

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Katarak

Katarak merupakan penyebab terbanyak kebutaan di dunia. Proses terjadinya Katarak sangat berhubungan dengan faktor usia (Balasubramanian D, dkk.,1993). Meningkatnya usia harapan hidup juga berperan dalam hal meningkatnya penderita buta Katarak (WHO, 2006).

a. DEFINISI

Katarak adalah kekeruhan Lensa. Katarak memiliki derajat kepadatan yang sangat bervariasi dan dapat disebabkan oleh berbagai hal, tetapi berkaitan dengan proses penuaan (Khurana A.K, 2007).

b. ANATOMI

Lensa adalah suatu struktur bikonveks, vaskular, tidak berwarna dan hampir transparan sempurna. Lensa tidak mempunyai asupan darah ataupun inervasi syaraf, dan bergantung sepenuhnya pada akuos humor untuk metabolisme dan pembuangan. Lensa terletak di belakang iris dan di depan korpus vitreous. Posisinya ditopang oleh Zonula Zinni, terdiri dari serabut-serabut kuat yang

melekat ke korpus siliaris. Diameter lensa adalah 9-10 mm dan tebalnya bervariasi sesuai dengan umur, mulai dari 3,5 mm (saat lahir) dan 5 mm (dewasa) (Khurana A.K, 2007; American Academy of Ophthalmology, 2007).

Lensa dapat membiaskan cahaya karena memiliki indeks refraksi, normalnya 1,4 di sentral dan 1,36 di perifer. Dalam keadaan nonakomodatif, kekuatannya 15-20 dioptri (D) (American Academy of Ophthalmology, 2007).

Struktur Lensa terdiri dari Kapsul yang tipis, transparan, dikelilingi oleh membran hialin yang lebih tebal pada permukaan anterior dibanding posterior (Khurana A.K, 2007). Lensa disokong oleh serabut zonular berasal dari lamina nonpigmented epithelium pars plana dan pars plikata daripada korpus siliaris. Zonular ini masuk ke dalam Lensa di regio ekuator. Diameter serabut adalah 5-30 m (American Academy of Ophthalmology, 2007). Epitel berada tepat di belakang kapsul anterior Lensa terdapat satu lapisan sel epitel. Di bagian ekuator, sel ini aktif membelah dan membentuk serabut Lensa baru sepanjang kehidupan (Khurana A.K, 2007; American Academy of Ophthalmology, 2007). Nukleus pada bagian sentralnya terdiri serabut-serabut tua. Terdiri beberapa zona berbeda, yang menumpuk ke bawah sesuai dengan perkembangannya. Korteks pada bagian perifer terdiri dari serabut-serabut lensa yang muda (Khurana A.K, 2007 ; American Academy of Ophthalmology, 2007).

Enam puluh lima persen Lensa terdiri dari air, sekitar 35% protein (kandungan protein tertinggi di antara jaringan-jaringan tubuh), dan sedikit sekali mineral yang biasa ada di jaringan tubuh lainnya. Kandungan kalium lebih tinggi di lensa daripada di kebanyakan jaringan lain. Asam askorbat dan glutathion

terdapat dalam bentuk teroksidasi maupun tereduksi. Secara fisiologik lensa mempunyai sifat tertentu, yaitu :

- Kenyal atau lentur karena memegang peranan penting dalam akomodasi untuk menjadi cembung.
- Jernih atau transparan karena diperlukan sebagai media penglihatan,
- Terletak di tempatnya.

Keadaan patologik lensa ini dapat berupa :

- Tidak kenyal pada orang dewasa yang akan mengakibatkan presbiopia,
- Keruh atau apa yang disebut Katarak.
- Tidak berada di tempat atau subluksasi dan dislokasi.

Lensa orang dewasa di dalam perjalanan hidupnya akan menjadi bertambah besar dan berat (Vaughan DG, 2000; James Broce, 2005; Ilyas S., 2005).

c. FAKTOR RESIKO

Faktor resiko terjadinya Katarak sangat bervariasi bergantung dari proses patogenesis. proses umur, genetik, makanan, Diabetes Melitus, radiasi ultra violet, merokok merupakan faktor penyebab terjadinya Katarak (Balasubramanian D, dkk.,1993).

Katarak adalah penyakit degeneratif yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik faktor intrinsik maupun faktor ekstrinsik. Faktor intrinsik yang berpengaruh antara lain adalah umur, jenis kelamin dan faktor genetik, sedangkan faktor ekstrinsik yang berpengaruh antara lain adalah pendidikan dan pekerjaan yang

berdampak langsung pada status sosial ekonomi dan status kesehatan seseorang serta faktor lingkungan, dalam hubungannya dengan paparan sinar ultraviolet (Sirlan F., 2006).

