikonsumsi. Seiring dengan perkembangan penggunaan produk beku di pasaran, maka produk brokoli beku dapat menjadi produk pangan yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Kualitas nutrisi produk sayuran beku lebih rendah bila dibandingkan dengan kualitas sayuran segar, namun produk sayuran beku memiliki keunggulan yaitu

memiliki umur simpan yang lebih lama. *Blanching* adalah tahap proses pertama yang biasa dilakukan pada industri sayuran beku sebelum proses *blast-freezing*. *Blanching* dilakukan untuk mengurangi jumlah mikroba dan menginaktivasi enzim yang dapat menyebabkan perubahan tekstur selama pembekuan.

Blanching adalah suatu proses perlakuan panas pada sayuran dan buah-buahan dalam waktu singkat. Menurut Patras *et al.*, (2011), *blanching* dilakukan dengan meletakan sayuran di dalam air panas atau dengan memberikan uap panas selama 1-10 menit pada suhu 75-95°C. Kombinasi waktu dan suhu tergantung pada jenis sayuran. Selain itu, menurut Roy *et al.*, (2009), *blanching* tidak hanya memperpanjang umur simpan dari sayuran dengan menginaktivkan enzim yang menyebabkan pencokelatan (polifenoloksidase, lipoksigenase dan peroksidase), namun juga dapat memperkuat warna dan flavor sayuran atau buah-buahan. Secara umum, *blanching* dilakukan dengan menggunakan air mendidih. Metode ini sangat sederhana dan murah, namun potensi terjadinya *leaching* senyawa larut air sangat tinggi. Di sisi lain, metode *steam blanching* diketahui dapat lebih mencegah terjadinya *leaching* senyawa larut air pada brokoli.

Volden *et al.*, (2009), mengatakan bahwa tujuan utama dilakukan *blanching* adalah untuk menginaktivkan enzim degradatif. Setelah proses *blanching* selesai, suhu pada sayuran harus segera diturunkan dengan mendinginkan sayuran. Sedangkan menurut Patras *et al.*, (2011), *blanching* sayuran dilakukan sebelum proses pembekuan untuk menginaktivkan enzim, mengurangi jumlah mikroba, mengeluarkan gas dari jaringan makanan dan mengerutkan sayuran agar mudah dikemas, memperoleh warna, tekstur, dan permukaan bahan yang bersih. Namun di sisi lain, *blanching* juga dapat berdampak negatif pada kandungan nutrisi sayuran, karena beberapa senyawa nutrisi sayuran seperti vitamin dan senyawa fenolik relatif tidak stabil jika diberi perlakuan panas.

Steam blanching memiliki keunggulan dalam menjaga brokoli dari kehilangan senyawa fitokimia bila dibandingkan dengan *hot water blanching*. Saat ini, *steam blanching* adalah metode yang paling sering digunakan oleh industri makanan, karena murah dan dapat menjaga lebih banyak mineral dan komponen larut air. *Steam blanching* yang dilakukan dengan cara memanaskan bahan pada kondisi kandungan uap yang tinggi

ternyata efektif untuk meminimalkan pengaruh akibat oksidasi selama proses termal (Roy *et al.*, 2009).

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. Selain itu, senyawa glukosinolat paling baik dijaga dalam kondisi beku, karena enzim mirosinase menjadi inaktif pada saat dilakukan *blanching*.

1.2.3. Freezing

Freezing merupakan unit operasi di mana suhu bahan pangan diturunkan hingga di bawah titik bekunya dan sebagian dari air di dalam bahan pangan tersebut berubah bentuknya menjadi kristal-kristal es. Perubahan dari air menjadi es dan konsentrasi larutan pada air yang tidak terbekukan dapat menurunkan aktivitas air (A_w) pada bahan pangan. Efek pengawetan dapat dicapai dengan mengkombinasikan suhu rendah, penurunan a_w , dan pada beberapa bahan pangan, *pretreatment* seperti *blanching*. *Freezing points* untuk produk sayuran berkisar antara $-0,8$ sampai $-2,8^{\circ}\text{C}$ (Fellows, 2000). Sedangkan menurut Singh & Heldman (2001), *freezing* merupakan salah satu cara yang sering dilakukan untuk mengawetkan bahan pangan supaya mempunyai umur simpan yang lebih panjang. Atau dapat dikatakan bahwa *freezing* merupakan proses pendinginan cairan, di mana pada suhu tertentu cairan akan berubah menjadi padatan (es). Suhu itu disebut sebagai *freezing point*. Pada suhu yang rendah ($<0^{\circ}\text{C}$) pertumbuhan mikroorganisme dapat diperlambat. Selain itu pada suhu yang rendah reaksi enzimatik dan reaksi oksidatif dapat dihambat.

