

THESIS

**PIGMENTASI IKAN NEMO (*Amphiprion ocellaris*) YANG DIBERI EKSTRAK
KAROTENOID KONSENTRASI BERBEDA**

PIGMENTATION OF NEMO (*Amphiprion ocellaris*) BASED ON VARIOUS
CONCENTRATIONS OF CAROTENOID SOURCES

RINI PRATIWI
L012211009



**PROGRAM MAGISTER ILMU PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**PIGMENTATION OF NEMO (*Amphiprion ocellaris*) BASED ON VARIOUS
CONCENTRATIONS OF CAROTENOID SOURCES**

PIGMENTASI IKAN NEMO (*Amphiprion ocellaris*) YANG DIBERI EKSTRAK
KAROTENOID KONSENTRASI BERBEDA

RINI PRATIWI
L012211009

THESIS

Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Magister of
Science (M.Si)



**MAGISTER PROGRAM IN FISHERIES SCIENCE
FACULTY OF MARINE SCIENCE AND FISHERIES
HASANUDDIN UNIVERSITY
MAKASSAR
2023**

HALAMAN PENGESAHAN THESIS

PIGMENTASI IKAN NEMO (*Amphiprion ocellaris*) YANG DIBERI EKSTRAK
KAROTENOID KONSENTRASI BERBEDA

Disusun dan diajukan oleh

RINI PRATIWI
L012211009

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Ilmu Perikanan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin. Pada tanggal 14 Agustus 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui:

Pembimbing Utama,

Prof. Dr. Ir. Muh. Yusri Karim, M.Si
NIP. 19650108 199103 1 002

Pembimbing Pendamping,

Dr. Ir. Dody Dh. Trijuno, M.App. Sc
NIP. 19640503 198903 1 004



Dekan Fakultas Ilmu Kelautan dan
Perikanan

Safriuddin, S.Pi., M.P., Ph.D
NIP. 19750611 200312 1 003

Ketua Program Studi S2
Ilmu Perikanan,

Dr. Ir. Badraeni, Mp
NIP. 19651023 199103 2 001

Tanggal Lulus: 14 Agustus 2023

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rini Pratiwi

NIM : L012211009

Program Studi : Ilmu Perikanan

Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa Tesis berjudul

Pigmentasi Ikan Nemo (*Amphiprion ocellaris*) yang Diberi Ekstrak Karotenoid Konsentrasi Berbeda

Karya penelitian saya sendiri dan bebas plagiat, serta tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis digunakan sebagai acuan dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber acuan serta daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan (Permendiknas No. 17, tahun 2007).

Makassar, 14 Agustus 2023



Rini Pratiwi
NIM. L012211009

PERNYATAAN KEPEMILIKAN TULISAN

Saya bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rini Pratiwi

NIM : L012211009

Program Studi : Ilmu Perikanan

Fakultas : Ilmu Kelautan dan Perikanan

Menyatakan bahwa publikasi sebagian atau keseluruhan isi Tesis pada jurnal atau forum ilmiah lain harus seizin dan menyertakan tim pembimbing sebagai pemilik tulisan (author) dan Universitas Hasanuddin sebagai institusinya. Apabila dalam waktu sekurang-kurangnya dua semester (satu tahun sejak pengesahan tesis) saya tidak melakukan publikasi dari sebagian atau keseluruhan tesis ini, maka pembimbing sebagai salah seorang dari penulis berhak mempublikasinya pada jurnal ilmiah yang ditentukan kemudian, sepanjang nama mahasiswa tetap diikuti.

Makassar, 14 Agustus 2023

Mengetahui,

Ketua Program Studi S2 Ilmu Perikanan



Dr. Ir. Badraeni, MP

NIP. 19651023 199103 2 001

Penulis



Rini Pratiwi

NIM. L012211009

ABSTRAK

Rini Pratiwi. L012211009. “ Pigmentasi Ikan Nemo (*Amphiprion ocellaris*) Yang Diberi ekstrak Karotenoid Konsentrasi Berbeda ” dibimbing oleh **Muhammad Yusri Karim** sebagai Pembimbing Utama dan **Dody Dh. Trijuno** sebagai Pembimbing Anggota.

Intensitas warna ikan nemo yang menurun berkaitan dengan jumlah produksi karotenoid dalam xantofor kulit Nemo. Sehingga diperlukan upaya untuk menjaga kestabilan produksi karotenoid yang berasal dari tomat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh ekstrak karotenoid terhadap kandungan total karotenoid, ukuran, dan distribusi xantofor pada kulit ikan nemo. Sebanyak 60 ekor ikan nemo dengan berat awal rata-rata $0,84 \pm 0,14$ g dan panjang rata-rata $2,95 \pm 0,08$ cm. Penelitian dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL), yang terdiri dari empat konsentrasi karotenoid yang ditambahkan pada pelet ikan, yaitu 0 %, 0,5 %, 1 %, dan 1,5 % dengan tiga kali ulangan. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa dosis optimum senyawa karotenoid dalam meningkatkan kandungan total karotenoid pada kulit ikan nemo adalah 1,5 %. Karotenoid yang ditambahkan pada pakan ikan mempengaruhi distribusi dan kematangan xantofor. Namun, tidak mempengaruhi ukuran xantofor. Penambahan dosis karotenoid yang paling tepat untuk meningkatkan warna kulit ikan nemo adalah 1,5 %.

Kata Kunci: Distribusi Pigmen, Ikan Nemo, Karotenoid, Tomat

ABSTRACT

Rini Pratiwi. L012211009. “ Pigmentation Of Nemo (*Amphiprion ocellaris*) Based on various concentrations of carotenoid sources ” Supervised by **Muhammad Yusri Karim** as main advisor and **Dody Dh. Trijuno** as member advisor

The decreased color intensity of Nemo is related to the amount of carotenoid concentration in the xanthophore of Nemo's skin. Therefore, efforts are needed to maintain stable carotenoid production from tomato. This study aimed to analyze the effect of carotenoid compounds on total carotenoid content, the size, and distribution of xanthophores on Nemo skin. A total of 60 Nemo with an average initial weight of 0.84 ± 0.14 g and an average length of 2.95 ± 0.08 cm. The research was conducted using a completely randomized design (CRD), consisting of four carotenoid concentrations in addition to fish pellet, 0 %, 0.5 %, 1 %, and 1.5 % with three replications. The results showed that The optimum dose of carotenoid compounds in increasing the total carotenoid content in nemo fish skin is 1.5 %. Carotenoids added to the fish feed affected the distribution and maturity of xanthophore. However, it did not affect the size of the xanthophore. The most appropriate carotenoid dose addition to improve the skin color of nemo fish is 1.5 %.

Keywords: Pigment Distribution, Nemo fish, Carotenoid, Tomato

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas berkah, rahmat, dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Pigmentasi Ikan Nemo yang Diberi Ekstrak Karotenoid dengan Konsentrasi Berbeda” Tesis ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan studi pada Program Magister Ilmu Perikanan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin Makassar.

Awal perencanaan, pelaksanaan dan penulisan tesis ini, penulis menyadari bahwa terdapat banyak kendala yang penulis lalui. Olehnya itu, Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, mendukung, dan membimbing Penulis, khususnya kepada:

1. Kedua orang tua saya yang sangat saya banggakan dan hormati yakni alm. bapak Nastang dan ibu Taya, serta keluarga yang tidak henti-hentinya memanjatkan doa dan memberikan dukungan kepada Penulis
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Muh. Yusri Karim, M.Si selaku dosen Pembimbing Utama dan bapak Dr. Ir. Dody Dh. Trijuno, M.App. Sc selaku Pembimbing Anggota yang telah memberikan bimbingan dan arahan dari awal perencanaan, pelaksanaan penelitian, hingga proses akhir penyusunan tesis ini.
3. Ibu Dr. Ir. Shinta Werorilangi, M.Sc, Ibu Dr. Ir. Siti Aslamyah, MP, dan Ibu Dr. Marlina Achmad, S.Pi., M.Si selaku penguji yang telah memberikan pengetahuan baru, masukan, saran dan kritik yang sangat membangun.
4. Staf Pegawai, teknisi, dan rekan-rekan di BPBL Ambon yang banyak membantu Penulis mulai dari persiapan hingga selesainya kegiatan penelitian.
5. Teman-teman mahasiswa magister Ilmu Perikanan angkatan 2021, kerabat, keluarga, dan semua pihak yang telah membantu Penulis hingga ke jenjang ini.