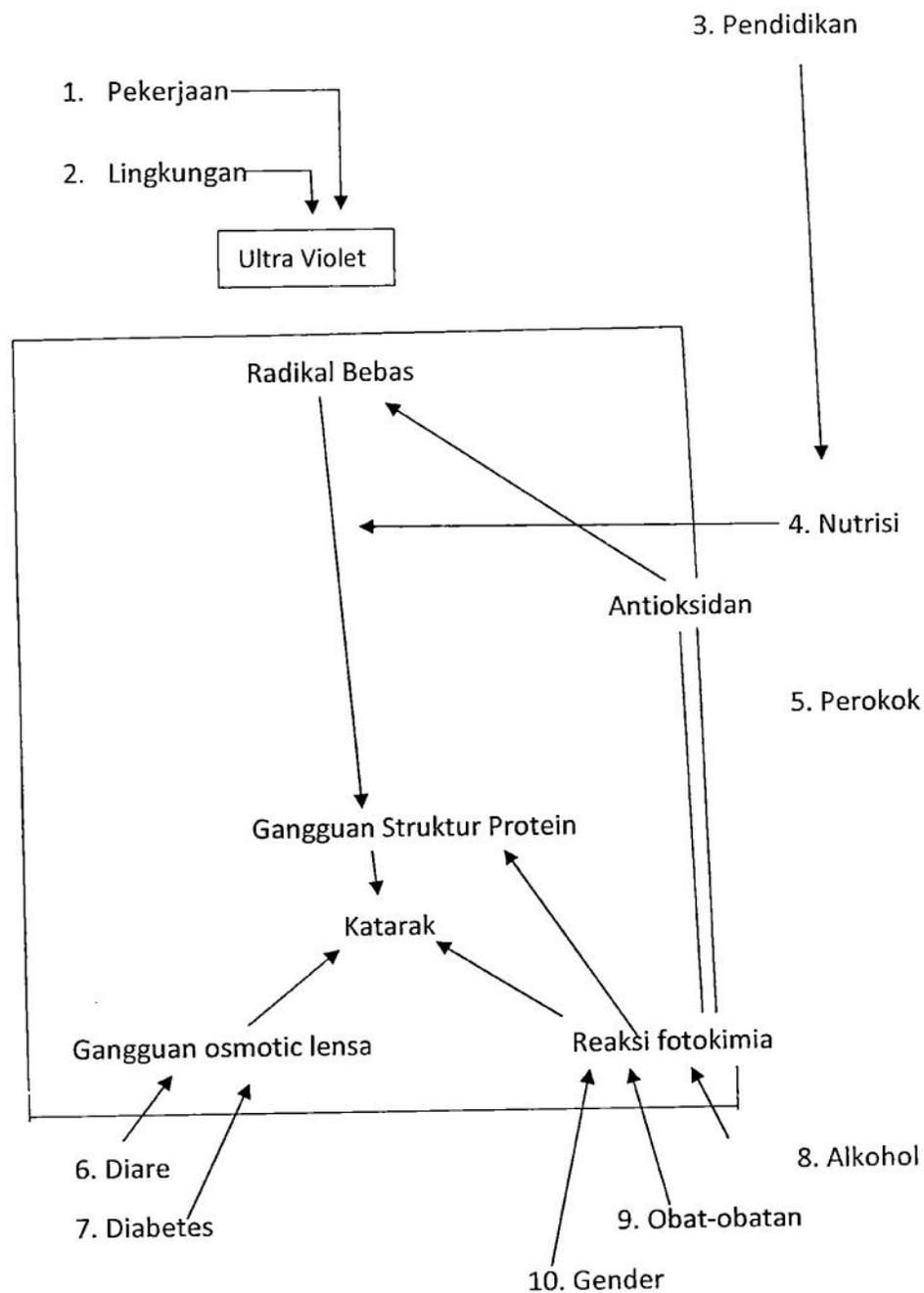
Dari Gambar 1 dapat dijelaskan sebagai berikut :

c.1. Pekerjaan

Pekerjaan dalam hal ini erat kaitannya dengan paparan sinar matahari. Suatu penelitian yang menilai secara individual, menunjukkan nelayan mempunyai jumlah paparan terhadap sinar ultraviolet yang tinggi sehingga meningkatkan resiko terjadinya katarak kortikal dan katarak posterior subkapsular. (Sperduto RD, 2004).

c.2. Lingkungan (Geografis)

Katarak khususnya lebih banyak dijumpai di negara berkembang yang berlokasi di khatulistiwa. Hampir semua studi epidemiologi melaporkan tingginya prevalensi katarak di daerah yang banyak terkena sinar ultraviolet. Penduduk yang tinggal di daerah berlainan tidak hanya berbeda dalam hal paparan sinar ultraviolet, tapi juga dalam hal paparan oleh karena berbagai faktor lain. Ada suatu penelitian dari Nepal dan Cina melaporkan variasi prevalensi penduduk yang tinggal di ketinggian berbeda. Dijumpai prevalensi katarak senilis yang lebih tinggi di Tibet yakni 60% dibandingkan di Beijing (Sperduto RD, 2004).



Grafik 1. Proses terjadinya katarak (dikutip dari Gambar II.3 Faktor Resiko Buta Katarak Usia Produktif : Tinjauan Khusus Terhadap Enzim Glutation Reduktase dan Riboflavin Darah, 2000, p20)

c.3. Pendidikan

Dari beberapa pengamatan dan survei di masyarakat diperoleh prevalensi katarak lebih tinggi pada kelompok yang berpendidikan lebih rendah. Meskipun tidak ditemukan hubungan langsung antara tingkat pendidikan dan kejadian katarak, namun tingkat pendidikan dapat mempengaruhi status sosial ekonomi termasuk pekerjaan dan status gizi (Sirlan F., 2006)

c.4. Nutrisi

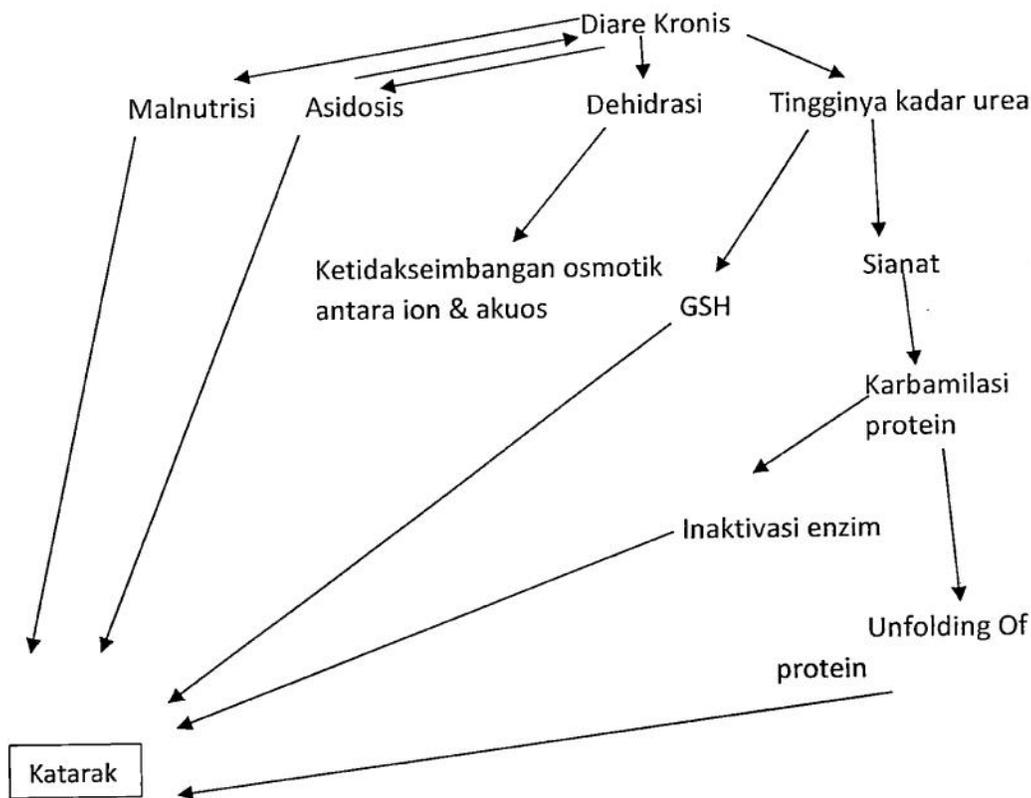
Walaupun defisiensi nutrisi dapat menyebabkan katarak pada hewan, tapi etiologi ini sulit untuk dipastikan pada manusia. (Sperduto RD, 2004; American Academy of Ophthalmology, 2007). Beberapa penelitian mendapatkan bahwa multivitamin, vitamin A, vitamin C, vitamin E, niasin, tiamin, riboflavin, beta karoten, dan peningkatan protein mempunyai efek protektif terhadap perkembangan katarak. Lutein dan zeaxantin adalah satusatunya karotenoid yang dijumpai dalam lensa manusia, dan penelitian terakhir menunjukkan adanya penurunan resiko katarak dengan peningkatan frekuensi asupan makanan tinggi lutein (bayam, brokoli). Dengan memakan bayam yang telah dimasak lebih dari dua kali dalam seminggu dapat menurunkan resiko katarak (American Academy of Ophthalmology, 2007).

