

**PENGARUH KONSENTRASI DAN WAKTU PENAMBAHAN MINYAK
SAWIT MERAH TERHADAP KADAR TOTAL KAROTENOID DAN
STRUKTUR PATI NASI**

(Skripsi)

Oleh

Achmad Amrizal Yahya

1914051054



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

EFFECT OF RED PALM OIL CONCENTRATION AND TIME ADDITION ON TOTAL CAROTENOID CONTENT AND RICE STARCH STRUCTURE

By

ACHMAD AMRIZAL YAHYA

Red palm oil (RPO) is a product of palm fruit processing that has good phytonutrient content such as carotenoids. RPO fortification in rice is expected to make rice a functional food that is high in total carotenoid content. The purpose of this study was to determine the effect of concentration and method of RPO addition on total carotenoid content and starch structure of rice. The results showed that there was a significant effect on the total carotenoid content of rice and the structure of rice starch on the concentration and method of adding RPO. The highest total carotenoid content was produced by rice with the addition of 4% RPO which produced a total carotenoid content of 213.2 ppm. FTIR analysis showed that RPO rice had changes in peak intensity at 2922 cm^{-1} , 2850 cm^{-1} , 1744 cm^{-1} , and 1640 cm^{-1} . SEM analysis showed smooth granule surface for native rice starch and uneven granule surface in rice granules with 2% MSM added. EDX analysis showed differences in the proportion of C and O atoms of rice with RPO addition compared to native rice starch.

Keywords: carotenoid, rice, RPO, FTIR, SEM EDX

ABSTRAK

PENGARUH KONSENTRASI DAN WAKTU PENAMBAHAN MINYAK SAWIT MERAH TERHADAP KADAR TOTAL KAROTENOID DAN STRUKTUR PATI NASI

Oleh

ACHMAD AMRIZAL YAHYA

Minyak sawit merah (MSM) adalah produk hasil pengolahan buah sawit yang memiliki kandungan fitonutrien yang baik seperti karotenoid. Fortifikasi MSM pada nasi diharapkan dapat menjadikan nasi sebagai pangan fungsional yang tinggi akan kadar total karotenoid. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui pengaruh konsentrasi dan cara penambahan MSM terhadap kadar total karotenoid dan struktur pati nasi. Hasil penelitian menunjukkan terdapat pengaruh nyata mengenai kadar total karotenoid dan struktur pati nasi terhadap konsentrasi dan cara penambahan MSM. Kadar total karotenoid tertinggi dihasilkan oleh nasi dengan penambahan MSM 4% yang menghasilkan kadar total karotenoid sebesar 213,2 ppm. Analisis FTIR menunjukkan bahwa nasi MSM mengalami perubahan intensitas puncak pada 2922 cm^{-1} , 2850 cm^{-1} , 1744 cm^{-1} , dan 1640 cm^{-1} . Analisis SEM menunjukkan permukaan granula yang halus untuk pati nasi asli dan permukaan granula yang tidak rata pada granula nasi dengan penambahan MSM 2%. Analisis EDX menunjukkan perbedaan proporsi atom C dan O nasi dengan fortifikasi minyak sawit merah yang dibandingkan dengan pati nasi asli.

Kata kunci: karotenoid, nasi, minyak sawit merah, FTIR, SEM EDX

**PENGARUH KONSENTRASI DAN WAKTU PENAMBAHAN MINYAK
SAWIT MERAH TERHADAP KADAR TOTAL KAROTENOID DAN
STRUKTUR PATI NASI**

Oleh

Achmad Amrizal Yahya

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **PENGARUH KONSENTRASI DAN WAKTU
PENAMBAHAN MINYAK SAWIT MERAH
TERHADAP KADAR TOTAL KAROTENOID
DAN STRUKTUR PATI NASI**

Nama Mahasiswa : **Achmad Amrizal Yahya**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1914051054

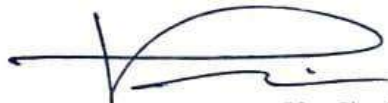
Program Studi : Teknologi Hasil Pertanian

Jurusan : Teknologi Hasil Pertanian

Fakultas : Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Dr. Ir. Samsu Udayana Nurdin, M.Si.
NIP: 19670615 199403 1 003



Dr. Ir. Siti Nurdjanah, M.Sc.
NIP: 19620720 198603 2 001

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian



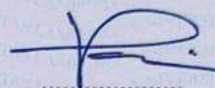
Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A.
NIP: 19721006 199803 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

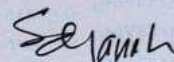
Ketua

: **Dr. Ir. Samsu Udayana Nurdin, M.Si.**



Sekretaris

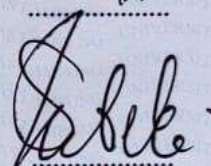
: **Dr. Ir. Siti Nurdjanah, M.Sc.**



Penguji

Bukan Pembimbing

: **Dr. Ir. Subeki, M.Si., M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Pertanian

Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.

NIP: 19611020 198603 1 002

**a.n. Dekan
Wakil Dekan Bidang Akademik
dan Kerjasama,**



Prof. Dr. St. Purnomo, M.S.
NIP: 196406131987031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 Mei 2023

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Achmad Amrizal Yahya

NPM : 1914051054

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri yang Berdasarkan pada pengetahuan dan penelitian yang telah saya lakukan. Karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukan hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 15 Juni 2023

Pembuat Pernyataan



Achmad Amrizal Yahya

NPM 1914051054

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Bandar Lampung pada tanggal 28 November 2000. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Alm. Bapak Syamsul Hidayat dan Ibu Hamidah. Penulis menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar Swasta 1 Gula Putih Mataram pada tahun 2012, Madrasah Tsanawiyah Negeri 2 Bandar Lampung pada tahun 2016, Sekolah Menengah Atas Negeri 15 Bandar Lampung pada tahun 2019. Pada tahun 2019, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Kalibalau Kencana, Kecamatan Kedamaian Kota Bandar Lampung Provinsi Lampung pada bulan Januari – Februari 2022. Penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT Aneka Coklat Kakao (Kakakao), Bandar Lampung, dengan judul laporan “Mempelajari Proses Pengolahan *Chocolate Bark Foccacia* di PT Aneka Coklat Kakao”.

Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten dosen pada mata kuliah Teknologi Rempah dan Minyak Atsiri pada semester ganjil tahun ajaran 2022/2023. Penulis aktif dalam kegiatan organisasi kampus diantaranya Staff Bidang Usaha Koperasi Mahasiswa Unila periode 2021 dan Anggota Penuh Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian (HMJ THP) Unila. Penulis juga pernah mengikuti salah satu kegiatan Kampus Merdeka, yaitu program Kredensial Mikro Mahasiswa Indonesia (KMMI) dengan judul *course Frontiers in Marine Science and Technology Course* secara online di IPB University pada tahun 2021.

SANWACANA

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Penambahan Minyak Sawit Merah Terhadap Kadar Total Karotenoid dan Struktur Pati Nasi”**. Atas selesainya skripsi ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan sehingga skripsi ini selesai tepat pada waktunya. Ucapan terima kasih tersebut disampaikan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P, M.T.A., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian atas izin penelitian yang diberikan.
3. Bapak Dr. Ir. Samsu Udayana Nurdin, M.Si., selaku dosen pembimbing akademik sekaligus dosen pembimbing 1 penulis yang telah berkenan memberikan arahan, ilmu, fasilitas, dana, masukan, dan bimbingan kepada penulis selama kuliah, terutama dalam proses penelitian hingga penyelesaian penulisan skripsi ini.
4. Ibu Dr. Ir. Siti Nurdjanah, M.Sc., selaku dosen pembimbing 2 penulis yang telah mencurahkan segala waktu dan ilmu, serta motivasi dalam penyelesaian skripsi ini. Mohon maaf apabila selama penulisan skripsi ini, penulis tak luput dari kesalahan dan kekurangan yang terkadang mengecewakan Ibu selaku dosen pembimbing.
5. Bapak Dr. Ir. Subeki, M.Si., M.Sc., selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan dan juga saran terkait penelitian maupun penulisan skripsi ini.
6. Kepada Alm. Bapak Syamsul Hidayat dan Ibu Hamidah tersayang selaku orang tua penulis, juga Rachmanda Citra, S.Sos. dan Muhammad

Nur Reza Hidayat, S.T.P. yang telah memberikan dukungan dan doa secara tulus selama perkuliahan, penelitian dan penyelesaian skripsi ini. Mohon maaf apabila selama perkuliahan, penelitian hingga penyelesaian skripsi ini penulis masih memberatkan punggung kalian. Penulis ingin menyampaikan rasa bangga dan terimakasih atas kehidupan yang kalian berikan.

7. Teman laboratorium, Aura Rhawdhati Djannah, Ines Surianti Putri, Diana Ariyana, Duwinda, Andini Fadhillah Sari, dan Depri Mubarik
8. Teman-teman grup Pening, PBB dan pasukan mabar *game online* yang senantiasa membantu secara mental maupun fisik, dan menjadi teman untuk menghilangkan jenuh dan lelah selama penyelesaian skripsi ini.
9. Teman-teman Jurusan THP FP Unila angkatan 2019, terkhusus kelas THP B yang senantiasa membantu dan memberikan masukan serta memacu semangat dalam penyelesaian laporan.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak untuk karya yang lebih baik di masa yang akan datang. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk kita semua.

