

KINETIKA OKSIDASI MINYAK IKAN TUNA (*Thunnus sp*)

Dr. Rahim Husain, S.Pi., M.Si.



KINETIKA OKSIDASI MINYAK IKAN TUNA (*Thunnus sp*)

Dr. Rahim Husain, S.Pi., M.Si.



**KINETIKA OKSIDASI MINYAK IKAN TUNA
(*Thunnus sp*)**

Penulis

Dr. Rahim Husain, S.Pi., M.Si.

Tata Letak

Ulfa

Desain Sampul

Faizin

15.5 x 23 cm, x + 83 hlm.

Cetakan pertama, Desember 2022

ISBN: 978-623-466-178-1

Diterbitkan oleh:

ZAHIR PUBLISHING

Kadisoka RT. 05 RW. 02, Purwomartani,

Kalasan, Sleman, Yogyakarta 55571

e-mail : zahirpublishing@gmail.com

Anggota IKAPI D.I. Yogyakarta

No. 132/DIY/2020

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena dengan rahmat-Nya, buku yang berjudul ***Kinetika Oksidasi Minyak Ikan Tuna (Thunnus sp)*** dapat penulis selesaikan. Oksidasi lemak merupakan salah satu sebab utama dari penurunan kualitas dalam daging diikuti masa simpan pada pendingin atau suhu yang dibekukan.

Seringkali terlihat pada tahap terakhir penyimpanan, penurunan kualitas termanifestasi melalui berbagai mekanisme. Meskipun oksidasi lipid biasanya menyebabkan penurunan penerimaan konsumen, dalam beberapa kasus oksidasi lipid memicu pada peningkatan kualitas produk.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada pihak yang tangan dan memberi bantuan penyusunan dan penerbitan buku ini. Akhirnya dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan semoga buku ini bermanfaat bagi yang membutuhkannya.

Gorontalo, Agustus 2022

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
BAB I	
PENDAHULUAN.....	1
BAB II	
OKSIDASI LEMAK PADA IKAN TUNA (<i>Thunnus sp</i>).....	5
A. Mekanisme Oksidasi Lemak.....	5
B. Prinsip Oksidasi Lemak.....	5
C. Daging dan Oksidasi Lemak.....	6
BAB III	
FAKTOR-FAKTOR PENYEBAB OKSIDASI LEMAK/MINYAK.....	13
A. Struktur dan Fungsi Daging.....	13
B. Perubahan Biokimia Setelah Kematian Hewan (<i>Post-mortem</i>).....	14
C. Variabilitas Antara Serat Dalam Daging.....	14
D. Asam Lemak Tak Jenuh Ganda (<i>Poly Unsaturated Fatty Acid, PUFA</i>).....	16
E. Inisiasi Ion Logam.....	17
F. Oksigen Singlet.....	19
G. Proses Pemodelan Makanan.....	21
BAB IV	
TAHAPAN MODEL KINETIKA OKSIDASI.....	31
BAB V	
SUHU DAN WAKTU PADA MODEL KINETIKA OKSIDASI: PENGARUH DAN HASILNYA.....	35
A. Kinetika Oksidasi Minyak Ikan Tuna (<i>Thunnus sp</i>).....	35
B. Kinetika Oksidasi <i>Fillet</i> Ikan Kakap (<i>Lutjanus sp</i>).....	47

BAB VI	
PENUTUP.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	64
TENTANG PENULIS.....	84

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Perubahan biokimia dan konsekwensi negatif dalam daging	14
Tabel 2.	Komposisi phopolipid (berat%) dari membran subseluler pada daging	16
Tabel 3.	Analisis asam lemak* minyak ikan tuna (<i>Thunnus sp</i>) sebelum dan sesudah penyimpanan	35
Tabel 4.	Persamaan linear sebagai fungsi waktu pada angka peroksida.....	42
Tabel 5.	Persamaan linear sebagai fungsi waktu pada angka asam.....	43
Tabel 6.	Persamaan linear sebagai fungsi waktu pada angka TBA	45
Tabel 7.	Analisis komposisi* asam lemak <i>fillet</i> ikan kakap (<i>Lutjanus sp</i>) sebelum dan setelah penyimpanan.	47
Tabel 8.	Persamaan linear sebagai fungsi waktu pada angka peroksida.....	54
Tabel 9.	Persamaan linear sebagai fungsi waktu pada angka asam.....	56
Tabel 10.	Persamaan linear sebagai fungsi waktu pada angka TBA	57
Tabel 11.	Persamaan linear sebagai fungsi waktu pada angka karbonil.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Tahap inisiasi dan propagasi dari oksidasi lemak (Labudda, 2013).....	7
Gambar 2.	Tahap inisiasi dan propagasi oksidasi lemak oleh radikal bebas (Evan dan Burdon, 1993).....	8
Gambar 3.	Kerusakan dari oksidasi lemak (Evan dan Burdon, 1993)	9
Gambar 4.	Struktur produk aldehid dari oksidasi lemak (Evan dan Burdon, 1993).....	9
Gambar 5.	Produk alkana sebagai akhir dari proses oksidasi lemak (Evan dan Burdon, 1993).....	10
Gambar 6.	Energi potensial dari reaktan A, B, <i>transition state</i> AB [‡] dan produk P,Q sebagai koordinat reaktan (dalam kasus persamaan <i>Arrhenius</i>	27
Gambar 7.	Tahapan Penelitian Model Kinetika Oksidasi <i>Fillet</i> Ikan Kakap (<i>Lutjanus sp</i>) dengan Pendekatan Kombinasi Protein dan Lemak	32
Gambar 8.	Diagram alir isolasi <i>fillet</i> ikan kakap (<i>Lutjanus sp</i>).	33
Gambar 9.	Desain Penelitian Model Kinetika Oksidasi <i>Fillet</i> Ikan Kakap (<i>Lutjanus sp</i>) dengan Pendekatan Kombinasi Protein dan Lemak	34
Gambar 10.	Oksidasi angka peroksida minyak ikan tuna (<i>Thunnus sp</i>) selama penyimpanan.....	39
Gambar 11.	Oksidasi angka asam minyak ikan tuna (<i>Thunnus sp</i>) selama penyimpanan.....	40
Gambar 12.	Oksidasi angka TBA minyak ikan tuna (<i>Thunnus sp</i>) selama penyimpanan.....	41
Gambar 13.	Prediksi angka peroksida, model reaksi orde nol, reaksi orde pertama pada minyak ikan tuna (<i>Thunnus sp</i>)	42
Gambar 14.	Prediksi angka asam, model reaksi orde nol, reaksi orde pertama pada minyak ikan tuna (<i>Thunnus sp</i>)	44

Gambar 15. Prediksi angka TBA, model reaksi orde nol, reaksi orde pertama pada minyak ikan tuna (<i>Thunnus sp</i>)	46
Gambar 16. Oksidasi angka peroksida <i>fillet</i> ikan kakap (<i>Lutjanus sp</i>) selama penyimpanan	50
Gambar 17. Oksidasi angka asam <i>fillet</i> ikan kakap (<i>Lutjanus sp</i>) selama penyimpanan	51
Gambar 18. Oksidasi angka TBA <i>fillet</i> ikan kakap (<i>Lutjanus sp</i>) selama penyimpanan	52
Gambar 19. Perubahan angka karbonil pada <i>fillet</i> ikan kakap (<i>Lutjanus sp</i>) selama penyimpanan	54
Gambar 20. Prediksi angka peroksida, model reaksi orde nol, model reaksi orde pertama pada <i>fillet</i> ikan kakap (<i>Lutjanus sp</i>)	55
Gambar 21. Prediksi angka asam, model reaksi orde nol, model reaksi orde pertama pada <i>fillet</i> ikan kakap (<i>Lutjanus sp</i>)	56
Gambar 22. Prediksi angka TBA, model reaksi orde nol, model reaksi orde pertama pada <i>fillet</i> ikan kakap (<i>Lutjanus sp</i>)	58
Gambar 23. Prediksi kadar karbonil, model reaksi orde nol, dan model orde pertama pada kadar karbonil <i>fillet</i> ikan protein kakap (<i>Lutjanus sp</i>).....	60

BAB I

PENDAHULUAN

Daging ikan merupakan sumber protein hewani yang penting dan memiliki nilai biologis lebih tinggi dibanding dengan protein daging lain. Daging ikan juga kaya akan asam lemak esensial (*Poly Unsaturated Fatty Acid*, PUFA) dan karenanya sangat rentan terhadap oksidasi lipid yang menyebabkan perubahan tidak diinginkan dalam rasa, tekstur, nilai gizi dan banyak konsekuensi patologis (Jena *dkk.*, 2008).

Telah diketahui bahwa oksidasi lipid merupakan masalah besar selama penyimpanan dan pengolahan, terutama pada spesies otot gelap daging ikan pelagis. Alasan yang mungkin di balik kerentanan ini adalah jumlah pro-oksidan, seperti protein heme (Hb), mioglobin, berat molekul rendah, kompleks logam transisi, dan lipoxigenases pada otot daging ikan (Richards *dkk.*, 2002; Undeland *dkk.*, 2004; Pazos *dkk.*, 2005).

Spesies oksigen reaktif (*Reactive Oxygen Species*, ROS) seperti superoksida (O_2^-), hidroksil (OH^*), peroxy (RO_2^*), alkoxyl (RO^*) dan hidrogen peroksida (H_2O_2) dalam sistem makanan dan biologis, terjadi secara alami dan dapat bereaksi dengan molekul biologis. Namun, produksi spesies oksigen reaktif (*Reactive Oxygen Species*, ROS) berlebihan dapat merusak kompleks molekul seluler, seperti lemak, protein, atau DNA. Dalam ikan hidup, tercipta mekanisme pertahanan anti-oksidatif yang menetralkan produksi dan efek samping spesies oksigen reaktif, tapi mekanisme ini tidak bekerja setelah kematian sehingga, menyebabkan akumulasi spesies oksigen reaktif (*Reactive Oxygen Species*, ROS) pada daging ikan, yang bisa menyebabkan modifikasi lipid dan protein.

Pada kondisi beku, senyawa oksidasi lipid yang diproduksi berinteraksi dengan protein, menyebabkan oksidasi protein,

kehilangan nutrisi dan modifikasi atau perubahan elektroforesis profil protein, sedangkan sistem antioksidan endogen menunjukkan bagian yang hilang (Aubourg *dkk.*,2004). Oksidasi asam lemak tak jenuh ganda (*Poly Unsaturated Fatty Acid*, PUFA) dimulai dengan produksi hidrogen-peroksida dengan tiga cara yang berbeda: (1) autooksidasi, (2) oksidasi enzimatis, dan (3) fotooksidasi, yang juga bisa terjadi secara bersamaan. Produk peroksida terurai dengan mekanisme yang berbeda, membentuk produk oksidasi sekunder; kedua produk oksidasi sekunder dan primer dapat bereaksi dengan gugus amino protein, menghasilkan senyawa interaksi yang memodifikasi rasa, bau dan sifat fungsional dari protein. Selanjutnya, fraksi volatil senyawa ini diindikasikan sebagai penyebab ketengikan dalam ikan berlemak (Arandadkk., 2005).

Pemodelan produk makanan adalah tugas rumit karena kurangnya pengetahuan mengenai mekanisme, kesulitan untuk melakukan eksperimen dan mendapatkan banyak data yang dapat dipercaya dan ketidakpastian mengenai sifat makanan. Sejauh ini, pengolahan makanan sebagian besar didedikasikan pada keamanan produk, stabilisasi dan meningkatkan operasi industri (Sablani *dkk.*, 2007).

Meskipun jumlah yang sangat besar publikasi ilmiahnya (Bimbenet*dkk.*, 2007), perluasan pendekatan untuk pemodelan makanan dan desain dibatasi sebagai berikut: (1) banyak model satuan operasi dikembangkan tetapi penerapannya tidak langsung; (2) banyak ketidakpastian secara luas yang keduanya tersedia untuk sifat bahan baku, parameter desain dan keandalan kondisi operasi (tanpa kontrol khusus diimplementasikan); (3) saat ini, pengetahuan yang akurat dari para ilmuwan makanan telah menyebabkan model spesifikasi, yang berharga dalam domain kecil, yang merupakan salah satu dari komposisi atau lingkungan fisik dan kimia.

Proses rekayasa makanan memiliki tiga tujuan: (1) untuk memahami fenomena pada pengolahan yang dilakukan, (2) untuk merancang unit operasi atau proses dan (3) untuk mengendalikannya. Mengingat pengembangan alat yang tersedia untuk industri kimia

dalam tujuan untuk industri makanan dan perbedaan besar muncul. Meskipun banyak model usulan sepanjang waktu untuk makanan, aplikasi alat simulasi untuk situasi kenyatannya masih rendah. Kurangnya pengetahuan, kurangnya parameter ditentukan untuk model yang sering dibahas sebagai tanggung jawab situasi. Dalam kasus proses makanan, umumnya tujuannya sangat kompleks dan banyak.

Sejauh ini informasi dan penelitian mengenai model oksidasi protein dan lemak ikan kakap (ikan-ikan demersal), masih sangat jarang dilakukan dan belum banyak dipelajari secara detail. Ini disebabkan penelitian-penelitian tentang model oksidasi protein dan lemak pada *fillet* ikan belum menjadi perhatian utama dalam bidang pemodelan oksidasi. Adanya informasi yang memadai dari data lemak secara umum dapat dihasilkan dari ekstrak *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) dan minyak ikan tuna (*Thunnus sp*), diharapkan dapat digunakan untuk membuktikan secara ilmiah bahwa model oksidasi minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) dapat di jadikan model dalam proses oksidasi lemak selama *display* sebagai akibat dari proses otooksidasi.

Kombinasi model oksidasi protein dan model oksidasi lemak masih jarang dilakukan karena mekanisme terjadinya oksidasi protein dan lemak masih diliputi oleh mekanisme yang berbeda sehingga, menimbulkan interpretasi mekanisme model oksidasi yang berbeda pula. Model oksidasi ini dapat dilakukan dengan melihat persamaan reaksi yang timbul akibat oksidasi tersebut, termasuk didalamnya adalah oksidasi daging secara keseluruhan.

Model oksidasi lemak dan protein secara terpisah bisa dikerjakan secara sederhana. Kombinasi kedua model diharapkan merupakan interaksi kedua model dan mewakili oksidasi daging ikan mengingat, kedua komponen merupakan penyusun utama daging. Adapun laju oksidasi pada lemak dan protein yang dipengaruhi oleh suhu dan lama waktu penyimpanan menyebabkan kerusakan asam-asam amino penyusun protein serta asam-asam lemak esensial (*Poly Unsaturated Fatty Acid*, PUFA) penyusun lemak.

Tujuan mengevaluasi mekanisme oksidasi *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) melalui pendekatan model oksidasi lemak, dan model oksidasi daging. Mempelajari mekanisme penurunan mutu *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) yang disebabkan oleh reaksi oksidasi (mekanisme). Memperoleh model kinetika oksidasi minyak ikan tuna (*Thunnus sp*). Memperoleh profil asam lemak minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) selama penyimpanan. Memperoleh model oksidasi *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) berdasar pada kinetika

Memberikan informasi model oksidasi pada *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*). Memberikan informasi model kinetika oksidasi minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) . Memberikan sumbangan pemikiran dalam upaya pengendalian dan pencegahan terhadap proses kerusakan oksidatif pada daging ikan.

BAB II

OKSIDASI LEMAK PADA IKAN TUNA

(*Thunnus sp*)

A. Mekanisme Oksidasi Lemak

Oksidasi lemak merupakan salah satu sebab utama dari penurunan kualitas dalam daging diikuti masa simpan pada pendingin atau suhu yang dibekukan. Seringkali terlihat pada tahap terakhir penyimpanan, penurunan kualitas termanifestasi melalui berbagai mekanisme (Akoh dan Min, 2008). Meskipun oksidasi lipid biasanya menyebabkan penurunan penerimaan konsumen, dalam beberapa kasus oksidasi lipid memicu pada peningkatan kualitas produk.

B. Prinsip Oksidasi Lemak

Oksidasi lemak dalam daging adalah faktor yang paling penting bertanggung jawab atas kualitas termasuk rasa, nilai tekstur, nutrisi dan warna. Oksidasi ini melibatkan produk radikal bebas pada daging oleh berbagai pro- oksidan. Di antara pro-oksidan keterlibatan heme protein sebagai katalis oksidasi lipid. Oksidasi oxymyoglobin menghasilkan produk dari tiga spesies: metmyoglobin, $H_2 O_2$ dan O_2^- (Renerre, 2000). Interaksi metmyoglobin dengan $H_2 O_2$ mengaktifkan metmyoglobin yang dapat membentuk radikal ferrimioglobin $P^+-Fe^{IV} = O$.

Oksidasi lemak disebabkan oleh aktifitas metmyoglobin, namun kurang diperhatikan seperti oksidasi protein. Perubahan kimiawi selama oksidasi protein oleh spesies oksigen radikal (*Reactive Oxygen Species*, ROS), bertanggung jawab pada banyak modifikasi biologis seperti kelarutan protein, fragmentasi atau agregasi protein.

Oksidasi dapat menghasilkan hilangnya aktivitas enzimatik, terutama pada membran, dimana protein berada dalam kontak

dengan lemak (Mecier *dkk.*, 2001; Batifoulier*dkk.*, 2002). Sebagai akibat dari kandungan asam lemak tinggi tak jenuh ganda (*Poly Unsaturated Fatty Acid*, PUFA), terutama terkait dengan fosfolipid dari membran dan kurangnya kemampuan antioksidan, daging ikan khususnya adalah rentan terhadap oksidasi (Batifoulier*dkk.*, 2002).

Oksidasi lemak juga merupakan penyebab utama kerusakan produk ikan selama manufaktur dan penyimpanan. Oksidasi lemak mengarah ke pembentukan senyawa *volatile* yang menyebabkan perubahan rasa produk ikan tersebut. Pengembangan rasa tengik sebagai penyebab utama masa simpan ikan berminyak seperti *herring*, *mackerel*, atau *horse mackerel* dimana, asam lemak tak jenuh bereaksi dengan molekul oksigen melalui mekanisme rantai radikal bebas untuk membentuk hidroperoksida asil lemak.

Setelah reaksi dimulai, hidroperoksida yang terbentuk diubah menjadi radikal bebas dan akhirnya menjadi volatil yang bertanggung jawab pada pengembangan rasa tengik. Masalah ini sangat relevan selama penyimpanan beku spesies ikan berlemak dan semi-lemak, yang konsumsinya sangat dianjurkan karena tinggi kandungan asam lemak tak jenuh ganda (Medina*dkk.*, 2009).

Tingkat dan rata-rata oksidasi lemak pada ikan beku tergantung pada spesies ikan, kesegarannya sebelum pembekuan, jenis otot, atau ada tidaknya aktivator dan inhibitor (heme, ion logam, enzim oksidatif, karotenoid), dan lokasi dari aktivator dan inisiator dalam jaringan (Richards & Hultin, 2002). Produk oksidasi cenderung meningkat dengan waktu dan suhu penyimpanan dan kedua waktu dan suhu penyimpanan merupakan faktor kunci dalam mengendalikan kualitas produk ikan beku (Bjerkeng & Johnsen, 1995).

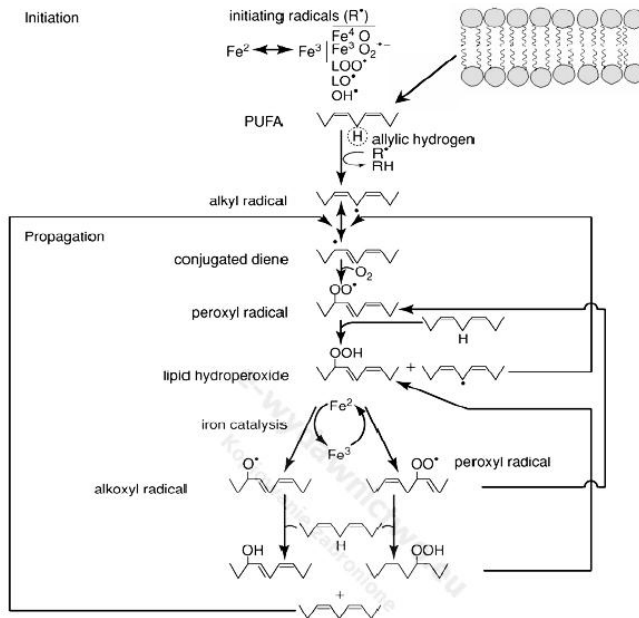
C. Daging dan Oksidasi Lemak

a. Struktur dan Fungsi Daging

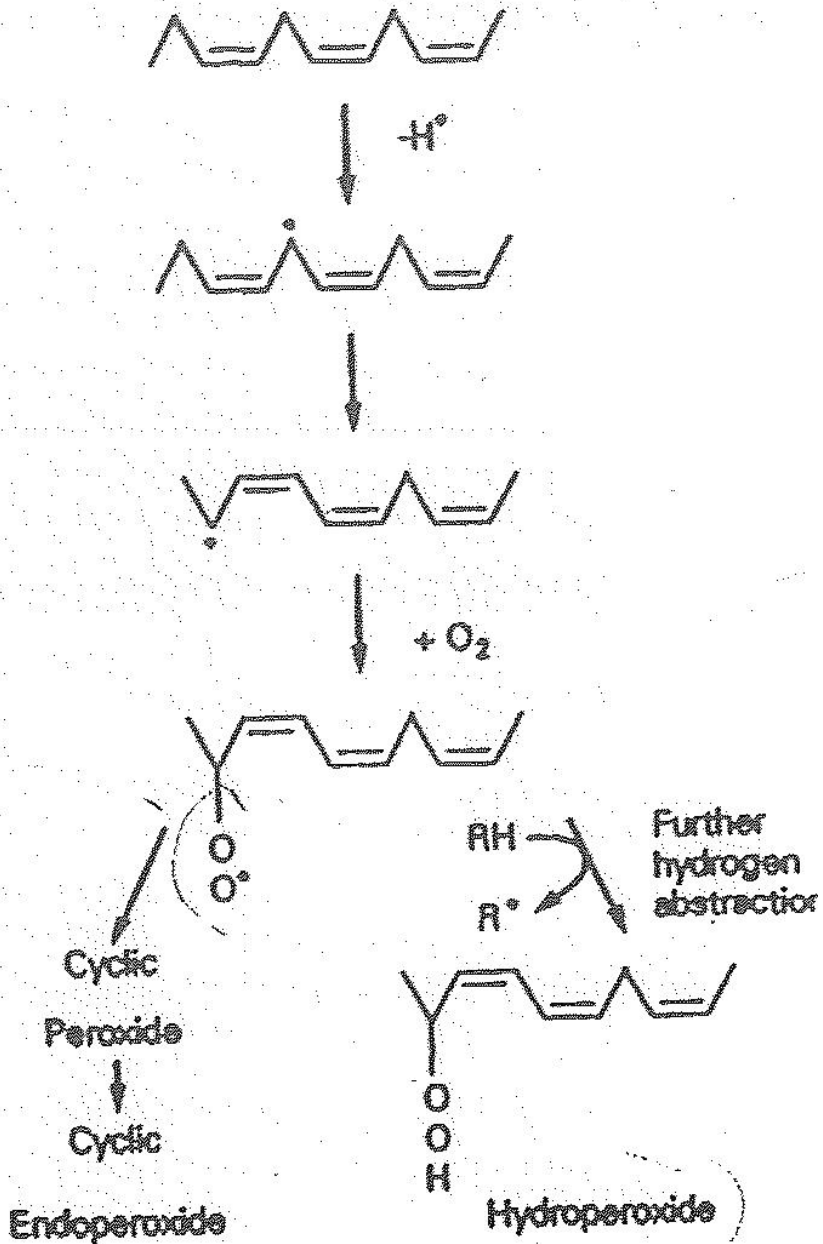
Ikan berlemak mengandung ω -3 (*Poly Unsaturated Fatty Acid*, PUFA), seperti asam eikosapentanoat ($20:5\omega$ -3) dan asam

dokosahexanoat (22:6 ω -3). Konsumsi ω -3 (*PolyUnsaturated Fatty Acid*, PUFA) menguntungkan pada kesehatan manusia, misalnya pada penyakit kardiovaskular dan arteriosklerosis (Shahidi & Miraliakbari, 2004). Namun, karena kadar lemak *polyunsaturated* yang tinggi serta kehadiran potensial aktivator, seperti pigmen heme dan logam (Richards & Hultin, 2002), kandungan lemak tinggi dan menengah dari spesies seperti mackerel (*Trachurus*) sangat rentan terhadap penurunan kualitas gizi dan memperpendek umur simpan karena oksidasi lemak (Mahmoudzadehdkk., 2010; Madinahdkk.,2009; Pourashouridkk., 2009; Yerlikaya & Gokoglu, 2010).