Masalah iklim, cuaca, dan faktor alam yang berpengaruh langsung terhadap penurunan kualitas sayuran yang telah dipanen menjadi latar belakang manusia untuk memperpanjang umur simpan atau mengawetkan sayuran. Pembekuan sayuran adalah teknik preservasi yang paling sering dilakukan, dibandingkan dengan teknik pengalengan dan pengeringan. Hal ini disebabkan karena pembekuan dapat memberikan keunggulan dalam menjaga kualitas sayuran beku tetap sama seperti bentuk segarnya

jika dilihat dari sisi atribut sensori dan nutrisi. Walaupun pembekuan dapat membantu mengawetkan bahan pangan dengan memperlambat reaksi enzimatik, pembusukan dan pertumbuhan mikroba, namun demikian hal tersebut tidak berhenti seutuhnya. Selama penyimpanan beku, bahan pangan juga dapat mengalami *off-odors*, *off-colours*, *off-flavours*, dan perubahan pada tekstur dan kehilangan senyawa nutrisi (Patras *et al.*, 2011).

Selain itu, Tosun *et al.*, (2007) mengatakan bahwa walaupun senyawa nutrisi pada produk beku dapat lebih terjaga bila dibandingkan dengan metode preservasi lainnya, namun tidak menutup kemungkinan akan terjadi kehilangan nutrisi dalam jumlah tinggi pada produk pangan beku selama periode *pre-freezing* dan *pre-consumption*. Hal ini disebabkan karena reaksi kimia, biokimia dan fisik mungkin tidak berhenti secara sempurna saat pembekuan, sehingga kecepatan dari semua reaksi yang terjadi berdasarkan dari suhu penyimpanan. Jika sayuran tidak disimpan dalam kemasan yang tidak tahan uap air dan tahan terhadap oksigen, maka kristal es pada permukaan sayuran akan digantikan oleh udara, sehingga permukaan sayuran akan kontak langsung dengan oksigen yang akan mengakibatkan terjadi oksidasi pada molekul tertentu, misalnya asam askorbat. Proses kerusakan ini dapat dipercepat dengan bertambahnya suhu saat penyimpanan, misalnya pintu *freezer* yang sering dibuka dan ditutup.

1.2.4. Vitamin C

Atribut mutu yang sering diukur pada produk sayuran adalah vitamin C. Vitamin C merupakan antioksidan larut air paling penting yang terdapat pada ruang ekstraselular dan intraselular dalam hampir semua sistem biologi, dimana vitamin C dapat berpartisipasi dalam reaksi redoks (Gliszczynska-Swiglo *et al.*, 2006). Vitamin C dalam bentuk murni merupakan kristal putih, tidak berwarna, tidak berbau dan mencair pada suhu 190-192°C. Senyawa ini bersifat reduktor kuat dan memiliki rasa asam. Vitamin C sangat mudah larut dalam air, sedikit larut dalam alkohol dan tidak larut dalam benzena, eter, kloroform, minyak dan sejenisnya. Walaupun vitamin C stabil dalam bentuk kristal, tetapi mudah rusak atau terdegradasi jika berada dalam bentuk larutan, terutama jika terdapat udara, logam dan cahaya (Andarwulan & Koswara, 1992). Sedangkan menurut Klein & Kurilich (2000), vitamin C adalah senyawa vitamin paling tidak stabil

terhadap larut air dan mudah teroksidasi, terutama pada pH netral. Banyak pengujian ketahanan vitamin dalam bahan pangan memfokuskan pada kandungan vitamin C, dengan asumsi jika vitamin C dapat bertahan maka senyawa nutrisi lain yang sejenis dianggap dapat bertahan pula.

Kehilangan vitamin C tergantung pada jenis sayuran dan proses pengolahan yang digunakan. Pemanasan saat pengolahan, seperti perebusan, pengukusan dan *pressure cooking* pada sayuran selama 1 jam dapat mengakibatkan lebih dari 50% vitamin C mengalami kerusakan (Andarwulan & Koswara, 1992). Adanya oksigen dan pemanasan yang terlalu lama dapat merusak kandungan vitamin C dalam makanan. Kerusakan atau oksidasi vitamin C terjadi karena adanya udara, dalam kondisi netral dan basa (deMan, 1997). Selain itu, saat pemotongan sayur-sayuran juga dapat mengakibatkan kehilangan vitamin C dalam jumlah banyak (Fennema, 1985).