Bandar Lampung, 15 Juni 2023

Penulis

Achmad Amrizal Yahya

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Kerangka Pemikiran.....	3
1.4 Hipotesis	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Beras	7
2.2 Minyak Sawit Merah.....	8
2.3 Karotenoid.....	12
2.4 Pati Resisten.....	14
2.5 FTIR.....	16
2.6 SEM EDX	18
III. METODE PENELITIAN	21
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2 Bahan dan Alat.....	21
3.3 Metode Penelitian	21
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	22
3.4.1 Pembuatan nasi dengan penambahan minyak sawit merah sebelum pemasakan	22
3.4.2 Pembuatan nasi dengan penambahan minyak sawit merah sesudah pemasakan.....	23
3.4.3 Pembuatan tepung nasi minyak sawit merah	24
3.5 Pengamatan	25

3.5.1 Pengujian kadar total karotenoid	28
3.5.2 Pengamatan FTIR	28
3.5.3 Pengamatan SEM EDX.....	28
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Kadar Total Karotenoid	29
4.2 FTIR.....	34
4.3 SEM EDX	37
V. KESIMPULAN DAN SARAN	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kandungan nutrisi minyak sawit merah.....	8
2. Perbandingan komposisi nutrisi pada beras biasa dan beras merah.....	10
3. Kandungan karoten (%)	16
4. Frekuensi penyerapan spektral inframerah tepung nasi	18
5. Formulasi konsentrasi dan waktu penambahan minyak sawit merah ..	22
6. Data absorban pada larutan standar β -karoten	29
7. Pengaruh konsentrasi MSM dan penambahan waktu terhadap kadar total karotenoid	31
8. Pengaruh konsentrasi MSM terhadap kadar total karotenoid (ppm) ...	32
9. Pengaruh cara penambahan MSM terhadap kadar total karotenoid (ppm).....	33
10. Nilai absorbansi pengujian kadar total karotenoid.....	52
11. Kadar total karotenoid (ppm) nasi yang ditambahkan MSM.....	52
12. Uji kehomogenan ragam (Bartlett test) kadar total karotenoid nasi yang ditambahkan MSM.....	53
13. Analisis sidik ragam kadar total karotenoid nasi yang ditambahkan MSM	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pohon kelapa sawit	7
2. Bagian-bagian butiran beras	9
3. Struktur amilosa dan amilopektin	12
4. Struktur β -karoten	14
5. Komponen skematis dan alur penggunaan FTIR	17
6. Spektra FTIR tepung nasi	17
7. Hasil pengamatan SEM pada tepung nasi	19
8. Diagram alir pembuatan nasi minyak sawit merah (sebelum pemasakan)	23
9. Diagram alir pembuatan nasi minyak sawit merah (sesudah pemasakan)	24
10. Diagram alir pembuatan tepung nasi minyak sawit merah	25
11. Diagram alir pengujian kadar total karotenoid	27
12. Kurva kalibrasi standar β -karoten	30
13a. Spektra FTIR nasi perlakuan kontrol	34
13b. Spektra FTIR nasi penambahan MSM 2% sebelum pemasakan	35
13c. Spektra FTIR nasi penambahan MSM 2% sesudah pemasakan	35
14a. Gambar SEM nasi perlakuan kontrol dengan perbesaran 10000x	37
14b. Gambar SEM nasi penambahan MSM 2% sebelum pemasakan dengan perbesaran 10000x	38
14c. Gambar SEM nasi penambahan MSM 2% sesudah pemasakan dengan perbesaran 10000x	38
15a. Gambar SEM nasi perlakuan kontrol dengan perbesaran 1000x	39

15b. Gambar SEM nasi penambahan MSM 2% sebelum pemasakan dengan perbesaran 1000x	40
15c. Gambar SEM nasi penambahan MSM 2% sesudah pemasakan dengan perbesaran 1000x	40
16a. Spektrum EDX nasi perlakuan kontrol.....	42
16b. Spektrum EDX nasi penambahan MSM 2% sebelum pemasakan	42
16c. Spektrum EDX nasi penambahan MSM 2% sesudah pemasakan.....	43
17. Spektra FTIR nasi perlakuan kontrol.....	54
18. Spektra FTIR nasi penambahan 1% sebelum pemasakan	54
19. Spektra FTIR nasi penambahan 1% sesudah pemasakan	55
20. Spektra FTIR nasi penambahan 2% sebelum pemasakan	55
21. Spektra FTIR nasi penambahan 2% sesudah pemasakan	56
22. Spektra FTIR nasi penambahan 3% sebelum pemasakan	56
23. Spektra FTIR nasi penambahan 3% sesudah pemasakan	57
24. Spektra FTIR nasi penambahan 4% sebelum pemasakan	57
25. Spektra FTIR nasi penambahan 4% sesudah pemasakan	58
26. Penimbangan beras	59
27. Penirisan beras setelah proses pencucian	59
28. Proses pemasakan beras.....	60
29. Pengadukan nasi dengan penambahan MSM	60
30. Nasi yang telah dikeringkan dengan oven	61
31. Hasil pengujian kadar total karotenoid	61

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nasi merupakan makanan pokok bagi sebagian besar penduduk di seluruh dunia, terutama di negara-negara di Asia Tenggara, salah satunya Indonesia. Rata-rata konsumsi kalori penduduk Indonesia dari kelompok makanan padi-padian pada tahun 2020 sebesar 814,06 kkal dari rata-rata konsumsi kalori harian sebesar 2.112,06 kkal (PDSIP, 2021). Nasi memiliki kandungan karbohidrat yang tinggi sehingga dijadikan sebagai sumber energi utama pada masyarakat Indonesia. Tingginya konsumsi nasi pada masyarakat Indonesia tidak dibarengi dengan konsumsi bahan pangan lainnya yang mengandung nutrisi yang tinggi. Kandungan karbohidrat yang tinggi pada nasi akan menyebabkan produksi glukosa menjadi tinggi pula. Selain itu, kandungan indeks glikemik yang tinggi pada nasi putih yang berkisar antara $55 \leq IG \leq 70$ (Sunani, 2021) menyebabkan nasi sebagai salah satu faktor terjadinya berbagai macam penyakit degeneratif (Evans, 2015).

Minyak sawit merah merupakan minyak nabati yang diperoleh dari mesocarp buah pohon kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) tanpa melalui proses mekanis seperti pemurnian, *bleaching*, dan juga proses deodorisasi. Minyak sawit merah mengandung banyak komponen bioaktif yang bermanfaat bagi tubuh, seperti asam lemak, vitamin E (tokoferol dan tokotrienol), sterol, komponen fenolik dan antioksidan, serta karotenoid. Minyak sawit merah memiliki warna khas oranye-merah tua yang disebabkan oleh kandungan karotenoidnya yakni sekitar 500-700 ppm dan didominasi oleh β -karoten (Delisle, 2018). Minyak sawit merah merupakan salah satu bahan yang berpotensi untuk dijadikan sebagai fortifikan

pada nasi (Dong dkk., 2017). Namun, masih belum banyak masyarakat Indonesia yang mengonsumsi minyak sawit merah dikarenakan memiliki warna kemerahan dan berbau khas jika dibandingkan minyak goreng yang umum dikonsumsi yang memiliki warna kuning pucat dan tidak berbau. Hal inilah yang mendorong dilakukannya penelitian ini untuk menjadikan minyak sawit merah sebagai fortifikan pada nasi putih untuk meningkatkan kandungan nutrisinya, terutama kandungan karotenoid.

Nasi yang merupakan makanan pokok masyarakat Indonesia dapat dijadikan sebagai *carrier* komponen bioaktif dengan tujuan untuk meningkatkan kandungan gizi. Minyak sawit merah memiliki kandungan asam lemak dan juga antioksidan yang baik bagi tubuh, salah satunya karotenoid (Delisle, 2018). Nasi putih yang difortifikasi dengan minyak sawit merah diduga dapat meningkatkan kandungan karotenoid pada nasi. Kadar total karotenoid inilah yang berperan penting sebagai sumber provitamin A, khususnya pada masyarakat dewasa sehingga diharapkan dapat mengurangi kasus kekurangan vitamin A dan juga meningkatkan konsumsi vitamin A pada masyarakat.

Penambahan lipid (MSM) pada nasi juga diduga mampu mempengaruhi struktur pati pada nasi. Minyak sawit merah yang ditambahkan pada pemasakan nasi akan menghambat proses gelatinisasi nasi karena minyak sawit merah menghambat proses hidrasi sehingga mempengaruhi rusaknya ikatan hidrogen pada nasi. Pada penelitian ini, cara penambahan minyak sawit merah dilakukan pada saat sebelum dan sesudah pemasakan nasi. Adanya perbedaan cara penambahan minyak sawit merah pada pemasakan nasi dapat mempengaruhi kandungan karotenoid pada nasi. Suhu pemasakan nasi akan mempengaruhi kandungan karotenoid yang ditambahkan pada nasi. Kandungan β -karoten dapat berubah saat suhu pemanasan 150°C, 160°C, 170°C, dan 180°C selama 5 jam (Budiyanto, 2010). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan minyak sawit merah pada nasi terhadap kadar total karotenoid dan struktur yang terdapat pada pati nasi.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh konsentrasi minyak sawit merah terhadap kadar total karotenoid dan struktur pati nasi.
2. Mengetahui pengaruh cara penambahan minyak sawit merah terhadap kadar total karotenoid dan struktur pati nasi.
3. Mengetahui adanya interaksi antara konsentrasi dan cara penambahan minyak sawit merah terhadap kadar total karotenoid dan struktur pati nasi.

1.3 Kerangka Pemikiran

Minyak sawit merah adalah produk hasil pengolahan buah sawit yang memiliki kandungan fitonutrien yang baik. Minyak sawit merah merupakan minyak yang dipertahankan keadaan alaminya dan diperoleh hanya dengan proses mekanis dan panas. Minyak sawit merah tidak menggunakan bahan kimia dalam proses ekstraksi dan juga tidak mengalami proses *refining*, *bleaching*, dan *deodorization*. Hal inilah yang menyebabkan minyak sawit merah juga merupakan versi yang lebih sehat dibandingkan dengan minyak kelapa sawit. Minyak sawit merah mengandung sejumlah besar asam lemak rantai menengah, vitamin E (tokoferol dan tokotrienol), sterol (sitosterol, stigmasterol dan campesterol), karotenoid (α , β , dan γ -karoten), komponen fenolik dan antioksidan yang larut dalam air yang bermanfaat dalam aplikasi nutrasetikal dan farmasi (Goh, 2017).

Minyak sawit merah dapat dijadikan fortifikan karena memiliki kandungan squalene, vitamin E, dan total karoten yang tinggi (Naninggolan dan Sinaga, 2021). Pada penelitian yang dilaksanakan oleh Dolas dkk. (2020), minyak sawit merah digunakan sebagai fortifikan pada saus kacang siomay. Penambahan minyak sawit merah pada saus kacang bertujuan untuk menghasilkan pangan fungsional dengan kadar karoten yang tinggi. Selain itu, penggunaan minyak sawit merah sebagai fortifikan juga dilakukan oleh Jusman dkk. (2021) pada produk kue. Produk kue dengan fortifikasi minyak sawit merah dapat

dikategorikan sebagai pangan fungsional tinggi β -karoten. Minyak sawit merah juga digunakan dalam pembuatan saus kacang siomay sebagai upaya pemenuhan vitamin A bagi ibu menyusui (Budiyanto dkk., 2019).

Penambahan minyak sawit merah dengan berbagai konsentrasi pada pemasakan nasi diduga mampu meningkatkan kadar total karotenoid yang terkandung pada nasi. Minyak sawit merah yang ditambahkan pada pemasakan nasi diduga akan ikut terserap dan berpenetrasi ke dalam granula pati nasi sehingga mampu meningkatkan kadar total karotenoid pada nasi dan berpengaruh terhadap struktur pati nasi. Semakin tinggi jumlah konsentrasi minyak sawit merah yang ditambahkan diduga akan berpengaruh terhadap kadar total karotenoid. Fortifikasi minyak sawit merah pada produk pangan telah dilakukan oleh Hasibuan dkk. (2018) yang membuat *baking shortening* dan margarin dari MSM sebagai bahan adonan roti manis. Roti manis yang menggunakan formulasi 15 gram margarin dan 37,5 gram *baking shortening* MSM dalam 1 kg adonan menghasilkan produk roti manis dengan kadar karoten sebesar 211 ppm yang memiliki karakteristik menyerupai produk komersial.