c.5. Perokok

Merokok dan mengunyah tembakau dapat menginduksi stress oksidatif dan dihubungkan dengan penurunan kadar antioksidan, askorbat dan karotenoid (Taylor A., 2004). Merokok menyebabkan penumpukan molekul berpigmen -3 hydroxykynurine dan chromophores, yang menyebabkan terjadinya penguningan warna lensa. Sianat dalam rokok juga menyebabkan terjadinya karbamilasi dan denaturasi protein (Khurana AK. 2007).

c.6. Diare

Dideskripsikan oleh Harding, diare berperan dalam kataraktogenesis melalui 4 cara yaitu malnutrisi, asidosis, dehidrasi, dan tingginya kadar urea dalam darah. (Khurana AK., 2005)



Grafik 2. Skema spekulatif yang menggambarkan 4 cara utama dimana diare dapat berpengaruh dalam kataraktogenesis (dikutip dari Fig 4.14 Anatomy and Phsysiology of Eye, 2005, p.90)

c.7. Diabetes Mellitus

Diabetes mellitus dapat mempengaruhi kejernihan lensa, indeks refraksi, dan amplitudo akomodatif. Dengan meningkatnya kadar gula darah, maka meningkat pula kadar glukosa dalam akuos humor. Oleh karena glukosa dari akuos masuk ke dalam lensa dengan cara difusi, maka kadar glukosa dalam lensa juga meningkat. Sebagian glukosa tersebut dirubah oleh enzim aldose reduktase

menjadi sorbitol, yang tidak dimetabolisme tapi tetap berada dalam lensa (American Academy of Ophthalmology, 2007).

c.8. Alkohol

Peminum alkohol kronis mempunyai resiko tinggi terkena berbagai penyakit mata, termasuk katarak. Dalam banyak penelitian alkohol berperan dalam terjadinya katarak. Alkohol secara langsung bekerja pada protein lensa dan secara tidak langsung dengan cara mempengaruhi penyerapan nutrisi penting pada lensa.

c.9. Obat-obatan

Data klinis dan laboratorium menunjukkan banyak obat yang mempunyai potensi kataraktogenik. Obat-obatan yang meningkatkan resiko katarak adalah kortikosteroid, fenotiazin, miotikum, kemoterapi, diuretik, obat penenang, obat rematik, dan lain-lain (Sperduto RD, 2004).

c.10. Gender

Tingginya resiko perempuan terkena katarak sebenarnya tidaklah terlalu besar tetapi secara konsisten dijumpai dalam banyak penelitian-penelitian. Tingginya prevalensi pada perempuan terutama untuk resiko terjadinya katarak kortikal (Sperduto RD, 2004).

d. GEJALA KLINIS

Kekeruhan lensa dapat terjadi tanpa menimbulkan gejala, dan dijumpai pada pemeriksaan mata rutin. Gejala katarak yang sering dikeluhkan adalah :

d.1. Silau

Pasien katarak sering mengeluh silau, yang bisa bervariasi keparahannya mulai dari penurunan sensitivitas kontras dalam lingkungan yang terang hingga silau pada saat siang hari atau sewaktu melihat lampu mobil atau kondisi serupa di malam hari. Keluhan ini khususnya dijumpai pada tipe katarak posterior subkapsular (American Academy of Ophthalmology, 2007). Pemeriksaan silau (test glare) dilakukan untuk mengetahui derajat gangguan penglihatan yang disebabkan oleh sumber cahaya yang diletakkan di dalam lapang pandangan pasien (American Academy of Ophthalmology, 2007).

d.2. Diplopia monokular atau polypia

Terkadang, perubahan nuklear terletak pada lapisan dalam nukleus lensa, menyebabkan daerah pembiasan multipel di tengah lensa (American Academy of Ophthalmology, 2007). Daerah ini dapat dilihat dengan refleks merah retinoskopi atau oftalmoskopi direk (American Academy of Ophthalmology, 2007). Tipe katarak ini kadang-kadang menyebabkan diplopia monokular atau polypia (American Academy of Ophthalmology, 2007).

d.3. Halo

Hal ini bisa terjadi pada beberapa pasien oleh karena terpecahnya sinar putih menjadi spektrum warna oleh karena meningkatnya kandungan air dalam lensa (Khurana AK., 2007).

d.4. Distorsi

Katarak dapat menyebabkan garis lurus kelihatan bergelombang (Langston DP., 2002), sering dijumpai pada stadium awal katarak (Khurana AK., 2007).

d.5. Penurunan tajam penglihatan

Katarak menyebabkan penurunan penglihatan progresif tanpa rasa nyeri (Khurana AK., 2007). Umumnya pasien katarak menceritakan riwayat klinisnya langsung tepat sasaran, dan pasien menceritakan kepada dokter mata, aktivitas apa saja yang terganggu. Dalam situasi lain, pasien hanya menyadari adanya gangguan penglihatan setelah dilakukan pemeriksaan (American Academy of Ophthalmology, 2007).