Akhir kata, Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat dan memberi nilai untuk kepentingan ilmu pengetahuan, serta segala amal baik serta jasa dari pihak yang membantu Penulis mendapat berkat dan karunia Allah SWT. Aamiin.

Makassar, 14 Agustus 2023

Penulis

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Balubu, Sulawesi Selatan pada tanggal 25 Desember 1998, merupakan anak ke 3 dari 5 bersaudara dari pasangan Bapak Nastang (alm) dan Ibu Taya. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 89 Kota Ambon pada tahun 2010. Sekolah Menengah Pertama di Madrasah Tsanawiyah Negeri Batu Merah Kota Ambon pada tahun 2013. Sekolah Menengah Atas di Sekolah Usaha Perikanan Menengah Kota Ambon tahun 2016. Pada tahun yang sama penulis memasuki program pendidikan selama empat tahun di Politeknik Ahli Usaha Perikanan Jakarta, penulis mengambil program studi Teknologi Akuakultur. Pada tahun 2020 penulis menyelesaikan pendidikan sehingga memperoleh sebutan Sarjana Terapan Perikanan (S.Tr.Pi). Penulis telah mempublikasi ke *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research* dengan judul *“Enhancement of Color Brightness on Clown Fish (Amphiprion percula) with Addition of Tomato Powder Extract*. Selanjutnya, Penulis melanjutkan pendidikan ke Program Magister Ilmu Perikanan, Universitas Hasanuddin pada akhir tahun 2021. Selama kuliah di Program Ilmu Perikanan, penulis telah mempublikasi ke Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan (JIPK) dengan judul *“Xanthophore Distribution of Nemo (Amphiprion ocellaris) Skin Based on various concentrations of carotenoid sources”*

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Biologi Ikan Nemo (<i>Amphiprion ocellaris</i>)	4
B. Pigmentasi dan Kromatofor Ikan.....	5
1. Pigmentasi	5
2. Kromatofora	6
3. Distribusi Pigmen dan Intensitas Warna Kulit Ikan Nemo	8
C. Pembentukan Warna dan Perubahan Pada Kulit Ikan.....	10
1. Pembentukan Warna Pada Kulit Ikan	10
2. Perubahan Warna Pada Ikan	11
D. Kebutuhan Nutrisi Ikan Hias.....	12
E. Buah Tomat (<i>Lycopersicon esculentum</i>).....	13
F. Senyawa Karotenoid.....	15
G. Ekstraksi dan Pelarut	17
H. Karotenoid pada Kulit Ikan	18
J. Histologi Kulit Ikan	19
J. Kerangka Berfikir	20
K. Hipotesis	21
III. METODE PENELITIAN	22
A. Waktu dan Tempat	22
B. Alat dan Bahan.....	22
C. Pelaksanaan Penelitian.....	22
1. Wadah dan Media Pemeliharaan	22
2. Hewan Uji	23
3. Pakan Uji	24
4. Percobaan dan Perlakuan	24
D. Prosedur Penelitian	25

1. Persiapan Wadah dan Media serta Aklimatisasi Hewan Uji	26
E. Kerangka Operasional.....	26
F. Parameter yang Diamati	27
1. Karotenoid Ekstrak Tomat dan Pakan Ikan	27
2. Karotenoid Kulit Ikan	28
4. Distribusi Pigmen dan Intensitas Warna Kulit Ikan Nemo.....	28
5. Histologi Kulit Ikan.....	28
6. Fisika Kimia Air	29
G. Analisis Data.....	29
IV. HASIL.....	30
1. Karotenoid Esktrak Tomat dan Pakan Ikan	30
2. Karotenoid Kulit Ikan	31
3. Distribusi Pigmen dan Intensitas Warna Kulit Ikan Nemo.....	32
4. Histologi.....	35
5. Fisika Kimia Air	36
V. PEMBAHASAN	37
1. Karotenoid ekstrak tomat dan Pakan ikan.....	37
2. Karotenoid Kulit Ikan	37
3. Distribusi Pigmen dan Intensitas Warna Kulit Ikan Nemo.....	39
4. Histologi.....	42
5. Fisika Kimia Air	43
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	45
A. Kesimpulan.....	45
B. Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	56

DAFTAR TABEL

No	Teks	Halaman
1.	Kisaran kualitas air optimum dalam budidaya ikan nemo	5
2.	Tingkat kualitas warna pada ikan nemo.....	5
3.	Jenis Kromatofora dan pigmen serta warna terkait pada ikan.....	7
4.	Komposisi nutrien pakan pellet.....	23
5.	Hasil pengujian pakan yang telah ditambahkan berbagai dosis karotenoid	30
6.	Hasil pengujian kulit ikan yang telah ditambahkan berbagai dosis karotenoid	31
7.	Hasil pengukuran fisika kimia air pada pemeliharaan ikan nemo.....	36

DAFTAR GAMBAR

No	Teks	Halaman
1.	Morfologi <i>A. ocellaris</i> (Foto: koleksi pribadi).....	4
2.	Bentuk ilustrasi xantofor (Foto: koleksi pribadi)	8
3.	Ilustrasi warna sebagai penentu kualitas warna (Khajehdizaj <i>et al.</i> , 2014) (Bao <i>et al.</i> , 2019).....	9
4.	Butiran pigmen dalam kromatosom (Yan <i>et al.</i> , 2013)	11
5.	Faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan warna ikan (Luo <i>et al.</i> , 2021)....	11
6.	Anatomi buah tomat (Foto: koleksi pribadi).....	13
7.	Struktur senyawa likopen (Luo <i>et al.</i> , 2021).....	15
8.	Struktur senyawa β -karoten (Luo <i>et al.</i> , 2021)	15
9.	Alur pikir penelitian.....	20
10.	Konstruksi wadah pemeliharaan ikan nemo	22
11.	Tata letak penyusunan akuarium (Foto: koleksi pribadi)	23
12.	Ikan nemo sebagai hewan uji yang digunakan (Foto: koleksi pribadi).....	23
13.	Denah rencana penelitian.....	24
14.	Ekstraksi tomat dan Pembuatan Pellet	27
15.	Tahapan penelitian.....	27
16.	Hubungan antara dosis perlakuan karotenoid terhadap total karotenoid pada pakan ikan.....	31
17.	Hubungan antara dosis perlakuan karotenoid terhadap total karotenoid pada kulit ikan.....	32
18.	Distribusi pigmen pada permukaan kulit bagian badan <i>A. ocellaris</i>	33
19.	Distribusi diameter xantofor	34
20.	Distribusi xantofor pada permukaan kulit ikan nemo. (d (Diameter)) (foto: koleksi pribadi).....	34
21.	Distribusi melanosit	35
22.	Distribusi sel pigmen daerah dermis dan hipodermis (Hirata <i>et al.</i> , 2003).....	43