Adanya penambahan minyak sawit merah pada nasi diduga berpengaruh terhadap struktur pati nasi. Proses gelatinisasi menyebabkan air akan berpenetrasi masuk ke dalam granula pati secara perlahan seiring dengan peningkatan suhu pemasakan dan menyebabkan putusya ikatan hidrogen antar molekul dalam granula (Imanningsih, 2012). Adanya penambahan minyak sawit merah (lipid) pada akan melapisi permukaan granula pati nasi. Lapisan lipid ini akan menghambat proses penyerapan air pada granula pati nasi sehingga berpengaruh terhadap proses gelatinisasi (Yulianto, 2020). Penambahan lipid pada pati nasi juga diduga dapat membentuk kompleks amilosa-lipid. Pembentukan kompleks amilosa-lipid dapat terjadi selama proses gelatinisasi pada pemanasan pati. Senyawa kompleks terbentuk dari lipida yang ada di permukaan granula pati dan amilosa yang dilepaskan dari pati selama gelatinisasi (Yulianto, 2020). Pembentukan kompleks amilosa-lipid terjadi pada produk nasi uduk. Pada penelitian Pangastuti dan

Permana (2021), penambahan lipid (santan) pada nasi menunjukkan terjadinya peningkatan fraksi lipida yang berikatan dengan amilosa.

Cara pemasakan atau waktu penambahan minyak sawit merah pada nasi juga diduga berpengaruh terhadap total kadar karotenoid. Penambahan minyak sawit merah dapat dilakukan saat sebelum pemasakan dan sesudah pemasakan. Adanya perbedaan mekanisme penambahan minyak sawit merah pada nasi diduga berpengaruh terhadap kadar total karotenoid yang terkandung pada nasi. Menurut Budiyo (2010), kandungan karotenoid dapat berubah saat suhu pemanasan 150°C, 160°C, 170°C, dan 180°C selama 5 jam. Sedangkan pada saat pemasakan nasi, suhu yang teramati berkisar antara 83-85°C. Adanya perbedaan mengenai cara penambahan minyak sawit merah pada nasi saat sebelum dan sesudah pemasakan juga diduga akan berpengaruh terhadap struktur pati nasi.

Konsentrasi dan cara penambahan minyak sawit merah pada nasi diduga memiliki korelasi pada kadar total karotenoid yang diperoleh. Suhu gelatinisasi pada nasi berkisar antara 70-75°C (Juliano, 2016) dan suhu nasi yang baru matang dimasak menggunakan *rice cooker* yaitu 95 °C (Purbowati dan Riva, 2020). Sedangkan kandungan β -karoten pada minyak sawit merah tidak terdegradasi secara signifikan pada pemanasan dengan suhu < 100° C selama 120 menit (Alyas dkk., 2006). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian yang dapat mengetahui besarnya pengaruh konsentrasi dan waktu penambahan minyak sawit merah terhadap kadar total karotenoid dan struktur pati nasi. Penelitian ini dilakukan dengan menambahkan berbagai konsentrasi minyak sawit merah dan waktu penambahan minyak sawit merah pada nasi sehingga dapat diketahui besarnya pengaruh perlakuan terhadap kadar total karotenoid dan struktur pati nasi.

1.4 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Konsentrasi minyak sawit merah berpengaruh terhadap struktur pati dan kadar total karotenoid pada nasi.

2. Cara penambahan minyak sawit merah berpengaruh terhadap terhadap struktur pati dan kadar total karotenoid pada nasi.
3. Adanya interaksi antara konsentrasi dan cara penambahan minyak sawit merah terhadap struktur pati dan kadar total karotenoid pada nasi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis J.*), merupakan tanaman tropis tahunan yang dibudidayakan untuk menghasilkan minyak nabati yaitu minyak kelapa sawit dan minyak biji swit, yang terdiri dari minyak sawit dan minyak inti sawit. Minyak sawit merah merupakan sumber hidrokarbon terpenik tak jenuh, yaitu squalene dan karotenoid (Delisle, 2018). Selain itu, minyak kelapa sawit dikenal dengan vitamin E-nya serta fitonutrien lainnya meliputi karotenoid (prekursor) vitamin A, tokoferol dan tokotrienol (vitamin E) sterol, fosfolipid, squalane, hidrokarbon alifatik pitosterol, dan senyawa fenolik. Gambar pohon kelapa sawit dijasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pohon kelapa sawit
Sumber : Goh dkk., (2016)

Minyak sawit dan turunannya dapat diolah menjadi berbagai macam produk rumah tangga. Salah satu produk olahan dari minyak sawit adalah minyak sawit merah adalah minyak sawit olahan yang masih mempertahankan kandungan karotenoid dan vitamin. Minyak sawit merah yang juga dikenal sebagai *virgin palm oil* (VPO) memiliki potensi untuk aplikasi netrasetikal (Rashid dkk., 2019). Beberapa proses pengolahan pada minyak sawit dihilangkan seperti pemurnian dan pemutihan dengan tujuan untuk menghasilkan minyak sawit merah yang tetap mempertahankan kandungan karotenoid, vitamin E dan sterol. Kandungan karoten yang terjaga akan menghasilkan warna merah yang khas pada minyak sawit merah dan memiliki kadar asam lemak bebas yang rendah. Minyak sawit merah tidak boleh ditambahkan zat tambahan apapun dengan tujuan agar menjaga komposisi asam lemak (Purnama dkk., 2020). Kandungan nutrisi pada minyak sawit merah disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan nutrisi minyak sawit merah

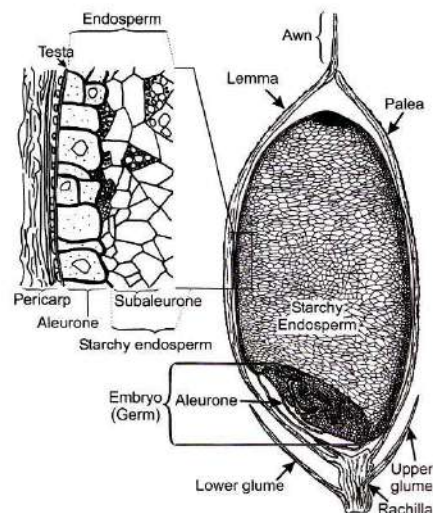
Kandungan (%)	Konsentrasi
Asam laurat (%)	0.2
Asam miristat (%)	1.0-1.5
Asam palmitat (%)	42.0-47.0
Asam stearat (%)	4.0-5.0
Asam oleat (%)	37.0-41.0
Asam linoleat (%)	9.0-11.0
Asam linolenat (%)	0.4
Total asam lemak jenuh (%)	49.9
Total asam lemak tak jenuh tunggal (%)	39.2
Total asam lemak tak jenuh ganda (ppm)	10.5
Total karoten (ppm)	500-700
Total tokoferol dan tokotrienol (ppm)	600-1000
Fitosterol	65%

Sumber : Delisle (2018)

2.2 Beras

Beras adalah hasil olah dari produk pertanian yang disebut padi. Padi (*Oryza sativa L.*) biji (kernel) matang dari pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi yang masih berada pada tangkai tanaman padi. Gabah, merupakan hasil dari

pemanenan padi yang telah dipisahkan dari malainya dan biasanya telah dilakukan pengeringan agar tahan lama sebelum dilakukan penggilingan. Beras merupakan hasil penggilingan gabah yang telah dilakukan penggilingan dan penyosohan (*polishing*). Butir beras memiliki morfologi yang terdiri dari penutup pelindung luar, sekam dan kariopsis atau biji beras yang dapat dimakan, dan butir padi. Lapisan sekam (perikarp, kulit biji, nuselus, dan lapisan aleuron) mengandung sebagian besar mineral seperti abu, vitamin, dan serat yang ada dalam butiran beras (Corke, 2015). Lapisan pembungkus kariopsis yang mengelilingi beras terdiri atas beberapa macam lapisan sel, yaitu perikarp, pembungkus biji, dan lapisan nusellus. Bagian-bagian butiran beras dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagian-bagian butiran beras
Sumber : Juliano (2016)

Gabah terdiri dari kariopsis (beras pecah kulit) yang diselimuti oleh sekam (husk atau hull) yang banyak mengandung silika dan bersifat keras. Sekam sekitar 20% atau antara 16-28% dari berat gabah (Juliano dan Tuano, 2019). Kariopsis merupakan buah dari biji tinggal perikarp yang menyatu dengan bijinya yang terdiri dari kulit biji, nuselus, endosperm, dan embrio. Perikarp merupakan dinding ovarium yang telah matang setelah mengalami degenerasi yang ekstensif selama perkembangan kariopsis yang memiliki penampilan yang bergelombang dan kutikula yang tipis. Lapisan aleuron, merupakan lapisan terluar dari

endosperma (jaringan triploid), dan memiliki perbedaan baik morfologi maupun fungsi dari endosperma berpati (*starchy*). Varietas padi akan memiliki perbedaan dalam ketebalan lapisan aleurone (Yulianto, 2020).

Beras terdiri dari 2 fraksi pati yaitu amilosa dan amilopektin. Kandungan amilosa merupakan parameter penting sebagai penentu dalam proses pengolahan beras. Kandungan amilosa hampir tidak ada dalam kultivar beras ketan (1-2%) yang apabila diolah memiliki karakteristik yang mengkilap, lengket, tidak mengembang saat diolah dan tetap keras saat dimasak. Sedangkan pada butir beras yang mengandung amilosa tinggi akan menghasilkan nasi yang pera, kurang empuk, kering, dan saat dingin akan menjadi keras. Butir beras dengan kandungan amilosa yang sedang akan menghasilkan nasi yang pulen, empuk dan tidak menjadi keras saat dingin (Panesar dan Kaur, 2015).