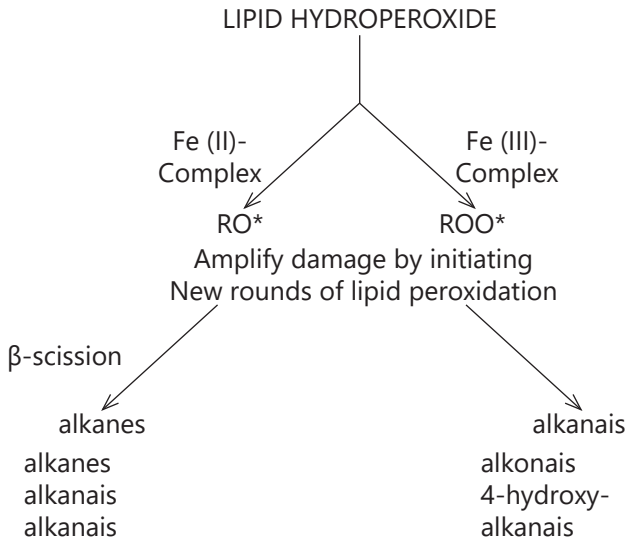
Mekanisme utama untuk oksidasi lemak adalah autooksidasi, suatu proses *autocatalytic* yang diprakarsai oleh pembentukan radikal tak jenuh lipid diikuti dengan reaksi oksigen (Frankel, 2005; Evans dan Burdon, 1993; Labudda 2013). Hidroperoksida adalah produk oksidasi primer seperti tertera pada Gambar 1 dan selanjutnya dioksidasi.



Gambar 1. Tahap inisiasi dan propagasi dari oksidasi lemak (Labudda, 2013)

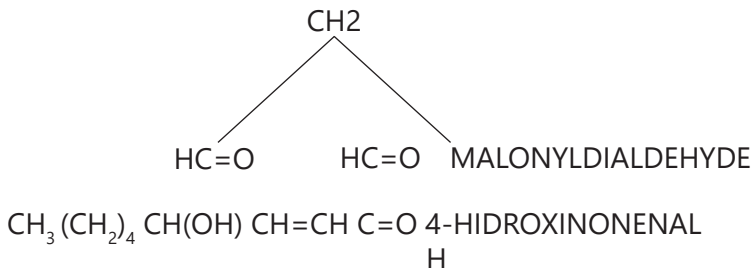


Gambar 2. Tahap inisiasi dan propagasi oksidasi lemak oleh radikal bebas (Evan dan Burdon, 1993)



Gambar 3. Kerusakan dari oksidasi lemak (Evan dan Burdon, 1993)

Menurut Evans dan Burdon (1993), bahwa hidroperoksida adalah oksidasi primer (Gambar 2 dan 3) yang terjadi dan selanjutnya dioksidasi menjadi dekomposisi dan reaksi polimerisasi yang menyebabkan pembentukan campuran kompleks menengah dan produk sekunder oksidasi yang mencakup banyak senyawa (Gambar 4 dan 5). Senyawa non-volatil dan volatil, dari molekul yang berbeda berat dan polaritas, dan fungsi oksigen yang berbeda, seperti hidroperosit, hidroksil, aldehid, keton epoxy dan fungsi terbentuk (Gimenezdkk., 2011).



Gambar 4. Struktur produk aldehid dari oksidasi lemak (Evan dan Burdon, 1993)

Dengan metode spektroskopi inframerah akhir-akhir ini telah terbukti menjadi alat yang berguna, untuk memantau perubahan oksidatif dalam minyak nabati (Guillen & Cabo, 2004). Sebagai pendekatan yang berbeda untuk mengevaluasi oksidasi dalam sampel ikan, kuantisasi dari total oksidasi non-volatil dan distribusi pada triasilgliserol teroksidasi monomer, dimer dan polimer telah terbukti menjadi pengukuran tahap oksidasi awal dan lanjutan (Márquez-Ruiz & Dobarganes, 2006).

b. Perubahan Biokimia pada *Post-mortem* Daging

Post-mortem jaringan otot, radikal bebas yang diproduksi dapat meningkatkan oksidasi lemak. Radikal ini dapat dikeluarkan dari *cascade kompleks* dari reaksi kimia. Penurunan pH, menyebabkan pelepasan besi dari protein pembawa besi (ferritin dan transferrin). Besi bebas ini dapat bereaksi dengan hidrogen peroksida untuk membentuk radikal hidroksil (OH^{*}). Oksidasi mioglobin menghasilkan generasi hidropersida (HO₂^{*}) dan Superoksida (O₂⁻). Oksidasi asam lemak takjenuh ganda (*Poly Unsaturated Fatty Acid*, PUFA) juga terlibat dalam produksi radikal bebas, pembentukan radikal alkil telah dilaporkan selama oksidasi lipid pada daging kalkun (Gatelier *dkk.*, 2000). Proses oksidatif ini diketahui menjadi penyebab utama penurunan kualitas selama penyimpanan daging, mempengaruhi warna, rasa dan kelembutan.

Meningkatnya produksi radikal bebas dan menurunnya perlindungan antioksidan, sangat mempercepat oksidasi dalam daging. Panas akibat oksidasi asam lemak tak jenuh menghasilkan produk oksidasi seperti aldehida, keton dan alkohol. Oksidasi lipid dan pengaruh negatifnya pada bau dan rasa daging dimasak telah lama diteliti oleh Byrne *dkk.*, (2002) dan De Smet, (2008). Selain itu, memasak dapat menginduksi kerugian penting dari asam amino esensial (Gatellier *dkk.*, 2009; Sante *dkk.*, 2008) serta asam lemak tak jenuh ganda (*Poly Unsaturated Fatty Acid*, PUFA) sehingga mengarah ke penurunan kualitas gizi produk (Sayd *dkk.*, 2012).

BAB III

FAKTOR-FAKTOR PENYEBAB OKSIDASI LEMAK/MINYAK

A. Struktur dan Fungsi Daging

Tubuh hewan terdapat lebih dari 600 otot daging yang bervariasi secara luas dalam bentuk, ukuran, dan aktivitas. Namun, pada tingkat seladakemiripan antara otot-otot daging dari berbagai organisme. Susunan khas otot rangka pada penampang terdiri dari epimysium (jaringan ikat sekitarnya seluruhotot), perimysium (jaringan ikat yang memisahkan kelompok serat ke dalam bundel), dan endomysia (selubung jaringan ikat yang mengelilingi setiap serat otot). Juga disekitarnya setiap serat otot ada membran sarkolemma, yang secara periodik, sepanjang serat, bentuk pelagika yang disebut sebagai Ttubulus.

Air merupakan 75-80% dari sarkoplasma tetapi berisi tetesan/droplet lipid, jumlah variabel butiran glikogen, ribosom, protein, senyawa nitrogen nonprotein, dan sejumlah unsur anorganik. Miofibril adalah organel yang hanya ditemukan dalam sel otot, panjang, tipis, batang silinder yang memperpanjang seluruh serat otot dan merupakan alat kontraktile, yang terdiri dari miosin dan aktin terutama protein. Proses kontraktile adalah mekanisme yang kompleks yang dimulai dengan tindakan menyebar melalui T tubulus dan sarkolema, akhirnya mencapai sarkoplasmik retikulum.

Pada membran sarkoplasmik retikulum (SR), terjadi depolarisasi, merangsang pelepasan kalsium. Kalsium dilepas mengikat troponin menyebabkan konformasi perubahan dalam protein, yang pada gilirannya memicu miosin ATPase untuk menghidrolisis ATP dan ADP. Energi kimia yang dilepaskan dari hidrolisis digunakan oleh miosin dan aktin untuk memulai mekanisme yang mengakibatkan kontraksi otot (Akoh dan Min, 2008).

B. Perubahan Biokimia Setelah Kematian Hewan (*Post-mortem*)

Setelah kematian hewan semua sirkulasi berhenti yang membawa perubahan penting dalam jaringan otot (Tabel 2.2). Perubahan mendasar dapat diatribusikan ke kekurangan oksigen (kondisi anaerobik) dan akumulasi tertentu produk-produk limbah, terutama laktat dan H^+ . Dalam waktu singkat sistem mitokondria berhenti fungsi dalam semua sel kecuali permukaan karena oksigen internal cepat habis. Glikolisis anaerobik terus meregenerasi ATP dan laktat, tapi akhirnya penurunan pH disebabkan oleh adanya asam laktat mengganggu aktivitas glikolitik. Ketika ATP habis, respon yang paling cepat terlihat adalah terjadinya kekakuan dimana aktin dan myosin tetap berada dalam keadaan kontraksi sebagai akibat dari tidak adanya sebuah *plasticizing agent* (ADP atau ATP).

Tabel 1. Perubahan biokimia dan konsekuensi negatif dalam daging

Perubahan biokimia	Konsekuensi
Penurunan ATP	Kehilangan sumber energi
Peningkatan hipoxhantin	Penurunan cita-rasa
Konversi hipoxhantin	Oksidasi xhanton
Penurunan askorbat, glutation	Kehilangan antioksidant sekunder dan ko-faktor
Peningkatan pada berat molekul rendah	Inisiator oksidasi
Oksidasi mioglobin pada radikal porpirin	Dapat bereaksi dengan hidrogen peroksida
Kehilangan tokoferol	Kehilangan antioksidan primer
Disintegrasi membrane	Dapat menyebabkan hidrolisis
Kehilangan Ca^{2+}	Peningkatan kandungan kalsium

Sumber : Akoh dan Min, 2008

C. Variabilitas Antara Serat Dalam Daging

Meskipun fungsi daging serupa untuk semua hewan ada perbedaan komposisi antar spesies dan bahkan di dalam daging yang berbeda dari spesies yang sama. Contohnya adalah daging merah dan putih. Daging putih (daging yang didominasi oleh serat putih) paling cocok untuk aktivitas yang kuat, waktu yang singkat

dan daging merah untuk kegiatan berkelanjutan. Serat daging merah cenderung lebih kecil dari serat daging putih dan berisi lebih banyak mitokondria, memiliki besar konsentrasi mioglobindan lipid. Semua perbedaan ini menyebabkan perbedaan dalam stabilitas oksidatif.

Daging ikan mengandung persentase lebih besar protein miofibril dari daging mamalia. Pada ikan terdapat persentase yang besar dari asam lemak tak jenuh. Perubahan komposisi dalam menanggapi kondisi lingkungan yang umum. misalnya, ikan yang hidup dilingkungan suhu rendah memiliki jumlah yang lebih besar dari daging gelap daripada ikan yanghidup di lingkungan yang lebih hangat (Love, 2000). Perhatian diperlukan ketika sampel ikan untuk stabilitas oksidatif dari perbedaan lokal yang ada (Undeland *dkk.*, 2009; Undeland *dkk.*, 2008).

Bagian yang paling rentan oksidasi *fillet* ikan selama pengesan dan penyimpanan beku ditemukan di bawah kulitdan ini disebabkan oleh sebagian besar daging gelap dalam sampel dibandingkan dengan bagian-bagian tengah dan bagian dalam (Undeland *dkk.*, 2010). Namun, isolasi dan analisis selanjutnya daging putih dan gelap tidak akan selalu menjamin respon yang seragam terhadap oksidasi. Sementara daging putih dianggap sangat seragam komposisi dimana pun terletak pada ikan. Daging gelap bervariasi dalam komposisi sebagai fungsi lokasi, mengandung lipid lebih di bagian anterior dari ikan dan lebih banyak air dan protein di bagian posterior (Love, 2000).

Untuk menghindari variabilitas yang melekat dalam komposisi yang terjadi antara daging potong, penelitian eksperimental sering mengisolasi membran subselular dari otot dan mengukur respon terhadap katalis oksidatif. Tergantung pada derajat pemurnian, luas variabilitas yang mungkin ada di antara membran. Sebagai contoh, sebuah fraksi mikrosomal mungkin berisi membran dari SR, mitokondria, badan Golgi, lisosom.

Perbandingan kadar lemak beberapa subselularmembran (Tabel 2.3) menunjukkan secara jelas bahwa persentase dari satu jenis

membranisolat, komposisi lipid juga berubah (Peter *dkk.*, 2001). Bahkan dalam satu jenis membran, seperti sarkoplasmik retikulum (SR), fraksi yang diisolasi dari cisternal dan longitudinal sarkoplasmik retikulum (SR) telah mengungkapkan rasio yang berbeda dari fosfolipid protein (Sarzala dan Michalak, 2008).

Di sini juga komposisi lipid yang terisolasi perubahan membran jika lebih dari satu fraksi terisolasi. Pada akhirnya, perubahan-perubahan dalam kadar lemak akan menyebabkan perbedaan dalam kerentanan oksidatif dari isolat membran. Bagian selanjutnya meninjau efek komposisi lipid pada stabilitas oksidatif.

Tabel 2. Komposisi phopolipid (berat%) dari membran subseluler pada daging

	Sarkolema	Sarkoplasmik Retikulum	Mitokondria
Phosphatidilkolin	45.5	58.2	48.9
Phosphatidiletanolamin	22.4	29.4	39.3
Phosphatidilserin	17.6	9.4	9.0
Spingomyelin	14.4	3.2	2.9

Sumber : Akoh dan Min, 2008

D. Asam Lemak Tak Jenuh Ganda (*Poly Unsaturated Fatty Acid, PUFA*)

Ikatan karbon - hidrogen asam lemak berdisosiasi dari yang terendah pada posisi bisallylicmetilen antara ikatan ganda yang berdekatan (Garner, 2009). Akibatnya, posisi ini merupakan sisi termodinamika yang disukai reaksi radikal peroksil lipid asam lemak tak jenuh ganda (*Poly Unsaturated Fatty Acid, PUFA*). Dalam penelitian yang melibatkan penggunaan homogen lipid yang dimurnikan, korelasi linear ditemukan antara jumlah posisi metilen bisallylic dan oxidizability dari lipid (Cosgrove, 2007). Wagner *dkk.*, (2004) menyatakan sel kultur mengalami stres oksidatif setelah perubahan sistematis jenuh lipid melalui suplementasi dari media pertumbuhan dengan berbagai macam asam lemak esensial (*Poly Unsaturated Fatty Acid, PUFA*).

Dalam penelitian tersebut kerentanan oksidasi seluler berkorelasi secara eksponensial dengan jumlah posisi bisallylicmetilen dalam asam lemak. Respon yang berbeda oleh homogenan sistem seluler untuk perubahan kandungan asam lemak esensial (*Poly Unsaturated Fatty Acid*, PUFA) dapat dijelaskan oleh pengelompokan lipid dalam membran sel yang meningkatkan konsentrasi substrat. Atau Ursini *dkk.*, (2001) menyatakan bahwa asam lemak tak jenuh yang ditarik ke dalam kelompok lipid peroxidized sebagai bagian dari perilaku fase - kompensasi. Proses semacam itu memberi " umpan " reaksi radikal - menyebarkan peroxy dalamkelompok peroxidized lipid. Letak ikatan rangkap metilenjuga tampaknya mempengaruhi laju oksidasi asam lemak ω - 3 dibanding dengan asam lemak dari ω - 6 (Beltran dan Moral, 2008).

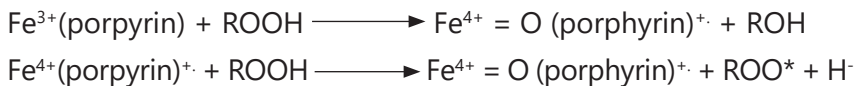
Meskipun penampilan produk oksidatif dalam daging yang tersimpan, dalam beberapa studi peneliti tidak dapat mendeteksi pengurangan dari asam lemak tak jenuh (Polvi *dkk.*, 2009). Kegagalan untuk mengamati kerugian terukur padaasam lemak esensial (*Poly Unsaturated Fatty Acid*, PUFA) selama penyimpanan beku ikan maskarena variasi jenis ikan dalam komposisi lipid (Xing *dkk.*, 2009). Bahkan teknik pasangan *fillet* dirancang untuk meminimalkan variabilitas dalam triasilgliserol mackerel atau ikan patin tidak cukup untuk mendeteksi kerugian total lipid atau fraksi triasilgliserol (Erickson, 2009). Namun fokus pada fraksi lipid tertentu dari jumlah lipid memang mengarah pada sensitivitas yang lebih besar dalam mendeteksi kerugian asam lemak tak jenuh, dengan kerugian yang terjadi terutama dalam fraksi fosfolipid (Polvi *dkk.*, 2001; Wang dan Peng, 2003).

E. Inisiasi Ion Logam

Katalis oksidasi lemak dalam daging terdiri dari sumber enzim dan non enzim (Tabel 2.3). Protein yang mengandung besi heme, termasuk mioglobin dan hemoglobin, berlimpah pada jaringan daging (Levinson dan Brown, 2001). Konsentrasi relatif tergantung pada spesies dan jenis daging. Daging sapi, domba,

dan babi umumnya lebih banyak mengandung mioglobin dari pada hemoglobin, sedangkan ayam mengandung sejumlah besar hemoglobin. Kemampuan protein heme untuk meningkatkan peroksidasi lipid telah dibuktikan oleh banyak peneliti (Kendrich dan Watts, 2007). Salah satu mekanisme aktivasi melibatkan dekomposisi hidroperoksida asam lemak radikal peroksil, dalam kehadiran oksigen menyebabkan peroksidasi lipid.

Hasil percobaan dengan inhibitor menunjukkan bahwa jalur utama produksi radikal peroxy melibatkan valensi tinggi kompleks besi dalam reaksi analog dengan peroksidase jalur klasik (Davies, 2003):



Senyawa heme terutama metmioglobin dan oxi-/deoximioglobin juga mengaktifkan oksidasi lipid melalui spesies intermediat yang diikuti interaksi heme dengan hidrogen peroksida. Peningkatan pembentukan dari spesies heme yang diaktifkan diamatibila senyawa heme yang belum diinkubasi pada produk lipid sekunder (4-hidroksinoneril). Penurunan pembentukan spesies di sisi lain terjadi pada asam lemak bebas linoleat (Akoh dan Min, 2008). Dalam kasus terakhir dinyatakan bahwa metmioglobin terikat pada asam lemak anion membentuk spesies hemi khrome yang tidak dapat diaktifkan oleh hidrogen peroksida.

Namun, paparan hidrogen peroksida juga telah terbukti menyebabkan pelepasan besi non heme dari mioglobin dan hemoglobin (Lynch dan Fautsan, 2000; Baron dan skibsted, 2000; Grunwald dan Richard, 2006). Atau, heme dapat menyumbangkan setara dengan mengurangi berat besi dan kompleks tembaga molekul rendah. Dengan demikian memberikan kontribusi untuk katalisis oksidasi lipid. Dalam bentuk non heme, kontribusi besi dalam produksi reaktif oksigen spesies, radikal hidroksil lewat jalur reaksi Fenton yakni: $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^* + \text{OH}^-$. Reaksi ini efektif ketika Fe^{3+} dapat kembali menjadi Fe^{2+} dengan agent pereduksi

Tingkat berat molekul besi non heme pada awalnya rendah yang hanya 2,4- 3,9% dari total besi dalam daging sapi, domba, babi, dan ayam dan 6,7-13,9% dari total besi dalam daging ikan *flounder* dan *mackerel*. Namun dalam daging yang diproses dan disimpan, peningkatan dalam fraksi rendah katalitik molekul berat besi telah ditemukan. Sumber zat besi non heme dikeluarkan dari *pocket* besi heme dengan memasak (Akoh dan Min, 2008) dan pelepasan besi dari penyimpanan protein, ferritin, dengan agen pereduksi sistein dan asam askorbat (Egene, *dkk.*, 2011). Peningkatan ini sangat signifikan karena konsentrasi zat besi (2,2 M) dan tembaga (1,4 M) yang ditemukan dalam fraksi berat molekul daging ikan terbukti mengkatalisis oksidasi lipid dalam sistem otot ikan model sarkoplasmik retikulum (Decker dan Welch, 2007). Ditambahkan pula bahwa modifikasi pada zat besi diubah pengembangan oksidasi lipidnya pada kalkun otot gelap dan otot babi (Thanonkaew *dkk.*, 2006).