Menurut Volden *et al.*, (2009), asam L-askorbat adalah senyawa fitokimia yang paling sering diteliti sehubungan dengan proses dan penyimpanan buah dan sayur. Hal tersebut juga dikemukakan oleh Tosun *et al.*, (2007), yang mengatakan bahwa vitamin C yang merupakan vitamin yang paling sensitif, sering digunakan sebagai indikator dalam mengukur derajat perubahan karena adanya proses pemasakan. Hal ini dikarenakan asam L-askorbat sangat labil dan sangat larut air. Kehilangan asam askorbat selama proses dapat terjadi akibat enzim asam askorbat oksidase, kerusakan akibat panas dan *leaching*. Diketahui bahwa *blanching* dapat menyebabkan penurunan kandungan vitamin C pada brokoli hingga 41-42%, dan brokoli yang sudah di-*blanching* dan disimpan dalam keadaan beku selama setahun menyebutkan bahwa besar kandungan asam askorbat pada brokoli segar adalah sebesar $374,1 \pm 2,12$ mg/100 gram dan pada brokoli *blanching* yang dibekukan adalah sebesar $373,2 \pm 5,67$ mg/100 gram.

Volden *et.al.* (2009) dan Volden *et.al.* (2008), menyebutkan proses pemasakan secara signifikan memberikan efek pada kandungan senyawa fitokimia, seperti L-Asam Askorbat (L-AA) pada bunga kol dan kubis merah. Dampak dari proses pemanasan basah berhubungan dengan jumlah panas dan air yang digunakan pada pemrosesan. Oleh karena itu, pengukusan tanpa kontak dengan air, menyebabkan penurunan paling

minimal terhadap senyawa tersebut, diikuti dengan *blanching*, dan perebusan (10 menit kontak dengan air). Larutnya senyawa L-asam askorbat merupakan fungsi dari jumlah air per berat sayuran, suhu dan waktu pemanasan, ukuran partikel sayur, dan total area permukaan potongan sayuran.

1.2.5. Aktivitas Antioksidan

Tujuan utama dilakukan proses pembekuan adalah untuk menjaga karakteristik bahan pangan agar tetap sama dengan bahan segar, serta untuk meminimalkan kehilangan nutrisi seperti vitamin dan senyawa antioksidan lainnya selama penyimpanan (Patras *et al.*, 2011). Maka dari itu selain vitamin C, hal yang sering diukur untuk mengetahui kualitas sayuran beku adalah aktivitas antioksidan. Senyawa antioksidan banyak terdapat pada sayur, buah dan rempah-rempah. Dari beberapa jenis sayuran, brokoli dikenal sebagai salah satu sumber penting berbagai senyawa aktif, termasuk di dalamnya polifenol. Senyawa fenol dapat berfungsi sebagai antioksidan karena memiliki sifat redoks sehingga dapat berfungsi sebagai senyawa pereduksi, donator hidrogen dan penangkap oksigen. Aktivitas antioksidan dari polifenol dilihat dari fungsinya sebagai pereduksi, kemampuan untuk menangkap radikal bebas dan berikatan dengan ion logam – kofaktor dari enzim yang mengkatalis reaksi oksidatif, penghambat kerja enzim oksidase, mengakhiri reaksi rantai radikal dan menstabilkan radikal bebas. Brokoli segar mengandung $2,70 \pm 0,02$ mg/g senyawa fenol dari berat basahnya (Chipurura *et al.*, 2010 dan Gawlik-Dziki, 2008). Sedangkan Patras *et al.*, (2011) menyebutkan bahwa total senyawa fenol pada brokoli segar adalah $446,0 \pm 12,21$ mg/100 gram, pada brokoli *blanching* beku sebesar $448,0 \pm 0,98$ mg/100 gram dan pada brokoli beku tanpa *blanching* sebesar $521,0 \pm 2,32$ mg/100 gram.