Varietas beras dapat dikelompokkan berdasarkan kandungan amilosanya yaitu ketan (*waxy*) (0-2%), sangat rendah (3-9%), rendah (10-19%), sedang (20-25%), dan tinggi (>25%) (Panesar, 2016). Salah satu varietas beras yang terdapat di Indonesia adalah beras dengan varietas IR64. Beras varietas IR64 memiliki tekstur nasi yang pulen dengan kandungan amilosa sebesar 27,40-28,64%. Sedangkan kandungan amilopektin pada varietas IR64 sebesar 59,57-60,00%. (Sari dkk., 2020). Komposisi nutrisi pada beras biasa dan beras merah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan komposisi nutrisi pada beras biasa dan beras merah

Komponen	Jumlah (per 100 gram)	
	Beras merah	Beras
Kadar air (g)	14.0	14.0
Kandungan energi (kJ)	1480–1610	1460–1560
Kandungan energi (kcal)	355–385	349–373
Karbohidrat yang tersedia (g)	73–87	77–89
Total serat pangan (g)	2.9–4.4	0.7–2.7

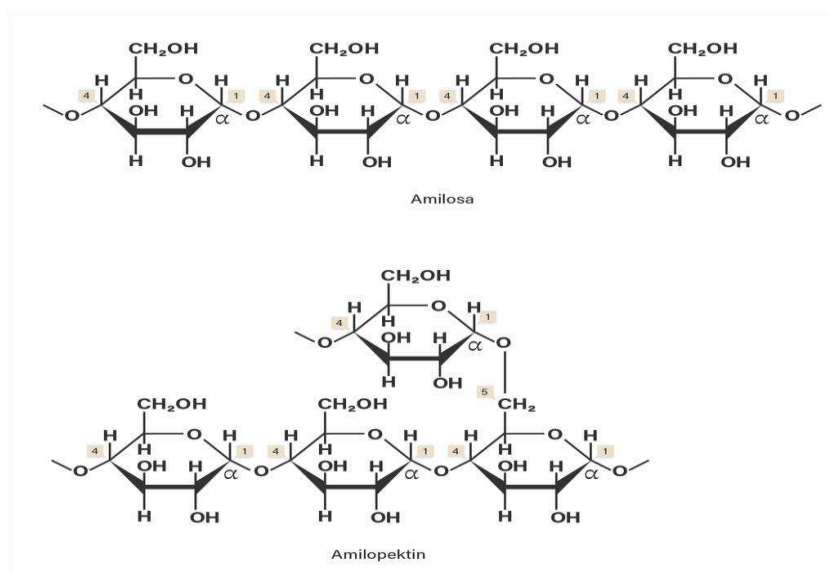
Komponen	Jumlah (per 100 gram)	
	Beras merah	Beras
Serat tidak larut air (g)	2.0	0.5
Gula (g)	0.8–1.9	0.1–0.5
Thiamin (mg)	0.4–0.6	0.07–0.17
Riboflavin (mg)	0.04–0.14	0.02–0.06
Niacin (mg)	3.5–6.2	1.3–2.5
Asam pantotenat (mg)	1.4–1.6	0.8–1.3
Vitamin B ₆ (mg)	0.5–0.7	0.1–0.4
Folat (mg)	16–20	4–9
Vitamin E, α -tocopherol (mg)	0.8–2.5	0.1–0.3
Kalsium (mg)	10–50	10–30
Fosfor (mg)	0.17–0.43	0.08–0.15

Sumber : Juliano (2016)

Pengolahan beras menjadi nasi diawali dengan proses pencucian beras hingga bersih, kemudian ditambahkan dengan air dan dilakukan pemasakan hingga matang. Selama proses pemanasan, granula pati mengalami gelatinisasi dan kehilangan kristalinitas. Apabila nasi yang sudah matang dilakukan pendinginan, akan menyebabkan molekul pati yang terpisah membentuk gel lalu mengalami retrogradasi secara bertahap hingga menjadi kumpulan semi-kristalin yang bentuknya berbeda dari pati sebelumnya (Copeland dkk., 2009). Menurut Haliza dkk. (2006), pemanasan pati dengan air mengakibatkan pati mengalami gelatinisasi dan perubahan struktur. Pemanasan kembali dan pendinginan pati yang telah mengalami gelatinisasi juga mengubah struktur pati lebih lanjut yang mengarah pada terbentuknya kristal baru yang tidak larut, berupa pati ter-retrogradasi. Pati yang ter-retrogradasi adalah jenis pati resisten yang paling stabil dan sulit dicerna. Hal ini karena rantai amilosa yang lurus mudah tergradasi dan ketika rantai amilosa bergabung kembali (retrogradasi) akan membentuk sebuah polimer yang kompak dan sulit untuk dihidrolisis oleh enzim pencernaan. Perubahan struktur pati yang mengalami retrogradasi menjadi pati resisten tersebut yang menyebabkan kadar glukosa menurun

2.3 Pati

Pati merupakan sumber utama karbohidrat dalam makanan manusia. Granula pati pada beras mencapai 90% beras giling (berat kering). Pati merupakan polimer glukosa, yang tersusun oleh dua jenis polimer glukosa, yaitu amilosa dan amilopektin. Keberadaan pati mampu menentukan sifat fisik dan sifat-sifat nasi tanak, dan juga berkontribusi terhadap sifat fisikokimia nasi melalui interaksi dengan komponen selain dari endosperma beras (protein, lipid, air) atau melalui interaksi dengan bahan lainnya yang digunakan dalam proses pengolahan. Rasio amilosa dan amilopektin yang terkandung dalam pati nasi memiliki struktur dan kelarutan yang berbeda antar satu sama lain yang berkontribusi terhadap kinerja beras. Pati berkontribusi pada karakteristik produk pangan seperti viskositas, tekstur, *mouthfeel*, dan konsistensi pada berbagai macam produk makanan (Evans, 2015b). Struktur amilosa dan amilopektin disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur amilosa dan amilopektin
Sumber : Amagliani dkk. (2016)

Pati merupakan biopolimer yang terdiri dari dua komponen utama: amilosa dan amilopektin. Amilosa menyusun granula hingga 15-35% di sebagian besar tanaman. Beberapa molekul amilosa, khususnya yang memiliki berat molekul

besar mungkin memiliki hingga sepuluh cabang atau lebih. Amilopektin merupakan molekul yang sangat bercabang, dengan kerangka utama D-glukosa dengan ikatan α -1, 4 glikosidik, dan menunjukkan sekitar 5% percabangan dengan ikatan α -1, 6 glikosidik, yang memiliki efek penting pada sifat fisik dan biologis (Perez dan Bertoft, 2010).

Pati dapat diklasifikasikan berdasarkan berbagai parameter, salah satunya adalah parameter daya cerna. Berdasarkan sifat daya cerna, secara umum pati diklasifikasikan ke dalam tiga fraksi: (1) *rapidly digested starch* (RDS), (2) *slowly digested starch* (SDS), (3) dan *resistant starch* (RS) (Evans, 2015). Pati resisten (RS) termasuk ke dalam klasifikasi dari pati yang tidak dapat dicerna di usus kecil oleh enzim manusia melainkan akan memasuki usus besar dan akan difermentasi sebagian atau seluruhnya. RS secara umum dianggap sebagai salah satu komponen yang membentuk *total dietary fiber* (TDF). Asam lemak rantai pendek dihasilkan oleh mikroflora kolon dengan cara memfermentasi RS yang dapat memberikan yang memberikan manfaat kesehatan positif seperti peningkatan aliran darah usus besar untuk meredakan peradangan pada usus besar dan penurunan risiko kanker usus besar dan/atau kanker lainnya dan juga RS mampu memodulasi kadar glukosa darah *postprandial* (Lu dkk., 2019).

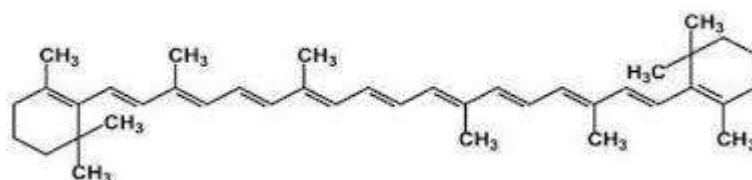
Pati resisten dianggap sebagai karbohidrat nonglikemik. RS dapat diklasifikasikan ke dalam lima kelas, yaitu, (1) pati yang tidak dapat diakses secara fisik (RS1), (2) butiran pati polimorfik tipe B atau C dan beberapa karbon (RS2), (3) pati retrogradasi (RS3), (4) pati yang dimodifikasi secara kimiawi (RS4), dan (5) kompleks amilosa-lipid (RS5) (Ahuja dkk. 2013). Klasifikasi tipe pati resisten ini mampu memberikan pemahaman dan pengembangan yang lebih baik sehingga diperoleh metode yang efektif untuk pembuatan pati resisten dari setiap jenis, untuk meningkatkan jumlah pati resisten yang terkandung dalam makanan (Lu dkk., 2019).

Pembentukan RS5 (kompleks amilosa-lipid) akan lebih mungkin terbentuk apabila di dalam suatu pati terdapat kandungan lipid. Penambahan minyak sawit

merah pada pati akan mengakibatkan peningkatan kandungan lipid pada pati itu sendiri. Hal ini akan mengakibatkan pembentukan kadar pati resisten tipe 5. Pada penelitian Susanto dkk., (2018), menyatakan bahwa penambahan minyak sawit sebanyak 20 mL ke dalam 100 gram nasi menghasilkan kadar pati resisten sebesar 7,42%. Hal ini disebabkan oleh pembentukan pati resisten yang didominasi oleh mekanisme amilosa-lipid.

2.4 Karotenoid

Karotenoid merupakan sekelompok molekul berpigmen merah, oranye, dan kuning yang disintesis oleh tanaman yang fotosintesis, ganggang, bakteri, dan jamur. Struktur karotenoid dibagi menjadi dua sub kelas utama, yaitu karoten dan xantofil. Karoten terdiri dari hidrokarbon murni, sedangkan xantofil terdiri dari hidrogen, karbon, dan satu atau lebih gugus fungsi yang mengandung oksigen (Alcaino dkk, 2016). Gambar Struktur β -karoten disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur β -karoten

Sumber : Merdekawati dkk. (2017)

Karotenoid secara alami ditemukan dalam seluruh bentuk trans-isomer; kecuali neoxanthin, yang memiliki bentuk 90-cis-isomer (Lohr, 2009). Namun, seluruh trans-isomer dapat dengan mudah diisolasi menjadi cis-isomer ketika terpapar panas dan cahaya (Provesi dan Amante, 2015). Panas, cahaya dan enzim merupakan faktor utama terjadinya reaksi oksidasi yang menyebabkan degradasi warna dan penurunan aktivitas karotenoid. Salah satu cara untuk mengurangi reaksi oksidasi adalah dengan melakukan proses blansing dengan tujuan untuk menginaktivasi enzim oksidatif. Namun, proses blansing juga merupakan salah

satu proses termal sehingga dapat menyebabkan perubahan struktur karotenoid melalui isomerisasi. Meskipun transformasi tersebut hanya menyebabkan sedikit penurunan saturasi warna tanpa perubahan rona yang signifikan (Ngamwonglumlert dkk., 2017), adanya perubahan tersebut dapat mempengaruhi aktivitas antioksidan karotenoid.

Peningkatan suhu dan waktu pemrosesan serta konsentrasi oksigen dalam jumlah besar menyebabkan meningkatnya penurunan kandungan karotenoid. Fratianni dkk. (2010), mengamati pengaruh suhu pada penurunan kandungan karotenoid dalam jus jeruk (*Citrus sinensis Osbeck*) selama pasteurisasi dengan *microwave*. Hasilnya diperoleh bahwa peningkatan suhu pasteurisasi akan mengakibatkan semakin banyak pula degradasi karotenoid. Total kandungan karotenoid dari jus jeruk yang dipasteurisasi pada suhu 70°C selama 60 detik tidak terjadi perubahan, sedangkan sampel jus jeruk yang dipasteurisasi pada suhu 85°C selama 60 detik menurun kandungan karotenoid sekitar 50-66%.