DAFTAR LAMPIRAN

No	Teks	Halaman
1.	Prosedur kerja ekstrak tomat.....	56
2.	Prosedur kerja analisis karotenoid ekstraksi tomat	57
3.	Prosedur kerja persiapan pakan uji dan penerapannya	58
4.	Prosedur kerja analisis karotenoid pakan ikan.....	59
5.	Prosedur kerja karotenoid kulit ikan dan distribusi sel pigmen	59
6.	Prosedur kerja histologi	60
7.	Data pengujian dan perhitungan total karotenoid pakan ikan berdasarkan nilai absorbansi.....	62
8.	Hasil analisis ragam (anova) pemberian dosis karotenoid berbeda dosis terhadap total karotenoid pakan ikan nemo	62
9.	Uji lanjut (duncan) pemberian dosis karotenoid berbeda dosis terhadap total karotenoid pakan ikan nemo	63
10.	Data pengujian dan perhitungan total karotenoid kulit ikan berdasarkan nilai absorbansi.....	63
11.	Hasil analisis ragam (anova) pemberian dosis karotenoid berbeda dosis terhadap total karotenoid kulit ikan nemo.....	63
12.	Uji lanjut (duncan) pemberian dosis karotenoid berbeda dosis terhadap total karotenoid kulit ikan nemo.....	63
13.	Hasil analisis diameter xantofor pada pemberian dosis karotenoid 0 % dikulit ikan ikan nemo.....	64
14.	Hasil analisis diameter xantofor pada pemberian dosis karotenoid 0,5 % dikulit ikan ikan nemo.....	64
15.	Hasil analisis diameter xantofor pada pemberian dosis karotenoid 1 % dikulit ikan nemo.....	64
16.	Hasil analisis diameter xantofor pada pemberian dosis karotenoid 1,5 % dikulit ikan ikan nemo.....	65
17.	Data hasil pengukuran fisika kimia media pemeliharaan ikan nemo.....	67

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Amphiprion ocellaris merupakan salah- satu jenis ikan hias air laut yang dikenal sebagai ikan badut atau ikan nemo (Tran *et al.*, 2022). Ikan nemo sangat populer karena memiliki warna cerah yang mencolok yaitu perpaduan antara hitam, putih, dan oranye (Moore *et al.*, 2023). Permasalahan yang terdapat pada ikan nemo adalah terjadi penurunan warna morfologi. Hal tersebut disebabkan kekurangan nutrisi terkait penyusun warna morfologi ikan yaitu karotenoid. Pada fase benih terjadi peralihan pakan alami ke pakan buatan. Pakan buatan tidak mengandung karotenoid dan karena Karotenoid tidak dapat disintesis oleh tubuh ikan sehingga hanya didapatkan dari asupan pakan luar yang diberikan (Salis *et al.*, 2019).

Warna kuning, oranye, dan merah yang terdapat pada kulit ikan berkaitan dengan karotenoid (Nhan *et al.*, 2019; Tran *et al.*, 2022). Karotenoid merupakan suatu pigmen alami yang dapat ditemukan pada hewan, tumbuhan, dan alga (Maoka, 2020). Mempunyai spektrum kuning, oranye hingga merah. Berdasarkan strukturnya, sebagian besar karotenoid menunjukkan serapan maksimal pada sekitar 450 nm (Stahl & Sies, 2003; Riaz *et al.*, 2021). Umumnya, penurunan warna pada ikan disebabkan oleh beberapa faktor seperti kondisi lingkungan yang buruk (Díaz-Jiménez *et al.*, 2021; Kumar *et al.*, 2022), stres (Vissio *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2022), penyakit (Marudhupandi *et al.*, 2022), kekurangan nutrisi yang berkaitan dengan pigmentasi (Ebenezar *et al.*, 2020; Makri *et al.*, 2021), penuaan (Díaz-Jimenez *et al.*, 2021), serta berkaitan dengan jumlah produksi karotenoid pada xantofor kulit ikan Nemo.

Xantofor adalah sel pigmen yang mengandung xantosom sedangkan xantosom merupakan wadah penyimpanan karotenoid. Xantofor dapat berperan dalam melindungi karotenoid dari kerusakan oleh radikal bebas atau cahaya yang berlebihan. Karotenoid mempunyai peran penting dalam kehidupan hewan. Sebagai fungsi fisiologi sebagai prekursor vitamin A, antioksidan, modulator perkembangan sel (Meléndez-Martínez, 2019; Lim *et al.*, 2023), serta pigmentasi (Merhan, 2017). Tomat merupakan salah-satu sumber karotenoid yang sangat melimpah yang mana bertanggung jawab atas warna merah pada buah tomat (Bao *et al.*, 2019; A. Kumar *et al.*, 2020; Ebenezar *et al.*, 2020).

Variabel seperti lingkungan dan nutrisi pakan dapat dimodifikasi di penangkaran budidaya unnapituk memastikan bahwa ikan dapat mempertahankan karakteristik aslinya selama mungkin. Ada banyak penelitian tentang pigmentasi dengan menambahkan senyawa karotenoid pada pakan ikan untuk meningkatkan kualitas warna. Karotenoid disimpan dalam xantosom dan kemudian didistribusikan dalam

bentuk xantofor ke kulit ikan. Dengan demikian, ukuran xantofor diduga berhubungan dengan fenotipe warna ikan. Penelitian sebelumnya telah membahas tentang jumlah, struktur morfologi, dan distribusi melanofor pada ikan *M. Anguillicaudatus* (Sheng *et al.*, 2021). Namun, penelitian mengenai pemberian karotenoid terkait ukuran dan distribusi xantofor masih terbatas. Pengaruh karotenoid yang ditambahkan pada pakan ikan terhadap distribusi dan ukuran xantofor pada kulit ikan Nemo diperlukan penelitian tentang hal tersebut.

B. Rumusan Masalah

Intensitas warna ikan yang menurun merupakan salah satu masalah terbesar bagi spesies akuarium dan produsen ikan. Permintaan ikan tidak berwarna oleh para penghobi akuarium cukup sedikit. Oleh sebab itu, dalam pembuatan pakannya perlu memperhatikan tingkat pemberian senyawa karotenoid yang sesuai untuk meningkatkan kualitas pigmentasi. Vissio *et al.* (2021) menyatakan bahwa penurunan warna pada ikan merupakan respons terhadap faktor lingkungan, nutrisi pakan, adaptasi komprehensif terhadap kondisi tertentu seperti pola latar belakang, sinar UV, interaksi antar spesies hingga kondisi mengakibatkan ikan stres. Hal tersebut dapat berpengaruh terhadap penurunan jumlah produksi karotenoid didalam xantofor.

Telah banyak dilakukan penelitian mengenai pigmentasi dengan menambahkan senyawa karotenoid pada pakan ikan guna meningkatkan kualitas warna. Karotenoid disimpan dan diproduksi di xantosom kemudian disitribusikan dalam bentuk xantofor kekulit ikan. Sehingga ukuran xantofor diduga berkaitan dengan warna fenotip ikan. Namun demikian, masih kurangnya penelitian mengenai pemberian karotenoid terkait ukuran dan distribusi xantofor sebagai salah satu kromatofor ikan nemo. Apakah pemberian karotenoid dengan konsentrasi berbeda berpengaruh terhadap total kadar karotenoid pada kulit ikan serta ukuran dan distribusi xantofor dikulit ikan nemo ?. Guna mengkaji pengaruh terhadap total kadar karotenoid pada kulit ikan serta ukuran dan distribusi xantofor dikulit ikan nemo diperlukan penelitian berdasarkan hal tersebut diatas.

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah pemberian karotenoid ekstrak tomat berpengaruh terhadap total kadar karotenoid serta ukuran dan distribusi xantofor dikulit ikan nemo?.
2. Berapakah dosis optimum karotenoid ekstrak tomat dalam meningkatkan total kadar karotenoid pada kulit ikan nemo?.

C. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut di atas, maka tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh pemberian ekstrak karotenoid terhadap total kadar karotenoid serta ukuran dan distribusi xantofor dikulit ikan nemo.
2. Menentukan dosis optimum ekstrak karotenoid dalam meningkatkan total kadar karotenoid pada kulit ikan nemo.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Biologi Ikan Nemo (*Amphiprion ocellaris*)

Ikan nemo berasal dari famili (*Pomacentridae*) ditemukan di perairan terumbu karang. Secara morfologi ikan badut memiliki tubuh yang lebar dengan mulut yang kecil dan memiliki perpaduan warna dibadan yang menarik antara warna orange dengan belang putih dan hitam. Warna oranye pada ikan nemo dibentuk oleh tiga lapisan sel pigmen yaitu melanofor, xantofor dan iridofor di dalam kromatofor. Dengan motif yang lucu tersebut maka dijuluki sebagai ikan badut (Sartikawati *et al.*, 2020). Morfologi ikan nemo dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Morfologi *A. ocellaris* (Foto: koleksi pribadi)

Dalam menunjang keberhasilan produksi ikan nemo terdapat banyak faktor-faktor yang harus diperhatikan yakni lingkungan, intensitas cahaya yang cukup dan pakan. Salles *et al.* (2020) mengemukakan bahwa ikan nemo merupakan salah satu jenis ikan hias laut yang dipelihara di akuarium dengan sistem pergantian air mengalir. Ikan nemo rentan mengalami stres apabila terjadi fluktuasi kualitas air. Kualitas air merupakan salah satu penunjang proses budidaya. Kisaran optimum kualitas air yang dibutuhkan ikan nemo untuk hidup disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kisaran kualitas air optimum dalam budidaya ikan nemo

No	Parameter	Kisaran	Reference
1	Suhu (°C)	27.9- 29.6	(Pietoyo <i>et al</i> ., 2020)
2	Salinitas (ppt)	30-33	(Chambel <i>et al</i> ., 2015)
3	Ph	6.7-8.6	(Pietoyo <i>et al</i> ., 2020)
4	DO (ppm)	5.0-5.5	(Ghosh <i>et al</i> ., 2011)

Jenis pakan yang diberikan dapat mempengaruhi pertumbuhan dan kualitas warna yang dihasilkan (Hasanah *et al.*, 2020). Berbagai warna-warni indah pada ikan pada dasarnya dihasilkan oleh sel-sel pigmen (*Chromatophore*) yang terletak pada kulit ikan. Mekanisme pergerakan butiran pigmen pada ikan dikendalikan oleh hormon-hormon tertentu sebagai akibat reaksi terhadap kondisi lingkungan ikan yang bersangkutan dan pigmen pakan yang diberikan. Oleh sebab itu, ikan bisa tampak berbeda pada kondisi lingkungan berbeda dan dosis pemberian pigmen warna (Ekojono & Mustika, 2020). Kriteria warna berdasarkan *grade* pemasaran ikan nemo dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Tingkat kualitas warna pada ikan nemo

No	Tingkat kualitas Warna	Keterangan	Reference
1	A	Pola warna sangat tajam dan kontras	(Ekojono & Mustika, 2020)
2	B	Pola warna masih terlihat namun tidak terlalu kontras	
3	C	terdapat dominan warna serta kehilangan salah satu warna	
4	D	Warna menurun drastis atau pucat	

B. Pigmentasi dan Kromatofor Ikan

1. Pigmentasi

Pigmentasi pada kulit ikan ditentukan oleh jumlah, jenis dan distribusi sel pigmen yang terdapat di kromatofor. Kromatofora ini memberikan warna sesungguhnya pada ikan yang terdapat pada lapisan dermis, yaitu diluar diantara sisik (Yan *et al.*, 2013), tetapi juga dapat terdapat di epidermis dan di tempat lain. Warna kromatofor bergantung

pada serapan cahaya pigmen atau fenomena interferensi berdasarkan zat pemantul cahaya (Skold *et al.*, 2016). Pigmen pada ikan memberikan kualitas warna tertentu. Pigmentasi adalah suatu karakter yang sangat bervariasi pada vertebrata, dengan berbagai fenotipe warna dan pola warna yang ditemukan pada spesies, populasi dan individu yang berbeda. Menurut Cal *et al.* (2018) pola warna pada spesies hewan terlibat dalam berbagai fungsi. Pola pigmen telah dikaitkan dengan kamuflase yakni keberhasilan dalam mencari makan, pemilihan pasangan, dan kemananan.

Perkembangan warna ikan nemo pada fase larva berwarna merah muda dengan satu strip putih dan memperoleh warna oranye yang dominan. Terdapat warna kuning hingga oranye, merah muda hingga cerah pada tubuh ikan nemo dan coklat hingga hitam pada sirip. Terdapat juga warna putih di bagian tubuh ikan nemo (Maytin *et al.*, 2018). Perkembangan strip putih dapat dipengaruhi oleh diet pakan yakni menambahkan karotenoid ke pakan buatan dapat mempengaruhi warna oranye, saturasi dan kecerahan serta padat tebar. Setiap jenis sel pigmen cenderung menutupi kulit pada tubuh ikan. Namun, keberadaan jenis sel pigmen yang berbeda memaksa mereka untuk saling berinteraksi satu sama lain untuk menghasilkan pola garis (Manceau *et al.*, 2011).

Pewarnaan terdiri dari warna struktural dan pigmentasi. Warna struktural dihasilkan oleh interaksi antara cahaya dan struktur nano contoh warna struktural adalah pantulan cahaya pada iridofor (ikan, amfibi, dan reptil). Warna pigmen didasarkan pada pigmen kimia disimpan dalam organel tertentu (kromatosom) yang terkandung dalam sel pigmen (kromatofor). Warna pigmen sering dikaitkan dengan warna struktural karena sel pigmen didistribusikan berlapis-lapis dalam struktur integumen (Skold *et al.*, 2016)

2. Kromatofora

Kromatofora merupakan suatu sel yang mengandung pigmen dan memantulkan cahaya, yang ada pada banyak hewan termasuk amfibi, ikan, reptil, dan cephalopoda. Kromatofor biasanya ditemukan di dermis, epidermis, dan di sekitar neurovaskular sebagai respons terhadap rangsangan yang berbeda dan bersifat diangkut oleh absorpsi cahaya atau dalam fenomena interferensi berdasarkan zat pemantul cahaya (Luo *et al.*, 2021). Proses terbentuknya pigmen kromatofor secara umum melibatkan serangkaian tahapan biokimia dan perkembangan seluler yang kompleks walaupun terdapat sedikit perbedaan antar spesies lainnya (Ligon dan Cartney, 2016; Renko *et al.*, 2022; Jorjani *et al.*, 2023). Adapun tahapannya sebagai berikut:

1. Diferensiasi sel: proses terbentuknya kromatofor dimulai dengan diferensiasi sel-sel khusus dalam lapisan kulit hewan. Sel-sel ini akan menjadi prekursor kromatofor.

2. Proliferasi sel: sel-sel prekursor kromatofor mengalami proliferasi atau pembelahan seluler untuk meningkatkan jumlah sel-sel prekursor yang ada.
3. Aktivasi pigmen: selama perkembangan kromatofor, enzim-enzim yang tedjurrlibat dalam sintesis pigmen mulai di aktifkan. Proses ini melibatkan jalu-jalur biokimia yang menghasilkan berbagai jenis pigmen, seperti melanin untuk pigmen gelap atau karotenoid untuk pigmen kuning dan merah.
4. Pembentukan vesikel pigmen: sel-sel kromatofor mulai membentuk vasikel atau kantung yang mengandung pigmen. Vesikel ini berfungsi sebagai penyimpang pigmen dan juga tempat distribusi saat terjadi perubahan warna.

