

PANGAN FUNGSIONAL ABON IKAN GABUS UNTUK PENCEGAHAN ANEMIA

Formulasi, Karakterisasi, Nilai Gizi, dan Potensi Kesehatan



Wiqodatul Ummah, S.Tr.Keb., M.Kes
Santy Irene Putri, S.ST., M.PH
Woro Tri Utami, S.SiT., M.Kes

Wiqodatul Ummah, S.Tr.Keb., M.Kes

Santy Irene Putri, S.ST., M.PH

Woro Tri Utami, S.SiT., M.Kes

PANGAN FUNGSIONAL ABON IKAN GABUS UNTUK PENCEGAHAN ANEMIA

Formulasi, Karakterisasi, Nilai Gizi, dan Potensi Kesehatan



Penerbit Forind

PANGAN FUNGSIONAL ABON IKAN GABUS UNTUK PENCEGAHAN ANEMIA

Formulasi, Karakterisasi, Nilai Gizi, dan Potensi Kesehatan

Copyright©:

Wiqodatul Ummah, S.Tr.Keb., M.Kes
Santy Irene Putri, S.ST., M.PH
Woro Tri Utami, S.SiT., M.Kes

ISBN:

Cover & Layout: Tim Forind

Diterbitkan oleh Forind
Jl. Raya Tlogomas 05 No. 24 Tlogomas
Malang Jawa Timur

PANGAN FUNGSIONAL ABON IKAN GABUS

Malang: Forind, 2026

15,5 x 23 cm

xii + 132 hlm

Cetakan Pertama September 2026

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak buku ini sebagian atau seluruhnya, dalam bentuk dan dengan cara apa pun juga, baik secara mekanis maupun elektronik, termasuk fotokopi, rekaman, dan lain-lain tanpa izin tertulis dari penerbit.

PRAKATA PENULIS

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, kasih karunia, dan penyertaan-Nya sehingga monograf yang berjudul "PANGAN FUNGSIONAL ABON IKAN GABUS UNTUK PENCEGAHAN ANEMIA: Formulasi, Karakterisasi, Nilai Gizi, dan Potensi Kesehatan" dapat diselesaikan dengan baik.

Perkembangan ilmu pangan dan gizi telah membawa perubahan paradigma dalam upaya peningkatan kesehatan masyarakat. Pangan tidak lagi dipandang semata-mata sebagai sumber energi dan zat gizi, tetapi juga sebagai media intervensi kesehatan yang mampu memberikan manfaat fisiologis melalui kandungan komponen bioaktif yang dimilikinya. Paradigma tersebut melahirkan konsep pangan fungsional, yaitu pangan yang tidak hanya memenuhi kebutuhan gizi dasar, tetapi juga berkontribusi dalam pencegahan penyakit dan peningkatan kualitas hidup. Dalam konteks tersebut, pemanfaatan sumber daya pangan lokal menjadi salah satu strategi yang sangat relevan untuk menghasilkan inovasi pangan yang bernilai ilmiah, bernilai ekonomi, serta berkelanjutan.

Anemia, khususnya anemia defisiensi besi, hingga kini masih menjadi salah satu tantangan kesehatan masyarakat di berbagai negara, termasuk Indonesia. Dampaknya tidak hanya dirasakan oleh individu yang mengalaminya, tetapi juga memengaruhi kualitas kesehatan ibu dan anak, produktivitas masyarakat, serta pembangunan sumber daya manusia secara berkelanjutan. Selama ini, intervensi anemia lebih banyak berfokus pada suplementasi zat besi. Namun, perkembangan ilmu gizi modern menunjukkan bahwa keberhasilan pembentukan hemoglobin memerlukan sinergi berbagai zat gizi dan komponen bioaktif yang lebih efektif apabila diperoleh melalui pangan yang dirancang secara ilmiah.

Buku ini disusun sebagai bentuk kontribusi akademik dalam pengembangan pangan fungsional berbasis *Food-to-Food Fortification*, yaitu pendekatan fortifikasi yang memanfaatkan kombinasi bahan pangan alami untuk meningkatkan kualitas gizi dan efektivitas biologis suatu produk. Inovasi yang dikembangkan dalam buku ini memanfaatkan ikan gabus (*Channa striata*) sebagai sumber protein hewani berkualitas tinggi yang dipadukan dengan daun ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas*) dan daun kangkung (*Ipomoea aquatica*) sebagai sumber *mikronutrien* dan senyawa bioaktif. Kombinasi ketiga bahan tersebut diharapkan mampu menghasilkan produk pangan yang tidak hanya memiliki karakteristik mutu yang baik, tetapi juga berpotensi mendukung pembentukan hemoglobin dan menjadi alternatif pangan fungsional dalam pencegahan anemia.