Tiga pendekatan umum yang diambil untuk menguraikan kontribusi heme dan besi non heme oksidasi lipid daging:

- a. Evaluasi tingkat heme dan non heme dalam daging dan hubungannya dengan nilai-nilai terhadap stabilitas oksidatif daging selama penyimpanan
- b. Evaluasi peningkatan stabilitas oksidatif pada penambahan inhibitor/chelator yang dapat membatalkan kontribusi dari salah satu komponen.
- c. Evaluasi tingkat oksidasi diinduksi pada penambahan salah satu sumber besi untuk sistem daging atau model daging.

F. Oksigen Singlet

Banyak mekanisme yang berbeda diusulkan untuk produksi oksigen singlet, diyakini bahwa dua mekanisme yang paling umum melibatkan nonenzimatik photosensitization pigmen alami (Yoshida *dkk.*, 2010) dan produksi enzimatik langsung oksigen singlet. Produksi non enzimatik oksigen singlet, pada gilirannya, melibatkan dua jalur berbeda. Tipe jalur 1 ditandai dengan atom

hidrogen atau mentransfer elektron antara triplet sensitizer dan substrat sehingga, produksi radikal bebas atau ion radikal bebas. Radikal bebas ini kemudian dapat bereaksi dengan oksigen triplet untuk menghasilkan senyawa teroksidasi, yang siap untuk memecah membentuk radikal bebas yang dapat memulai reaksi berantai radikal bebas. Di jalur kedua untuk produksi non enzimatis dari oksigen singlet (tipe II), sensitizer triplet bereaksi dengan oksigen triplet melalui mekanisme pemusnahan oksigen triplet. Produksi enzimatis oksigen singlet, di sisi lain, telah terbukti menjadi konsekuensi langsung atau tidak langsung dari tindakan oksidase mikrosomal tertentu, lipoxigenase, dan prostaglandin sintetase.

Bukti bahwa oksigen singlet dapat melakukan oksidasi lipid diperoleh dari analisis produk oksidatif. Dalam reaksi oksigen singlet dengan asam lemak tak jenuh salah satu ujung molekul oksigen singlet bereaksi dengan α -olefinik karbon sedangkan ujung yang lain α -allylik hidrogen. Sebagai hasil dari cincin anggota enam keadaan transisi baik terkonjugasi maupun hidroperoksida nonkonjugasi (Sista *dkk.*, 2000), sedangkan autooksidasi radikal bebas dari lipid hanya menghasilkan nonkonjugasi hidroperoksida.

Pigmen yang hadir dalam daging dapat bertindak sebagai photosensitizers (karena sistem ikatan rangkap terkonjugasi dengan mudah menyerap energi cahaya tampak) termasuk hematoporphyrins dan riboflavin. Dalam sistem model yang mengandung mioglobin dan derivatifnya, Whang dan Peng, (1998) menunjukkan melalui resonansi paramagnetik elektron spektroskopi ditambah dengan teknik spin perangkap dipisahkan dengan hematinterutama cincin protoporfirin IX menggunakan fungsi photosensitizer. Partisipasi photosensitizer dalam sistem daging didukung oleh beberapa penelitian penyimpanan: (1) untuk keseluruhan daging kalkun, daging babi dan udang.

Sampel yang terkena cahaya memiliki tingkat lebih tinggi produk oksidatif dari sampel yang disimpan dalam ruang gelap (Bronstein *dkk.*, 2005); (2) penggabungan sinar ultra violet (UV) dalam kemasan roti daging babi dicegah dengan menginduksi

oksidasi lipid (Anderson dan Skibsted, 2001); dan (3) penggabungan oksigen *singletquencher* (2,2,6,6 - tetrametil - 4 - piperidone) mengurangi efek prooksidan cahaya dalam daging kalkun.

G. Proses Pemodelan Makanan

Pemodelan dimulai dengan spesifikasi fenomena yang diteliti. Spesifikasi ini umumnya menjelaskan pembatasan area kepentingan. Kapan pemodelan proses makanan dilakukan, spesifikasi ini termasuk produk yang sekarang kita pelajari, kondisi produk yang akan dikenakan sebagai subjek, aspek perilaku produk yang harus dimasukkan dan yang sangat penting lagi adalah orang-orang yang bekerja dalam bidang itu.

1. Perubahan Kualitas Pemodelan

Untuk menggambarkan perubahan kualitas produk yang didistribusikan, model yang dikembangkan dapat mempengaruhi atribut produk untuk menilai suatu kualitas. Perilaku atribut suatu kualitas tidak hanya tergantung pada proses fisiologis yang terjadi dalam produk makanan, tetapi juga pada pengguna atribut kualitas, dan bahkan tergantung pada situasi pasar (Sloof, 2009: Sloof *dkk.*, 2006). Misalnya, untuk menilai kualitas tomat konsumen dapat mengevaluasi kekuatan (*firmness*), warna, harga dan asal tomat. Selain itu, konsumen dapat membandingkan produk dengan tomat lainnya.

a. Pemodelan numerik dan matematika

Pemodelan matematika adalah teknik yang digunakan oleh para peneliti untuk memprediksi kemungkinan hasil dari setiap proses dengan mempelajari model yang paling mungkin menyerupai subjek keadaan nyata, menggunakan persamaan matematika. Selain itu layak dan biaya sangat rendah untuk menyelidiki model dari realitas yang kompleksitu sendiri. Pemodelan matematika ini melibatkan langkah-langkah yang berbeda seperti model pengembangan, model pemecahan, menafsirkan solusi untuk situasi nyata dan akhirnya memeriksa penafsiran terhadap realitas asli (validasi).

Jika hasil model tidak setuju dengan realitas fisik, kemudian di ulangi langkah-langkah pemodelan dengan asumsi alternatif. Hasil proses pemodelan melalui beberapa iterasi sampai model "diterima" (Velten, 2009). Preziosi dan Bellomo (2005) mendefinisikan model matematis untuk menjadi satu set persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung evolusi ruang-waktu dari sistem fisik. Dengan kata lain, model matematis melibatkan satu set pernyataan matematika melalui pertanyaan tentang sistem yang dianggap dapat dijawab. Identifikasi masalah, batasan masalah dan pemodelan adalah tiga fase yang terlibat dalam pengembangan model.

b. Pemodelan komputasi

Pemodelan komputasi melibatkan komputer daya tinggi dalam kombinasi terapan matematika untuk proses model. Hal ini juga membantu dalam pemahaman yang lebih baik dalam optimalisasi proses yang dapat menghemat waktu, tenaga dan uang dengan mengurangi pekerjaan laboratorium. Ada tiga metode pemodelan komputasi yang banyak digunakan yaitu, perbedaan terbatas (*finite difference*), elemen terbatas, dan volume terbatas. Daridua yang pertama banyak digunakan dalam sebagian besar oleh para peneliti dalam konteks pemodelan makanan.

Perbedaan antara komputasi dan pemodelan matematika, dalam pemodelan persamaan matematika yang diusulkan diselesaikan secara numerik dan diperoleh hanya dalam bentuk numerik, sedangkan pada model komputasi persamaan matematis diselesaikan dengan menggunakan komputer dan diperoleh secara numerik serta gambar.

Perbedaan metode digunakan untuk memecahkan diferensial persamaan dengan batas kondisi (Kaw & Kalu, 2011) dan dapat langsung diterapkan pada diferensial yang bentuk persamaan mengatur khusus untuk proses target. Prinsipnya adalah dengan menggunakan deret Taylor ekspansi untuk diskritisasi dari derivatif dari variabel (Blazek, 2001). Metode elemen terbatas dimulai dengan

pembagian ruang fisik pertimbangan menjadi segitiga (2D) atau elemen tetrahedral (3D) (Brenner & Scott, 2008).

2. Proses Dekomposisi

Dalam langkah sebelumnya fenomena yang diteliti telah dianalisis untuk memisahkan penilaian kualitas dari perilaku produk dan untuk mengidentifikasi objek yang relevan dalam fenomena. Langkah terakhir dalam analisis ini adalah untuk menggambarkan produkperilaku sebagai kumpulan proses berinteraksi, sehingga gabungan menggambarkan fenomena yang diamati dan bahwa masing-masing subproses dapat sepenuhnya dipahami dalam deskripsi sendiri. Jenis sub proses sebagian besar didefinisikan oleh hukum-hukum dasar dan aturan yang berlaku umum.

Setiap proses mempengaruhi satu atau lebih kuantitas produk, dan mungkin sendirinya dipengaruhi oleh besaran lain. Oleh karena itu interaksi antara proses terjadi pada kuantitas. Untuk dapat menggabungkan efek dari beberapa proses pada satu kuantitas dengan menambahkan proses untuk model atau untuk menghapus proses dari model. Oleh karena itu proses harus diformulasikan dalam bentuk diferensial persamaan daripada dalam hal persamaan aljabar. Persamaan aljabar menghitung nilai baru dari kuantitas output, yang membuatnya tidak mungkin untuk efek lain pada kuantitas selain dengan merumuskan model persamaan (Tijssens *dkk*, 2001).

Dekomposisi proses dapat dimulai dengan mengidentifikasi proses tingkat tinggi yang dapat terjadi pada fenomena tersebut. Salah satu cara untuk menemukan proses-proses ini adalah dengan memulai dari sifat produk intrinsik yang sesuai dengan atribut kualitas dalam fenomena yang diteliti. Dengan menggunakan pengetahuan tentang produk makanan. Hanya proses-proses tingkat tinggi termasuk yang dipengaruhi oleh satu atau lebih dari pengaruh eksternal pada produk pangan diidentifikasi dalam fenomena yang diteliti. Hasilnya adalah dekomposisi pertama fenomena menjadi abstrak atau proses tingkat tinggi menggambarkan bagaimana

atribut bunga dipengaruhi oleh pengaruh eksternal pada produk makanan. Dekomposisi proses ini akan berisi beberapa variabel tingkat tinggi di mana proses berinteraksi.

Langkah berikutnya adalah mengembangkan sebuah model untuk setiap proses abstrak, baik oleh penyempurnaan lebih lanjut kedalam sub proses, atau dengan memilih model yang sudah ada untuk proses. Sebagai contoh sebuah model untuk proses kimia dapat terdiri menjadi setidaknya tiga sub model: satu model yang menggambarkan perubahan konsentrasi reaktan, satu model yang menggambarkan perubahan konsentrasi reaktan yang dihasilkan, dan satu model yang menggambarkan pengaruh suhu pada proses kimia. Sebuah contoh dari model terakhir adalah hukum *Arrhenius*.

Seperti yang terlihat di atas dalam contoh model dekomposisi proses harus ditujukan untuk menemukan proses fisiologis generik dalam produk. Ini diilustrasikan dengan model yang menggambarkan terjadinya kerusakan dingin pada buah mentimun dan lada (Tijskens *dkk.*, 1994). Kerusakan dingin adalah istilah umum untuk bentuk nyata dari kerusakan yang mungkin terjadiketika produk disimpan pada suhu yang terlalu rendah.

Kerusakan biasanya muncul setelah periode dingin, ketika produk mungkin sudah disimpan pada kondisi optimal. Penampilan ini membuat kerusakan dingin sulit untuk dipahami. Namun, dengan membuat sejumlah asumsi dan dengan menggunakan proses generik, terbukti mungkin untuk mengembangkan simulasi kuantitatif model untuk fenomena kompleks kerusakan dingin. Model ini juga menjelaskan fenomena kerusakan dingin yang tidak diperhitungkan dalam pengembangan model simulasi yang membuktikan pendekatan validitas (Allais *dkk.*, 2007)

Fenomena kompleks dekomposisi menjadi proses berikut:

- a. Kerusakan dingin adalah efek yang terlihat terlalu banyak radikal bebas yang dihasilkan oleh reaksi dalam sel-sel hidup produk. Terjadinya kerusakan dingin dimodelkan sebagai reaksi kimia

- yang dihasilkan radikal. Oleh karena itu, konsentrasi yang lebih tinggi dari peningkatan kerusakan radikal bebas dingin terlihat.
- b. Generasi radikal dimodelkan sebagai proses autokatalitik sehubungan dengan jumlah radikal bebas.
 - c. Pada kondisi normal tidak ada kerusakan dingin diamati, sehingga radikal bebas harus dihapus atau tidak aktif dalam beberapa cara. Proses radikal ini diasumsikan proses enzimatik yang dipengaruhi oleh jumlah radikal bebas dan aktivitas enzim.

3. Pengaruh Suhu

Banyak makanan yang karena berbagai alasan dipanaskan atau disimpan dalam kamar dingin dan pengaruh perlakuan panas pada kualitas makanan adalah masalah yang sangat penting. Suhu juga penting berkaitan dengan menjaga kualitas (Tijskens dan Polderdijk, 1996) atau masa simpan produk. Secara umum suhu adalah paling penting dari semua faktor eksternal. Oleh karena itu pengetahuan tentang bagaimana kinetika reaksi dipengaruhi oleh suhu sangat penting. Kebanyakan ilmuwan akan cenderung menggunakan hukum *Arrhenius* dan memperoleh energi aktivasi dari itu.

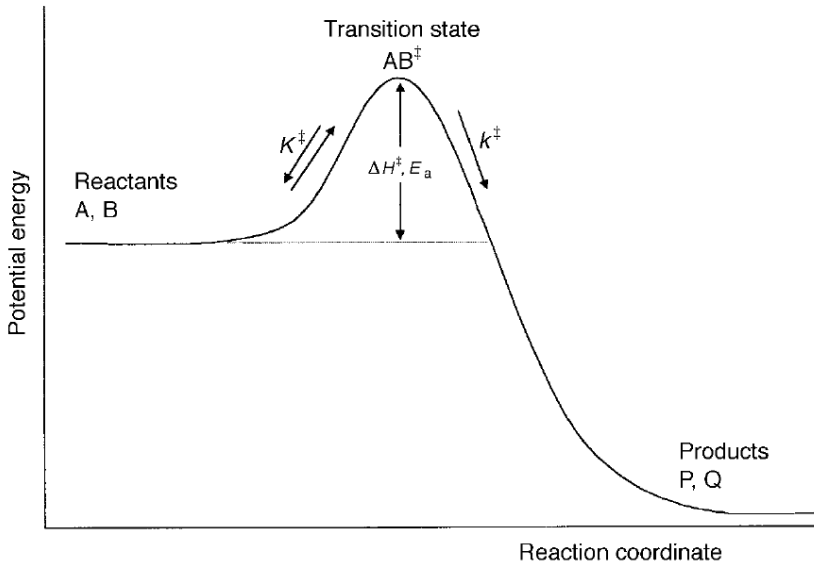
Persamaan matematika *Arrhenius* berasal secara empiris. Kemudian dimasukkan ke dalam teori perspektif terutama untuk reaksi gas didasarkan teori tabrakan, yang menggabungkan waktu melalui kecepatan molekul dan jumlah positif tabrakan energi tinggi (teori kinetik gas). Persamaan *Arrhenius* cocok untuk banyak reaksi dan karena itu sering digunakan. Meskipun mungkin pilihan sangat baik dalam banyak kasus, tampaknya tepat untuk memulai pada tingkat lebih mendasar dengan menjelaskan aspek yang relevan dari transisi teori, juga disebut sebagai teori kompleks aktif atau tingkat absolut teori. Teori ini menjembatani kesenjangan antara termodinamika dan kinetika oleh kesetaraan antara energi E dan frekuensi gerakan atom ν , sehingga memungkinkan untuk menyimpulkan data dari data energi (menggunakan Planck ekspresi $E = h\nu$, dengan h konstanta Planck).

Teori keadaan transisi dasar untuk menyimpulkan lebih praktis persamaan matematika *arrhenius* (seperti hukum *Arrhenius'*). Teori ini juga cocok untuk reaksi dalam larutan dan tidak dengan tingkat pertemuan (seperti dalam reaksi gas) tetapi mempertimbangkan prinsip-prinsip mekanika termodinamika dan statistik untuk memprediksi bagaimana banyaknya kombinasi reaktan yang hadir yang disebut dengan keadaan transisi (*transition state*). Tipe ini adalah tipe energi tinggi dimana molekul dapat hadir dalam kondisi yang tidak stabil tetapi diaktifkan; baik akan berubah kembali menjadi reaktan atau mengalami beberapa perubahan molekuler untuk kembali sebagai produk.

Pertimbangan reaktan A, B yang diubah menjadi produk P, Q melalui keadaan transisi AB^{\ddagger} , sebagai berikut,



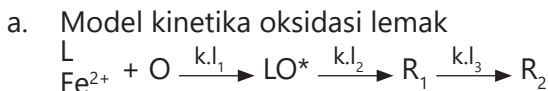
Gambar 6 menunjukkan secara skematis bagaimana energi potensial dari perubahan sistem dengan reaksi koordinat yaitu sepanjang kurva energi potensial. Koordinat reaksi menunjukkan keadaan molekul dalam transisi dari pereaksi untuk produk. Ketika interaksi energi potensial meningkat dan maksimal tercapai dalam aktivasi atau keadaan transisi. Setelah itu menurun lagi ketika produk terbentuk.



Gambar 6. Energi potensial dari reaktan A, B, *transition state* AB^\ddagger dan produk P,Q sebagai koordinat reaktan (dalam kasus persamaan *Arrhenius*)

Berdasar teori model oksidasi lemak terdiri dari 3 tahap (reaksi berantai radikal bebas) yakni: 1). Tahap inisiasi, 2). Tahap propagasi, 3). Tahap terminasi. Tahap inisiasi adalah tahap terbentuknya radikal bebas, propagasi adalah radikal bebas dirubah menjadi radikal lainnya, sedangkan terminasi adalah penggabungan dua radikal sehingga terbentuk produk-produk non radikal yang stabil.

Dari gambaran umum tersebut, maka dibuatlah model matematika dari reaksi oksidasi lemak dan reaksi oksidasi *filletika* dari Gambar 2.3, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, dan 2.18 yakni:



Oksidasi minyak atau lemak dapat menghasilkan produk primer dan sekunder dari proses reaksi oksigen spesies (*Reactive Oxygen Species, ROS*) yakni radikal peroksil, radikal hidroksi peroksida dan radikal alkoksil. Radikal-radikal ini yang memicu terjadinya proses oksidasi minyak atau lemak disamping adanya

Fe²⁺ dalam minyak atau lemak. Hal ini dapat ditunjukkan dengan persamaan dibawah ini :

$$d(L)/dt = -k.l_1 [L] [O] \dots\dots\dots(5)$$

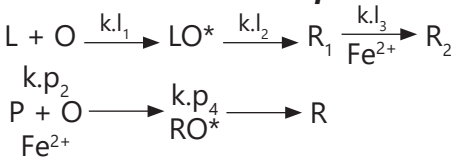
$$d(O)/dt = k.l_1 [L] [O] \dots\dots\dots(6)$$

$$d(LO^*)/dt = k.l_2 [LO^*] - k.l_3[R_1] \dots\dots\dots(7)$$

$$d(R_1)/dt = k.l_3[R_1] \dots\dots\dots(8)$$

Adapun laju reaksi dari semua reaksi ini adalah k.l₁, k.l₂ dan k.l₃ yang masing-masing akan menghasilkan peroksida, aldehida dan keton.

b. Model kinetika oksidasi **fillet** ikan



Proses oksidasi daging ikan oleh reaksi oksigen spesies (ROS) dapat menghasilkan radikal peroksil, radikal hidroperoksida dan radikal alkoksil yang kemudian akan menghasilkan protein karbonil, hidroperoksida serta aldehid dan keton sebagai produk akhir proses oksidasi daging ikan. Dapat pula dipicu oleh Fe²⁺ sebagai katalis. Adapun persamaan reaksinya sebagai berikut :

$$d(L)/dt = -k.l_1 [L] [O] \dots\dots\dots(9)$$

$$d(P)/dt = k.p_2 [P] [O] + [Fe^{2+}] \dots\dots\dots(10)$$

$$d(O)/dt = k.l_1 [L] [O] + k.p_2 [P][O][Fe^{2+}] \dots\dots\dots(11)$$

$$d(LO^*)/dt = k.l_3 [RO^*] + k.l_1 [L][O] \dots\dots\dots(12)$$

$$d(RO^*)/dt = k.p_2 [P][O][Fe^{2+}] - k.p_4 [RO^*] \dots\dots\dots(13)$$

$$d(R)/dt = k.p_4 [RO^*] \dots\dots\dots(14)$$

$$d(R_1)/dt = k.l_3 [LO^*] - k.l_5 [R_1][Fe^{2+}] \dots\dots\dots(15)$$

$$d(R_2)/dt = k.l_5 [R_1][Fe^{2+}] \dots\dots\dots(16)$$

Adapun laju reaksi dari semua reaksi ini adalah k.l₁, k.p₂, k.l₃, k.p₄, dan k.l₅ yang masing-masing akan menghasilkan protein karbonil, hidroperoksida serta aldehida dan keton.

c. Persamaan Arrhennius

Pengaruh suhu terhadap konstanta kecepatan reaksi dapat dinyatakan dalam persamaan Arrhenius sebagai berikut :

$$k = k_a \cdot \text{Exp}(-E_a/R \cdot 1/T) \dots \dots \dots (17)$$

dan bila dijabarkan dalam bentuk logaritmik maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\ln k = \ln k_a \cdot \text{Exp} \left(-\frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} \right) \dots \dots \dots (18)$$

dari persamaan logaritmik tersebut dapat diterapkan kedalam persamaan linier $y = a + bx$. Dari kurva $\ln k$ terhadap $1/T$ maka dapat diperoleh garis linier dengan nilai (E_a/R) sebagai slope garis tersebut. Semakin besar slope maka nilai E_a semakin besar dan ketergantungan reaksi pada suhu juga semakin besar. Atau dapat diartikan dengan sedikit kenaikan suhu maka dapat mengalami reaksi perubahan yang besar.

H. Hipotesis

Berdasarkan pemaparan uraian diatas, maka peneliti mempunyai beberapa hipotesis, yakni :

1. Model oksidasi minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) mengalami oksidasi melalui tahapan utama radikal alkoksil, produk primer (peroksida) dan produk sekunder (malonaldehida).
2. Model oksidasi daging ikan kakap (*Lutjanus sp*) mengalami oksidasi melalui tahapan utama alkoksil, produk primer (peroksida), produk sekunder (malonaldehida) dan produk karbonil.

BAB IV

TAHAPAN MODEL KINETIKA OKSIDASI

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) yang di peroleh dari P.T Sinar Pure Food International. Alasan kami menggunakan minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) dalam penelitian ini karena sampel ikan kakap hanya sedikit dan penelitian ini digunakan untuk suatu pemodelan. Ikan kakap (*Lutjanus sp*) yang masih segar disiangi dan diambil dagingnya, sementara bagian kepala, insang, tulang, dan bagian tubuh lainnya dibuang. Dagingikan tersebut kemudian dicuci dan dibilas dengan air es untuk menghilangkan darah serta kotoran lainnya. Selanjutnya dilakukan *filleting*(penyayatan daging rusuk secara membujur sehingga menghasilkan daging tanpa tulang) terhadap daging ikan untuk dilakukan analisis terhadap sifat dan karakteristik protein dan lemaknya.