Umumnya ikan mempunyai 6 jenis kromatofora yang berbeda yaitu melanofor hitam-cokelat (yang mengandung melanin), merah (eritrofor), dan xantofor kuning (keduanya dapat mengandung karotenoid, pteridin, atau kombinasi keduanya). Pemantulan cahaya Iridofor tidak berwarna dan leukofora pemantul cahaya putih (keduanya mengandung purin (Ligon dan Cartney, 2016) (Tabel 3).

Tabel 3. Jenis Kromatofora dan pigmen serta warna terkait pada ikan

Kromatofora	Organel	Pigmen	Warna	Prinsip pewarnaan
Melanofor	Melanosom	Melanin	Hitam, coklat	Penyerapan cahaya
Xantofor	Xantosom, karotenoid	Pteridin, karotenoid	kuning, orange	penyerapan, refleksi
Eritrofor	Eritrosom, karotenoid	Pteridin, karotenoid	oranye, merah	penyerapan, refleksi
Iridofor	Merefleksikan trombosit	purin, trombosit guanin	warna struktural dan permainan warna	refleksi cahaya
Leukofor	Leukosom	-	putih	hamburan cahaya
Sianofor	Sianosom	-	biru	penyerapan , refleksi

Sumber : (Ligon dan Cartney, 2016)

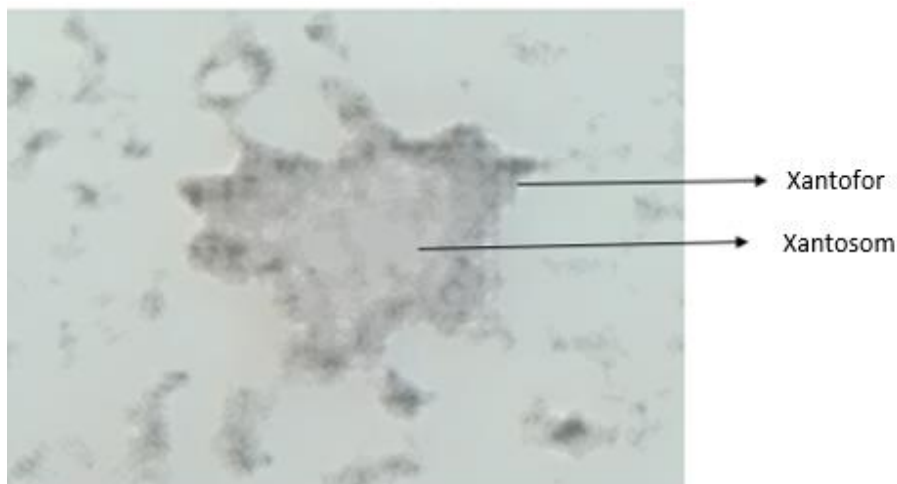
Pada ikan nemo sendiri terdapat 3 pigmen yang terdapat dalam kromatofor yakni Garis-garis gelap terdiri dari melanofor yang ditutupi oleh lapisan tipis iridofor dan dominan xantofor yang memantulkan cahaya (Salis *et al*, 2019). Melanofor mengandung pigmen hitam melanin dalam melanosom. Melanofores berbentuk dendritik, dan memperpanjang filopodia dimana organel berpigmen didistribusikan secara merata. Xantofor mengalami bentuk yang mencolok berubah tergantung pada posisi mereka dalam pola. Dalam garis-garis ringan mereka tampak kompak dan padat, sedangkan di

garis-garis gelap mereka seperti bintang dan menunjukkan panjang tonjolan, menjaga kontak satu sama lain (Nusslein *et al.*, 2017). Xantofor lebih kecil dan lebih banyak daripada melanofor. Yang terkecil, tetapi juga yang paling melimpah sel pigmen adalah iridofor membentuk lembaran panjang seperti epitel padat (Sheng *et al.*, 2022).

3. Distribusi, Ukuran Pigmen, dan Intensitas Warna Kulit Ikan Nemo

Warna kulit yang dihasilkan bergantung pada berbagai distribusi dan proporsi berbagai jenis kromatofor, sehingga memungkinkan ikan untuk menunjukkan banyak warna berbeda. Ikan nemo memiliki 3 jenis sel pigmen dikulitnya yaitu xantofor, melanofor, dan iridofor (Moore *et al.*, 2023). Masing-masing sel pigmen ini memiliki distribusi yang berbeda dikulit ikan nemo. Xantofor terdapat pada bagian kulit ikan yang cerah seperti perut, sirip, dan kepala (Cal *et al.*, 2019). Xantofor juga terdapat dibagian kulit ikan yang gelap namun konsentrasinya lebih rendah. Melanofor kebanyakan terdapat dibagian kulit ikan yang gelap seperti punggung dan berbentuk pola di bagian kulit ikan tertentu (Hirata *et al.*, 2003). Iridofor terdapat pada bagian kulit ikan tertentu yang menghasilkan efek kilauan dan refleksi cahaya (Hirata *et al.*, 2003).

Xantofor sering digambarkan bentuk struktural yang mirip dengan melanofor. Namun, pada ikan nemo sendiri masih jarang penjelasan mengenai hal tersebut. Menurut Djurdjevic *et al.* (2015) bahwa xantofor pada ikan trout mempunyai 2 jenis organel yakni xantosom dan vesikel karotenoid sedangkan melanofor mempunyai 1 organel yaitu melanosom, melanosom dan xantosom diameter 0,5 μm sedangkan karotenoid berdiameter 0,1 μm . Disebutkan juga dalam penelitian Skold *et al.* (2016) bahwa ukuran xantosom lebih besar dibandingkan dengan karotenoid. Bentuk ilustrasi kromatofor (xantofor) disajikan pada Gambar 2 sebagai berikut:

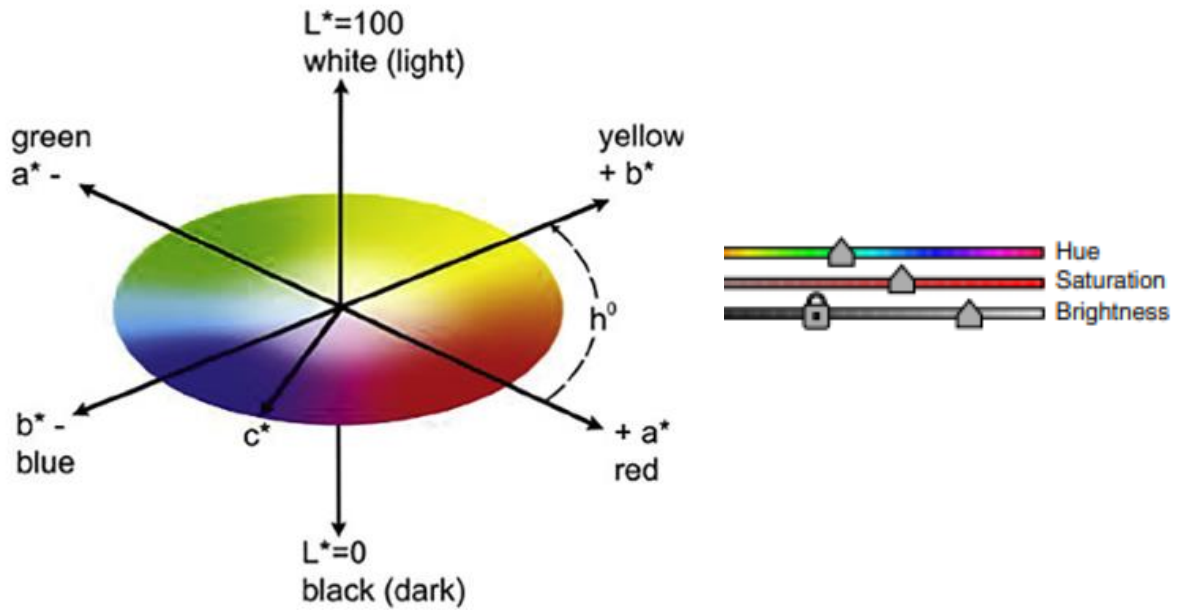


Gambar 2. Bentuk ilustrasi xantofor (Foto: koleksi

Penelitian Hashimoto *et al.*, (2021) menjelaskan bahwa melanosom dan xantosom merupakan spesifikasi dari jenis sel pigmen yang dimiliki oleh ikan nemo yakni melanofor dan xantofor yaitu melanofor mengandung melanin sedangkan xantofor mengandung karotenoid. Serta Djurdjevic *et al.* (2015) bahwa xantosom merupakan tempat disimpannya atau produksi karotenoid kemudian didistribusikan dalam bentuk xantofor kekulit ikan.