Setiap tipe katarak biasanya mempunyai gejala gangguan penglihatan yang berbeda-beda, tergantung pada cahaya, ukuran pupil dan derajat miopia. Setelah didapat riwayat penyakit, maka pasien harus dilakukan pemeriksaan penglihatan lengkap, dimulai dengan refraksi. Perkembangan katarak nuklear

sklerotik dapat meningkatkan dioptri lensa, sehingga terjadi miopia ringan hingga sedang (American Academy of Ophthalmology, 2007).

d.6. Sensitivitas kontras

Sensitivitas kontras mengukur kemampuan pasien untuk mendeteksi variasi tersamar dalam bayangan dengan menggunakan benda yang bervariasi dalam hal kontras, luminance, dan frekuensi spasial. Sensitivitas kontrak dapat menunjukkan penurunan fungsi penglihatan yang tidak terdeteksi dengan Snellen. Namun, hal tersebut bukanlah indikator spesifik hilangnya tajam penglihatan oleh karena katarak (American Academy of Ophthalmology, 2007).

d.7. Myopic shift

Perkembangan katarak dapat terjadi peningkatan dioptri kekuatan lensa, yang umumnya menyebabkan miopia ringan atau sedang (American Academy of Ophthalmology, 2007). Umumnya, pematangan katarak nuklear ditandai dengan kembalinya penglihatan dekat oleh karena meningkatnya miopia akibat peningkatan kekuatan refraktif lensa nuklear sklerotik, sehingga kacamata baca atau bifokal tidak diperlukan lagi. Perubahan ini disebut "second sight" (Langston DP., 2002). Namun, seiring dengan perubahan kualitas optikal lensa, keuntungan tersebut akhirnya hilang juga (American Academy of Ophthalmology, 2007).

e. TIPE KATARAK

Tiga tipe utama katarak senilis, adalah :

e.1. Katarak Nuklear

Beberapa derajat nuklear sklerosis dan penguningan dikatakan normal pada pasien dewasa setelah melewati usia menengah. Secara umum, kondisi ini hanya sedikit mengganggu fungsi penglihatan. Sklerosis dan penguningan dalam jumlah yang berlebihan disebut katarak nuklear, yang menyebabkan kekeruhan sentral (American Academy of Ophthalmology, 2007). Tingkatan sklerosis, penguningan dan kekeruhan dievaluasi dengan slit-lamp secara oblik (American Academy of Ophthalmology, 2007; Kanski JJ., 2003) dan pemeriksaan refleks merah dengan pupil dilatasi. Bila sudah lanjut, nukleus berwarna coklat (katarak brunescens) dan konsistensinya keras (Kanski JJ., 2003).

e.2. Katarak Kortikal

Perubahan komposisi ion pada korteks lensa dan perubahan hidrasi pada serabut lensa menyebabkan kekeruhan kortikal (American Academy of Ophthalmology, 2007). Gejala katarak kortikal yang sering dijumpai adalah silau (American Academy of Ophthalmology, 2007; Kanski JJ., 2003) akibat sumber cahaya fokal, seperti lampu mobil (American Academy of Ophthalmology, 2007). Monokular diplopia bisa juga dijumpai. Tanda pertama pembentukan katarak kortikal terlihat dengan slitlamp sebagai vakuola dan celah air (water

clefts) di korteks anterior atau posterior (American Academy of Ophthalmology, 2007).

e.3. Katarak Posterior Subkapsular

Katarak posterior subkapsular (posterior subcapsular cataract = PSCs) sering dijumpai pada pasien yang lebih muda daripada katarak nuklear atau kortikal. PSCs berlokasi di lapisan kortikal posterior dan biasanya aksial. Indikasi pertama pembentukan PSC adalah kilauan warna yang samar (subtle iridescent sheen) pada lapisan kortikal posterior yang terlihat dengan slitlamp. Pasien sering mengeluhkan silau dan penglihatan jelek pada kondisi cahaya terang karena PSC menutupi pupil ketika miosis akibat cahaya terang, akomodasi, atau miotikum (American Academy of Ophthalmology, 2007). Penglihatan dekat lebih jelek daripada penglihatan jauh (American Academy of Ophthalmology, 2007; Kanski JJ., 2003). Beberapa pasien juga mengalami monokular diploopia (American Academy of Ophthalmology, 2007).

2. Karotenoid

Karotenoid adalah suatu kelompok pigmen yang berwarna kuning, orange, atau merah orange, yang ditemukan pada tumbuhan, kulit, cangkang / kerangka luar (eksoskeleton) hewan air serta hasil laut lainnya seperti molusca (clam, oyster, scallop), crustacea (lobster, kepiting, udang) dan ikan (salmon, trout, sea beam, kakap merah dan tuna). Karotenoid juga banyak ditemukan pada kelompok bakteri, jamur, ganggang dan tanaman hijau. (Desiana, 2000). Pigmen karotenoid

mempunyai struktur alifatik atau alisiklik yang pada umumnya disusun oleh delapan unit isoprena, dimana kedua gugus metil yang dekat pada molekul pusat terletak pada posisi C₁ dan C₆, sedangkan gugus metil lainnya terletak pada posisi C₁ dan C₅ serta diantaranya terdapat ikatan ganda terkonjugasi.

Semua senyawa karotenoid mengandung sekurang-kurangnya empat gugus metil dan selalu terdapat ikatan ganda terkonjugasi diantara gugus metil tersebut. Adanya ikatan ganda terkonjugasi dalam ikatan karotenoid menandakan adanya gugus kromofora yang menyebabkan terbentuknya warna pada karotenoid. Semakin banyak ikatan ganda terkonjugasi, maka makin pekat warna pada karotenoid tersebut yang mengarah ke warna merah. (Heriyanto dkk, 2009)

Karotenoid dibentuk oleh penggabungan delapan unit isoprene (C₅H₈) atau **2-metil-1,3-butadiena** dimana isoprena yang membentuk karotenoid ini berikatan secara “kepala-ekor” kecuali pada pusat molekul berikatan secara “ekor-ekor” sehingga menjadikan molekul kerotenoid simetris sesuai dengan strukturnya. (Rodriguez, 1997; Gross, 1991; Dutta, 2005).

Istilah karoten digunakan untuk beberapa zat yang memiliki rumus molekul C₄₀H₅₆. Secara kimia, karoten adalah terpena yang disintesa secara biokimia dari delapan satuan isoprena C₅H₈.

Karotenoid mempunyai sifat-sifat tertentu, diantaranya tidak larut dalam air, larut sedikit dalam minyak, larut dalam hidrokarbon alifatik dan aromatik seperti heksana dan benzene serta larut dalam kloroform dan metilen klorida. Karotenoid harus selalu disimpan dalam ruangan gelap (tidak ada cahaya) dan dalam ruangan vakum, pada suhu -20 °C. Karotenoid yang terbaik disimpan

dalam bentuk padatan kristal dandidalamnya terdapat pelarut hidrokarbon seperti petroleum, heksana atau benzena. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan resiko kontaminasi dengan air sebelum dianalisa lebih lanjut.