Bahan kimia yang digunakan seperti asam triclorida (TCA) 5%, asam tiobirbaturat (TBA) 0,02%, petroleum eter, benzene, feri klorida (FeCl_2)0,02 M, ammonium thiosulfat, methanol, asam klorida pekat, 2,4 dinitriphenil hidrasil (DNPH), KOH 1N, aquades, kloroform, NaOH, natrium sulfat (Na_2SO_4), hexan, bron triflorida (BF_3) dan aseton.

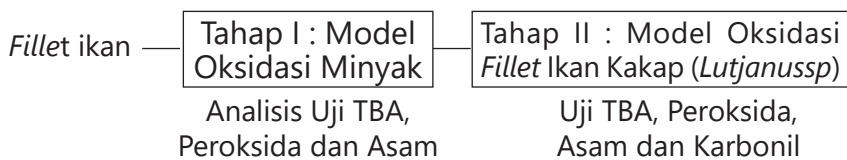
Dalam menentukan kinetika sebelumnya data-data yang diperoleh disusun dalam tabel sesuai dengan suhu dan waktu. Selanjutnya, ditentukan besarnya nilai $\ln C$ produk oksidasi dari lemak dan protein dari sampel ikan yang disimpan pada berbagai suhu dan waktu. Dari grafik $\ln C$ versus t (jam) maka dapat diketahui persamaan regresi $y = a + bx$ untuk masing-masing suhu dan dapat ditentukan slope b yang menunjukkan konstanta k . Kemudian dibuat grafik $\ln k$ versus $1/T$ dimana T merupakan nilai suhu absolut yang dinyatakan dalam Kelvin sehingga diperoleh persamaan regresi $y =$

$a + bx$. Dari persamaan $\ln k = \ln A - E_a/R \cdot 1/T$ maka besarnya slope b menunjukkan besarnya E_a/R sehingga dapat ditentukan besarnya E_a (Energi aktivasi).

Langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan validasi model adalah sebagai berikut :

1. Analisis angka peroksida, angka asam, angka TBA dan kadar karbonil minyak ikan tuna (*Thunnus sp*), protein ikan kakap (*Lutjanus sp*) dan *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) terpilih untuk mendapatkan data empiris.
2. Substitusi angka peroksida, angka asam, angka TBA dan kadar karbonil minyak ikan tuna (*Thunnus sp*), protein ikan kakap (*Lutjanus sp*) dan *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) tersebut ke dalam model matematika *arrhenius* lengkap dengan konstanta modelnya untuk mendapatkan data prediksi.
3. Evaluasi kevalidan model dilakukan dengan mengkaji koefisien determinan yang dihasilkan antara data empiris dan data prediksi.

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahapan, Tahapan pertama yakni kajian tentang model kinetika oksidasi minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) dan tahapan kedua adalah model kinetika oksidasi *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*). Secara keseluruhan, tahapan-tahapan penelitian tersebut serta jalannya penelitian dapat di lihat diagram alir tahapan penelitian pada Gambar 7.

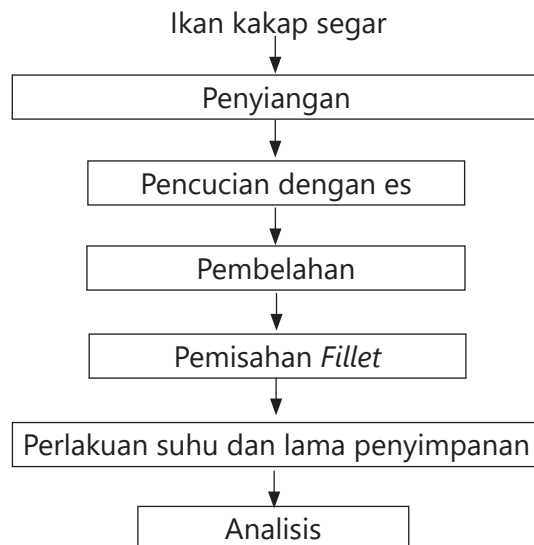


Gambar 7. Tahapan Penelitian Model Kinetika Oksidasi *Fillet* Ikan Kakap (*Lutjanus sp*) dengan Pendekatan Kombinasi Protein dan Lemak

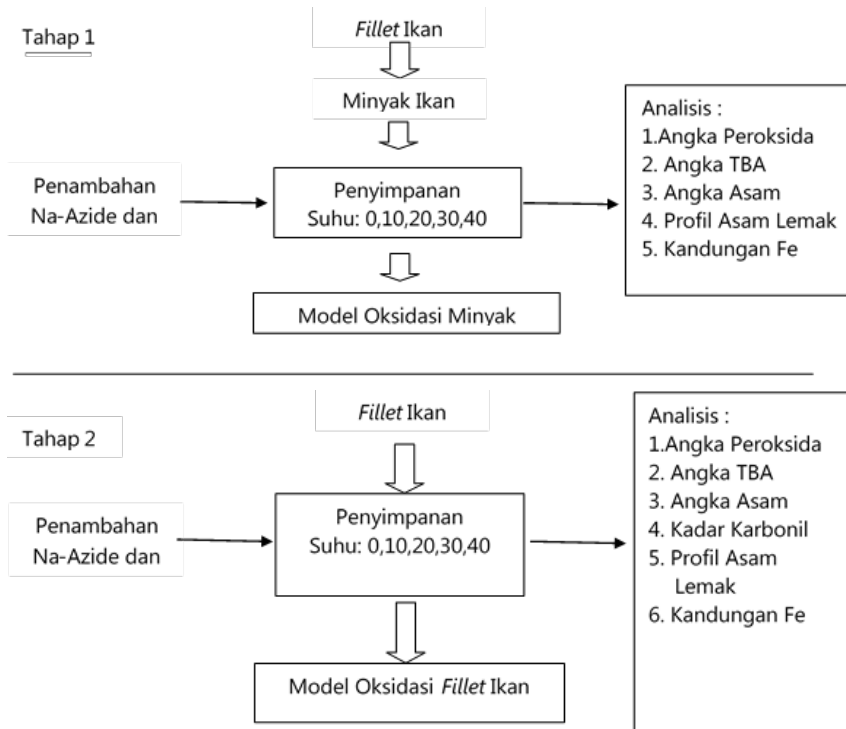
Tujuan: Melihat tingkat oksidasi minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) dari berbagai suhu dan lama penyimpanan. Memperoleh data kerusakan minyak ikan tuna (*Thunnus sp*). Memperoleh konstanta

kinetika oksidasi minyak ikan tuna (*Thunnus sp*). Parameter pengamatan Angka Peroksida, Angka TBRAS dan Angka Asam. Tujuan : Melihat tingkat oksidasi *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) dari berbagai suhu dan lama penyimpanan. Memperoleh data kerusakan *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*).

Memperoleh konstanta kinetika oksidasi *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*). Ikan kakap (*Lutjanus sp*) yang masih segar disiangi untuk diambil dagingnya sementara, insang, kepala, tulang, dan bagian tubuh lainnya dibuang. Daging ikan tersebut kemudian dicuci dan dibilas dengan air es untuk menghilangkan darah serta kotoran lain. Selanjutnya, dilakukan pembelahan dimulai dari kepala ke arah ekor tanpa menyebabkan bagian punggung terpotong. Selanjutnya lagi dilakukan *filleting* yakni penyayatan daging rusuk secara membujur sehingga menghasilkan daging tanpa tulang dan siap dilakukan penyimpanan serta analisis (Gambar 8). Parameter pengamatan Angka Peroksida, Angka TBARS, Protein Karbonil dan Angka Asam



Gambar 8. Diagram alir isolasi *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*)



Gambar 9. Desain Penelitian Model Kinetika Oksidasi *Fillet* Ikan Kakap (*Lutjanus sp*) dengan Pendekatan Kombinasi Protein dan Lemak

BAB V

SUHU DAN WAKTU PADA MODEL KINETIKA OKSIDASI: PENGARUH DAN HASILNYA

A. Kinetika Oksidasi Minyak Ikan Tuna (*Thunnus sp*)

1. Profil Asam Lemak Minyak Ikan Tuna (*Thunnus sp*)

Tabel 3. Analisis asam lemak* minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) sebelum dan sesudah penyimpanan

NO	Asam lemak (%)	Sebelum penyimpanan	Setelah penyimpanan pada suhu 40°C
1	Asam laurat	0,054	-
2	Asam meristat	0,36	4,51
3	Asam pentadekanoat	1,134	0,23
4	Asam palmitat	6,29	29,5
5	Asam stearat	1,16	-
6	Asam behenat	-	0,32
7	Asam heptadekanoat	3,34	8,16
8	Asam meristoleat	3,44	1,25
9	Asam tridekanoat	0,045	-
10	Asam trikosanoat	0,11	-
11	Asam lignocerat	0,755	0,53
12	Asam heneikosanoat	8,172	5,27
13	Asam arakhidat	2,148	2,7
Asam lemak jenuh (SFA)		26,90	52,74
1	Asam nervonat	0,70	0,62
2	Asam palmitoleat	18,45	1,54
3	Asam eikosanoat	0,386	-
4.	Asam oleat	15,34	23,4
Asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA)		24,87	25,56

NO	Asam lemak (%)	Sebelum penyimpanan	Setelah penyimpanan pada suhu 40°C
1	Asam arakidonat	24,30	-
2	Asam dosanoat	0,733	-
3	Asam linolenat	1,002	7,86
4	Asam eikosatetranoat	-	-
5	Asam eikosapentanoat	1,34	1,61
6	Asam dokosaheksanoat	0,401	0,27
7	Asam dokosadinoat	0,78	0,96
8	Asam eikosatrienoat	2,69	16,1
9	Asam linoleat	5,79	0,13
Asam lemak tak jenuh majemuk (PUFA)		37,04	27,4

* Dianalisis dengan GC Shimadzu SPD-M10A (Kromatogram standar asam lemak)

Berdasarkan hasil analisis asam lemak minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) sebelum penyimpanan dan sesudah dilakukan penyimpanan pada suhu 40°C (Tabel 3), memperlihatkan bahwa minyak ikan tuna (*Thunnussp*) memiliki asam lemak jenuh (*Saturated Fatty Acid, SFA*) yang terdiri dari: asam laurat, asam meristat, asam pentadekanoat, asam palmitat, asam stearat, asam behenat, asam heptadekanoat, asam meristoleat, asam tridekanoat, asam trikosanoat, asam ligocerat, asam heneikosanoat dan asam arakidat.

Asam lemak tak jenuh tunggal (*Mono Unsaturated Fatty Acid, MUFA*) yakni : asam nervonat, asam palmitoleat, asam eikosoat, dan asam lemak tak jenuh majemuk (*Poly Unsaturated Fatty Acid, PUFA*) terdiri dari asam linoleat, asam linolenat, asam eikosatrienoat, asam arakhidonat, asam dosanoat, asam eikosatetranoat, asam dokosadienoat, asam eikosapentanoat dan asam dokosaheksanoat yang rentan terhadap kerusakan oksidatif.

Berdasarkan Tabel ini juga terlihat bahwa asam lemak jenuh hampir sama jumlahnya dibanding dengan asam lemak tak jenuh tunggal (*Saturated Fatty Acid, SFA*). Sedangkan, asam lemak tak jenuh tunggal (*Mono Unsaturated Fatty Acid, MUFA*) lebih kecil dibandingkan dengan asam lemak majemuk (*Poly Unsaturated Fatty*

Acid, PUFA). Hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Restuccia dkk., (2015). Dimana asam lemak jenuh hampir sama jumlahnya dari asam lemak tak jenuh tunggal dan lebih kecil lagi dari asam lemak tak jenuh majemuk (*Poly Unsaturated Fatty Acid*, PUFA).

Pada penyimpanan 40°C asam lemak jenuh (*Saturated Fatty Acid*, SFA) mengalami kenaikan, berturut-turut yakni pada asam meristat, asam palmitat, asam behenat, asam heptadekanoat dan asam arakidat. Sedangkan asam laurat, asam stearat, asam tridekanoat, asam trikosoat dan asam lignocerat mengalami penurunan selama proses penyimpanan. Asam lemak tak jenuh tunggal (*Mono Unsaturated Fatty Acid*, MUFA) mengalami sedikit penurunan jumlah asam lemaknya setelah disimpan pada suhu 40°C. Asam lemak tak jenuh majemuk (*Poly Unsaturated Fatty Acid*, PUFA) mengalami penurunan jumlah asam lemak, masing-masing yakni asam arakidonat, asam dokosanoat, asam eikosatetraenoat dan asam dokosaheksanoat.

Menurut Nazemroaya dkk., (2011); Karami dkk., (2013) bahwa ketika ikan disimpan dalam waktu yang cukup lama maka, jumlah asam lemak jenuh (SFA) akan meningkat demikian pula dengan asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA) akan sedikit mengalami kenaikan meskipun tidak terlalu significant dan asam lemak tak jenuh majemuk (PUFA) mengalami proses penurunan selama penyimpanan.

Sprague dkk., (2015) menyatakan bahwa minyak ikan dapat mengalami kerusakan karena dua cara utama, yaitu kerusakan oksidatif oleh oksigen dan kerusakan hidrolitik oleh air. Walker dkk., (2015) menyatakan bahwa kandungan tinggi asam lemak tak jenuh ganda (*Poly Unsaturated Fatty Acid*, PUFA) sehingga, minyak ikan rentan terhadap pembusukan oksidatif dan tingkat oksidasi minyak ikan secara signifikan berbeda dari minyak lainnya.

Pipingas dkk., (2014); Czerniak dkk., (2015) dan Dominguez-Vidal dkk., (2016) menyatakan bahwa minyak ikan juga memiliki konsentrasi tinggi fosfolipid, mengandung asam lemak tak jenuh,

yang membuat lebih sensitif daripada minyak lain. Proses oksidasi sering cukup berbeda antara minyak ikan yang diekstraksi dan lipid dalam jaringan ikan. Autooksidasi dari minyak ikan penyebab paling penting dari proses deteriorasi dalam kualitas minyak ikan. Rasa yang tidak diinginkan dan bau, maka nilai peroksida yang sangat rendah pada tahap awal oksidasi, bahkan selama periode induksi.

Menurut Tironi dkk., (2010) bahwa oksidasi lemak terjadi pada ikan yang disimpan pada suhu beku meskipun dengan kandungan lemak atau minyak yang sangat sedikit, hal ini disebabkan karena minyak ikan memiliki asam lemak tak jenuh majemuk (*Poly Unsaturated Fatty Acid*, PUFA). Selanjutnya, proses ini dapat menyebabkan terjadinya produksi komponen volatil yang ditandai dengan adanya penurunan mutu atau *flavor*. Wang dkk., (2012); Gudbrandsen dkk., (2009) menyatakan bahwa asam lemak EPA (*Eikosapentanoat Acid*) dan DHA (*Dokosahexanoat Acid*) mudah mengalami oksidasi yang menyebabkan terjadinya bau asam pada produk.

Best dan Laposata, (2003) melaporkan bahwa dalam hal keamanan, etil ester dari trigliserida akan memproduksi asam lemak bebas yang menyebabkan banyak masalah. Produk ini (alkohol) dilepaskan dari konsentrat PUFA etil ester yang menyebabkan racun pada tubuh manusia. Sedangkan Tan dkk., (2001) hidroperoksida merupakan hasil oksidasi yang bersifat sangat tidak stabil dan dapat terdekomposisi menjadi produk oksidasi sekunder. Beberapa produk oksidasi sekunder yaitu aldehid, keton, alkohol dan hidrokarbon merupakan penyebab ketengikan pada minyak. Hasil dekomposisi hidroperoksida bersifat toksik, meskipun dalam konsentrasi yang sangat rendah (Kim dkk., 2007).

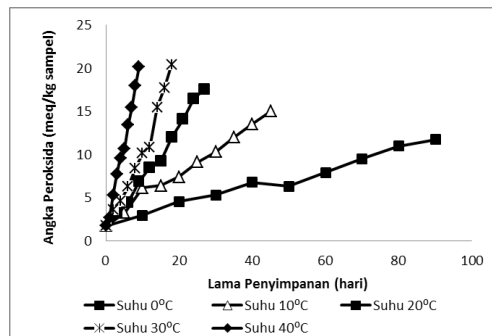
2. Pengaruh Suhu dan Waktu Terhadap Angka Peroksida Minyak Ikan Tuna (*Thunnus sp*)

Laju pembentukan peroksida sebagai produk primer dari oksidasi minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) selama penyimpanan pada berbagai suhu dan waktu dapat dilihat pada Gambar 10. Pada perlakuan penyimpanan suhu beku (0°C) memperlihatkan

pembentukan peroksida sampai 90 hari penyimpanan cenderung linier.

Kecepatan terbentuknya peroksida meningkat 6,7 kali pada suhu 0°C dengan peningkatan suhu penyimpanan, sedangkan pada suhu 10, 20, 30, dan 40°C angka peroksida meningkat masing-masing menjadi 8,60, 10,09, 11,73, dan 11,57 kali meq/kg sampel dengan peningkatan suhu penyimpanan. Angka peroksida meningkat dari suhu 0 ke suhu 40°C dengan peningkatan lama penyimpanan dari satu hari sampai 90 hari lama penyimpanan.

Loon dkk., (2006) menyatakan bahwa pengukuran angka proksida merupakan cara yang sangat bermanfaat untuk memonitor fase awal oksidasi atau pengukuran produk oksidasi primer.



Gambar 10. Oksidasi angka peroksida minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) selama penyimpanan

Peningkatan primer peroksida minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) semakin tinggi dengan kenaikan suhu penyimpanan dari 0°C sampai 40°C. Menurut Pak dkk., (2005) angka peroksida merupakan indikator stabilitas minyak terhadap oksidasi, dengan parameter produk oksidasi primer lipida yaitu hidroperoksida.

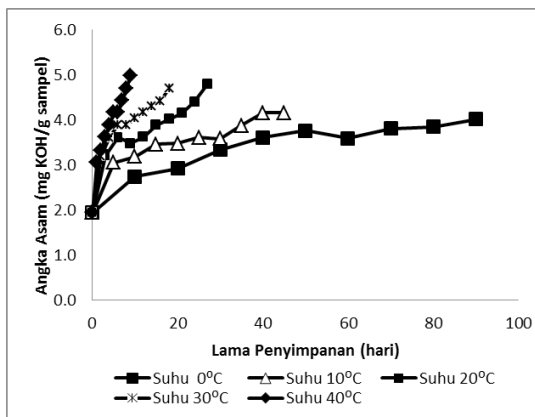
Reaksi oksidasi lemak secara natural mudah terjadi, sebab minyak ikan tuna kaya akan asam lemak ikatan rangkap (*Poly Unsaturated Fatty Acid*, PUFA), sedangkan minyak yang mengandung banyak ikatan rangkap mudah mengalami reaksi oksidasi lipida. Dengan demikian molekul oksigen yang terikat pada ikatan ganda mudah mengalami oksidasi.

3. Pengaruh Suhu Terhadap Angka Asam Minyak Ikan Tuna (*Thunnus sp*)

Angka asam merupakan salah satu indikator kerusakan lipida untuk mengukur mutu atau kualitas minyak yaitu mengukur jumlah asam lemak bebas (alb) yang terdapat dalam minyak (Haraldsson dkk., 2007). Laju pembentukan asam lemak bebas sebagai produk mutu/kualitas minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) selama penyimpanan dapat dilihat pada Gambar 11.

Kecepatan terbentuknya angka asam meningkat 2,0 kali pada suhu 0°C dengan adanya peningkatan suhu penyimpanan, sedangkan pada suhu 10, 20, 30, dan 40°C angka asam meningkat masing-masing menjadi 2,2, 2,4, 2,4, dan 2,6 kali mg KOH/g sampel dengan peningkatan suhu penyimpanan. Angka asam meningkat dari suhu 0 ke suhu 40°C dengan peningkatan lama penyimpanan dari satu hari sampai 90 hari lama penyimpanan.

Pada perlakuan penyimpanan suhu beku (0°C) memperlihatkan pembentukan asam lemak bebas yang disebabkan oleh hidrolisis minyak sampai 90 hari penyimpanan cenderung linier.



Gambar 11. Oksidasi angka asam minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) selama penyimpanan

Menurut *International fismeal and Oil Manufactures Association* (IFOMA), bahwa batas atau standar untuk angka asam adalah 7 mg KOH/g sampel. Sedangkan Huss, (1988) menyatakan bahwa batas

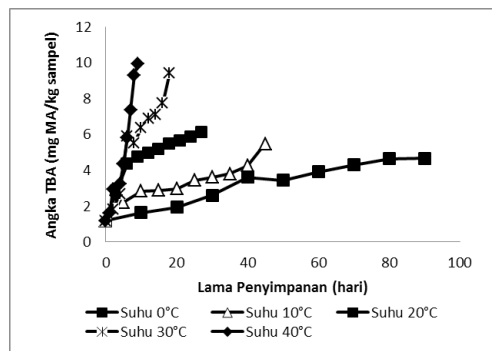
angka asam adalah 7-8 mg KOH/g sampel. Hal ini menunjukkan bahwa minyak ikan dari segi angka asam masih dapat digunakan.

4. Pengaruh Suhu Terhadap Angka TBA Minyak Ikan Tuna (*Thunnus sp*)

Angka TBA digunakan untuk mengukur produk sekunder dari oksidasi lipida terutama yang berasal dari PUFA (Semb, 2012) dan menunjukkan tingkat ketengikan khususnya pada minyak yang mengandung PUFA tinggi (Cheng dkk.,2014). Pembentukan TBA sebagai produk sekunder oksidasi minyak ikan tuna(*Thunnus sp*) selama penyimpanan dapat dilihat pada Gambar 12.

Kecepatan terbentuknya angka TBA meningkat 3,9 kali pada suhu 0°C dengan adanya peningkatan suhu penyimpanan, sedangkan pada suhu 10, 20, 30, dan 40°C angka peroksida meningkat masing-masing menjadi 4,6, 5,2, 8,0, dan 8,4 kali mg MDA/kg sampel dengan peningkatan suhu penyimpanan.