Ikan salmonid, jika xantofor kehilangan warna, bentuk struktur xantofor tetap ada namun tampak kosong dalam artian tidak ada produksi butiran pigmen didalamnya (Djurdjevic *et al.*, 2015). Menurut Guo *et al.* (2007) warna ikan serta pembentukan pola pigmen pada ikan berhubungan dengan jumlah dan distribusi melanofor, xantofor, dan iridofor. Tidak ada sel pigmen yang dapat ditemukan di epidermis kulit, melanofor dan iridofor biasanya terlokalisasi bersama di dermis. Fang *et al.* (2022) mengemukakan bahwa karotenoid mempengaruhi warna kulit ikan. Selanjutnya, warna kulit juga tergantung pada jenis dan konsentrasi karotenoid di kulit, yang mana ditentukan oleh proses penyerapan dan pengendapan yang terkait dengan spesies, umur, dan keadaan fisiologis ikan.

Distribusi dan interaksi antara berbagai jenis kromatofor dalam kulit ikan akan mempengaruhi pola warna dan intensitas pada kulit ikan, termaksud ikan nemo (Putra *et al.*, 2020). Pengukuran intensitas warna pada kulit ikan dapat dikaitkan dengan nilai digital RGB (*Red Green Blue*). Beberapa parameter warna dapat diukur secara kuantitatif berdasarkan standar nilai digital RGB (*Red Green Blue*). Dengan melakukan konversi ke model HSB (*Hue Saturation Brightness*), nilai digital yang diperoleh lebih mudah dipahami sesuai dengan cara pandang mata manusia (Bao *et al.*, 2019). Ilustrasi warna dari sebuah penentu kualitas warna dapat dilihat pada Gambar 3. Nilai hue diartikan sebagai jenis warna dari setiap objek yang ingin dilihat. Nilai hue berkisar dari 0-360° yang artinya nilai 0° merupakan warna merah dan terus meningkat sampai nilai 90° yang diartikan warna kuning (Ekojono & Mustika, 2020). *Saturation* diartikan sebagai kepekatan dalam sebuah warna, semakin tinggi nilai *saturation* maka warna akan semakin pekat, begitu juga sebaliknya (Ninwichian *et al.*, 2020). Nilai *saturation* berkisar antara 0-100% yang artinya semakin rendah nilai *brightness* maka warna akan semakin gelap, begitupun sebaliknya jika nilai *brightness* semakin tinggi maka warna akan semakin terang (Putra *et al.*, 2020).



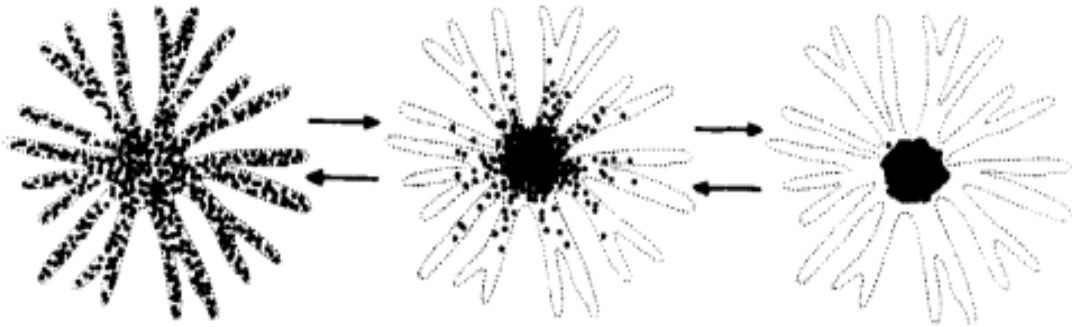
Gambar 3. Ilustrasi warna sebagai penentu kualitas warna (Khajehdizaj *et al.*, 2014) (Bao *et al.*, 2019)

C. Pembentukan Warna dan Perubahan Pada Kulit Ikan

1. Pembentukan Warna Pada Kulit Ikan

Secara garis besar, warna yang dibentuk oleh organisme dapat dibagi menjadi dua kategori: warna berpigmen dan warna struktural. Pembentukan warna kulit ikan merupakan hasil dari absorbansi cahaya pigmen biogenesis atau efek interferensi pada zat pemantul cahaya dengan kromatofora. Superposisi dua pola pigmentasi, termasuk mekanisme pola dorsal-ventral dan mekanisme striping yang lebih baru berdasarkan pada interaksi sel-sel, menentukan warna ikan dewasa. Melanosit dan iridofor Misalnya pada ikan zebra membentuk pola gelap, sedangkan xantofor dan iridofor membentuk pola terang (Hirata *et al.*, 2003). Saat butiran melanin menyebar ke setiap melanosit yang bercabang, warna tubuh kulit ikan menjadi gelap, sedangkan bila terkonsentrasi di tengah sel warnanya menjadi cerah (Yan *et al.*, 2013) (Gambar 4). Pigmen sel yang didistribusikan secara merata mampu berubah warna pada kulit ikan dengan mengangkut melanosom sepanjang mikrotubulus menuju pusat sel, yang mana akan berpengaruh terhadap intensitas warna pada kulit ikan yakni menjadi pucat. Pola pigmen terutama dihasilkan oleh distribusi terorganisir sel pigmen atau kromatofora yang diturunkan dari puncak saraf (Cal *et al.*, 2018). Selanjutnya, perkembangan eumelanin diduga terkait dengan pembentukan warna kulit hitam/coklat, sedangkan pigmen

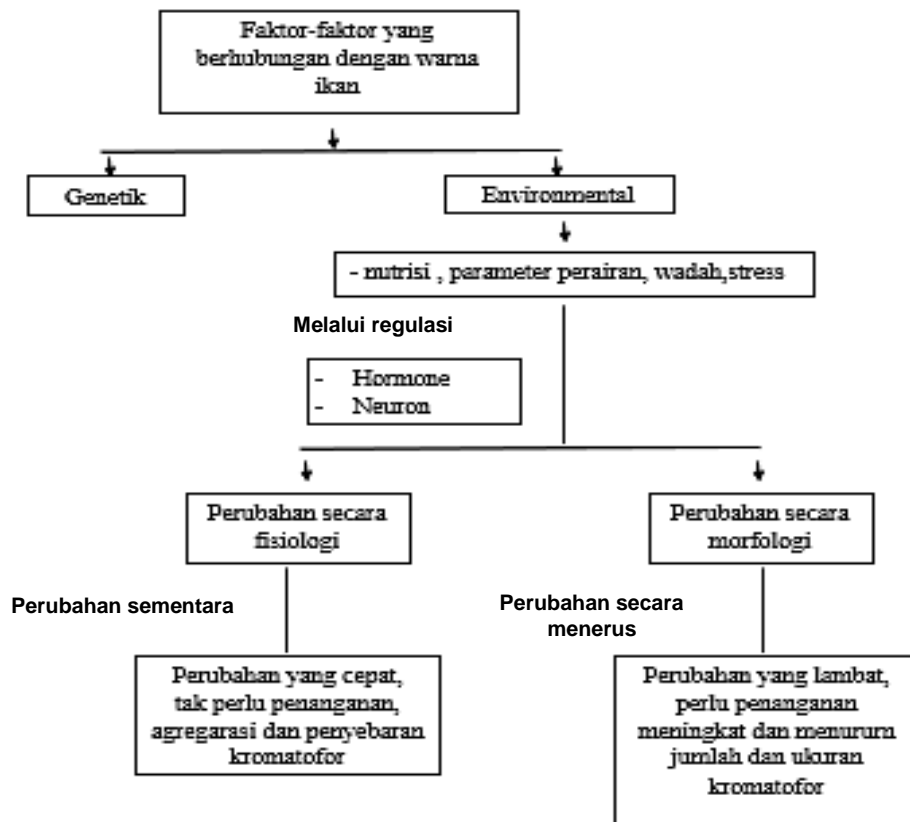
kemerahan/kuning di xantofor bergantung pada proses sintesis pteridin (Yan *et al.*, 2013).