Selain itu Miglio *et al.*, (2008), mengatakan bahwa terdapat $99,8 \pm 2,4$ mg/100 gram total senyawa fenol pada brokoli segar. Berbagai macam metode pemasakan, berpengaruh pada kandungan senyawa aktif dalam sayuran. Total senyawa fenol pada brokoli yang direbus turun menjadi $27,0 \pm 3,4$ mg/100 gram, kemudian pada brokoli yang dikukus turun menjadi $61,8 \pm 8,2$ mg/100 gram dan pada brokoli yang digoreng turun menjadi $40,3 \pm 0,7$ mg/100 gram. Hal tersebut serupa dengan Zhang & Hamazu

(2004), yang mengatakan bahwa pemasakan mempengaruhi komponen antioksidan dan aktivitas antioksidan dari brokoli.

Chipurura *et al.*, (2010) menegaskan bahwa proses pemasakan pada sayuran, seperti *blanching*, pengalengan, sterilisasi dan pembekuan mempengaruhi besar *yield*, komposisi dan *bioavailability* dari senyawa antioksidan. Selama pemasakan, terjadi pemecahan senyawa antioksidan, kemudian senyawa tersebut larut ke dalam air di sekitar bahan. Maka hal tersebut berpengaruh terhadap aktivitas antioksidan dari sayuran. Namun di sisi lain proses pemanasan juga dapat meningkatkan jumlah fenolik dan flavonoid pada brokoli. Ini disebabkan proses pemanasan dapat memecah membran sel dan dinding sel, sehingga dapat senyawa fitokimia dari bagian yang tidak larut pada brokoli dapat lepas (Roy *et al.*, 2009).

Menurut Gawlik-Dziki (2008) dan Brand-Williams *et al.*, (1995), pengujian aktivitas antioksidan ini menggunakan larutan metanol. Sedangkan Miliauskas *et al.*, (2003), mengatakan bahwa aktivitas antioksidan dapat diukur dengan menggunakan *radical scavenging activity* DPPH (2,2-diphenil-1-picrylhydrazil radical), dimana antioksidan dalam sampel akan bereaksi DPPH dan mengubahnya menjadi *alfa,alfa-diphenyl-beta-picrylhydrazine*. Perubahan serapan yang dihasilkan oleh reaksi ini menjadi ukuran kemampuan antioksidan dari sampel. Saat DPPH bereaksi dengan senyawa yang mengandung antioksidan yang dapat mendonorkan hidrogen, DPPH tersebut kemudian akan tereduksi. Reduksi DPPH mengakibatkan terjadinya perubahan warna pada larutan sampel yang mengandung antioksidan. Larutan kemudian diukur absorbansinya pada panjang gelombang 515 nm menggunakan spektrofotometer.

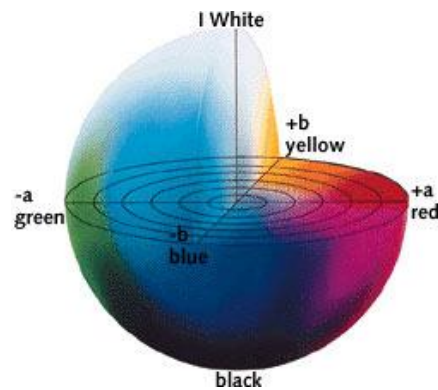
1.2.6. Warna dan Tekstur

Selain kandungan vitamin C dan aktivitas antioksidan, atribut mutu yang harus diperhatikan pada produk olahan sayuran adalah atribut fisik. Beberapa atribut fisik yang harus diperhatikan adalah warna dan tekstur karena terkait langsung dengan penerimaan konsumen. Penilaian kualitas bahan pangan pertama kali oleh seorang konsumen adalah penampakan visual. Warna yang tidak normal, terutama yang

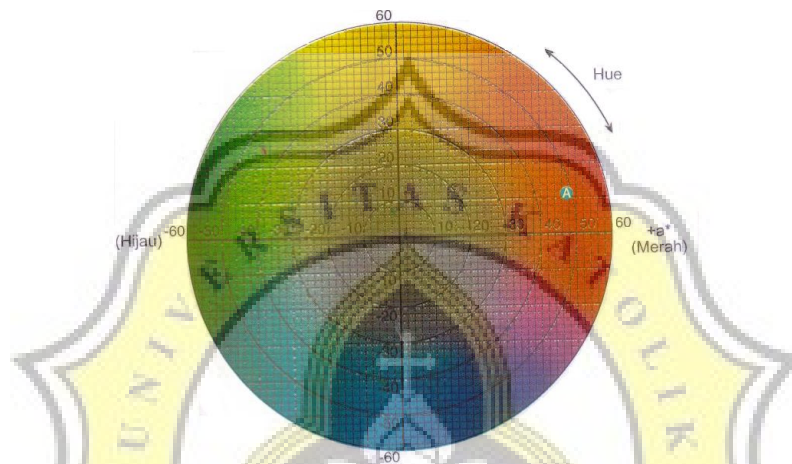
berhubungan dengan penurunan *eating quality* atau kerusakan bisa menyebabkan penolakan produk oleh konsumen (Avila & Silva dalam Akoy *et.al.*, 2008).