Angka TBA meningkat dari suhu 0 ke suhu 40° dengan peningkatan lama penyimpanan dari satu hari sampai 90 hari lama penyimpanan. Pada perlakuan penyimpanan suhu 0°C-40°C memperlihatkan pembentukan TBA selama penyimpanan cenderung linier seperti yang terlihat pada gambar 12.



Gambar 12. Oksidasi angka TBA minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) selama penyimpanan

Menurut Boran dkk.,2006; Huss, 1988 standar angka TBA untuk minyak ikan adalah 7-8 mg malonaldehid/kg sampel minyak. Hal

ini menunjukkan bahwa minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) dengan penyimpanan hingga 90 hari masih dapat digunakan.

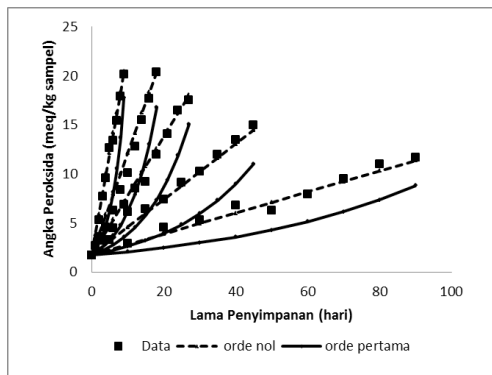
5. Kinetika Perubahan Angka Peroksida Minyak Ikan Tuna (*Thunnus sp*)

Nilai k meningkat dengan peningkatan suhu penyimpanan. Nilai k masing-masing 0,11, 0,28, 0,60, 1,02 dan 2,07 untuk suhu 0, 10, 20, 30 dan 40°C (Tabel 6). Konstanta laju (k) perubahan luas (y) menunjukkan nilai perubahan angka peroksida selama penyimpanan. Sedangkan R² menunjukkan tingkat kedekatan persamaan matematik dengan kondisi percobaan dalam menilai unit luas angka peroksida pada waktu tertentu.

Tabel 4. Persamaan linear sebagai fungsi waktu pada angka peroksida

Suhu (°C)	Persamaan Linear	R ²	K
0	$Y = -0.1079t + 1.9148$	0.979	0.1079
10	$Y = -0.2832t + 2.1095$	0.989	0.2832
20	$Y = -0.6047t + 1.2479$	0.992	0.6047
30	$Y = -1.0208t + 0.7262$	0.972	1.0208
40	$Y = -2.0675t + 1.1496$	0.995	2.0675

Besarnya energi aktivasi pembentukan peroksida menurut reaksi orde pertama adalah 50,07 Kj/mol.K. Sedangkan energi aktivasi menurut orde nol adalah 44,12 Kj/mol.K.



Gambar 13. Prediksi angka peroksida, model reaksi orde nol, reaksi orde pertama pada minyak ikan tuna (*Thunnus sp*)

Prediksi angka peroksida minyak ikan menurut reaksi orde nol dan reaksi orde pertama dapat dilihat pada Gambar 13. Kenaikan angka peroksida menunjukkan reaksi mengikuti orde ke nol. Hal ini disebabkan reaksi oksidasi berjalan lambat pada suhu kamar dan tidak ada reaksi oksidasi yang disebabkan oleh fotooksidasi.

Model kinetika perubahan kualitas minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) ditunjukkan pada persamaan 6 sampai 10 masing-masing suhu 0, 10, 20, 30 dan 40°C yakni:

$$Q_p(t) = 0.1079 e^{1.741t} \dots\dots\dots(6)$$

$$Q_p(t) = 0.2832 e^{1.461t} \dots\dots\dots(7)$$

$$Q_p(t) = 1.0208 e^{1.420t} \dots\dots\dots(8)$$

$$Q_p(t) = 2.0675 e^{1.621t} \dots\dots\dots(9)$$

$$Q_p(t) = 1.4066 e^{1.5403t} \dots\dots\dots(10)$$

Uji validasi ini menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pada data prediksi dan data empiris.

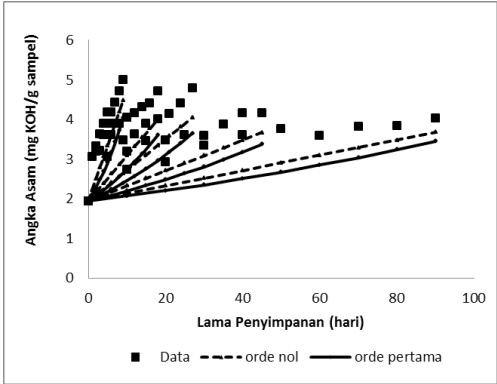
6. Kinetika Perubahan Angka Asam Minyak Ikan Tuna (*Thunnus sp*)

Nilai k meningkat dengan peningkatan suhu penyimpanan. Nilai k masing-masing 0,02, 0,04, 0,08, 0,12 dan 0,28 untuk suhu 0, 10, 20, 30 dan 40°C (Tabel 4.2). Konstanta laju (k) perubahan luas (y) menunjukkan nilai perubahan angka asam selama penyimpanan. Sedangkan R² menunjukkan tingkat kedekatan persamaan matematik dengan kondisi percobaan dalam menilai unit luas angka asam pada waktu tertentu.

Tabel 5. Persamaan linear sebagai fungsi waktu pada angka asam

Suhu (°C)	Persamaan Linear	R ²	K
0	Y = -0.0193t + 2.4921	0.8185	0.0193
10	Y = -0.0384t + 2.5881	0.8129	0.0384
20	Y = -0.0781t + 2.6578	0.8332	0.0781
30	Y = -0.1147t + 2.7864	0.7867	0.1147
40	Y = -0.282t + 2.5651	0.9114	0.282

Besarnya energi aktivasi pembentukan asam lemak bebas menurut reaksi orde ke nol adalah 42.438,60 J/mol.k atau 42,44 Kj/mol.K. Sedangkan energi aktivasi menurut orde pertama adalah 45.115,81 J/mol.k atau 45,12 Kj/mol.k.



Gambar 14. Prediksi angka asam, model reaksi orde nol, reaksi orde pertama pada minyak ikan tuna (*Thunnus sp*)

Prediksi angka asam minyak ikan menurut reaksi orde nol dan reaksi orde pertama dapat dilihat pada Gambar 14. Kenaikan angka asam menunjukkan reaksi mengikuti orde ke nol. Hal ini disebabkan reaksi hidrolisis berjalan lambat pada suhu kamar. Model kinetika perubahan kualitas minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) ditunjukkan pada persamaan 11 sampai 15 masing-masing suhu 0, 10, 20, 30 dan 40°C yakni:

$$Q_a(t) = 0.0193 e^{3.626t} \dots\dots\dots(11)$$

$$Q_a(t) = 0.0384 e^{3.4985t} \dots\dots\dots(12)$$

$$Q_a(t) = 0.0781 e^{3.2617t} \dots\dots\dots(13)$$

$$Q_a(t) = 0.1147 e^{3.7241t} \dots\dots\dots(14)$$

$$Q_a(t) = 0.2820 e^{3.0031t} \dots\dots\dots(15)$$

Uji validasi ini menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pada data prediksi dan data empiris.

7. Kinetika Perubahan Angka TBA Minyak Ikan Tuna (*Thunnus sp*)

Nilai k meningkat dengan peningkatan suhu penyimpanan. Nilai k masing-masing 0,04, 0,07, 0,15, 0,43 dan 1,00 untuk suhu 0, 10, 20, 30 dan 40°C (Tabel 8). Konstanta laju (k) perubahan luas (y) menunjukkan nilai perubahan angka karbonil selama penyimpanan. Sedangkan R² menunjukkan tingkat kedekatan persamaan matematik dengan kondisi percobaan dalam menilai unit luas angka TBA pada waktu tertentu.

Tabel 6. Persamaan linear sebagai fungsi waktu pada angka TBA

Suhu (°C)	Persamaan Linear	R ²	K
0	Y = -0.041t + 1.3336	0.956	0.041
10	Y = -0.0733t + 1.6101	0.9101	0.0733
20	Y = -0.1492t + 2.608	0.7941	0.1492
30	Y = -0.492t + 1.5944	0.9199	0.492
40	Y = -1.0023t + 0.310	0.9385	1.0023

Besarnya energi aktivasi pembentukan TBA menurut reaksi orde ke nol adalah 57.688,02 J/mol.k atau 57,69 KJ/mol.K. Sedangkan energi aktivasi menurut orde pertama adalah 48.139,83 J/mol.k atau 48,14 KJ/mol.k.

Prediksi angka TBA minyak ikan menurut reaksi orde nol dan reaksi orde pertama dapat dilihat pada Gambar 4.8. Kenaikan angka TBA menunjukkan reaksi mengikuti orde ke nol. Model kinetika perubahan kualitas minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) ditunjukkan pada persamaan 16 sampai 20 masing-masing suhu 0, 10, 20, 30 dan 40°C yakni:

$$Qtba(t) = 0.0410 e^{0.7858} \dots\dots\dots(16)$$

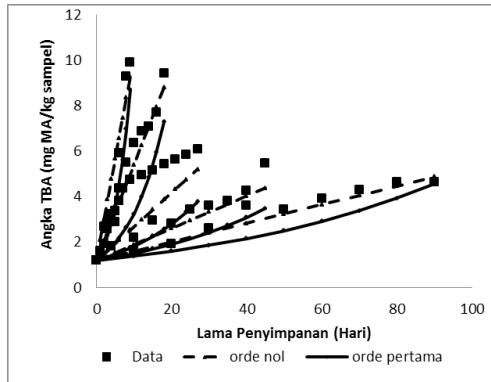
$$Qtba(t) = 0.0733 e^{1.0009} \dots\dots\dots(17)$$

$$Qtba(t) = 0.1492 e^{1.0183} \dots\dots\dots(18)$$

$$Qtba(t) = 0.4920 e^{0.8853} \dots\dots\dots(19)$$

$$Qtba(t) = 1.0023 e^{0.7686} \dots\dots\dots(20)$$

Uji validasi ini menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pada data prediksi dan data empiris.



Gambar 15. Prediksi angka TBA, model reaksi orde nol, reaksi orde pertama pada minyak ikan tuna (*Thunnus sp*)

Menurut De Man, (1999) perubahan secara organoleptik lebih erat kaitannya dengan produk oksidasi sekunder, yang dapat diukur antara lain dengan uji *thiobarbituric acid* (TBA), yaitu suatu uji yang amat populer untuk mengukur ketengikan minyak atau lemak.

Persenyawaan malonaldehida dapat dihasilkan oleh pembentukan diperoksida pada gugus pentadehida yang disusul dengan pemutusan rantai molekul atau dengan cara oksidasi lebih lanjut dari 2-enol yang dihasilkan dari penguraian monohidro peroksida (Nawar, 2005).

Hal ini disebabkan senyawa peroksida yang dihasilkan selama proses otooksidasi bersifat labil, sehingga senyawa peroksida akan melepaskan dua atom hidrogen yang mengakibatkan terbentuknya ikatan rangkap baru dan menghasilkan deretan persenyawaan aldehyd yang mengakibatkan peningkatan jumlah malonaldehyd pada minyak ikan tuna selama penyimpanan.

B. Kinetika Oksidasi *Fillet* Ikan Kakap (*Lutjanus sp*)

1. Profil Asam Lemak *Fillet* Ikan Kakap (*Lutjanus sp*)

Tabel 7. Analisis komposisi* asam lemak *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) sebelum dan setelah penyimpanan.

No	Asam lemak (%)	Sebelum penyimpanan	Setelah penyimpanan pada suhu 40°C
1	Asam laurat	0,703	0,99
2	Asam tridekanoat	0,001	0,86
3	Asam meristat	4,687	2,69
4	Asam pentadekanoat	0,001	2,46
5	Asam palmitat	2,283	36,58
6	Asam stearate	0,708	15,46
7	Asam heneikosanoat	13,462	2,03
8	Asam behenat	-	0,68
9	Asam lignoserat	0,762	-
10	Asam heptadekanoat	17,811	-
11	Asam arakidat	2,945	-
Asam lemak jenuh (SFA)		43,363	61,75
1	Asam oleat	8,807	22,70
2	Asam nervonat	1,64	1,27
3	Asam palmitoleat	13,24	-
4	Asam erucat	-	5,43
5	Asam eikosanoat	0,001	-
Asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA)		23,69	29,4
1	Asam eikosatetranoat	-	5,60
2	Asam dokosadinoat	0,827	-
3	Asam eikosapentanoat	6,055	0,43
4	Asam eikosatrienoat	1,557	-
5	Asam arakidonat	0,692	-
6	Asam dokosaheksanoat	5,312	0,25
7	Asam linolenat	10, 612	2,56
Asam lemak tak jenuh majemuk (PUFA)		25,06	8,84

*Dianalisis dengan GC Shimadzu SPD-M10A (Kromatogram standar asam lemak)

Berdasarkan hasil analisis asam lemak *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) sebelum penyimpanan dan sesudah penyimpanan pada suhu 40°C tercantum pada Tabel 9, *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) memiliki asam lemak jenuh (*Saturated Fatty Acid, SFA*) yang terdiri dari: asam laurat, asam tridekanoat, asam meristat, asam pentadekanoat, asam palmitat, asam stearat, asam heneikosanoat, asam behenat, asam lignocerat, asam heptadekanoat dan asam arakhidat.

Asam lemak tak jenuh tunggal (*Mono Unsaturated Fatty Acid, MUFA*) terdiri dari: asam oleat, asam nervonat, asam palmitoleat, asam erucat dan asam eikosanoat, sedangkan asam lemak tak jenuh majemuk (*Poly Unsaturated Fatty Acid, PUFA*) terdiri dari: asam eikosatetranoat, asam dokosadinoat, asam eikosapentanoat, asam eikosatrianoat, asam arakidonat dan asam linolenat yang rentan terhadap kerusakan oksidatif.

Pada penyimpanan 40°C asam lemak jenuh (*Saturated Fatty Acid, SFA*) mengalami kenaikan berturut-turut yakni asam laurat, asam tridekanoat, asam pentadekanoat, asam palmitat, asam stearat, dan asam behenat. Sedangkan asam meristat, asam heneikosanoat, asam lignocerat, asam heptadekanoat dan asam arakhidat mengalami penurunan atau hilang ketika penyimpanan pada suhu 40°C.

Asam lemak tak jenuh tunggal (*Mono Unsaturated Fatty Acid, MUFA*) mengalami kenaikan masing-masing pada asam lemak oleat dan asam erucat sedangkan asam lemak palmitoleat, asam nervonat dan asam eikosanoat mengalami penurunan jumlah asam lemak. Pada asam lemak tak jenuh majemuk (*Poly Unsaturated Fatty Acid, PUFA*) *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) yang disimpan pada suhu 40°C mengalami penurunan masing-masing yakni pada asam dokosadinoat, asam eikosapentanoat, asam eikosatrianoat, asam arakidonat, asam dokosaheksanoat dan asam linolenat. Sedangkan asam eikosatetranoat mengalami kenaikan jumlah asam lemak tak jenuh.

Menurut Nazemroaya dkk., (2011) ; Karami dkk., (2013) bahwa ketika ikan disimpan dalam waktu yang cukup lama maka, jumlah asam lemak jenuh (SFA) akan meningkat demikian pula dengan asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA) akan sedikit mengalami kenaikan meskipun tidak terlalu significant. Sedangkan asam lemak tak jenuh majemuk (PUFA) mengalami proses penurunan.

Aranda dkk., (2005) menyatakan bahwa oksidasi PUFA dimulai dengan produksi hidrogen-peroksida dengan tiga cara yang berbeda: (1) autooksidasi, (2) oksidasi enzimatis, dan (3) fotooksidasi, yang juga bisa terjadi secara bersamaan. Produk peroksida terurai dengan mekanisme yang berbeda, membentuk produk oksidasi sekunder; kedua produk oksidasi sekunder dan primer dapat bereaksi dengan gugus amino protein, menghasilkan senyawa interaksi yang memodifikasi rasa, bau dan sifat fungsional dari protein.

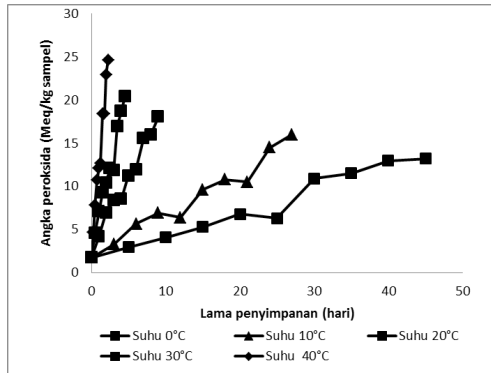
Selanjutnya, fraksi volatil senyawa ini diindikasikan sebagai penyebab ketengikan dalam ikan berlemak (Aranda dkk., 2005). Shahidi dan Miraliakbari, (2004) menyatakan bahwa ikan berlemak mengandung ω -3 (*Poly Unsaturated Fatty Acid*, PUFA), seperti asam eikosapentanoat ($20:5\omega$ -3) dan asam dokosahexanoat ($22:6\omega$ -3). Serbecic dan Beutelspacher, (2005) menyatakan bahwa oksidasi merupakan proses kerusakan lemak dan mengakibatkan terbentuknya senyawa *off flavor* dan kondisi ini disebut tengik (rancid). Produk pangan olahan yang tengik, dapat mengalami perubahan warna dan kehilangan nilai gizi karena oksidasi asam lemak tak jenuh (PUFA) yang berdampak pada penurunan mutu.

Senyawa hasil oksidasi seperti peroksida, aldehid dan keton berbahaya terhadap kesehatan manusia. Sedangkan McClement dan Decker, (2000) menyatakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan oksidasi antara lain jumlah dan jenis oksigen, struktur kimia lipida, antioksidan dan prooksidan yang berupa: logam besi, sensitiser, suhu penyimpanan dan sifat bahan pengemas.

2. Pengaruh Suhu dan Waktu terhadap Angka Peroksida *Fillet Ikan Kakap (Lutjanus sp)*

Laju pembentukan peroksida sebagai produk primer dari oksidasi *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) selama penyimpanan pada berbagai suhu dan waktu dapat dilihat pada Gambar 16. Pada perlakuan penyimpanan suhu dingin (0°C) memperlihatkan pembentukan peroksida sampai 45 hari penyimpanan cenderung linier.

Angkaperoksida meningkat 7,6 kali pada suhu 0°C dengan peningkatan lama penyimpanan dari 0 hari ke 45 hari, sedangkan pada suhu 10°C angka peroksida meningkat 11,49 kali dengan peningkatan lama penyimpanan dari 0 hari ke 27 hari. Pada suhu 20°C angka peroksida meningkat 13,54 kali dengan peningkatan lama penyimpanan dari 0 hari ke 9 hari, pada suhu 30°C angka peroksida meningkat 15,74 kali dengan peningkatan lama penyimpanan dari 0 jam ke 108 jam. Pada suhu 40°C angka peroksida meningkat 18,74 kali dengan peningkatan lama penyimpanan dari 0 jam ke 54 jam.



Gambar 16. Oksidasi angka peroksida *fillet* ikan kakap (*Lutjanussp*) selama penyimpanan

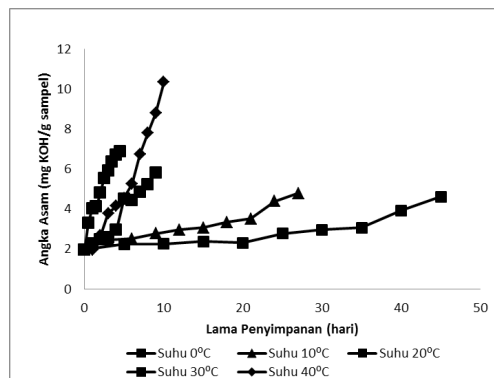
Peningkatan primer peroksida *fillet* ikan kakap (*Lutjanussp*) semakin tinggi dengan kenaikan suhu penyimpanan dari 0°C sampai 40°C. Menurut Pak dkk. (2005) angka peroksida merupakan indikator stabilitas lemak terhadap oksidasi, dengan parameter produk oksidasi primer lipida yaitu hidroperoksida. Reaksi oksidasi *fillet* ikan secara natural mudah terjadi, sebab *fillet* ikan kakap

(*Lutjanus sp*) kaya PUFA (6ikatan rangkap), sedangkan *fillet* ikan yang mengandung banyak ikatan rangkap mudah mengalami reaksi oksidasi lipida. Dengan demikian molekul oksigen yang terdapat dan terikat pada ikatan ganda mudah mengalami oksidasi.

3. Pengaruh Suhu dan Waktu terhadap Angka Asam *Fillet* Ikan Kakap (*Lutjanus sp*)

Angka asam merupakan salah satu indikator kerusakan lipida untuk mengukur mutu atau kualitas lemak yaitu mengukur jumlah asam lemak bebas (alb) yang terdapat dalam minyak (Haraldsson dkk., 2007). Laju pembentukan asam lemak bebas sebagai produk *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) selama penyimpanan dapat dilihat pada Gambar 17.

Kecepatan terbentuknya angka asam meningkat 2,35 kali pada suhu 0°C dengan adanya peningkatan suhu penyimpanan, sedangkan pada suhu 10, 20, 30, dan 40°C angka asam meningkat masing-masing menjadi 2,44, 2,97, 3,51, dan 5,28 kali mg KOH/g sampel dengan peningkatan suhu penyimpanan. Angka asam meningkat dari suhu 0 ke suhu 40°C dengan peningkatan lama penyimpanan dari satu hari sampai 45 hari lama penyimpanan. Pada perlakuan penyimpanan suhu beku (0°C) memperlihatkan pembentukan asam lemak bebas yang disebabkan oleh hidrolisis lemak sampai 45 hari penyimpanan cenderung linier.



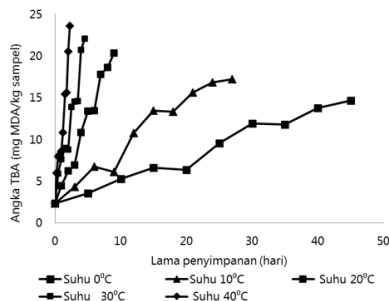
Gambar 17. Oksidasi angka asam *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) selama penyimpanan

Menurut Salam (2007) bahwa angka standar untuk angka asam adalah 7 mg KOH/g sampel. Sedangkan Huss, (2005) batas angka asam adalah 7-8 mg KOH/g sampel. Hal ini menunjukkan bahwa *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) dari segi angka asam tidak layak di konsumsi lagi yakni pada suhu 40°C dengan waktu 24 jam sampai 54 jam.