Gambar 4. Butiran pigmen dalam kromatosom (Yan *et al.*, 2013).

2. Perubahan Warna Pada Ikan

Perubahan warna pada ikan yang terjadi secara cepat dalam hitungan detik hingga jam disebut sebagai perubahan warna fisiologis, biasanya dicapai dengan pergerakan pigmen atau struktur yang berukuran nano dalam sel khusus yang disebut kromatofora (Ligon dan Cartney, 2016).



Gambar 5. Faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan warna ikan (Luo *et al.*, 2021)

Variasi jumlah sel pigmen kulit, serta perubahan kepadatan, morfologi, dan distribusi, keadaan tersebut dipengaruhi oleh jumlah dan komposisi pakan yang mengandung sumber karotenoid di dalam pakan disebut sebagai perubahan morfologis. Proses ini lambat, membutuhkan waktu berhari-hari atau berminggu-minggu untuk diselesaikan, dengan stimulus jangka panjang setelah adaptasi komprehensif terhadap kondisi tertentu seperti pola latar belakang, diet pakan, sinar UV, dan interaksi sosial (Cal *et al.*, 2018). Perubahan warna pada ikan dapat disebabkan respons terhadap faktor lingkungan biotik dan abiotik (Gambar 5).

D. Kebutuhan Nutrisi Ikan Hias

Manajemen pakan ikan akuarium sama pentingnya sebagai manajemen kualitas air di akuarium. Ikan yang dibesarkan di akuarium atau secara intensif dalam sistem resirkulasi air tanpa suplementasi pigmen dalam makanannya akan kehilangan rona cerahnya, dan warnanya akan memudar. Di alam, ikan beradaptasi secara ekologis untuk jenis organisme makanan tertentu (Gopakumar, 2006). Warna kulit ikan pada dasarnya ditentukan secara genetik. Namun perlu diperhatikan untuk perkembangan warna yang maksimal dibutuhkan nutrisi yang baik dari pakan yang dikonsumsi ikan.

Kebutuhan nutrisi yang dibutuhkan oleh ikan diantaranya protein, lemak, karbohidrat vitamin dan mineral. Protein dibutuhkan sebagai penunjang pertumbuhan, mengganti sel-sel yang rusak. Lemak dan karbohidrat sebagai sumber energi. Mineral dan vitamin dibutuhkan sebagai pengatur proses metabolisme, mengatur proses fisiologis, membentuk enzim, serta menunjang kesehatan ikan. Pakan ikan bisa berupa pakan alami maupun pakan buatan yang mengandung pigmen-pigmen penyusun warna ikan. Seperti astaxanthin, B-karoten, canthaxanthin, fucoxanthin dan mikroalga spirulina, sebelumnya telah dikaitkan dengan fenotipe ikan seperti ikan hias dan mempengaruhi kapasitas reproduksi dan pewarnaan ikan (Das dan Biswas, 2016). Ikan tidak mampu menghasilkan pigmen warna jenis tertentu seperti merah, jingga, kuning, hijau, dan biru yang semua harus diperoleh dari makanan yang mereka makan. Oleh sebab itu, warna ikan terkait erat dengan pakan dan kandungan pigmen makanannya (Chapman dan Miles, 2018).

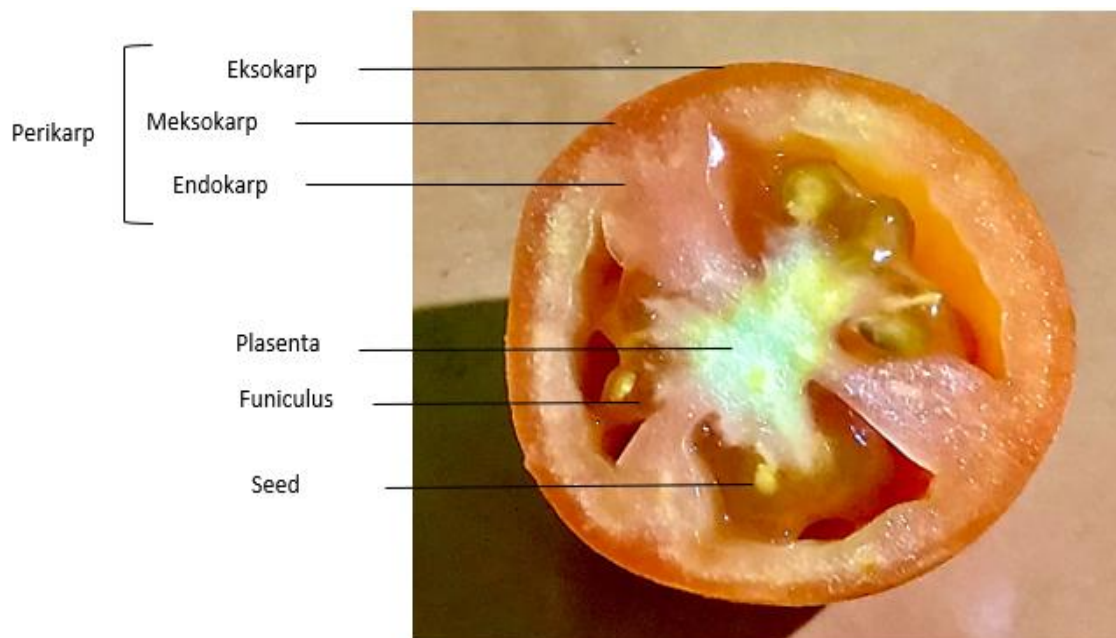
Penambahan jumlah karotenoid tetap dijaga tinggi dan ditambahkan ke dalam pakan. Sales dan Janssens, (2003) mengemukakan bahwa ikan hias dapat menunjukkan preferensi yang sangat konsisten untuk satu diet di atas yang lain ketika dua diet diberi pakan secara bersamaan. Menurut penelitian Yanar *et al.* (2008) mengemukakan bahwa menambahkan 40% tepung alfalfa sebagai sumber karotenoid ke pakan buatan ikan lemon dapat meningkatkan sel pigmen kromatosom. Menurut Diaz *et al.* (2021) benih

ikan nemo yang diberikan 0,5% karotenoid berupa astaxanthin pada pakan buatan dapat meningkatkan kecerahan warna pada ikan nemo.

E. Buah Tomat (*Lycopersicon esculentum*)

Tanaman tomat merupakan tanaman herba semusim dari keluarga *Solanaceae*. Tanaman tomat dapat tumbuh di berbagai ketinggian tempat, baik dataran tinggi maupun dataran rendah. Menurut Setiawati *et al.* (2007) tanaman tomat toleran terhadap beberapa kondisi lingkungan. Suhu optimum untuk budidaya tanaman tomat berkisar 21-24 °C. Tanaman tomat tergolong tanaman semusim (*Annual*). Artinya, tanaman berumur pendek yang hanya satu kali berproduksi dan setelah itu mati.