Berdasarkan unsur-unsur penyusunnya karotenoid dapat digolongkan dalam dua kelompok pigmen yaitu karoten dan xantofil. Karoten mempunyai susunan kimia yang hanya terdiri dari C dan H seperti α -karoten, β -karoten dan γ -karoten. Sedangkan xantofil terdiri dari atom-atom C, H dan O. Contoh senyawa yang termasuk dalam xantofil antara lain : cantaxanthin, astaxanthin, rodoxanthin dan torularhodin. (Gama, 2005)

Karotenoid alami (juga dikenal sebagai ekstrak karoten) secara alami memberikan pigmen warna pada berbagai tumbuhan termasuk buah-buahan dan sayuran. Karotenoid berperan penting bagi kesehatan dan kelangsungan hidup manusia. Karotenoid dapat meningkatkan sistem imun, perlindungan terhadap kanker dan juga berfungsi sebagai antioksidan. (Suwandi, 1991; Dutta, dkk., 2005)

Karotenoid mempunyai sifat sifat tidak larut dalam air, tetapi larut dalam lemak, mudah diisomerisasi dan dioksidasi, menyerap cahaya, meredam oksigen singlet, memblokir reaksi radikal bebas dan dapat berikatan dengan permukaan hidrofobik Karotenoid berada dalam lemak bersama-sama dengan klorofil. (Dutta, dkk., 2005.)

Disamping itu juga;

Karotenoid adalah pigmen organik yang ditemukan dalam kloroplas dan kromoplast tumbuhan dan kelompok organisme lainnya seperti alga ("ganggang"), sejumlah bakteri (fotosintetik maupun tidak), dan beberapa fungi (non-fotosintetik) (Hirschberg J, dkk., 1997). Karotenoid dapat diproduksi oleh semua organisme tersebut dari lipid dan molekul-molekul penyusun metabolit organik dasar. Organisme heterotrof sepenuhnya, seperti hewan, juga memanfaatkan karotenoid dan memperolehnya dari makanan yang dikonsumsinya.

Ada dua kelompok besar karotenoid, yaitu xantofil (karotenoid yang membawa atom oksigen) dan karotena (karotenoid yang murni hidrokarbon, tidak memiliki atom oksigen). Semua karotenoid adalah tetraterpenoid karena terbentuk dari delapan molekul isoprena sehingga mempunyai 40 atom karbon.

Sebagai pigmen, karotenoid pada umumnya menyerap cahaya biru dan memantulkan warna-warna berpanjang gelombang besar (merah sampai kuning kehijauan). Pewarna alami pada kisaran merah, jingga, sampai kuning banyak yang merupakan anggotanya, seperti likopena, karotena, lutein, dan zeaxantin. Zat-zat inilah yang biasanya menyebabkan warna merah, kuning atau jingga pada buah dan sayuran.

Peran terpenting karotenoid dalam proses fisiologi adalah sebagai zat antioksidan dan penghantar elektron dalam fotosintesis (Mithra S, 2011). Selain itu, beberapa karotenoid dapat diubah menjadi vitamin esensial (Mithra S, 2011).

Karotenoid termasuk dalam tetraterpenoid, suatu senyawa rantai panjang dengan 40 atom karbon, yang dibentuk dari empat unit terpena (masing-masing terdiri dari 10 atom karbon). Secara struktural, karotenoid berbentuk rantai hidrokarbon poliena yang kadang-kadang di bagian ujungnya terdapat gugus cincin dan mungkin memiliki atom oksigen. Namanya berasal dari kata *carotene* yang ditambah sufiks *-oid*, dan berarti "senyawa-senyawa sekelompok atau mirip dengan karotena".

Karotenoid dengan molekul yang mengandung oksigen, seperti lutein dan zeaxantin, dikenal sebagai xantofil sedangkan karotenoid yang tidak mengandung oksigen seperti α -karotena, β -karotena, dan likopena dikenal sebagai karotena. Karotena hanya mengandung karbon dan hidrogen (hidrokarbon), dan merupakan hidrokarbon tak jenuh karena memiliki ikatan rangkap di antara dua atom karbon.

Ada lebih dari 600 karotenoid yang dikenal (Best B, 2009) Manusia dapat menyerap dan membawa sekitar 25 jenis karotenoid ke dalam aliran darah (Best B, 2009). Karotenoid yang paling banyak dikenal sesuai dengan namanya ditemukan dalam akar tunggang wortel (bahasa Latin Vulgar, *carota*) dan menghasilkan warna jingga terang akibat kandungan beta-karotena. Sumber beta-karotena yang juga umum dikenal adalah berbagai jenis waluh. Minyak sawit mentah adalah sumber karotenoid alam dengan nilai kesetaraan retinol (provitamin A) yang tertinggi. Buah tepurang diketahui mengandung konsentrasi likopena tertinggi, meskipun sumber yang paling dikenal orang adalah buah

tomat. Karotenoid yang paling biasa ditemukan di alam adalah likopena dan β -karotena.

Warna yang dihasilkan karotenoid beragam, mulai dari kuning pucat, jingga terang, sampai merah tua, yang secara langsung terkait dengan struktur kimia masing-masing. Xantofil umumnya menghasilkan warna kuning, sesuai dengan nama kelas yang diberikan (bahasa Yunani Kuna $\xi\alpha\nu\theta\acute{o}\varsigma$, *xanthos*, berarti "kuning"). Warna terjadi karena atom-atom karbon ikatan rangkap berinteraksi satu sama lain dalam proses yang disebut konjugasi, yang memungkinkan elektron dalam molekul untuk bergerak bebas akibat terjadinya resonansi ikatan rangkap. Seiring dengan peningkatan jumlah ikatan rangkap, elektron-elektron yang terkait dengan sistem terkonjugasi memiliki lebih banyak ruang untuk bergerak, dan membutuhkan energi lebih sedikit untuk mengubah strukturnya. Hal ini menyebabkan penurunan energi cahaya yang diserap oleh molekul. Semakin tinggi frekuensi cahaya yang diserap dari ujung pendek spektrum yang terlihat, akan menghasilkan penampilan senyawa yang semakin merah.

Peran fisiologi

Karena susunan molekulnya memungkinkan terjadinya konjugasi, karotenoid aktif mereduksi berbagai oksidan (senyawa yang berperan sebagai oksidator). Bagian kromofor molekulnya, yang menyebabkan dihasilkannya warna khas

karotenoid, berperan besar sebagai penghantar elektron pada proses transfer energi, seperti pada fotosintesis.

a. Tumbuhan dan alga

Karotenoid memegang dua fungsi utama pada tumbuhan dan alga. Fungsi pokok pertama adalah menyerap energi cahaya untuk digunakan dalam fotosintesis. Fungsi kedua adalah melindungi klorofil dari kerusakan akibat cahaya.