4. Pengaruh Suhu dan Waktu terhadap Angka TBA Fillet Ikan Kakap (*Lutjanus sp*)

Angka TBA digunakan untuk mengukur produk sekunder dari oksidasi lipida terutama yang berasal dari PUFA (Semb, 2012) dan menunjukkan tingkat ketengikan khususnya pada lemak yang mengandung PUFA tinggi (Cheng dkk.,2014). Pembentukan TBA sebagai produk sekunder oksidasi *fillet* ikankakap (*Lutjanus sp*) selama penyimpanan.

Kecepatan terbentuknya angka TBA meningkat 7,21 kali pada suhu 0°C dengan adanya peningkatan suhu penyimpanan, sedangkan pada suhu 10, 20, 30, dan 40°C angka TBA meningkat masing-masing menjadi 9,19, 9,89, 10,63, dan 12,59 kali mg MDA/kg sampel dengan peningkatan suhu penyimpanan. Angka TBA meningkat dari suhu 0 ke suhu 40°C dengan peningkatan lama penyimpanan dari satu hari sampai 45 hari lama penyimpanan. Pada perlakuan penyimpanan suhu 0°C-40°C memperlihatkan pembentukan TBA selama penyimpanan cenderung linier seperti yang terlihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Oksidasi angka TBA *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) selama penyimpanan

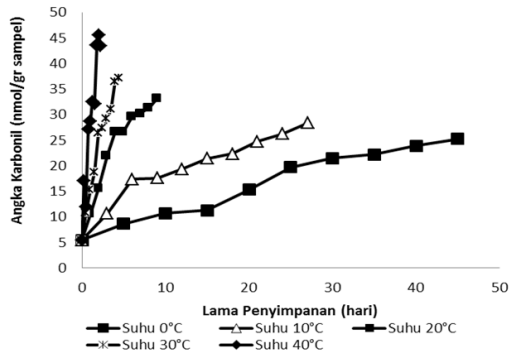
Menurut Salam (2007) ; Huss, 2005 standar angka TBA untuk *fillet* ikan adalah 10-15 mg malonaldehid/kg sampel ikan. Hal ini menunjukkan bahwa *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) dengan penyimpanan hingga 45 hari tidak dapat digunakan pada suhu 0°C dengan waktu 25 sampai 45 hari, suhu 10°C dengan waktu 12 sampai 27 hari, suhu 20°C dengan waktu 4 sampai 9 hari, 30°C dengan waktu 48 jam sampai 108 jam dan suhu 40°C dengan waktu 24 jam sampai 54 jam.

5. Pengaruh Suhu dan Waktu terhadap Angka Karbonil Fillet Ikan Kakap (*Lutjanus sp*)

Protein karbonil merupakan salah satu 'biomarker' terjadinya oksidasi protein (Yan dkk., 2007) dan digunakan sebagai salah satu indikator terjadinya kerusakan protein yang disebabkan oleh radikal-radikal oksigen (Adams dkk., 2001). Angka karbonil meningkat 5,22 kali pada suhu 0°C dengan peningkatan lama penyimpanan dari 0 hari ke 45 hari, sedangkan pada suhu 10°C angka karbonil meningkat 6,35 kali dengan peningkatan lama penyimpanan dari 0 hari ke 27 hari.

Pada suhu 20°C angka karbonil meningkat 6,66 kali dengan peningkatan lama penyimpanan dari 0 hari ke 9 hari, pada suhu 30°C angka karbonil meningkat 7,05 kali dengan peningkatan lama penyimpanan dari 0 jam ke 108 jam. Pada suhu 40°C angka karbonil meningkat 8,94 kali dengan peningkatan lama penyimpanan dari 0 jam ke 54 jam seperti terlihat pada Gambar 19.

Peningkatan protein karbonil disebabkan protein ikan kakap (*Lutjanus sp*) mengandung besi (Fe) (Biridgewater dkk., 2006) sehingga dapat memicu kerusakan yang disebabkan oleh oksidasi. Oksidasi lipida yang dikatalisa oleh Fe secara natural juga dapat terjadi, namun diasumsikan bahwa kadar lemak dalam *fillet* ikan sangat rendah sehingga dapat diabaikan. Perlakuan suhu 20-40°C (radiasi panas) meningkatkan kerusakan oksidasi tersebut. Hal ini dapat dilihat bahwa laju reaksi cenderung linier terutama pada suhu penyimpanan 30°C dan 40°C.



Gambar 19. Perubahan angka karbonil pada *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) selama penyimpanan

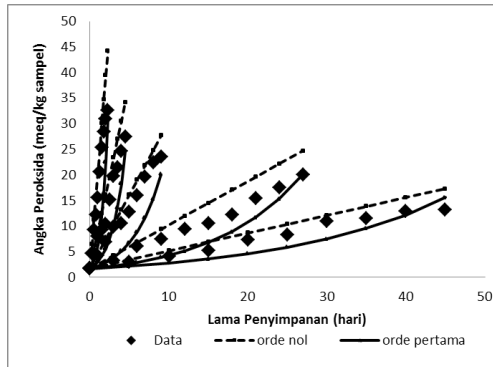
6. Kinetika Perubahan Angka Peroksida *Fillet* Ikan Kakap (*Lutjanus sp*)

Nilai k meningkat dengan peningkatan suhu penyimpanan. Nilai k masing-masing 0,28, 0,52, 1,78, 4,04 dan 10,27 untuk suhu 0, 10, 20, 30 dan 40°C (Tabel 10). Konstanta laju (k) perubahan luas (y) menunjukkan nilai perubahan angka peroksida selama penyimpanan. Sedangkan R^2 menunjukkan tingkat kedekatan persamaan matematik dengan kondisi percobaan dalam menilai unit luas angka peroksida pada waktu tertentu.

Tabel 8. Persamaan linear sebagai fungsi waktu pada angka peroksida

Suhu (°C)	Persamaan Linear	R^2	k
0	$Y = -0.277t + 1.5878$	0.9161	0.277
10	$Y = -0.5246t + 2.0005$	0.9267	0.5246
20	$Y = -1.7839t + 2.5843$	0.989	1.7839
30	$Y = -4.0406t + 2.4717$	0.9344	4.0406
40	$Y = -10.27t + 2.3496$	0.9452	10.27

Besarnya energi aktivasi pembentukan peroksida menurut reaksi orde pertama adalah 59.682,42 J/mol.K atau 59,68 KJ/mol.K. Sedangkan energi aktivasi menurut orde nol adalah 71.938,01 J/mol.K. atau 71,94 KJ/mol.K.



Gambar 20. Prediksi angka peroksida, model reaksi orde nol, model reaksi orde pertama pada *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*)

Fillet ikan kakap (*Lutjanus sp*) menurut reaksi orde nol dan reaksi orde pertama dapat dilihat pada Gambar 20. Kenaikan angka peroksida menunjukkan reaksi mengikuti orde ke nol. Hal ini disebabkan reaksi oksidasi berjalan cepat pada suhu kamar dan tidak ada reaksi oksidasi yang disebabkan oleh fotooksidasi. Model kinetika perubahan kualitas *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) ditunjukkan pada persamaan 21 sampai 25 masing-masing suhu 0, 10, 20, 30 dan 40°C yakni:

$$Q_p(t) = 0.2770 e^{0.8611 t} \dots\dots\dots(21)$$

$$Q_p(t) = 0.5246 e^{1.1656 t} \dots\dots\dots(22)$$

$$Q_p(t) = 1.7839 e^{0.8752 t} \dots\dots\dots(23)$$

$$Q_p(t) = 4.0406 e^{0.9474 t} \dots\dots\dots(24)$$

$$Q_p(t) = 10.2700 e^{0.9383 t} \dots\dots\dots(25)$$

Uji validasi ini menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pada data prediksi dan data empiris.

7. Kinetika Perubahan Angka Asam *Fillet* Ikan Kakap (*Lutjanus sp*)

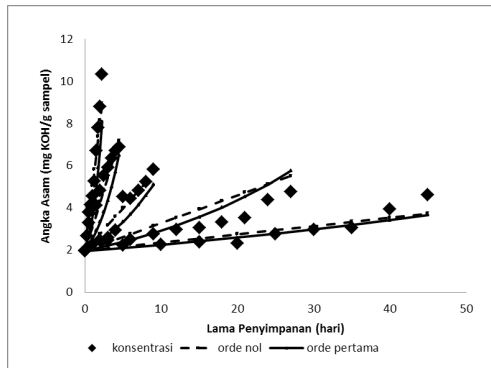
Nilai k meningkat dengan peningkatan suhu penyimpanan. Nilai k masing-masing 0,05, 0,09, 0,45, 1,04 dan 2,88 untuk suhu 0, 10, 20, 30 dan 40°C (Tabel 11). Konstanta laju (k) perubahan luas (y) menunjukkan nilai perubahan angka asam selama penyimpanan.

R² menunjukkan tingkat kedekatan persamaan matematik dengan kondisi percobaan dalam menilai unit luas angka peroksida pada waktu tertentu.

Tabel 9. Persamaan linear sebagai fungsi waktu pada angka asam

Suhu (°C)	Persamaan Linear	R ²	k
0	Y = -0.0508t + 1.6995	0.8363	0.0508
10	Y = -0.0924t + 1.922	0.9256	0.0924
20	Y = -0.4519t + 1.6683	0.9465	0.4519
30	Y = -1.0404t + 2.6126	0.9601	1.0404
40	Y = -2.8801t + 1.9799	0.9884	2.8801

Besarnya energi aktivasi pembentukan asam lemak bebas menurut reaksi orde ke nol adalah 58.516,53 J/mol.k atau 58,52 Kj/mol.K. Sedangkan energi aktivasi menurut orde pertama adalah 48.720,70 J/mol.k atau 48,72 j/mol.k.



Gambar 21. Prediksi angka asam, model reaksi orde nol, model reaksi orde pertama pada *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*)

Prediksi angka asam minyak ikan menurut reaksi orde nol dan reaksi orde pertama dapat dilihat pada Gambar 21. Kenaikan angka asam menunjukkan reaksi mengikuti orde nol. Hal ini disebabkan reaksi hidrolisis berjalan cepat pada suhu kamar. Model kinetika perubahan kualitas *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) ditunjukkan pada Persamaan 1 sampai 5 masing-masing suhu 0, 10, 20, 30 dan 40°C yakni:

$$Q_a(t) = 0.0508 e^{1.6492t} \dots\dots\dots(26)$$

$$Q_a(t) = 0.0924 e^{1.4793t} \dots\dots\dots(27)$$

$$Q_a(t) = 0.4519 e^{1.0585t} \dots\dots\dots(28)$$

$$Q_a(t) = 1.0404 e^{1.4723t} \dots\dots\dots(29)$$

$$Q_a(t) = 2.8801e^{1.6059t} \dots\dots\dots(30)$$

Uji validasi ini menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pada data prediksi dan data empiris.

8. Kinetika Perubahan Angka TBA *Fillet* Ikan Kakap (*Lutjanus sp*)

Nilai k meningkat dengan peningkatan suhu penyimpanan. Nilai k masing-masing 0,28, 0,58, 2,08, 4,29 dan 8,91 untuk suhu 0, 10, 20, 30 dan 40°C (Tabel 12). Konstanta laju (k) perubahan luas (y) menunjukkan nilai perubahan angka TBA selama penyimpanan. R² menunjukkan tingkat kedekatan persamaan matematik dengan kondisi percobaan dalam menilai unit luas angka TBA pada waktu tertentu.

Tabel 10. Persamaan linear sebagai fungsi waktu pada angka TBA

Suhu (°C)	Persamaan Linear	R ²	k
0	Y = -0.2879t + 2.3273	0.917	0.2879
10	Y = -0.5802t + 3.1225	0.972	0.5802
20	Y = -2.0776t + 2.5139	0.894	2.0776
30	Y = -4.288t + 2.8229	0.935	4.288
40	Y = -8.9078t + 2.1667	0.967	8.9078

Besarnya energi aktivasi pembentukan TBA menurut reaksi orde ke nol adalah 48.380,82J/mol.k atau 48,38Kj/mol.K. Sedangkan energi aktivasi menurut orde pertama adalah 41.641,83 J/mol.k atau 41,64 Kj/mol.k.Prediksi angka TBA *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) menurut reaksi orde nol dan reaksi orde pertama dapat dilihat pada Gambar 22.

Kenaikan angka TBA menunjukkan reaksi mengikuti orde ke nol. Hal ini disebabkan oleh adanya hanya reaksi otooksidasi dan tidak ada reaksi oksidasi yang disebabkan oleh fotooksidasi. Model kinetika perubahan kualitas *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) ditunjukkan pada persamaan 31 sampai 35 masing-masing suhu 0, 10, 20, 30 dan 40°C yakni:

$$Qtba(t) = 0.2879 e^{0.9208t} \dots\dots\dots(31)$$

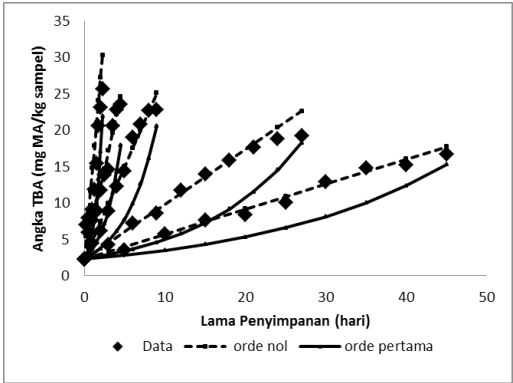
$$Qtba(t) = 0.5802 e^{1.1960t} \dots\dots\dots(32)$$

$$Qtba(t) = 2.0776 e^{0.8501t} \dots\dots\dots(33)$$

$$Qtba(t) = 4.2880 e^{0.9656t} \dots\dots\dots(34)$$

$$Qtba(t) = 8.9078 e^{1.0020t} \dots\dots\dots(35)$$

Uji validasi ini menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pada data prediksi dan data empiris.



Gambar 22. Prediksi angka TBA, model reaksi orde nol, model reaksi orde pertama pada *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*)

Persenyawaan malonaldehida yang dihasilkan oleh pembentukan diperoksida pada gugus pentadehida yang disusul dengan pemutusan rantai molekul atau dengan cara oksidasi lebih lanjut dari 2-enol yang dihasilkan dari penguraian monohidro peroksida (Nawar, 2005).

Hal ini disebabkan senyawa peroksida yang dihasilkan selama proses otooksidasi bersifat labil, sehingga senyawa peroksida akan melepaskan dua atom hidrogen yang mengakibatkan terbentuknya

ikatan rangkap baru dan menghasilkan deretan persenyawaan aldehid yang mengakibatkan peningkatan jumlah malonaldehid pada *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) selama penyimpanan.

9. Kinetika Perubahan Angka Karbonil *Fillet* Ikan Kakap (*Lutjanus sp*)

Nilai k meningkat dengan peningkatan suhu penyimpanan. K meningkat dari 0,375 menjadi 12,06 dengan peningkatan suhu dari 0 ke 40°C (Tabel 10). Konstanta laju (k) perubahan luas (y) menunjukkan nilai perubahan angka karbonil selama penyimpanan. R² menunjukkan tingkat kedekatan persamaan matematik dengan kondisi percobaan dalam menilai unit luas angka karbonil pada waktu tertentu.

Tabel 11. Persamaan linear sebagai fungsi waktu pada angka karbonil

Suhu (°C)	Persamaan Linear	R ²	K
0	Y = -0.375t + 6.2621	0.987	0.375
10	Y = -0.6759t + 9.5609	0.897	0.6759
20	Y = -2.364t + 9.1422	0.894	0.2364
30	Y = -5.1612t + 9.196	0.933	5.1612
40	Y = -12.055t + 8.0434	0.963	12.055

Besarnya energi aktivasi pembentukan karbonil menurut reaksi orde nol adalah 57.763,64 J/mol.k atau 57,76 Kj/mol.k. Sedangkan reaksi orde pertama adalah 62.052,43 J/mol.k atau 62,05 Kj/mol.k.

Model kinetika perubahan kualitas *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) ditunjukkan pada persamaan 36 sampai 40 masing-masing suhu 0, 10, 20, 30 dan 40°C yakni:

$$Q_k(t) = 0.3750 e^{0.8611t} \dots\dots\dots(36)$$

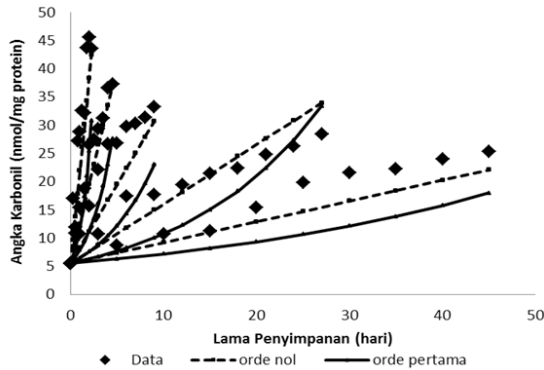
$$Q_k(t) = 0.6759 e^{1.1656t} \dots\dots\dots(37)$$

$$Q_k(t) = 0.2364 e^{0.8752t} \dots\dots\dots(38)$$

$$Q_k(t) = 5.1612 e^{0.9474t} \dots\dots\dots(39)$$

$$Q_k(t) = 12.055 e^{0.9383t} \dots\dots\dots(40)$$

Uji validasi ini menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pada data prediksi dan data empiris. Prediksi angka karbonil *fillet* ikan protein kakap (*Lutjanus sp*) menurut reaksi orde nol dan reaksi orde pertama dapat dilihat pada Gambar 23. Kenaikan kadar karbonil menunjukkan reaksi mengikuti orde ke nol. Hal ini disebabkan reaksi berjalan cepat pada suhu kamar dan tidak ada reaksi oksidasi yang disebabkan oleh fotooksidasi



Gambar 23. Prediksi kadar karbonil, model reaksi orde nol, dan model orde pertama pada kadar karbonil *fillet* ikan protein kakap (*Lutjanus sp*)

Menurut Bellevile-Nebet (2006); Adams dkk.,(2001) adanya serangan radikal hidroksil yang dihasilkan dari degradasi H_2O_2 dengan kehadiran Fe^{2+} atau Cu^{2+} mengakibatkan terjadinya kerusakan protein yang ditandai dengan terbentuknya protein karbonil.

BAB VI PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis data, orde reaksi yang berlangsung pada *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*) adalah orde reaksi nol dimana, selama penyimpanan 0 hari sampai 45 hari grafik penyimpanan cenderung linier. Demikian pula pada minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) yang disimpan selama 0 hari sampai 90 hari orde reaksi yang berlangsung adalah orde reaksi nol.

Penelitian tahap I nilai k meningkat dari 0,11 menjadi 2,07 pada suhu 0°C untuk angka peroksida. Angka TBA dan angka asam masing-masing adalah 0,041 menjadi 1,002 dan 0,02 menjadi 0,30 pada suhu 10, 20, 30, dan 40°C. Energi aktivasi (E_a) reaksi oksidasi minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) membentuk angka peroksida, angka asam dan TBA selama penyimpanan masing-masing 50,07 KJ/mol.K, 57,68 KJ/mol.K, dan 42,44 KJ/mol.K. Minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) yang digunakan dalam penelitian ini secara keseluruhan masih dapat digunakan untuk makanan dan pengobatan karena minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) belum melebihi batas untuk jenis angka peroksida, angka asam dan TBA.

Penelitian tahap II nilai k meningkat kecepatan terbentuknya peroksida meningkat 9,6 kali pada suhu 0°C dengan peningkatan suhu penyimpanan, sedangkan pada suhu 10, 20, 30, dan 40°C angka peroksida meningkat masing-masing menjadi 14,33, 16,12, 19,19, dan 23,05 kali meq/kg sampel. Besarnya energi aktivasi (E_a) pembentukan peroksida menurut reaksi orde pertama adalah 59,68 KJ/mol.K, energi aktivasi (E_a) menurut orde nol adalah 71,94 KJ/mol.K. Kecepatan terbentuknya angka asam meningkat 2,35 kali pada suhu 0°C dengan adanya peningkatan suhu penyimpanan, pada suhu 10, 20, 30, dan 40°C angka asam meningkat masing-masing menjadi 2,44, 2,97, 3,51, dan 5,28 kali mg KOH/g sampel.

Besarnya energi aktivasi (E_a) pembentukan asam lemak bebas menurut reaksi orde ke nol adalah 58,52 KJ/mol.K, energi aktivasi (E_a) menurut orde pertama adalah atau 48,72 j/mol.k. Kecepatan terbentuknya angka TBA meningkat 7,21 kali pada suhu 0°C dengan adanya peningkatan suhu penyimpanan, pada suhu 10, 20, 30, dan 40°C angka TBA meningkat masing-masing menjadi 9,19, 9,89, 10,63, dan 12,59 kali mg MA/kg sampel. Besarnya energi aktivasi (E_a) pembentukan TBA menurut reaksi orde ke nol adalah 48,38 KJ/mol.K, energi aktivasi (E_a) menurut orde pertama adalah 41,64 KJ/mol.k. Angka karbonil meningkat 5,22 kali pada suhu 0°C, pada suhu 10, 20, 30, dan 40°C angka karbonil meningkat masing-masing menjadi 6,35, 6,66, 7,05, dan 8,94 kalinmo/gr. Besarnya energi aktivasi pembentukan karbonil menurut reaksi orde nol adalah 57,76 KJ/mol.k, energi aktivasi (E_a) reaksi orde pertama adalah 62,05 KJ/mol.k.

Rata-rata nilai skor penilaian panelis terhadap semua perlakuan penyimpanan minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) adalah 3 (agak suka dan tidak suka) atau pada kisaran 3,04-3,33. Hal ini disebabkan bahwa minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) yang disimpan pada suhu 40°C tidak mengalami kerusakan secara oksidasi karena panelis secara umum memberikan penilaian bau yang tidak berubah yaitu bau khas minyak ikan tuna (*Thunnus sp*). Sedangkan, bau daging ikan kakap (*Lutjanus sp*) mulai penyimpanan jam ke-12 dan seterusnya menunjukkan telah terjadi kerusakan atau degradasi bahan. Secara umum keterangan yang diberikan oleh para panelis dengan semakin lama penyimpanan, bau sudah tidak tengik lagi akan tetapi menghasilkan bau busuk.