Warna berhubungan dengan persepsi dan interpretasi subjektif. Maka pengukuran dengan suatu alat standar bisa memudahkan komunikasi warna dan mengurangi persoalan relatif warna. Salah satu pengukuran warna yang sering dilakukan adalah dengan menggunakan alat *chromameter*. Hasil pengukuran berupa data dalam satuan warna $L^*a^*b^*$ atau L^*C^*h . Satuan warna L^*C^*h menggunakan diagram yang sama dengan yang digunakan satuan warna $L^*a^*b^*$, tetapi tidak menggunakan koordinat bola melainkan silindris. Dalam satuan warna ini, L^* menyatakan *lightness*, sama dengan L^* pada satuan CIELAB, C^* adalah *chroma*, dan h adalah sudut *hue*. Nilai *chroma* C^* di pusat adalah 0 dan terus bertambah sebanding dengan jarak dari pusat. 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. Misalnya warna kuning lemon lebih bersinar daripada kuning jeruk. *Lightness* diukur secara independen dari setiap *hue* (Minolta Co., 1998).

Hal tersebut serupa dengan yang dikatakan oleh MacDougall (2002), yaitu satuan warna $L^*a^*b^*$ (dikenal sebagai CIELAB) saat ini merupakan satuan warna yang paling populer untuk pengukuran warna objek dan secara luas dipakai di berbagai bidang. Pada satuan ini, L^* menandakan kecerahan (*lightness*) dengan skala 0-100, sementara a^* dan b^* merupakan koordinat *chromacity* dengan skala -60 sampai 60. Nilai $+a^*$ menandakan arah merah $-a^*$ hijau, $+b^*$ kuning dan $-b^*$ biru. Seiring dengan penambahan nilai a^* dan b^* , titik yang diamati bergerak ke arah luar, *saturation* warna bertambah. Gambar dari diagram pemetaan warna CIELAB dapat dilihat pada gambar 2 dan diagram a^*b^* *chromaticity* pada gambar 3 berikut ini.



Gambar 2. Pemetaan Warna CIELAB [Sumber : Minolta Co, Ltd. (1998)].



Gambar 3. Diagram a^*b^* Chromacity. [Sumber : Minolta Co, Ltd. (1998)].

Parameter kualitas dari suatu produk pangan lainnya adalah tekstur. Tekstur adalah sebuah gabungan sifat-sifat fisik yang berasal dari struktur bahan pangan. Berdasarkan tingkat kepentingannya dalam menentukan mutu suatu bahan pangan, maka makanan dapat dibagi dalam 3 kelompok, yaitu *critical*, *important*, dan *minor*. Dalam hal ini sayuran termasuk kategori penting (*important*), namun tidak memiliki peran yang dominan dalam menentukan kualitas secara keseluruhan.

Menurut Rosenthal (1999), tujuan pengukuran tekstur pada buah dan sayuran dapat dibedakan menjadi 2, yaitu untuk menentukan tingkat kematangan hasil panen dan untuk menentukan kualitas dari produk olahan. Perubahan struktur pada sel buah dan sayur akibat proses pengolahan merupakan akibat dari interaksi kompleks antara respon senyawa kimia terhadap suhu, perlakuan menggunakan senyawa kimia (garam, gula, asam), dan keseluruhan struktur dari sel tersebut. Salah satu contoh alat yang dapat

digunakan untuk mengukur tekstur secara objektif adalah *Lloyd Texture Analyzer*. Pengujian tingkat kekerasan atau *hardness* diuji menggunakan kriteria TPA (*Texture Profile Analysis*). *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 (Bourne, 2002).

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu dan lama penyimpanan produk brokoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) beku terhadap nilai kandungan vitamin C, aktivitas antioksidan, warna, dan tekstur brokoli.