Buah tomat terdiri atas beberapa bagian yaitu perikarp, plasenta, funikulus, dan biji (Setiawati *et al.*, 2007). Perikarp meliputi *eksokarp*, *mesokarp*, dan *endokarp*. Eksokarp adalah lapisan terluar dari buah dan sering mengandung zat warna buah terdiri dari dinding *pericarp* dan kulit buah. Perikarp meliputi dinding luar dan dinding radial (*septa*) yang memisahkan rongga lokula. Mesokarp adalah lapisan yang paling dalam berupa selaput terdiri dari parenkim dengan ikatan pembuluh (jaringan tertutup) dan lapisan bersel tunggal yaitu lokula. Endokarp adalah lapisan paling dalam terdiri dari biji, plasenta, dan *columella* (Gambar 6).



Gambar 6. Anatomi buah tomat (Foto: koleksi pribadi)

Tomat memiliki banyak kandungan bioaktif yang sangat baik terutama karotenoid yakni likopen dan β -karoten, polifenol yakni asam fenolik dan flavonoid, vitamin yakni

asam askorbat, tokoferol dan vitamin A, glikoalkaloid yakni tomatin, dan mineral yakni K, Mn, Ca, Cu, dan Zn (Pinela *et al.*, 2016).

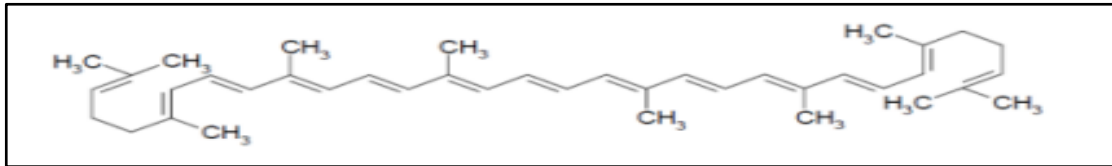
Karotenoid merupakan suatu pigmen alami yang dapat ditemukan pada hewan, tumbuhan, dan alga mempunyai spektrum kuning, oranye hingga merah. Berdasarkan strukturnya, sebagian besar karotenoid menunjukkan serapan maksimal pada sekitar 450 nm (Stahl dan Sies, 2003). Karotenoid terbagi atas 2 berdasarkan perbedaan strukturnya dari rantai poliisoprenoid yaitu karoten yang merupakan karotenoid hidrokarbon yaitu α -karoten, β -karoten, likopen, dan xantofil yang mengandung satu atau lebih oksigen yaitu *lutein*, *zeaxanthin*, *astaxanthin* dan *canthaxanthin* (Langi *et al.*, 2018). Karotenoid mempunyai peran penting dalam kehidupan hewan. Sebagai fungsi fisiologi sebagai prekursor vitamin A, antioksidan, modulator perkembangan sel, serta pigmentasi (Merhan, 2017). Semua hewan membutuhkan karotenoid untuk memiliki kinerja yang lebih baik, pewarnaan yang lebih baik, dan konsistensi pada pewarnaan yang unggul. Dalam hal tersebut karotenoid memainkan peran penting dalam pakan hewan atau dapat diberikan kepada mereka dengan suplemen dikarenakan Karotenoid tidak dapat di sintetis oleh hewan.

Karotenoid yang terdapat pada ikan secara umum *tunaxanthin* (kuning), *lutein* (kuning kehijauan), *-carotene* (oranye), *yy-doradexanthins* (kuning), *zeaxanthin* (kuning-oranye), *canthaxanthin* (oranye-merah), *astaxanthin* (merah), *eichinenone* (merah), dan *taraxanthin* (kuning). Banyak ikan menumpuk karotenoidnya diintegumen dan gonadnya. Di sisi lain, ikan salmonidae secara khusus menumpuk *astaxanthin* di otot. Pada ikan lele, karotenoid dalam integumen ikan ada dalam bentuk teresterifikasi. Meskipun ikan tidak dapat mensintesis karotenoid secara *de novo*, ikan tertentu memiliki kemampuan untuk mengubah satu bentuk karotenoid menjadi karotenoid lain. Karotenoid yang terdapat pada buah tomat yang dominan yakni likopen dan β -karoten (Langi *et al.*, 2018).

a. Likopen

Likopen merupakan salah satu jenis karotenoid hidrokarbon yang terdapat pada buah tomat. Likopen berperan penting dalam mengurangi stres oksidatif karena sifat antioksidannya dan dapat dijadikan sebagai pewarnaan pada hewan melalui diet pakan. (Akter *et al.*, 2020). Hasil penelitian Akter *et al.* (2020) likopen memberi warna merah pada tomat dengan kandungan likopen pada buah tomat yaitu 6,76 mg/100g. Kandungan likopen 46,9–67,5 mg/kg (Mendelova *et al.*, 2013), jambu biji sebesar 7,90 mg/kg, semangka 34, 98 mg/kg dan papaya 2,5 mg/kg (Dewi, 2018).

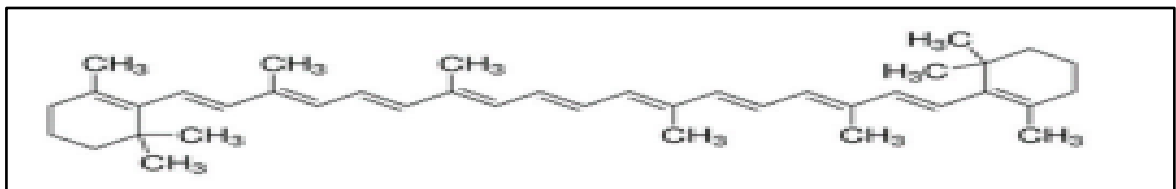
Likopen mempunyai berat molekul 536,89 g/mol dan rumus molekul $C_{40}H_{56}$ dengan 89,45% karbon dan 10,51% hidrogen. Ini adalah hidrokarbon yang sangat tidak jenuh yang mengandung 11 ikatan rangkap terkonjugasi dan dua ikatan rangkap tak terkonjugasi. Struktur molekul likopen dapat dilihat pada Gambar 7 sebagai berikut.



Gambar 7. Struktur senyawa likopen (Luo *et al.*, 2021)

b. β -karoten

β -karoten merupakan jenis karotenoid pada buah tomat tergolong hidrokarbon. Sebagai fungsi fisiologi yaitu sebagai prekursor vitamin A, antioksidan, dan modulator perkembangan sel serta pigmentasi. Hasil penelitian Langi *et al.* (2018) menyatakan rata-rata kadar β -karoten berada dalam kisaran 0,23 dan 2,83 mg/100g. β -karoten mempunyai rumus molekul $C_{40}H_{56}$ dengan berat molekul 536.873 g/mol, berat jenis 0.941 ± 0.06 g/cm³, titik didih 180-182 dan larut dalam kloroform. Struktur molekul β -karoten dapat dilihat pada Gambar 8 sebagai berikut.



Gambar 8. Struktur senyawa β -karoten (Luo *et al.*, 2021)

F. Senyawa Karotenoid

1. Penyerapan dan Transportasi Karotenoid

Karotenoid adalah senyawa hidrofobik yang tidak mudah larut dalam lingkungan berair pada saluran pencernaan ikan. Oleh sebab itu, proses pencernaan, penyerapan dan pengangkutan berhubungan dengan lipid (Harrison, 2012). Penyerapan karotenoid terjadi di usus.

Dalam hal transportasi, karena sifat hidrofobik karotenoid ini tidak dapat beredar bebas dalam plasma, dan harus dikaitkan dengan lipoprotein plasma. Karotenoid ikan sebagian besar diangkut ke jaringan perifer oleh lipoprotein densitas tinggi dan dalam jumlah terbatas (5-7%) oleh lipoprotein densitas rendah (LDL) (García dan Flores, 2013).