Salah satu senyawa aktif yang terkandung di dalam minyak sawit merah adalah karotenoid. Karotenoid merupakan senyawa yang sangat penting karena beberapa di antaranya dapat bertindak sebagai prekursor vitamin A (retinol), dan menunjukkan aktivitas antioksidan yang penting. Karotenoid berperan penting dalam upaya protektif dan/atau preventif dalam kesehatan dan penyakit manusia. Kandungan karotenoid pada minyak sawit merah berkisar antara 500-1000 ppm yang didominasi oleh β -karoten (Morcillo dkk., 2021). Kandungan karotenoid diketahui memiliki manfaat untuk mencegah penyakit kardiovaskuler dan kanker (Alcaino, 2016). Kandungan β -karoten yang terdapat pada minyak sawit merah memiliki bioavailabilitas enam kali lebih tinggi dari sumber tanaman lainnya. Kandungan karotenoid pada minyak sawit merah disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kandungan karoten (%)

Karotenoid	<i>Crude palm oil</i>	<i>Red palm olein</i>
α -karoten	35.1	44.2
β -karoten	56.0	33.3
<i>cis</i> - α karoten	2.5	7.5
Fitoena	1.3	3.6
Likopen	1.3	3.6
δ -karoten	0.8	3.3
<i>cis</i> - β -karoten	0.7	0.7
ζ -karoten	0.7	0.6
γ -karoten	0.3	0.6

Sumber: Khachik dkk. (1999)

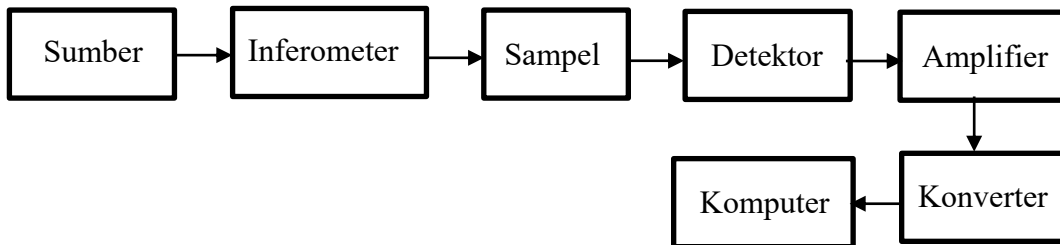
Karotenoid pada minyak sawit merah memiliki manfaat yang baik untuk kesehatan. Menurut Sinaga dkk. (2018), kandungan karotenoid yang tinggi pada minyak sawit merah memiliki potensi dalam penurunan kadar glukosa darah dalam pengujian dengan menggunakan tikus putih. Pemberian minyak sawit merah memiliki potensi menurunkan kadar glukosa darah dikarenakan sifat antioksidatif komponen minor minyak sawit merah dapat menghambat oksidasi glukosa di dalam darah, sehingga pankreas dapat aktif memproduksi insulin secara normal.

2.5 FTIR

Spektroskopi FTIR (*fourier-transform mid-IR*) merupakan spektroskopi yang memiliki kualitas spektrum inframerah yang baik dan juga memiliki waktu yang singkat dalam pembacaan data. FTIR sudah diaplikasikan oleh sebagian besar industri sebagai suatu alat instrumen dalam menganalisis sampel. Kisaran sampel yang dapat dianalisis oleh FTIR memiliki cakupan yang luas karena dapat diperoleh dari padatan, cairan, dan gas (Bell dan Xu, 2019).

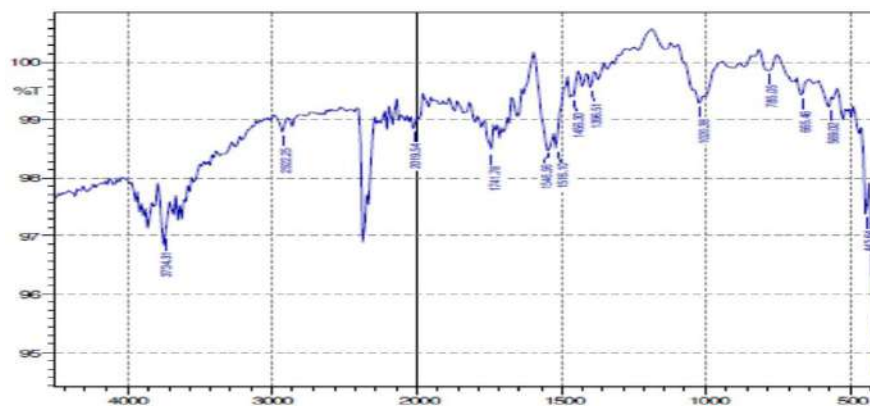
Radiasi yang muncul dari sumber diarahkan melalui interferometer ke sampel sebelum mencapai detektor. Sesudah amplifikasi sinyal, yaitu menghilangkan kontribusi frekuensi tinggi dengan menggunakan filter, data dikonversi ke dalam

bentuk digital dan ditransfer ke komputer untuk transformasi Fourier (Stuart, 2004). Komponen skematis dan alur penggunaan FTIR disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Komponen skematis dan alur penggunaan FTIR
Sumber: Stuart (2004)

Spektroskopi FTIR memiliki cakupan analisis yang luas, mulai dari analisis molekul kecil atau kompleks hingga analisis sel atau jaringan. Salah satu perkembangan terbaru dari spektroskopi inframerah adalah mampu menampilkan citra dari jaringan komponen yang dianalisa. Fitur ini diadaptasi dari mikroskop inframerah dan penggunaan radiasi IR *synchrotron*. Fungsinya ialah untuk pemetaan komponen seluler (karbohidrat, lipid, protein) untuk mengidentifikasi keberadaan sel-sel abnormal (Levin dan Bhargava, 2005; Petibois dan Délérís, 2006). Luaran yang dihasilkan dari analisis FTIR berbentuk spektra yang terdiri dari beberapa gabungan spektrum. Spektra FTIR tepung nasi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Spektra FTIR tepung nasi
Sumber : Thakur dkk. (2020)

Spektra FTIR ini dapat dibagi menjadi tiga wilayah utama. Umumnya wilayah radiasi IR terbagi dalam wilayah IR dekat (*near-infrared*) ($1300 - 1400 \text{ cm}^{-1}$), wilayah IR menengah (*mid-infrared*) ($4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$) dan wilayah IR jauh (*far infrared*) ($< 400 \text{ cm}^{-1}$). Umumnya penggunaan wilayah IR menengah digunakan untuk keperluan analisis yang disebabkan karena seluruh molekul senyawa memiliki bilangan absorpsi dan vibrasi pada wilayah ini. Namun, wilayah IR dekat dan jauh juga bisa digunakan untuk memberikan informasi penting mengenai deteksi bahan-bahan tertentu. Umumnya, wilayah $4000 - 1800 \text{ cm}^{-1}$ memiliki pita yang lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah pita di wilayah antara 1800 dan 400 cm^{-1} (Stuart, 2004). Frekuensi penyerapan spektra IR pada sampel tepung nasi disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Frekuensi penyerapan spektral inframerah tepung nasi

Gugus fungsi	Panjang gelombang (cm^{-1})
O-H	3200-3600 (cm^{-1})
C-H	2840-3000 (cm^{-1})
N-H	2360-2380 (cm^{-1})
C=O	1630-1695 (cm^{-1})
C-N	1020-1250 (cm^{-1})

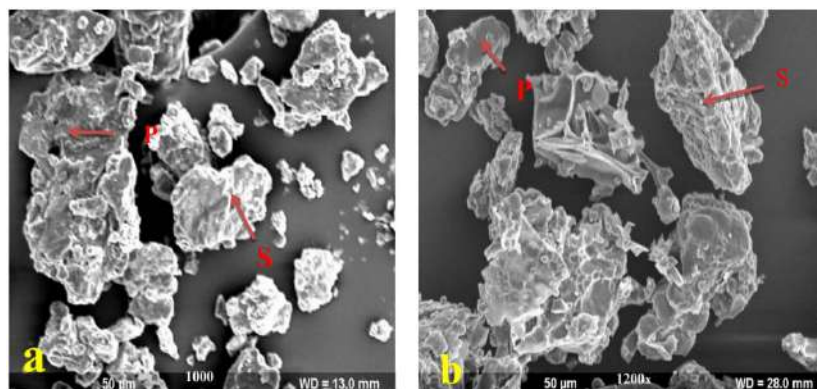
Sumber: Raharja dkk. (2018)

2.6 SEM EDX

SEM (Scanning Electron Microscope) merupakan mikroskop elektron yang umum digunakan dalam analisis material. SEM memiliki keunggulan pada proses persiapan spesimen yang mudah, kemampuan pencitraan yang tajam, dan keserbagunaannya. SEM mampu diaplikasikan pada spesimen yang besar dan juga dapat melakukan evaluasi permukaan. Selain itu, SEM juga dapat digunakan untuk mendapatkan informasi kristalografi, memfasilitasi identifikasi elemen dan zat. (Frost dkk., 2009). Berkat keunggulannya tersebut, SEM dapat diaplikasikan pada pengamatan spesimen yang berkaitan pada bidang mikrobiologi makanan.

Hal ini dapat mempermudah perolehan informasi penting mengenai mikroba dan korelasi mikroba pada permasalahan mengenai produk pangan (Paredes, 2014).

SEM merupakan mikroskop yang memanfaatkan berkas elektron yang digunakan untuk memeriksa dan merekam suatu permukaan spesimen. Berkas elektron akan ditembakkan pada sampel, berkas elektron akan memantul dan menyebar, menghasilkan pola difraksi yang bervariasi tergantung pada bentuk dan dimensi unit struktural sampel (Frost dkk., 2009). Keunggulan SEM dari mikroskop lainnya antara lain SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada mikroskop cahaya, terdapat fungsi yang beragam, dan mampu memberikan informasi penting mengenai permukaan pada berbagai spesimen seperti topografi, kandungan kimia, magnetik, dan elektronik dari suatu sampel (Paredes, 2014). SEM memungkinkan dalam berbagai pengamatan dengan berbagai macam pembesaran. Hasil gambar dari SEM ditampilkan secara 3D yang mudah ditafsirkan. Gambar-gambar yang dihasilkan ini mampu memberikan penjelasan mengenai berbagai komponen yang terdapat dalam setiap spesimen. Hal ini memungkinkan mengetahui adanya perbedaan pada seluruh komponen yang disebabkan oleh adanya penambahan suatu zat maupun kondisi pemrosesan terhadap perubahan struktur (Corradini dan Julian McClements, 2019). Gambar hasil pengamatan SEM pada tepung nasi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil pengamatan SEM pada tepung nasi
Sumber : Thakur dkk., (2020)

Penggunaan SEM umumnya dikombinasi dengan *energy dispersive X-ray* (EDX). EDX umumnya digunakan untuk analisis sampel biologi dan juga makanan. EDX mengukur energi X-ray dan pancarkan ke sampel untuk memberikan analisis semua elemen yang dapat dideteksi secara bersamaan. Analisis SEM EDX mampu mengidentifikasi komposisi kontaminan yang berukuran sangat kecil (< 1 mm) secara cepat. Teknik ini dapat menjaga agar sampel tidak mengalami kerusakan saat pengamatan. Analisa dari EDX akan menghasilkan sebuah spektogram yang memuat informasi mengenai unsur kimia yang terdapat pada sampel (Webb dan Holgate, 2003)

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Analisis Hasil Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, pada bulan Februari 2023 hingga Maret 2023.