Penelitian - penelitian tentang terjadinya oksidasi protein dan lemak dalam bahan pangan belum banyak mendapat perhatian, terutama oksidasi protein padahal konsekuensi dari terjadinya oksidasi akan memberikan efek signifikan terhadap sifat fisik, kimia, nutrisi dan sifat fungsional protein dan lemak pangan. Penelitian yang dilakukan ini merupakan langkah awal dari mengkaji terjadinya oksidasi protein dan lemak terutama pada daging ikan. Kajian juga

perlu dilakukan terutama efek fisik dari bahan pangan melalui proses uji sensoris pada berbagai suhu dan lama penyimpanan. Demikian juga dengan penggunaan model kinetika *arrhenius* untuk membantu pengambilan keputusan dalam melakukan kajian ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, S., Green, P., Claxton, R., Simcox., Williams, M. V., Walsh, K., (2001). Reactive carbonyl formation by oxidative and non-oxidative pathways. *Frontiers in Bioscience*, 6: 17-24
- Akoh.C.C, Min.B.D.,2008. Food Lipids. Chemistry, Nutrition, and Biotechnology.*Food Science and Technology*. New York. p.1005.
- Allais. I, Perrot.N, Curt.C, Trystram.G. 2007. Modelling the operator know-how to control sensory quality in traditional processes. *Journal of Food Engineering*. **83** 156–166.
- AOAC., 2006, "Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry", *Association of Official Analysis Chemistry, Washington, DC*.
- Aranda, M., Mendoza, N., & Villegas, R. (2005). Lipid damage during frozen storage of whole jack mackerel (*Trachurus symmetricus murphyi*).*Journal of Food Lipids*, **13**, 155–166.
- Aubourg.S.P, Piñeiro.C, González.M.J. 2004. Quality Loss Related to Rancidity Development During Frozen Storage of Horse Mackerel (*Trachurus trachurus*).*Instituto de Investigaciones Marinas Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 36208-Vigo, Spain
- Batifoulier. F, Mercier.Y, Gatellier.P, Renerre.M. 2002. Influence of vitamin E on lipid and protein oxidation induced by H₂O₂-activated MetMb in microsomal membranes from turkey muscle.*Meat Science*. **61**.389–395.
- Baron. C.P, Skibsted.L.H, Andersen.H.J. 2000.Peroxidation of linoleate at physiological pH: hemichrome formation by substrate binding protects against metmyoglobin activation by hydrogen peroxide. *Free Radic.Biol. Med*. **28**:549–558.
- Boran G, Karach, Boran M. (2006). Changes In The Quality Of Fish Oils Due To Storage Temperature And Time. *Food Chemistry*. **98**:693–698.
- Bimbenet, J.J., Schubert, H., Trystram, G., 2007. Advances in research in food process engineering as presented at ICEF9. *Journal of Food Engineering***78**, 390–404.

- Biridgewater, J.D., Lim, J., and Vachet, R. W. (2006). Transition metal-peptide binding studied by metal-catalyzed oxidation reactions and massspectrometry. *Analytical Chemistry*, **78**: 2432-2438.
- Blazek, J. (2001). Computational fluid dynamics: Principles and applications. *Elsevier Science*.
- Brenner, S. C., & Scott, L. R. (2008). The mathematical theory of finite element methods. (3rd ed.). NY, USA: *Springer Publisher*.
- Byrne, D. V., Bredie, W. L. P., Mottram, D. S., & Martens, M. (2002). Sensory and chemical investigations on the effect of oven cooking on warmed-over flavour development in chicken meat. *Meat Science*, **61**, 127–139.
- Chaijan, M., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Faustman, C. (2006). Changes of lipids in sardine (*Sardinella gibbosa*) muscle during iced storage. *Food Chemistry*, **99**, 81–83.
- Cheng, J.H., Sun, D.W., Pu, H.B., Wang, Q.J., Chen, Y.N. (2014). Suitability of hyperspectral imaging for rapid evaluation of thiobarbituric acid (TBA) value in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillet. *Food Chemistry*. **171**: 258–265.
- Czerniak, A., Kubiak, P., Białas, W., Jankowski, T., (2015). Improvement of oxidative stability of menhaden fish oil by microencapsulation within biocapsules formed of yeast cells. *Journal of Food Engineering*. **167**: 2– 11
- Davies, M.J., 2003. Singlet oxygen-mediated damage to proteins and its consequences. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. Vol. **305**: 761-770.
- Dominguez-Vidal, A., Pantoja-de la Rosa, J., Cuadros-Rodríguez, L., Ayora-Cañada, J.M., (2016). Authentication of canned fish packing oils by means of Fourier transform infrared spectroscopy. *Food Chemistry*. **190**: 122–127.
- Fito, P., LeMaguer, M., Betoret, N., Fito, P.J., 2007. Advanced food process engineering to model real foods and processes: The SAFES methodology. *Journal of Food Engineering*. **83**: 390–404.
- Grunwald, W.E., AND Richards, P.M. 2006. Studies with Myoglobin Variants Indicate that Released Hemin Is the Primary Promoter of Lipid Oxidation in Washed Fish Muscle. *Journal Agricultural Food Chemistry*, **54**: 4452-4460.
- Haraldsson, G.G., Kristinsson, B., Sigurdardottir, R., Gudmundsson, G.G., dan Breivik, H., (2007). The Preparation of Concentrates of

- Eicosapentaenoic Acid and Docosahexaenoic Acid by Lipase-Catalyzed Transesterification of Fish Oil with Ethanol. *JAOCS*, Vol. 74, no. 11.
- Huss, H.H. (2005). *Quality and quality change in fresh fish*. FAO. Fisheries technical paper no.348, Food and Agriculture Organization of The United Nation, Rome.
- Huss, H.H. (1988). *Fresh fish quality and quality changes*. Rome, Italy: FAO.
- Jena .S.D, Behera. M, Dandapat .J, Mohanty.N. 2008. Non-enzymatic antioxidant status and modulation of lipid peroxidation in the muscles of *Labeo rohita* by sub lethal exposure of CuSO₄. *Department of Biotechnology*, North Orissa University, Takatpur, Baripada-757003 Orissa, India.
- Kaw, A., & Kalu, E. E. (2011). Numerical methods with applications: Abridged. <http://www.autarkaw.com>.
- Khan, Z, I. Ashraf, M., Ahmad, K., Valeem, E, E., and Mcdowell, L, R., 2009,
 –Mineral status of forage and its relationship with that of plasma farm animals in southern Punjab, Pakistan”, *Journal Pak.*, **41**: 67-72.
- Kim, H.J., Hohn, T.S dan Min, D.B. 2007. Hidroperoxide as a prooxidant in the oxidative stability of sayben oilo. *Journal of American Oil Chemists’ Society*. **84**: 349-355.
- Lappin, G.R., and Clark, L.C.,(1951). Colorimetric methods for determination of trace carbonyl compound. *Analytical Chemistry*, **23**:541-542.
- Lynch. M.P, Faustman. C. (2000). Effect of aldehyde lipid oxidation products on myoglobin. *Journal Agricultural Food Chemistry*, **48**:600–604.
- Maqsood, S., & Benjakul, S. (2011). Oxidation of lipid and protein in horse mackerel (*Trachurus trachurus*) mince and washed minces during processing and storage. *Food Chemistry*, 124: 875–883.
- Márquez-Ruiz, G., & Dobarganes, M. C. (2006). *HPSEC in lipid analysis*. In M.
- M. Mossoba, J. K. çG. Kramer, J. T. Brenna, & R. E. McDonald (Eds.), *Lipid analysis and lipidomics: new techniques and applications* (pp. 205–238). Champaign, IL, USA: American Oil Chemists Society.

- Márquez-Ruiz, G., Velasco, J., & Dobarganes, C. (2000). Evaluation of oxidation in dried microencapsulated fish oils by a combination of adsorption and size exclusion chromatography. *European Food Research and Technology*, 211: 13–18.
- Mbarki, R., Sadok, S., & Barkallah, I. (2009). Quality changes of the Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) during chilled storage: The effect of low-dose gamma irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, **78**: 288–292.
- Medina, I., González, M. J., Iglesias, J., Hedges, D. N. 2009. Effect of hydroxycinnamic acids on lipid oxidation and protein changes as well as water holding capacity in frozen minced horse mackerel white muscle. *Food Chemistry*. **114**:881–888.
- Mercier, Y., Gatellier, P., Vincent, A., & Renner, M. (2011). Lipid and protein oxidation in microsomal fraction from turkeys: influence of dietary fat and vitamin E supplementation. *Meat Science*, **58**: 125–134.
- Nawar, W.W. (2005). Lipids. Dalam: O.R. Fennema (ed). *Food Chemistry*. Marcel Dekker. Inc., New York.
- Nurnadia, A.A., Azrina, A. and Amin, I. (2011). Proximate composition and energetic value of selected marine fish and shellfish from the West coast of Peninsular Malaysia. *International Food Research Journal*, 18: 137-148.
- Pak, C, S., (2005). Stability and Quality Of Fish Oil During Typical Domestic Application, Fisheries Training Programme, *The United Nations University*, Iceland.
- Pazos, M., Medina, I., & Hultin, H. O. (2005). Effect of pH on hemoglobin- catalyzed lipid oxidation in cod muscle membranes in vitro and in situ. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **53**: 3605–3612.
- Perrot, N., Ioannou, I., Allais, I., Curt, C., Hossenlopp, J., Trystram, G., 2004. Fuzzy concepts applied to food product quality control: a review. *Fuzzy Sets and Systems* **157**: 1145–1154.
- Pipingas, A., Sinclair, A., Croft, D.K., (2014). Fish oil and multivitamin supplementation reduces oxidative stress but not inflammation in healthy older adults: A randomised controlled trial. *Journal of Functional Foods*. **7**: 1-9
- Pourashouri, P., Shabanpour, B., Aubourg, S. P., Rohi, J. D., & Shabani, A. (2009). An investigation of rancidity inhibition during frozen

- storage of Wels catfish (*Silurus glanis*) fillets by previous ascorbic and citric acid treatment. *International Journal of Food Science and Technology*, **44**: 1503–1509.
- Quitral, V., Donoso, M. L., Ortiz, J., Herrera, M. V., Araya, H., & Aubourg, S. P. (2009). Chemical changes during the chilled storage of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*): Effect of a plant-extract icing system. *LWT–Food Science and Technology*, **42**: 1450–1454.
- Ranade, V. V. (2002). Computational flow modeling for chemical reactor engineering. *Academic Press*.
- Renner, M. (2000). *Oxidative processes and myoglobin*. In E. A. Decker, C. Faustman, & C. J. Lopez-Bote (Eds.), *Antioxidants in muscle foods* (pp. 113–134). OECD, New York: John Wiley & Sons.
- Richards, M. P., & Hultin, H. O. (2002). Contribution of blood and blood components to lipid oxidation in fish muscle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50**: 555–564.
- Richards, M. P., Østdal, H., & Andersen, H. J. (2002). Deoxyhemoglobin mediated lipid oxidation in washed fish muscle. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **50**: 1278–1283.
- Sablani, S., Datta, A.K., Rahman, M.S., Mujumdar, A.S., 2007. *Handbook of Food and Bioprocess Modelling Techniques*. CRC Press, Boca Raton Fla.
- Salam, I.K. (2007). Antimicrobial and antioxidant effect of sodium acetate, sodium lactate, and sodium citrate in refrigerated sliced salmon. *Journal Food Control*, **18** : 566–567.
- Sayd, T, Chambon.C, Laville.E, Lebret.B, Gilbert.H, Gatellier.Ph. (2012). Early post-mortem sarcoplasmic proteome of porcine muscle related to lipid oxidation in aged and cooked meat. *Food Chemistry*, **135**:2238–2244.
- Semb, T, N., (2012). Analytical Methods for determination of the oxidative status in oils. *Department of Biotechnology*, Norwegian University of Science and Technology.
- Sista. R.V, Erickson.M.C, Shewfelt. R. L. 2000. Lipid oxidation in a chicken muscle model system: oxidative response of lipid classes to iron ascorbate or methemoglobin catalysis. *Journal Agricultural Food Chemistry*.**48**:1421–1426.

- Soyer, A., Hultin, H. O., (2007), Kinetics of oxidation of the lipids and proteins of cod sarcoplasmic reticulum. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **48**:2127-2134.
- Sprague, M., Walton, J., Campbell, J.P., Strachan, F., Dick, R.J., Bell, G.J., (2015). Replacement of fish oil with a DHA-rich algal meal derived from *Schizochytrium* sp. on the fatty acid and persistent organic pollutant levels in diets and flesh of Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.) post-smolts. *Food Chemistry*, **185**: 413–421.
- Thanonkaew, A., Benjakul, S., Vissessanguan, W., Decker, E.A. 2006. The effect of metal ions on lipid oxidation, colour, and physicochemical properties of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) subjected to multiple freeze-thaw cycles. *Food Chemistry*, **95**:591–599.
- Tijsskens, L.M.M., Hertog, M.L.A.T., Mdan Nicolai, B.M. 2001. *Food process modeling*. Woodhead's food science, technology and nutrition. New York Washington, DC.
- Tokur, B., Korkmaz, K., (2007). The effects of an iron-catalyzed oxidation system on lipids and proteins of dark muscle fish. *Food Chemistry*, **104**:754– 760.
- Undeland, I., Kristinsson, H. G., & Hultin, H. O. (2004). Hemoglobin-mediated oxidation of washed minced cod muscle phospholipids: effect of pH and hemoglobin source. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **52**: 4444–4451.
- Vareltzis, P., Hultin, H.O., Autio, W.R., (2008). Hemoglobin-mediated lipid oxidation of protein isolates obtained from cod and haddock white muscle as affected by citric acid, calcium chloride and PH. *Food Chemistry*, **108**: 64–74.
- Velten, K. (2009). Mathematical modeling and simulation: Introduction for scientists and engineers. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Walker, M.R., Decker, A.E., McClements, J.D., (2015). Physical and oxidative stability of fish oil nanoemulsions produced by spontaneous emulsification: Effect of surfactant concentration and particle size. *Journal of Food Engineering*, **164**: 10–20.
- Wang, T., Jónsdóttir, R., Kristinsson, G.H., Thorkelsson, G., Jacobsen, C., Hamaguchi, Y.P., Ólafsdóttir, G., (2010). Inhibition of haemoglobin-mediated lipid oxidation in washed cod muscle

- and cod protein isolates by *Fucus vesiculosus* extract and fractions. *Food Chemistry*, **123**: 321–330.
- Whang, K. dan Peng, I.C., 1988. Electron Paramagnetic Resonance Studies of Effectiveness of Myoglobin and its Derivatives as Photosensitizer in Singlet Oxygen Generation. *Journal Food Science*. **53**: 1863-1865.
- Yan, L.J., Lodge, J.K., Traber, M.G., Matsugo, S., Packer, L., (2007). Comparison between copper-mediated and hypochlorite-mediated modifications of human low density lipoproteins evaluated by carbonyl formation. *Journal Lipid Research*, **38**: 992-1001.

LAMPIRAN 1. PROSEDUR ANALISIS PENELITIAN

a. Analisis Proksimat (AOAC, 2006)

a. Penentuan protein

Ditimbang 0,041g sampel yang telah ditumbuk halus, dimasukkan ke dalam labu Kjedhal, ditambahkan 10 g Na₂SO₄ anhidrat dan H₂SO₄ pekat. Campuran tersebut dipanaskan dengan pemanas listrik/api Bunsen dalam lemari asam, mula-mula dengan api kecil dan setelah asap hilang api diperbesar. Pemanasan diakhiri setelah cairan jernih dan tidak berwarna. Dibuat pila blanko yaitu seperti prosedur diatas tetapi tanpa sampel. Setelah larutan dingin ditambahkan 200 ml aquades dan 1g Zn, serta larutan NaOH 45% sampai bersifat basis. Labu Kjedhal dipasang pada alat destilasi. Labu Kjedhal dipanaskan sampai ammonia menguap semua. Destilat di tampung dalam Erlenmeyer 100 ml yang sudah diisi dengan HCl 0,1 N dan indikator phenophthalein 1% beberapa tetes. Destilat diakhiri setelah volume destilat yang terampung tidak bersifat basis. Kelebihan HCl dalam Erlenmeyer dititrasi dengan larutan basa standar (NaOH 0,1N)

Perhitungan :

$$\% N = \frac{(\text{ml NaOH blanko} - \text{ml NaOH sampel})}{\text{gr sampel} \times 10} \times N \text{ NaOH} \times 14,008$$

$$\% \text{ protein} = \%N \times 6,25$$

b. Penentuan minyak kasar (metode soxhlet)

Ditimbang 1,48 g bahan kemudian dihancurkan dalam penumbuk dengan campuran chloroform – methanol (2:1) sebanyak 10 ml selama beberapa menit. Homogenat yang diperoleh didiamkan beberapa menit, kemudian disaring ke dalam Erlenmeyer 50 ml tertutup lewat kertas saring bebas lemak. Filtrat dicuci dengan menambahkan aquades sebanyak 1 ml volume filtrate, digojog dan didiamkan sampai dua bagian cairan terpisah. Cairan bagian atas boleh sedikit tertinggal dan

untuk menjadikan larutan homogen kembali, ditambahkan sedikit methanol dan chloroform-methanol secukupnya. Larutan yang diperoleh dikeringkan dalam oven dan ditimbang.

Perhitungan :

$$\% \text{ Lemak} = \frac{\text{Berat botol setelah di oven (g)} - \text{Berat botol kosong (g)}}{\text{Berat sampel (g)}} \times 100\%$$

c. Penentuan kadar air (metode pemanasan)

Ditimbang 1,08 gr sampel berupa bubuk (yang telah dihaluskan) diletakkan dalam botol timbang yang telah diketahui beratnya. Botol dikeringkan dalam oven pada suhu 100-105°C selama 3-5 jam, didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Dipanaskan kembali botol dalam oven; perlakuan di ulang sampai terdapat berat konstan. Selisih penimbangan berturut-turut kurang dari 0,2 mg. Pengurangan berat merupakan banyak air dalam bahan.

Perhitungan :

$$\text{Kadar air (\%bk)} = \frac{(B-C)}{(B-C)} \times 100\%$$

Keterangan :

A = Berat botol kosong

B = Berat botol kosong + sampel

C = Berat botol kosong + sampel setelah dioven

d. Penentuan kadar abu (metode grafitasi)

Dimasukkan 2 g sampel ditimbang dalam krus porselen yang kering dan telah diketahui beratnya, dipijarkan pada muffle dalam tanur pada suhu 500°C selama 4 jam sampai diperoleh abu berwarna keputih-putihan dan beratnya konstan dengan selang pengabuan 30 menit.

Perhitungan :

$$\text{Kadar abu (\%bb)} = \frac{\{(\text{Berat cawan} + \text{sampel setelah dioven}) - (\text{berat cawan})\}}{(\text{berat cawan} + \text{sampel})} \cdot 100\%$$

e. Kadar karbohidrat

Pengamatan kadar karbohidrat dilakukan dengan metode By difference dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Kadar karbohidrat (\%)} = 100\% - (\text{kadar air} + \text{kadar abu} + \text{kadar lemak} + \text{kadar protein})$$

b. Penentuan Peroksida Lemak (Adnan, 1980)

Penentuan angka peroksida meliputi penyiapan larutan, penetapan angka peroksida dan pembuatan kurva standar yang akan diuraikan sebagai berikut:

a. Pembuatan larutan

Larutan yang disiapkan yaitu larutan benzene : methanol, larutan ammonium tiosianat, larutan feroklorida dan larutan standar. Larutan benzene : methanol dibuat dengan mencampur benzene dan methanol dengan perbandingan 70:30. Larutan ammonium tiosianat dibuat dengan melarutkan 30 g ammonium tiosianat dalam air bebas ion sampai volume mencapai 100 ml. Larutan feroklorida dibuat dengan melarutkan 0,2434 g FeCl_3 dalam air bebas ion hingga mencapai volume 50 ml. Larutan ini disimpan dalam botol gelap dan digunakan dalam jangka waktu maksimal 1 minggu sejak pembuatan larutan. Larutan standar dengan melarutkan FeCl_3 sebanyak 2,5 g dalam HCl 10 N sampai volume mencapai 25 ml. Selanjutnya dioksidasi dengan 2 ml hidrogen peroksida. Kelebihan hidrogen peroksida dihilangkan dengan perebusan dan selanjutnya larutan diencerkan dengan air hingga mencapai volume 250 ml.

b. Penentuan angka peroksida

Sampel yang akan dianalisis dimasukkan dalam tabung reaksi lalu ditimbang. Kemudian ditambahkan 1 tetes (0,1ml) larutan ammonium tiosianat dan 1 tetes (0,1 ml) larutan feroklorida.

Tabung reaksi digojog selama 5 detik dan dipanaskan menggunakan penggas air pada suhu 50°C selama 2 menit, lalu didinginkan sampai suhu 25°C. Selanjutnya ditera menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 510 nm. Larutan blangko dipreparasi menggunakan semua pelarut tanpa contoh sampel. Angka peroksida dihitung sebagai miliequivalen peroksida per kg minyak dengan rumus :

$$\text{Angka Peroksia} = \frac{X \times \text{FP}}{\text{g sampel} \times 1/\text{Bm Fe}}$$

X = µg Fe per 10 ml

FP = faktor pengenceran

BM = berat molekul Fe

Nilai X diperoleh dari persamaan regresi $y = 0,006x - 0,141$.

c. Pembuatan kurva standar

Sebanyak 0,5 ml FeCl_2 diencerkan dengan larutan benzene : methanol = 70 : 30 (v/v) sampai volume 100 ml yang selanjutnya dipakai sebagai larutan standar. Larutan standar dipipet berturut-turut sebanyak 0,0; 20,66; 41,32; 61,98; 82,94 dan 103,31 ml lalu dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian diencerkan sampai volume 150 ml. Pada setiap tabung reaksi ditambahkan 1 tetes larutan amonium tiosianat dan 1 tetes larutan feroklorida, selanjutnya digojog dengan vortex selama 5 detik. Hasil reaksi ditera menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 510 nm. Kurva standar dibuat dengan absis adalah Fe/10 ml larutan dan ordinat adalah nilai absorbansi.

c. **Analisis TBA (Tokur dan Korkmaz, 2007)**

a. Pembuatan larutan

Larutan yang disiapkan yaitu: larutan HCl 4 N, larutan TBA, Trimetil Propane (TEP). Larutan HCl 4 N dibuat.....Larutan TBA dibuat dari 0,02 M dalam asam asetat 90%. Larutan standar dibuat sebanyak 50µl trimetil propane dengan larutan etanol 40% sampai volume 100ml.

b. Penentuan angka TBA

Minyak 0,5 g dilarutkan dengan 50 ml aquades, kemudian ditambahkan 2,5 ml N HCl setelah itu, didestilasi. Tampung hasil destilasi sampai 50 ml, ambil 5 ml hasil destilasi kemudian ditambahkan dengan 5 ml TBA. Setelah itu, dipanaskan selama 30 menit dan dinginkan. Hasil reaksi ditera pada panjang gelombang 528 nm. Angka TBA = mg malonaldehid/kg minyak.

c. Pembuatan kurva standar

Sebanyak 50 μ l trimetil propane diencerkan dengan larutan etanol 40% sampai volume 100 ml yang selanjutnya dipakai sebagai larutan stok. Larutan stok dipipet berturut-turut sebanyak 0,61; 1,22; 2,43; 4,86; 5,22; 10,45; 20,9 ml lalu dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Pada setiap tabung reaksi ditambahkan larutan TBA, selanjutnya di gojog dengan vortex selama 5 detik. Hasil reaksi ditera menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 480 nm. Kurva standar dibuat dengan persamaan $Y = ax + b$, dimana Y = absorbansi; X = kadar TBA.

d. Analisis Karbonil (Lappin dan Clark, 1951)

a. Penentuan Kadar Karbonil

Ditimbang 0,5-1,5 g daging ikan, diencerkan menjadi 25 ml (dengan aquades), diambil 1 ml diencerkan lagi menjadi 10 ml (FP = 250x), diambil 2,5 ml diencerkan lagi menjadi 10 ml (FP = 1000x). 1 ml larutan hasil pengenceran terakhir dimasukkan ke dalam tabung reaksi, lalu tambahkan 1 ml 2,4 dinitrofenilhidrasil. Tambahkan KOH 1N sebanyak 7,5 ml lalu divortex shaker. Absorbansi dibaca pada panjang gelombang 480nm. Konsentrasi karbonil sampel dihitung berdasarkan kurva standar yang diperoleh dari aseton murni.

b. Pembuatan kurva standar karbonil

Sebanyak 1 ml aseton murni diencerkan menjadi 100ml, diambil 10 ml dan diencerkan lagi menjadi 100 ml sehingga total pengencerannya adalah 1000x (1000ppm). Larutan terakhir

diambil sebanyak 1 ml diencerkan menjadi 10 ml (10 ppm), diencerkan lagi 1:1 (50 ppm) yang kemudian dijadikan larutan A.