Beta-karotena memegang peranan penting di pusat reaksi fotosintesis. Karena bekerjanya proses mekanika kuantum yang timbul akibat simetri molekul, terbentuk mekanisme fotoproteksi yang melindungi senyawa-senyawa dan jaringan dari auto-oksidasi. Karotenoid juga terlibat dalam proses transfer energi. Bagi organisme non-fotosintetik, seperti manusia, karotenoid terkait dengan mekanisme pencegahan oksidasi.

Pada tumbuhan, lutein adalah karotenoid yang jumlahnya paling melimpah dan perannya dalam mencegah penyakit mata manusia yang terkait usia sedang diteliti. Lutein dan pigmen karotenoid lainnya yang berada dalam daun sering tidak terlihat karena kalah pekat daripada klorofil, pigmen lain yang juga memiliki "ekor" terpena. Ketika klorofil tidak ada atau hanya sedikit, seperti pada daun muda, daun sakit (misalnya mengalami klorosis), dan daun yang menua siap berguguran (seperti daun-daun di musim gugur), karotenoid kuning, merah, dan jingga akan tampak mendominasi warna daun. Penjelasan yang sama juga berlaku

bagi warna buah matang, misalnya pada buah tomat serta kulit buah jeruk dan pisang. Namun, warna merah, ungu, dan kombinasi kedua warna tersebut, yang juga banyak dimiliki daun pada musim gugur dan buah-buahan, dihasilkan dari kelompok pigmen lain di dalam sel, yaitu antosianin. Berbeda dari karotenoid, antosianin tidak dihasilkan daun sepanjang musim, namun hanya aktif diproduksi menjelang akhir musim panas (Davies, dkk., 2004).

Karotenoid tertentu adalah bahan baku bagi asam absisat, suatu fitohormon inhibitor bagi proses fisiologi tumbuhan. Selain itu, beberapa metabolit sekunder yang tergolong minyak atsiri, umumnya yang membawa gugus keton, merupakan hasil degradasi karotenoid.

b. Hewan

Karotenoid memiliki banyak fungsi fisiologi pada hewan. Melihat strukturnya, karotenoid sangat efisien menangkal radikal bebas dan juga meningkatkan sistem kekebalan tubuh vertebrata. Ada beberapa lusin karotenoid dalam makanan yang dikonsumsi manusia dan sebagian besar merupakan antioksidan (U.S. National Library of Medicine, 2008) yang berguna bagi kesehatan. Studi epidemiologi telah menunjukkan bahwa asupan β -karotena tinggi dan tingkat β -karotena di plasma darah yang tinggi secara signifikan dapat mengurangi resiko kanker paru-paru. Namun, penelitian suplementasi dengan dosis β -karotena tinggi pada perokok malah menunjukkan peningkatan risiko kanker (kemungkinan karena dosis β -karotena yang berlebihan menghasilkan produk pemecahan yang mengurangi plasma vitamin A dan memperburuk proliferasi sel paru-paru yang disebabkan

oleh asap) (Alija AJ, dkk., 2004).. Hasil serupa juga telah ditemukan pada hewan lainnya.

Sebagian besar hewan, termasuk manusia, tidak mampu menyintesis karotenoid dan mendapatkannya melalui asupan makanan. Perkecualian adalah afid *Acyrtosiphon pisum*, yang memiliki kemampuan sintesis karotenoid bernama torulena oleh gen yang diduga telah diperolehnya dari fungi (jamur) melalui proses transfer gen horizontal.

Karotenoid umum ditemukan pada hewan dan kebanyakan memiliki peran sebagai hiasan, seperti warna merah muda pada flamingo dan ikan salem, dan warna merah jingga pada lobster atau udang masak. Peran sebagai hiasan (ornamen) ditunjukkan oleh burung puffin. Warna yang dihasilkan karotenoid menjadi semacam indikator bagi kesehatan individu, dan berguna untuk memilih pasangan potensial dalam perkawinan.

c. Kesehatan manusia

Pada manusia, empat karotenoid (beta-karotena, alfa-karotena, gamma-karotena, dan beta-kriptoxantin) memiliki aktivitas vitamin A (yang berarti dapat dikonversi menjadi retinol) dan juga dapat bertindak sebagai antioksidan. Pada mata manusia, dua karotenoid lainnya (yaitu lutein dan zeaxantin) berperan langsung sebagai penyerap cahaya biru dan cahaya di sekitar sinar ultraviolet yang bersifat merusak sehingga melindungi makula pada retina. Manusia dapat menyerap dan membawa sekitar 25 jenis karotenoid ke dalam aliran

darah. Karotenoid tersebut ditransportasikan oleh partikel kolesterol yang kaya lipid (LDL) di dalam tubuh karena senyawa tersebut paling baik larut dalam lipid (Best B, 2009).

Di bagian *macula lutea* mata manusia jenis-jenis karotenoid tertentu secara aktif terkonsentrasi pada titik yang menyebabkan warna kuning, dan ini membantu melindungi retina dari cahaya biru dan pancaran fotoaktif, sebagaimana xantofil melindungi fotosistem tumbuhan. Karotenoid juga terkonsentrasi secara aktif dalam korpus luteumindung telur sehingga memberikan warna penciri jaringan tersebut dan bertindak sebagai antioksidan umum.

Manusia yang mengonsumsi makanan alami kaya karotenoid melalui buah-buahan dan sayuran diketahui lebih sehat dan mortalitasnya lebih rendah apabila terkena sejumlah penyakit kronis. Namun, hasil meta-analisis dari 68 percobaan suplementasi antioksidan yang melibatkan total 232.606 individu menyimpulkan bahwa mengonsumsi suplemen β -karotena tidak selalu bermanfaat dan kemungkinan dapat membahayakan, meskipun kesimpulan ini muncul karena dalam penelitian ini juga melibatkan perokok. Karena lipid diduga menjadi faktor penting untuk ketersediaan hayati karotenoid, sebuah studi yang dilakukan pada tahun 2005 menyelidiki apakah penambahan buah atau minyak apokat, sebagai sumber lipid, akan meningkatkan penyerapan karotenoid pada manusia. Studi ini menemukan bahwa penambahan buah atau minyak apokat secara signifikan meningkatkan penyerapan subyek dari semua karotenoid yang diuji (α -karotena, β -karotena, likopena, lutein, dan zeaxantin).

Biosintesis

Biosintesis karotenoid telah banyak dipelajari dan diketahui dengan cukup baik. Sebagai salah satu bentuk isoprenoid (senyawa-senyawa turunan isoprena), pembentukan karotenoid pada tumbuhan terjadi melalui jalur MEP, suatu cabang siklus Calvin, yang berlangsung secara lokal di plastida.