3.2 Bahan dan Alat

Alat yang digunakan adalah neraca analitik, *rice cooker*, spektroskopi FTIR (Agilent Cary 630), spektrofotomer UV-Vis single beam (INESA 722G), SEM EDX (ZEISS EVO MA10), *centrifuge*, shaker, mikropipet, pipet tip, oven, *miller*, labu ukur, rak tabung reaksi, sendok, loyang, wadah, saringan, piring, vortex, dan spatula. Bahan yang digunakan adalah beras IR64, minyak sawit merah (Salmira), β -karoten (Sigma Aldrich), aquades, ethanol (Sigma Aldrich) dan n-Heksana (Sigma Aldrich)

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) faktorial 2 faktor dengan 3 kali ulangan. Faktor pertama adalah konsentrasi minyak sawit merah yang terdiri atas 5 taraf yaitu 0% (C0), 1% (C1),

2% (C2), 3% (C3), dan 4% (C4). Faktor kedua adalah cara penambahan minyak sawit merah yang terdiri atas 2 taraf yaitu sebelum pemasakan (P1) dan sesudah pemasakan (P2). Formulasi konsentrasi dan waktu penambahan minyak sawit merah disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Formulasi konsentrasi dan waktu penambahan minyak sawit merah

Berat beras (g)	Konsentrasi MSM (C)	Waktu Penambahan (P)
100	0%	Sebelum pemasakan
		Sesudah pemasakan
100	1%	Sebelum pemasakan
		Sesudah pemasakan
100	2%	Sebelum pemasakan
		Sesudah pemasakan
100	3%	Sebelum pemasakan
		Sesudah pemasakan
100	4%	Sebelum pemasakan
		Sesudah pemasakan

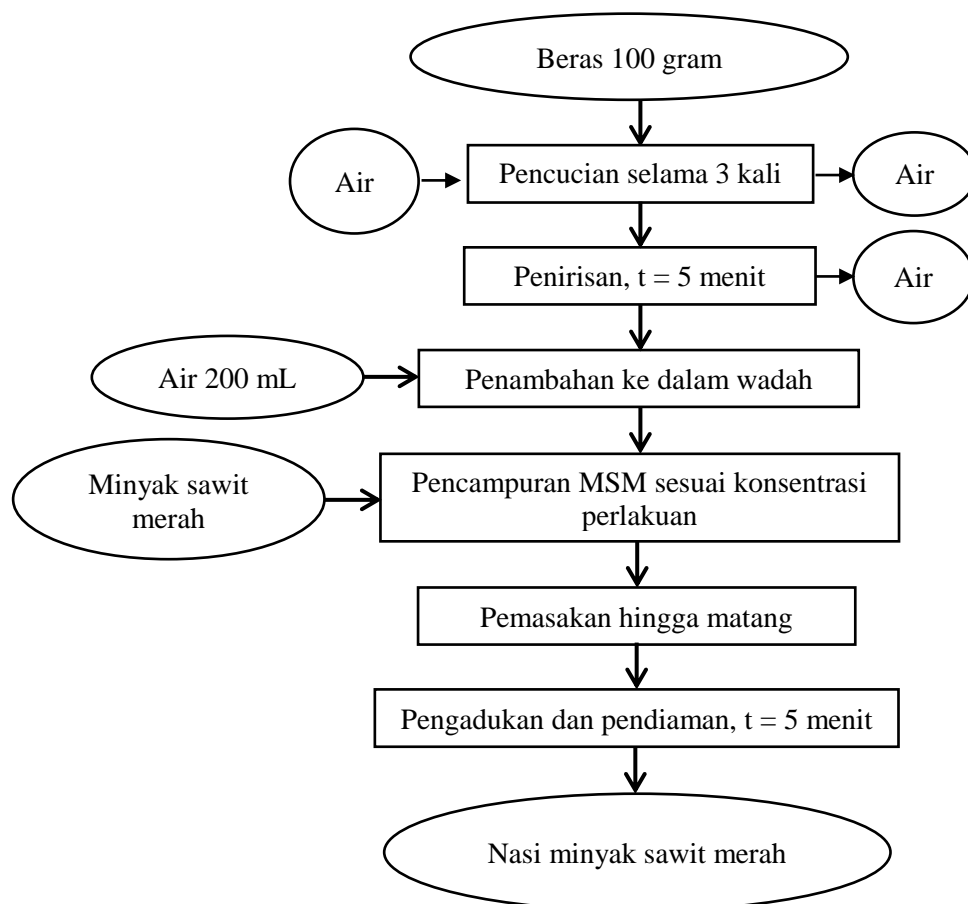
Pengaruh dari setiap faktor dan interaksi antar faktor terhadap parameter dianalisis dengan menggunakan ANOVA (*analysis of varians*). Apabila perlakuan yang diberikan menunjukkan pengaruh terhadap parameter yang diuji, maka dilakukan uji lanjut BNT (Beda Nyata Terkecil) pada taraf 5%. Data yang diperoleh dianalisis statistik menggunakan aplikasi SPSS tipe 26.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Pembuatan nasi dengan penambahan minyak sawit merah sebelum pemasakan

Beras putih varietas IR64 sebanyak 100 gram dicuci bersih tiga kali dengan air mengalir, kemudian ditiriskan selama 5 menit. Setelah itu, ditambahkan air sebanyak 200 mL yang akan digunakan untuk pemasakan. Kemudian,

ditambahkan MSM dengan konsentrasi yang berbeda masing-masing 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4%. Kemudian diaduk hingga rata dan dimasak hingga nasi matang. Sesudah matang dilakukan pengadukan untuk meratakan MSM yang sudah ditambahkan sebelumnya. Diagram alir proses pemasakan nasi dengan penambahan minyak sawit merah sebelum masak dapat dilihat pada Gambar 8.

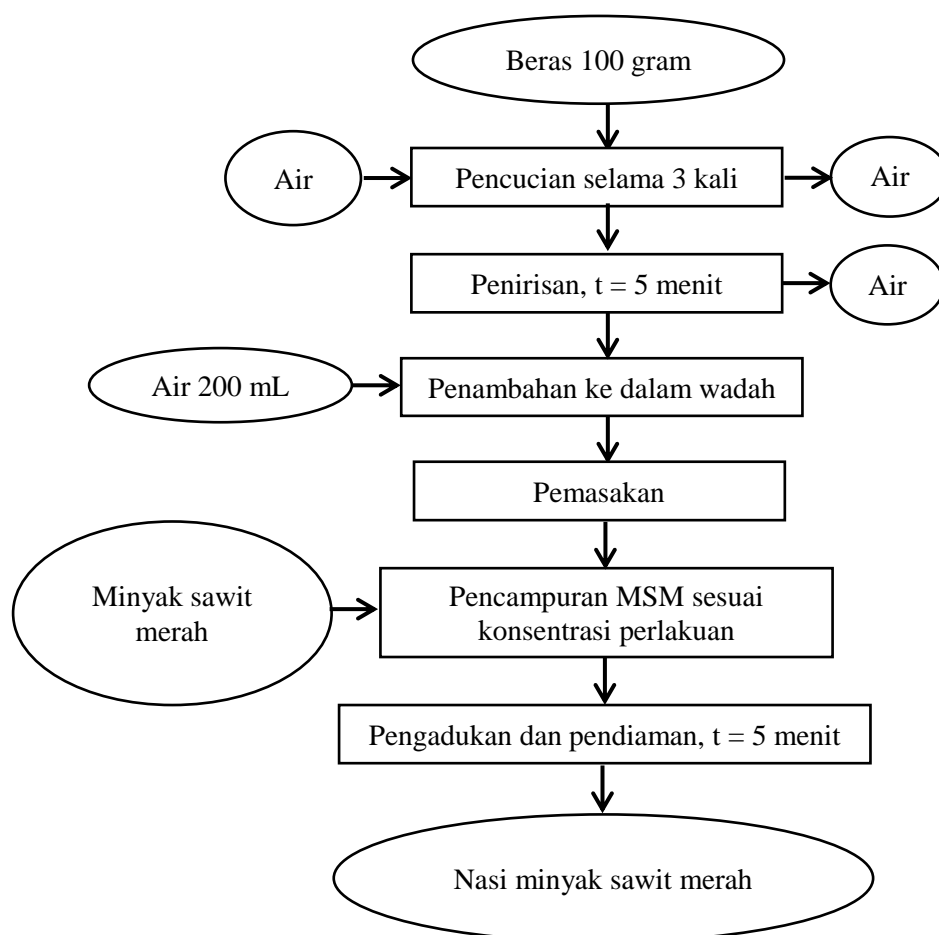


Gambar 8. Diagram alir pembuatan nasi minyak sawit merah (sebelum pemasakan)

3.4.2 Pembuatan nasi dengan penambahan minyak sawit merah sesudah pemasakan

Beras putih varietas IR64 sebanyak 100 gram dicuci bersih tiga kali dengan air mengalir, kemudian ditiriskan selama 5 menit. Setelah itu, ditambahkan air sebanyak 200 mL yang digunakan untuk pemasakan. Kemudian dimasak hingga

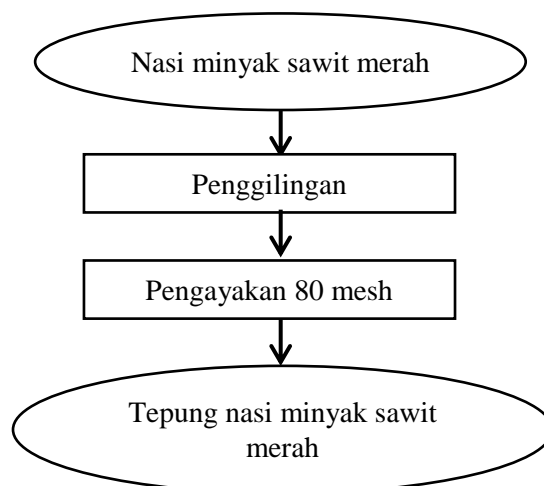
nasi matang. Sesudah matang dilakukan penambahan MSM dengan konsentrasi yang berbeda masing-masing 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4%, dan dilakukan pengadukan untuk meratakan MSM yang sudah ditambahkan. Diagram alir pembuatan tepung nasi minyak sawit merah dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram alir pembuatan nasi minyak sawit merah (sesudah pemasakan)

3.4.3 Pembuatan tepung nasi minyak sawit merah

Tepung nasi dengan penambahan minyak sawit merah digiling dengan *grinder*, kemudian dilakukan pengayakan dengan menggunakan ayakan 80 *mesh*. Diagram alir pembuatan tepung nasi minyak sawit merah dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram alir pembuatan tepung nasi minyak sawit merah

3.5 Pengamatan

Penelitian ini dilakukan dengan pengujian kadar total karotenoid, pengaruh antara pati dengan lipid dengan spektroskopi *fourier-transform infrared*, dan , pengamatan terhadap morfologi struktur pati nasi dengan alat *scanning electron microscope*, pengamatan unsur kimia dengan *energy dispersive x-ray*.