Larutan standar dibuat sebagai berikut:

- 1) 0,0 ml larutan A + 1,0 ml aquadest = 0 ppm.
- 2) 0,1 ml larutan A + 0,9 ml aquadest = 5 ppm.
- 3) 0,2 ml larutan A + 0,8 ml aquadest = 10 ppm.
- 4) 0,3 ml larutan A + 0,7 ml aquadest = 15 ppm.
- 5) 0,4 ml larutan A + 0,6 ml aquadest = 20 ppm.
- 6) 0,5 ml larutan A + 0,5 ml aquadest = 25 ppm.
- 7) 0,6 ml larutan A + 0,4 ml aquadest = 30 ppm.
- 8) 0,7 ml larutan A + 0,3 ml aquadest = 35 ppm.
- 9) 0,8 ml larutan A + 0,2 ml aquadest = 40 ppm.
- 10) 0,9 ml larutan A + 0,1 ml aquadest = 45 ppm.
- 11) 1,0 ml larutan A + 0,0 ml aquadest = 50 ppm.

Masing-masing larutan standar dalam tabung reaksi di tambahkan 2,4 dinitrophenhidrazin dan 1 tetes HCl pekat. Dipanaskan selama 30 menit pada suhu 50°C kemudian didinginkan. Tambahkan lagi KOH 1 N sebanyak 8 ml dan di vortex shaker. Diukur panjang gelombang pada 480 nm. Kurva standar dibuat dengan persamaan $Y = ax + b$, dimana Y = absorbansi; X = kadar karbonil (ppm).

$$\% \text{ kadar karbonil} = \frac{X \times FP}{\text{mg sampel}} \times 100 \%$$

e. Prosedur Analisis Asam Lemak

Hidrolisis

- a. Sampel dicuci bersih, dilakukan sampling, kemudian dicincang sampai halus lalu timbang sampel sebanyak ± 10 g.
- b. Hidrolisis dengan 10 ml HCl.
- c. Panaskan dengan waterbath pada suhu 70°C, dilanjutkan sampai mendidih.

- d. Dinginkan.
- e. Ekstrak dengan 15 ml Diethyl ether dan 15 ml petroleum ether, ambil lapisan atas.
- f. Ekstrak lagi dengan 15 ml Diethyl ether dan 15 ml petroleum ether, ambil lapisan atas, jadikan satu dengan hasil sebelumnya.
- g. Uapkan dalam waterbath dengan bantuan N₂.

Analisa asam lemak jenuh dan tidak jenuh

- a. Diambil 0,5 ml sampel, ditambahkan 1,5 ml larutan Natrium metanolik, tutup dan panaskan pada suhu 70°C selama 5-10 menit sambil digojok.
- b. Dinginkan.
- c. Tambahkan 2 ml Boron trifluoride metanoat, panaskan pada suhu 70°C selama 5-10 menit.
- d. Dinginkan.
- e. Ekstrak dengan 1 ml Heptan dan 1 ml NaCl jenuh.
- f. Ambil lapisan atas dan masukkan ke dalam Eppendorf.
- g. Injeksikan ke GC. Diinjeksikan sebanyak 1µ sampel pada GC – 2010 SHIMADZU.

Kondisi GC:

Detektor : FID, suhu : 260°C

Metode : Methylester 37.gcm

Kolom : CP Sil 8CB, Length: 30 m

Suhu awal : 100°C, holdtime: 5 menit, suhu dinaikkan 4°C per menit hingga 240°C, holdtime : 10 menit

f. Analisis senyawa mineral (Fe)

Metode digesti kering (Khan *dkk.*, 2009)

1 gram sampel dengan ukuran 1 mm mesh digesti dengan HNO₃ dan didinginkan. Sampel dilarutkan dengan 2x air distilat sampai volume 50 ml. Sampel kembali di digesti kering dengan

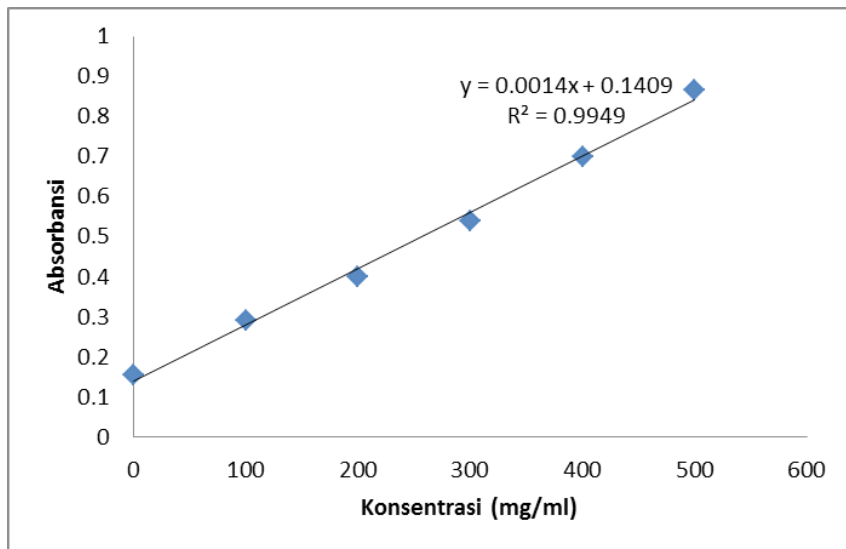
HNO₃ pekat : HClO₄ (8mL : 0,6mL), setelah digesti, volume dibuat menjadi 25 ml dengan 2x air distilat. Larutan siap untuk pengukuran dengan AAS.

LAMPIRAN II. HASIL PENGAMATAN DAN ANALISIS DATA

a. Pembuatan kurva standar peroksida

Tabel 1. Konsentrasi dan absorbansi peroksida

	Absorbansi	Konsentrasi
S 0,0	0.156	0,00
S 0,1	0.298	20,663
S 0,2	0.396	41,326
S 0,3	0.529	61,989
S 0,4	0.698	82,652
S 0,5	0.883	103,315

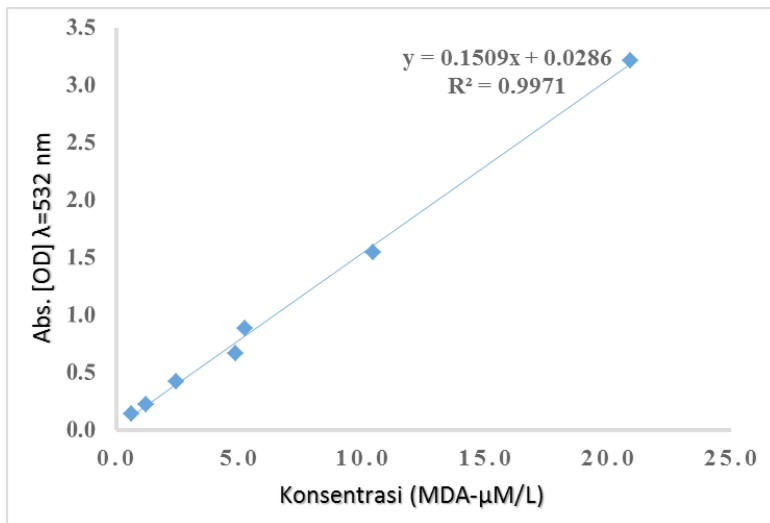


Gambar 1. Kurva standar peroksida

b. Pembuatan kurva standar TBA

Tabel 2. Konsentrasi dan absorbansi TBA

Konsentrasi	Absorbansi	Konsentrasi
0,0	0,1	0,61
	0,2	1,22
	0,4	2,43
	0,7	4,86
	0,9	5,22
	1,5	10,45
	3,2	20,9

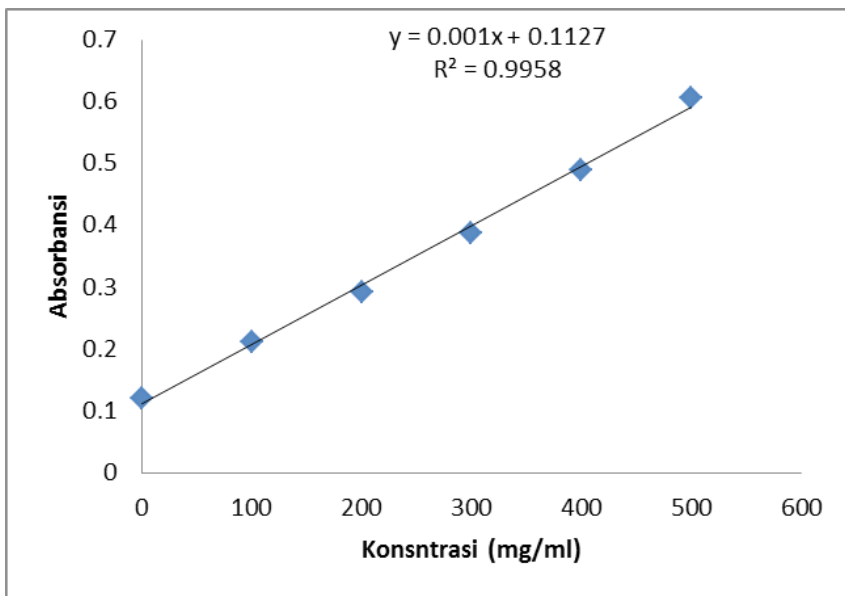


Gambar 2. Kurva standar TBA

c. Pembuatan kurva standar karbonil

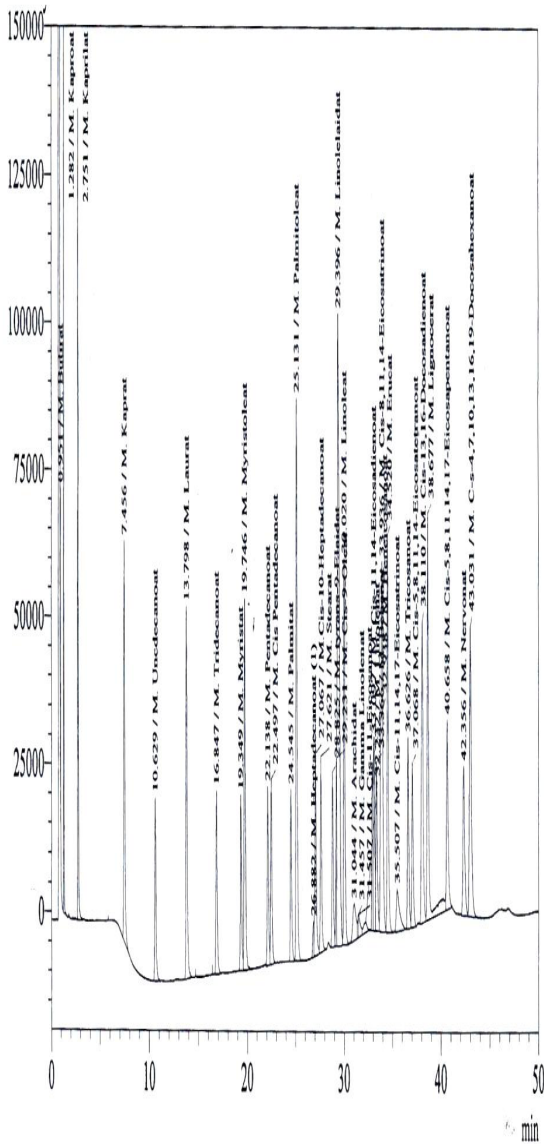
Tabel 3. Konsentrasi dan absorbansi karbonil

	Absorbansi	Konsentrasi
S 0.0	0.191	0.00
S 0.1	0.246	0.005
S 0.2	0.298	0.01
S 0.3	0.348	0.015
S 0.4	0.398	0.02
S 0.5	0.438	0.025



Gambar 3. Kurva standar karbonil

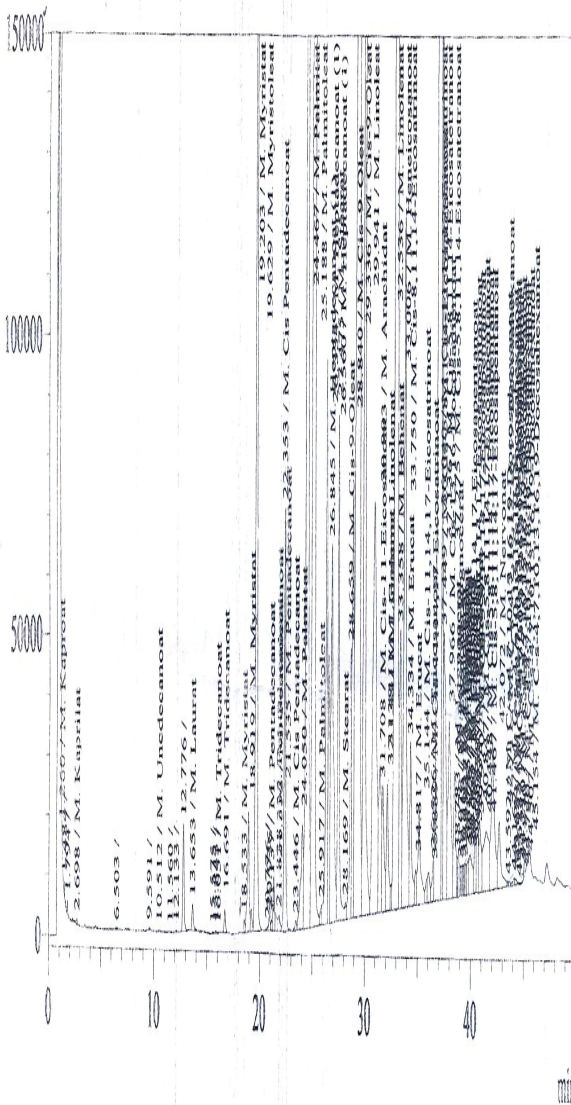
d. Kromatogram standar asam lemak dengan menggunakan GC (gas chromatografi)



Keterangan :
No Puncak
Asam kaprat
Asam laurat
Asam tridekanoat
Asam meristat
Asam
pentadekanoat
Asam palmitat
Asam
heptadekanoat
Asam stearat
Asam arakidat
Asam
heneikosanoat
Asam behenat
Asam trikosanoat
Asam lignoserat
Asam palmitoleat
Asam elaidat
Asam oleat
Asam eikosanoat
Asam erukat
Asam nervonat
Asam linoleat
Asam linolenat
Asam
eikosadienoat
Asam
eikosatrienoat
Asam arakidonat
Asam
dokosadienoat
Asam
eikosapentanoat
Asam
dokosaheksanoat

Gambar 4. Kromatogram Standar asam lemak

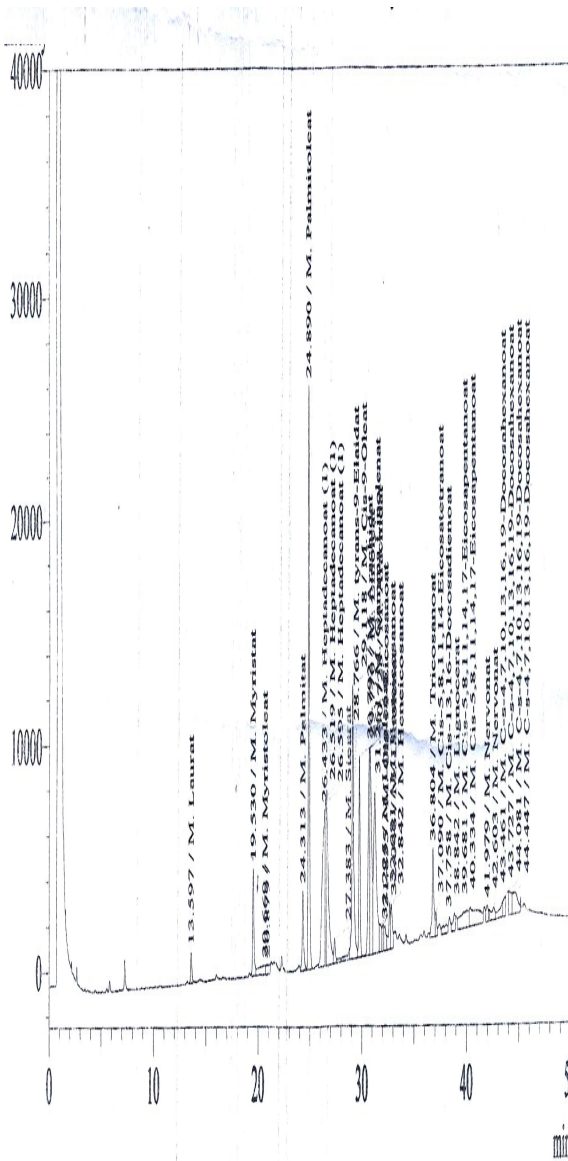
e. Kromatogram asam lemak dari minyak ikan tuna (*Thunnus sp*) dengan menggunakan GC (gas cromatografi)



- Keterangan :
- No Puncak
 - Asam kaprat
 - Asam laurat
 - Asam tridekanoat
 - Asam meristat
 - Asam pentadecanoat
 - Asam palmitat
 - Asam heptadekanat
 - Asam stearat
 - Asam arakidat
 - Asam heneikosanoat
 - Asam behenat
 - Asam trikosanoat
 - Asam lignoserat
 - Asam palmitoleat
 - Asam elaidat
 - Asam oleat
 - Asam eikosanoat
 - Asam erukat
 - Asam nervonat
 - Asam linoleat
 - Asam linolenat
 - Asam eikosadienoat
 - Asam eikosatrienoat
 - Asam arakidonat
 - Asam dokosadienoat
 - Asam eikosapentanoat
 - Asam dokosaheksanoat

Gambar 5. Kromatogram profil asam lemak minyak ikan tuna (*Thunnus sp*)

f. Kromatogram asam lemak dari daging ikan kakap (*Lutjanus sp*) dengan menggunakan GC (gas cromatografi)



- Keterangan :
- No Puncak
 - Asam kaprat
 - Asam laurat
 - Asam tridekanoat
 - Asam meristat
 - Asam
 - pentadekanoat
 - Asam palmitat
 - Asam
 - heptadekanat
 - Asam stearat
 - Asam arakidat
 - Asam
 - heneikosanoat
 - Asam behenat
 - Asam trikosanoat
 - Asam lignoserat
 - Asam palmitoleat
 - Asam elaidat
 - Asam oleat
 - Asam eikosanoat
 - Asam erukat
 - Asam nervonat
 - Asam linoleat
 - Asam linolenat
 - Asam
 - eikosadienoat
 - Asam
 - eikosatrienoat
 - Asam arakidonat
 - Asam
 - doksadienoat
 - Asam
 - eikosapentanoat
 - Asam
 - dokosaheksanoat

Gambar 6. Kromatogram profil asam lemak *fillet* ikan kakap (*Lutjanus sp*)

TENTANG PENULIS

Dr. Rahim Husain, S.Pi.,M.Si dilahirkan di Gorontalo 16 Mei 1971. Setelah menyelesaikan pendidikan S1 Teknologi Pengolahan Hasil Perikanan di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Sam Ratulangi Manado Tahun 1994, Melanjutkan Magister Sains di bidang Industri Teknologi Hasil Perikanan Pasacasarjana Universitas Sam Ratulangi Manado.

Selanjutnya, Penulis menjadi Staf Pengajar di Universitas Negeri Gorontalo Tahun 2004. Pada Tahun 2005 menjabat sebagai Kepala Laboratorium Jurusan Teknologi Perikanan Fakultas Ilmu-Ilmu Pertanian Universitas Negeri Gorontalo dan Tahun 2006 menjabat Ketua Program Studi Teknologi Hasil Perikanan.

Pada Tahun 2009, Melanjutkan Studi di bidang Ilmu Pangan Di Fakultas Teknologi Pertanian Konsentrasi *Fish Processing* Universitas Gadjadara Yogyakarta. Sekarang ini, Penulis mengajar di Program Strata satu (S1) dan Strata dua (S2) Ilmu kelautan Universitas Negeri Gorontalo.

Oksidasi lemak merupakan salah satu sebab utama dari penurunan kualitas dalam daging diikuti masa simpan pada pendingin atau suhu yang dibekukan. Seringkali terlihat pada tahap terakhir penyimpanan, penurunan kualitas termanifestasi melalui berbagai mekanisme. Meskipun oksidasi lipid biasanya menyebabkan penurunan penerimaan konsumen, dalam beberapa kasus oksidasi lipid memicu pada peningkatan kualitas produk.



✉ zahirpublishing@gmail.com
🌐 www.zahirpublishing.net

ISBN 978-623-466-178-1