Jalur MEP (2-C-metil-D-eritriol 4-fosfat) diawali dengan reaksi antara asam piruvat (empat atom karbon, 4C) dan gliseraldehida-3-fosfat (3C) yang dikendalikan oleh enzim sintase DXS dan reduktoisomerase DXR. Rangkaian reaksi selanjutnya membentuk dua bentuk kerangka isoprena difosfat (isopentenildifosfat, IPP dan dimetilalildifosfat, DMAPP). Aktivitas enzim GGDP-sintase akan mengondensasi tiga molekul IPP dan satu molekul DMAPP membentuk geranilgeranildifosfat (GGDP).

Karotenoid dibentuk dari aktivitas enzim fitoena sintase (*phytoene synthase*) yang disintesis oleh keluarga gen *phytoenesynthase* (*psy*) yang menggabungkan dua GGDP membentuk fitoena dan dua pirofosfat. Tahap pertama ini diketahui berlaku umum, baik untuk tumbuhan, alga, maupun bakteri.

Selanjutnya fitoena akan digarap oleh enzim yang berbeda-beda membentuk likopena, ada yang langsung, seperti pada bakteri *Erwinia uredovora* oleh gen *carotene isomerase*, *crtI*, maupun yang tidak langsung, seperti pada kebanyakan tumbuhan, melalui pembentukan senyawa antara zeta-karotena.

Likopena akan digarap oleh enzim siklase membentuk alfa- dan beta-karotena. Alfa-karotena dapat terhidroksilasi menjadi lutein, sedangkan beta-karotena terhidroksilasi membentuk zeaxantin. Zeaxantin dapat terketonasi menjadi kantaxantin dan astaxantin, serta dapat terepoksi membentuk violaxantin. Salah satu produk degradasi violaxantin adalah asam absisat, suatu fitohormon.

Biosintesis karotenoid telah dimanfaatkan dalam pembentukan *Golden Rice*, suatu beras hasil rekayasa genetik yang dapat menghasilkan sendiri beta-karotena sehingga berasnya berwarna kekuningan.

3. Hubungan Karotenoid dengan Pembentukan Katarak

Katarak adalah penyebab utama gangguan penglihatan antara penuaan di Amerika dan inti dari masalah kualitas kehidupan . Ekstraksi katarak adalah prosedur bedah yang paling umum dilakukan di Amerika Serikat , terhitung lebih dari dua juta prosedur panggilan pertahun . Para ahli telah berteori bahwa jika perkembangan katarak bisa tertunda sampai 10 tahun , jumlah operasi katarak per tahun akan berkurang sebesar 45 persen . Gizi/nutrisi merupakan salah satu sarana yang menjanjikan untuk mencegah atau menunda perkembangan katarak (American Optometric Association, 2014).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sifat antioksidan vitamin C dan E dapat melindungi terhadap pengembangan dan perkembangan katarak . Bukti awal juga menunjukkan bahwa karotenoid lutein dan zeaxanthin yang juga

antioksidan juga dapat melindungi terhadap katarak (American Optometric Association, 2014).

Lutein dan zeaxanthin adalah nutrisi yang menjanjikan dalam memerangi katarak. Lutein dan zeaxanthin adalah satu-satunya karotenoid yang ditemukan di lensa. Beberapa penelitian baru-baru ini telah meneliti dua nutrisi dan hubungan mereka dengan mengurangi risiko terkena katarak (American Optometric Association, 2014).

“Nurses 'Health Study” menemukan bahwa jumlah tinggi lutein + zeaxanthin dikaitkan dengan kebutuhan dikurangi untuk operasi katarak. Rata-rata, orang memiliki asupan sekitar 6 miligram (mg) lutein + zeaxanthin setiap hari.

“The Health Professional's” memfollow-up studinya juga menemukan bahwa mengonsumsi makanan dengan jumlah tinggi lutein + zeaxanthin (6,9 mg per hari) yang berkorelasi dapat mengurangi kebutuhan untuk operasi katarak.

Lima tahun follow-up dari “Beaver Dam Eye Study” menunjukkan bahwa orang dengan asupan tertinggi lutein + zeaxanthin memiliki risiko yang jauh lebih rendah untuk perkembangan katarak dibandingkan dengan intake/asupan terendah.

Sebuah penelitian terbaru di Inggris menemukan bahwa orang dengan jumlah tertinggi lutein dalam darah mereka, yang dihasilkan dari konsumsi secara teratur sumber makanan yang baik dari lutein, memiliki risiko terendah untuk katarak subkapsular posterior.

Mengingat adanya hubungan positif antara gizi/nutrisi khususnya karotenoid dan katarak, tampaknya bijaksana bagi orang untuk meningkatkan jumlah antioksidan tertentu dalam makanan sehari-hari mereka. Makan lima porsi buah dan sayuran setiap hari dan setiap saat sangat direkomendasikan oleh “National Cancer Institute dan Departemen Pertanian AS” yang menyuruh mendapatkan asupan lebih dari 100 mg vitamin C dan 5 sampai 6 mg karotenoid, termasuk lutein dan zeaxanthin, mengingatkan dalam memilih secara bijak dari buah-buahan dan sayuran . Makan dua porsi kacang-kacangan dan biji-bijian dapat memberikan 8-14 mg vitamin E (11,9-20,8 IU) (lihat tabel untuk sumber makanan yang baik dari nutrisi) (American Optometric Association, 2014).

Namun, sebagian besar orang di Amerika Serikat tidak makan lima porsi buah dan sayuran dan sumber makanan yang baik dari vitamin E pada setiap harinya. Diet rata-rata harian yang mengandung sekitar 100 mg vitamin C, 1-7 mg lutein dan zeaxanthin dan 8 mg vitamin E (atau 12 IU). Dalam penelitian di sini disebutkan, bahwa adanya hubungan nutrisi khususnya karotenoid dengan penurunan risiko terkena katarak karena manfaat yang jauh lebih tinggi dari asupan rata-rata setiap saatnya (American Optometric Association, 2014).