3.5.1 Pengujian kadar total karotenoid

Pengujian kadar total karotenoid dilakukan dengan mengacu pada penelitian Fabrice dkk. (2014) dengan modifikasi. Sampel tepung nasi sebanyak 0,5 g dan dimasukkan ke dalam tabung sentrifugasi, lalu ditambahkan ke dalam tabung yang berisi campuran etanol/heksana (1:1) sebanyak 2 mL, kemudian dihomogenkan dengan vortex selama 30 detik. Sesudah itu, sampel disentrifugasi pada 3000 rpm selama 5 menit, dan fase heksana dipindahkan ke tabung lain. Prosedur ini diulangi sampai terjadi perubahan warna total residu. Volume fase heksana yang diperoleh kemudian dibaca absorbansinya menggunakan spektroskopi UV-Vis pada panjang gelombang 446 nm.

Hasil absorbansi diplotkan terhadap kurva standar β -karoten dengan menggunakan persamaan regresi linier. Hubungan antara konsentrasi β -karoten dinyatakan sumbu x dan besarnya absorbansi hasil reaksi β -karoten dengan pereaksi pelarut dinyatakan sebagai sumbu y. Pembuatan kurva standar β -karoten dibuat dengan larutan induk β -karoten 160 ppm. Selanjutnya, dibuat seri pengenceran 0, 9, 18, 27, 36, 45, dan 54 ppm, lalu dilakukan absorbansi dengan panjang gelombang 446 nm. Rumus persamaan regresi linier adalah sebagai berikut:

$$y = ax + c$$

Keterangan:

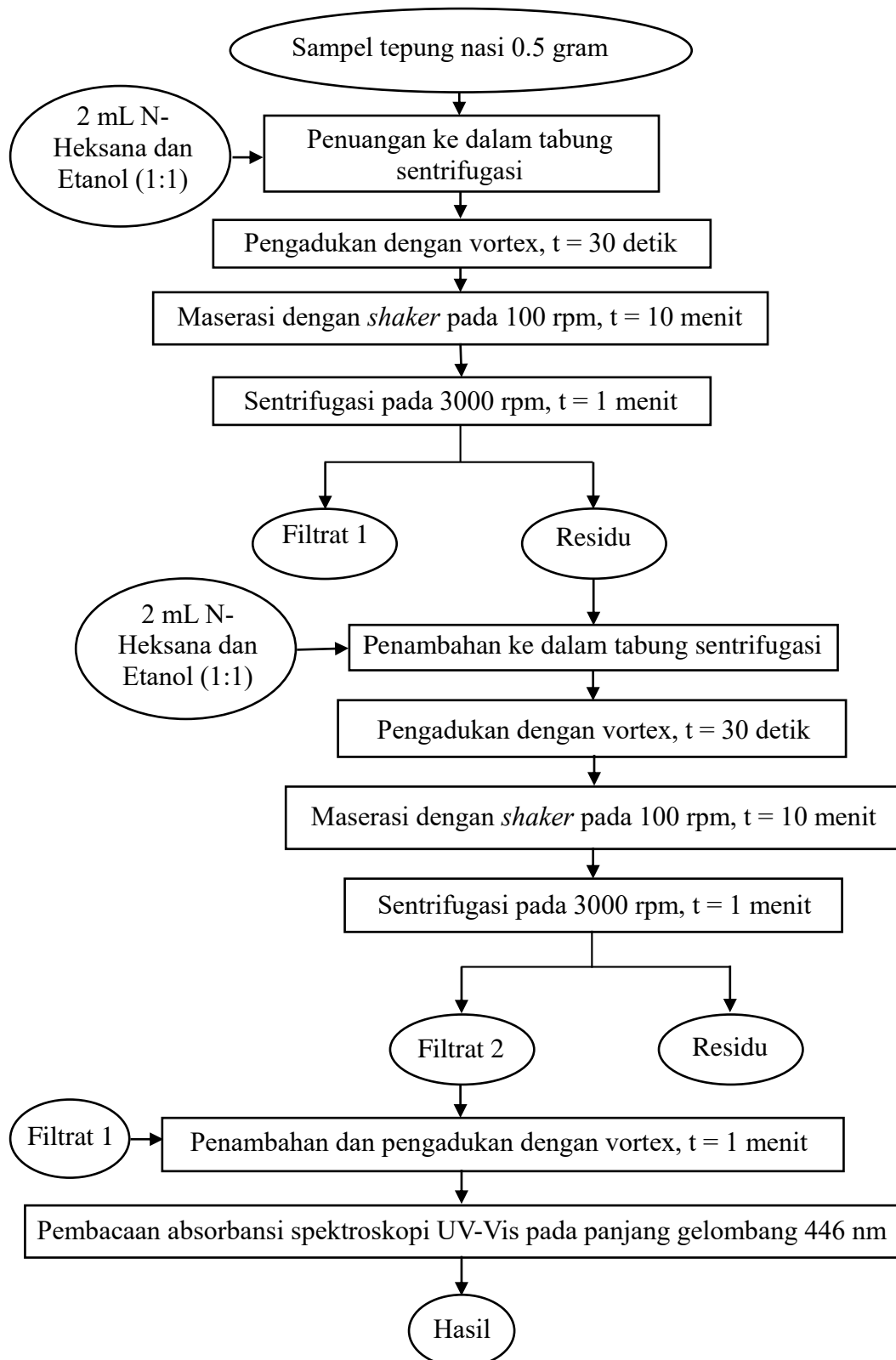
y = Absorbansi sampel

x = Konsentrasi ekuivalen minyak sawit merah

a = Gradien

c = Intersep

Diagram alir pengujian kadar total karotenoid dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir pengujian kadar total karotenoid
 Sumber : Fabrice dkk. (2014) yang dimodifikasi

3.5.2 Pengamatan FTIR

Pengamatan sampel menggunakan FTIR (Agilent Cary 630). Sampel ditempatkan tanpa ditimbang pada permukaan sampel penganalisis. Sampel ditekan pada kristal berlian menggunakan penjepit yang terpasang. Pembacaan spectra dilakukan pada rentang $4000 - 650 \text{ cm}^{-1}$ pada resolusi 4 cm^{-1} .

3.5.3 Pengamatan SEM EDX

Pengamatan struktur pati dilakukan dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM ZEISS EVO MA10). Sampel yang akan dianalisis disiapkan dan direkatkan dalam *specimen holder*. Sampel yang telah dipasang dalam *holder* dibersihkan dengan *hand blower*. Sampel kemudian dimasukkan dalam mesin *coating* untuk dilapisi lapisan tipis berupa *gold-poladium* selama 4 menit. Kemudian sampel dimasukkan ke dalam *specimen chamber*. Pengamatan dan pengambilan gambar pada layar SEM dengan mengatur pembesaran yang diinginkan dan penentuan spot yang akan dianalisis pada layar SEM serta pemotretan pada gambar SEM. Hasil akan diperoleh dalam bentuk gambar permukaan sampel pada SEM dan bentuk grafik atau diagram pada EDX yang menunjukkan persentase unsur-unsur dari sampel yang dianalisa.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan antara lain sebagai berikut

1. Konsentrasi 1%, 2%, 3%, dan 4% MSM yang ditambahkan pada nasi berpengaruh nyata terhadap kadar total karotenoid dan struktur pati nasi.
2. Cara penambahan MSM baik sebelum maupun sesudah pemasakan nasi terdapat pengaruh terhadap kadar total karotenoid dan struktur pati nasi. Penambahan MSM sesudah pemasakan menghasilkan nasi dengan kadar total karotenoid yang lebih tinggi dibandingkan nasi dengan penambahan MSM sebelum pemasakan.
3. Konsentrasi dan cara penambahan MSM pada nasi terdapat interaksi terhadap kadar total karotenoid dan struktur pati nasi. Peningkatan konsentrasi MSM yang ditambahkan pada nasi sesudah pemasakan memiliki kecenderungan dalam peningkatan kadar total karotenoid pada nasi.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh konsentrasi dan cara penambahan MSM terhadap kadar total karotenoid dan struktur pati nasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahuja, G., Jaiswal, S., dan Chibbar, R. N. 2013. *Starch biosynthesis in relation to resistant starch*. Applications and Health Benefits, hlm. 1-22.
- Alcaíno, J., Baeza, M., and Cifuentes, V. 2016. *Carotenoid distribution in nature*. Carotenoids in nature: 3-33.
- Alyas, S.A., Aminah, A., and Nor Aini, I. 2006. Change of β -carotene content during heating of red palm olein. *Journal of Oil Palm Research*, 18: 99-102.
- Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A. L., and O'Mahony, J. A. 2016. Chemistry, structure, functionality and applications of rice starch. *Journal of Cereal Science*, 70: 291–300.
- Ammawath, W., dan Che Man, Y. 2010. A rapid method for determination of commercial β -carotene in RBD palm olein by Fourier transform infrared spectroscopy. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*: 443-452.
- Ashwar, B. A., Gani, A., Wani, I. A., Shah, A., Masoodi, F. A., and Saxena, D. C. 2016. Production of resistant starch from rice by dual autoclaving-retrogradation treatment: Invitro digestibility, thermal and structural characterization. *Food Hydrocolloids*, 56: 108–117.
- Bell, S. E. J., and Xu, Y. 2019. Infrared spectroscopy | Industrial applications. Dalam *Encyclopedia of Analytical Science*: 124–133.
- Budiyanto, Silsia, D., Efendi, Z., dan Janika, R. 2010. Perubahan kandungan β -karoten, asam lemak bebas dan bilangan peroksida minyak sawit merah selama pemanasan. *Jurnal Agritech*, 30(2): 75-7.
- Budiyanto, B., Silsia, D., dan Napitupulu. A. 2019. Alternative fortification vitamin a for lactating mother using siomay sauce enriched with red palm oil. *Agritropica*, 2: 13-25.