Tabel 1. Sumber Makanan Yang Baik dari Karotenoid (Lutein dan Zeaxanthin)
(mg/porsi)

Makanan/Porsi (1 cup)	Lutein dan Zeaxanthin	Lutein	Zeaxanthin
Kale (Kubis)	20.5 - 26.5*	-	1.1 - 2.2*
Collard greens (Sejenis Sawi)	15.3	-	5.1
Spinach (Sayur Bayam)	3.6 - 12.6*	1.7 13.3*	- 0.5 - 5.9*
Turnip greens (Lobak)	12.1	-	0.4
Broccoli (Brokoli)	2.1 - 3.5*	1.4 - 1.6*	-
Corn, yellow (Jagung Kuning)	1.4 - 3.0	0.6	0.9
Peas, green (Kacang Polong Hijau)	2.3	2.2	-
Orange pepper (Lada Orange/Paprika)	-	-	1.7

Persimmons (Kesemek)	1.4	-	0.8
Tangerine (Jeruk Keprok)	0.5	-	0.2

(American Optometric Association, 2014)

Satu-satunya karotenoid yang ditemukan di retina adalah lutein dan zeasantin. Lutein dan zeasantin terdapat dalam konsentrasi tinggi di makula berfungsi meredam cahaya biru. Dengan mencegah sejumlah besar cahaya biru masuk ke mata dan mencapai struktur dasar yang terlibat dalam pengelihatan, lutein dan zeaxanthin dapat melindungi terhadap kerusakan oksidatif yang disebabkan cahaya, yang diduga berperan dalam patologi degenerasi makula terkait usia atau AMD. Sampai saat ini, bukti-bukti ilmiah yang menunjukkan bahwa konsumsi lutein dan zeasantin setidaknya 6 mg/ hari dari buah-buahan dan sayuran dapat menurunkan risiko yang berkaitan dengan katarak atau degenerasi makula terkait usia.

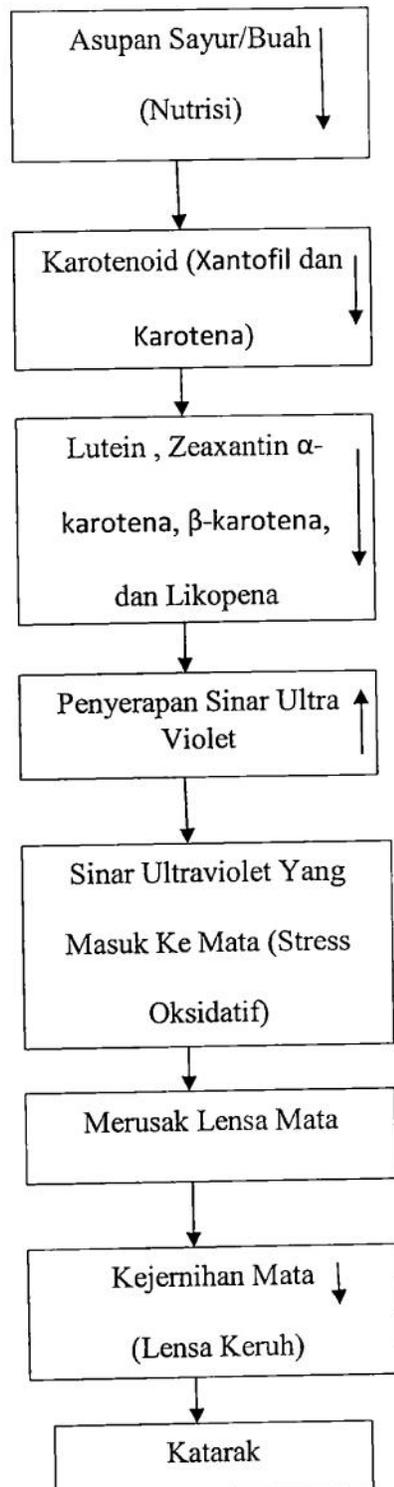
Vitamin dan nutrisi lain seperti karotenoid mungkin memiliki tindakan secara langsung dalam melindungi lensa dan retina, atau secara terpisah dalam melindungi kesehatan tubuh dan juga memberi manfaat bagi mata. Selain Vitamin sebagai antioksidan yang diakui sebagai pencegahan dari penyakit pada pembuluh darah, maka karotenoid yang berperan sekarang mendapat pengakuan dalam penelitian saat ini. Kerusakan oksidatif yang terjadi di lensa sebagai hasil dari efek radikal bebas pada protein lensa dan lipid, dan mungkin juga dari efek fototoksik

sinar matahari. Protein penting sebagai konstituen sitoplasma dalam sel serat pada lensa, dan lipoprotein juga penting dalam sel membrannya. Lipid juga penting dalam elemen fotoreseptor di retina. Dengan demikian, perubahan pada protein dan lipid sebagai hasil dari radikal bebas menyebabkan terjadinya signifikan kerusakan oksidatif (Nicholas Phelps Brown MD, 2004).

Kesan keseluruhan dari penelitian ini adalah bahwa orang yang makan diet yang kaya akan buah dan sayuran, dan orang-orang yang mengonsumsi vitamin tambahan, cenderung lebih sedikit terkena katarak. Manfaat ini telah ditunjukkan untuk orang-orang yang mengambil suplemen multivitamin bagi kehidupannya. Namun, kemungkinan bahwa vitamin yang paling dominan adalah vitamin antioksidan yaitu beta – karoten (provitamin A), asam askorbat (C), dan alpha tocopherol (E), seperti yang digunakan dalam reaksi penelitiannya. Vitamin antioksidan yang banyak berasal dari tanaman, khususnya warna hijau pada daun di mana karotenoid terdapat dalamnya, mereka berfungsi untuk melindungi tanaman dari stress oksidatif, yang berasal dari UV dari sinar matahari dan juga memiliki peran sebagai tanaman yang menghasilkan oksigen dalam proses fotosintesis (Nicholas Phelps Brown MD, 2004).

Bahwa vitamin mungkin memiliki beberapa tindakan yang bermanfaat langsung pada lensa dengan cara menjaga pembuluh darah didalam kesehatan tubuh. Oleh karena itu, kemungkinan bahwa suplemen vitamin yang diberikan kepada orang-orang dengan gizi buruk akan memiliki dampak yang signifikan dalam mencegah katarak, dan bahwa suplemen vitamin yang diberikan kepada orang dengan gizi yang baik akan memiliki dampak kecil terjadinya katarak . Di

negara dengan gizi yang baik, populasi yang lebih tua berisiko terkena katarak, karena orang tua cenderung untuk makan dari asupan vitamin lebih sedikit daripada orang yang lebih muda. Sebuah vitamin tambahan yang diberikan kepada orang-orang yang sudah dengan tahap awal katarak cenderung memiliki efek kecil dalam mengurangi tingkat perkembangan kataraknya, seperti yang ditunjukkan dalam reaksi penelitiannya (Nicholas Phelps Brown MD, 2004).

B. Kerangka Teori

Grafik 3. Kerangka Teori

C. Hipotesis

Adanya hubungan konsumsi karotenoid terhadap pembentukan katarak.