- Chumsri, P., Panpipat, W., Cheong, L. Z., and Chaijan, M. 2022. Formation of intermediate amylose rice starch–lipid complex assisted by ultrasonication. *Foods*, 11(16): 2430.
- Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., and Tang, M. C. 2009. Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 23(6): 1527–1534.
- Corke, H. 2015. Grain: Morphology of Internal Structure. *Encyclopedia of Food Grains: Second Edition*, 1-4: 41–50.
- Corradini, M. G., dan Julian McClements, D. 2019. Microscopy | Food applications. *Encyclopedia of Analytical Science*: 47–56
- Delisle, H. 2018. *The nutritional value of red palm oil. In Achieving sustainable cultivation of oil palm Volume 2 Burleigh Dodds*. Science Publishing. UK: 18.
- Dong, S., Xia, H., Wang, F., and Sun, G. 2017. The effect of red palm oil on vitamin a deficiency: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrients*, 9(12): 1281.
- Dolas, K. A., Ranveer, R. C., Tapre, A. R., Nandane, A. S., and Sahoo, A. K. 2020. Effect of starch modification on physicochemical, functional and structural characterization of cassava starch (*Manihot esculenta* Crantz). *Food Research Journal*, 4(4): 1265-1271.
- Evans, A. 2015. Resistant Starch and Health. *Encyclopedia of Food Grains: Second Edition*, 2–4: 230–235.
- Fabrice F. F. D., Ngono N. A., Demasse M. A., Schweigert F., and Gouado I. 2014. Effect of heating and of short exposure to sunlight on carotenoids content of crude palm oil. *Journal of Food Processing and Technology*, 5.
- Flores-Morales, A., Jiménez-Estrada, M., and Mora-Escobedo, R. 2012. Determination of the structural changes by FT-IR, Raman, and CP/MAS ¹³C NMR spectroscopy on retrograded starch of maize tortillas. *Carbohydrate Polymers*, 87(1): 61-68.
- Fратиanni, A., Cinquanta, L., and Panfili, G. 2010. Degradation of carotenoids in orange juice during microwave heating. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie-Food Science and Technology*, 43(6): 867-871.

- Frost, R. L., Palmer S. J., and Spratt, H., 2009. Infrared and near-infrared spectroscopic study of synthetic hydrotalcite on adsorption with variable divalent/trivalent cationic ratios. *Spectrochemistry Acta A: Molecule. Biomolecule Spectros*, 72: 984-988.
- Gee, O. M., Jalil, R. A., Ishak, W. R. W., Hamid, N. A., Aziz, C. B. A., Nik, W. S. W., ... and Hu, F. 2019. Elemental analysis of commercially available rice samples in Malaysia by using ICP-MS and SEM-EDX. *Asian J Agric and Biol*, 7(2): 269-278.
- Goh, K. J., Wong, C. K., dan Ng, P. H. C. 2016. Oil Palm. Dalam *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 3: 382–390).
- Haliza, W., Purwani, E. Y., dan Yuliani, S. 2006. Evaluasi kadar pati tahan cerna (PTC) dan nilai indeks glikemik mi sagu (evaluation of enzymatically resistant starch and glycemic index of sago noodle). *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 17(2): 149–152.
- Harahap, I. S., Wahyuningsih, P., dan Amri, Y. 2020. Analisa kandungan beta karoten pada cpo (crude palm oil) di pusat penelitian kelapa sawit (ppks) medan menggunakan spektrofotometri uv-vis. *Quimica: Jurnal Kimia Sains dan Terapan*, 2(1): 9-13.
- Hasibuan, H. A., Ananta, A., Pratiwi P., Ennisa C. M., dan Bella T. R. 2018. Pembuatan margarin dan baking shortening berbasis minyak sawit merah dan aplikasinya dalam produk bakery. *Agritech*, 38 (4): 353-363.
- Juliano, B. O. 2016. *Rice : Overview*. Encyclopedia of Food Grains. hlm. 125-129.
- Jusman, J., Syamsuddin, S., dan Aisyah, N. 2021. Substitusi red palm oil (RPO) sebagai alternatif pangan fungsional kaya betakarotein. *Rafflesia Journal of Natural and Applied Sciences*, 1(2): 69-76.
- Kacurakova, M., and Wilson, R. H. 2001. Developments in mid-infrared FTIR spectroscopy of selected carbohydrates. *Carbohydrate Polymers*, 44: 291-203.
- Khachik, F., Bertram, J. S., Huang, M. T., Fahey, J. W., and Talalay, P. 1999. *Dietary Carotenoids and Their Metabolites as Potentially Useful Chemoprotective Agents Against Cancer*. In Antioxidant food supplements in human health. Academic Press. hlm. 203-229.

- Kizil, R., Irudayaraj, J., and Seetharaman, K. 2002. Characterization of irradiated starches by using FT-Raman and FTIR spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(14): 3912–3918.
- Kritchevsky, S. B., Bush, A. J., Pahor, M., and Gross, M. D. 2000. Serum carotenoids and markers of inflammation in nonsmokers. *American journal of epidemiology*, 152(11): 1065-1071.
- Lanthong, P., Nuisin, R., and Kiatkamjornwong, S. 2006. Graft copolymerization, characterization, and degradation of cassava starch-g-acrylamide/itaconic acid superabsorbents. *Carbohydrate Polymers*, 66: 229-245.
- Levin, I. W., and Bhargava, R. 2005. Fourier transform infrared vibrational spectroscopic imaging: Integrating microscopy and molecular recognition. *Annual Review of Physical Chemistry*, 56: 429–474.
- Lohr, M., 2009. *Carotenoids*. In: Stern, D.B. (Ed.), *The Chlamydomonas Sourcebook - Volume 2: Organellar and Metabolic Processes*, second ed. Burlington, hlm. 799–818.
- Lu, Z. H., Donner, E., and Liu, Q. 2019. Resistant starches in foods. *Comprehensive Biotechnology*, hlm. 556–568.
- Manorama, K. 2014. Potential use of red palm oil in combating vitamin a deficiency in india. *Indian Journal of Community Health*, 26: 45–53.
- Morcillo, F., Vaissayre, V., Serret, J., Avallone, S., Domonh edo, H., Jacob, F., and Dussert, S. 2021. Natural diversity in the carotene, tocochromanol and fatty acid composition of crude palm oil. *Food Chemistry*, 365.
- Nainggolan, M., and Sinaga, A.G. 2021. Characteristics of fatty acid composition and minor constituents of red palm olein and palm kernel oil combination. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology and Research*, 12, 22 - 26.
- Ngamwonglumlert, L., Devahastin, S., and Chiewchan, N. 2017. Natural colorants: Pigment stability and extraction yield enhancement via utilization of appropriate pretreatment and extraction methods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(15): 3243-3259.
- Nokkaew, R., Punsuvon, V., Inagaki, T., and Tsuchikawa, S. 2019. Determination of carotenoids and dobi content in crude palm oil by spectroscopy techniques: comparison of Raman and FT-NIR spectroscopy. *Journal of Geomate*, 16(55): 92-98.

- Panasar, P. S., and Kaur, S. 2015. Rice: Types and Composition. *Encyclopedia of Food and Health*. hlm. 646–652.
- Pangastuti, H. A., dan Permana, L. 2021. Pengukuran pati resisten tipe 5 secara in vitro pada nasi uduk. *Jurnal Pengolahan Pangan*, 6(2): 42-48.
- Paredes, A. M. 2014. Microscopy: Scanning Electron Microscopy. Dalam *Encyclopedia of Food Microbiology: Second Edition*. hlm. 693–701.
- Perez S., and Bertoft E. 2010. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: a comprehensive review. *Starch/Starke*, 62: 389–420.
- Petibois, C., and Déléris, G. 2006. Chemical mapping of tumor progression by FTIR imaging: towards molecular histopathology. *Trends in Biotechnology*, 24: 455–462.
- Provesi, J. G., and Amante, E. R. 2015. *Carotenoids in pumpkin and impact of processing treatments and storage*. In *Processing and impact on active components in food*. Academic Press, hlm. 71-80.
- Purnama, K. O., Setyaningsih, D., Hambali, E., dan Taniwiryo, D. 2020. Processing, characteristics, and potential application of red palm oil - a review. *International Journal of Oil Palm*, 3(2): 40–55.
- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. 2021. *Buletin Konsumsi Pangan*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. Jakarta, hlm. 9.
- Raharja, S., Suparno, O., Udin, F., Listyaningrum, F. P., dan Nuraisyah, A. 2018. The optimization of rice flour cross-linking with gluten to improve the dough quality of rice flour. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 7: 50-53.
- Rashid, A. S. N. A., Malik, S., Embi, K., Ropi, N. A., Yaakob, H., Cheng, K. K., Sarmidi, M. R., and Leong, H. Y. 2019. Carotenoids and antioxidant activity in virgin palm oil (VPO) produced from palm mesocarp with low heat aqueous-enzyme extraction techniques. *Materials Today: Proceedings*, 42: 148–152.
- Robiyansyah, Zuidar A.S., dan Hidayati, S. 2017. Pemanfaatan minyak sawit merah dalam pembuatan biskuit kacang kaya beta karoten. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian*, 22: 11–20.

- Sari, A. R., Martono, Y., dan Rondonuwu, F. S. 2020. Identifikasi kualitas beras putih (*oryza sativa* L.) Berdasarkan kandungan amilosa dan amilopektin di pasar tradisional dan selean kota salatiga. *Jurnal Ilmiah Multi Sciences*, 12(1): 24–30. Titian Ilmu.
- Sinaga, A. G. S., Siahaan, D., dan Sinaga, K. R. 2018. Potensi minyak sawit merah dan karotenoid sebagai suplemen antioksidan dalam pengujian toleransi glukosa pada tikus putih (Preliminary Study). *Talenta Conference Series: Tropical Medicine (TM)*, 1(1): 251-256.
- Stuart, B. H. 2004. *Infrared spectroscopy: fundamentals and applications*. John Wiley dan Sons. New York, hlm. 45-70.
- Sunani, S. 2023. Indeks glikemik (IG) dan beban glikemik (BG) sebagai faktor resiko diabetes mellitus tipe II pada pangan sumber karbohidrat. *Farmaka*, 21(1): 116-123.
- Susanto, E. T., Ansharulah, dan Rejeki, S. 2018. Pengaruh penambahan minyak sawit dalam proses penanakan nasi pada rice cooker terhadap pembentukan pati resisten 5 untuk penderita diabetes melitus (DM) tipe 2. *Jurnal Sains dan Teknologi Pangan*, 3(4): 1460-1469.
- Thakur, A., Vaidya, D., Kaushal, M., Gupta, A., and Verma, A. 2020. Mineral composition physicochemical properties, FTIR spectra and scanning electron microscopy of rice flour. *Journal Vitamins and minerals*, 9(4): 219-328.
- Wang, S.; Wang, J.; Yu, J. and Wang, S. 2016. Effect of FAs on functional properties of normal wheat and waxy wheat starches: A structural basis. *Food Chem*, 190: 285–292.
- Wani, A. A., Singh, P., Shah, M. A., Wani, I. A., Götz, A., Schott, M., and Zacherl, C. 2013. Physico-chemical, thermal and rheological properties of starches isolated from newly released rice cultivars grown in Indian temperate climates. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie-Food Science and Technology*, 53(1): 176–183.
- Webb, J., and Holgate, J. H. 2003. *Microscopy Scanning Electron Microscopy*. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, hlm. 3922–3928.
- Yulianti, A. Y. 2020. *Kimia beras: biosintesis dan sifat fungsional pati*. Deepublish. Yogyakarta, hlm. 84.