Berbeda dengan publikasi ilmiah yang umumnya hanya menyajikan hasil penelitian secara parsial, buku ini mengintegrasikan berbagai aspek secara komprehensif, mulai dari konsep dasar anemia, perkembangan paradigma intervensi gizi, landasan ilmiah pangan fungsional, konsep *food matrix*, *bioavailabilitas*, dan *bioefikasi*, hingga pembahasan mengenai biodiversitas pangan lokal sebagai dasar pengembangan inovasi produk. Selain itu, buku ini juga menguraikan karakteristik biologis ikan gabus dan sayuran *fortifikan*, proses formulasi produk, teknologi pengolahan, karakterisasi fisik, kimia, mikrobiologi, dan sensoris, serta kajian mengenai potensi biologis dan implikasi klinis produk dalam mendukung pencegahan anemia. Pembahasan diakhiri dengan peluang *hilirisasi*, komersialisasi, serta arah pengembangan pangan fungsional berbasis sumber daya lokal di masa mendatang.

Penulis berharap buku ini dapat menjadi referensi ilmiah bagi dosen, peneliti, mahasiswa, praktisi teknologi pangan, ahli gizi, tenaga kesehatan, pelaku industri pangan, maupun para pengambil kebijakan yang memiliki perhatian terhadap pengembangan pangan

fungsional berbasis biodiversitas Indonesia. Selain itu, buku ini diharapkan mampu memperkaya keilmuan mengenai pemanfaatan sumber daya pangan lokal sebagai bagian dari strategi peningkatan status gizi, diversifikasi pangan, ketahanan pangan, dan pembangunan kesehatan masyarakat yang berkelanjutan.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki berbagai keterbatasan. Oleh karena itu, kritik, saran, dan masukan yang bersifat membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ini pada edisi-edisi berikutnya. Semoga buku ini tidak hanya menjadi sumber informasi ilmiah, tetapi juga dapat menginspirasi lahirnya berbagai penelitian, inovasi produk, dan kolaborasi *multidisiplin* dalam pengembangan pangan fungsional Indonesia yang berdaya saing global.

Akhir kata, penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, selama proses penelitian dan penyusunan buku ini. Semoga karya sederhana ini memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, kemajuan teknologi pangan, serta peningkatan kualitas kesehatan masyarakat Indonesia.

Malang, September 2026

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA PENULIS	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi

BAGIAN I. PENDAHULUAN

1

1.1	Anemia sebagai Tantangan Kesehatan Global	1
1.2	Pergeseran Paradigma Intervensi Gizi	4
1.3	<i>Food-to-Food Fortification</i> sebagai Pendekatan Baru dalam Pencegahan Anemia	8
1.4	Potensi Biodiversitas Pangan Lokal sebagai Dasar Pengembangan Pangan Fungsional	12
1.5	Tujuan dan Ruang Lingkup Buku	15

BAGIAN 2. LANDASAN ILMIAH PENGEMBANGAN PANGAN

FUNGSIONAL BERBASIS *FOOD-TO-FOOD FORTIFICATION*....

19

2.1	Evolusi Konsep Pangan Fungsional	19
2.2	<i>Food Matrix</i> dan Bioavailabilitas Zat Gizi	21
2.3	<i>Food-to-Food Fortification</i> : Konsep, Mekanisme, dan Aplikasi dalam Pengembangan Pangan Fungsional	25
2.4	Bioefikasi sebagai Indikator Keberhasilan Pangan Fungsional	29
2.5	Kerangka Konseptual Pengembangan Pangan Fungsional Berbasis Abon Ikan Gabus	33
2.6	Tantangan dan Prospek Pengembangan Pangan Fungsional Berbasis Biodiversitas Lokal	37

BAGIAN 3. TEKNOLOGI PENGEMBANGAN ABON IKAN GABUS

SEBAGAI PANGAN FUNGSIONAL	41
3.1 Konsep Pengembangan Produk Pangan Fungsional	41
3.2 Pengembangan Produk Abon Ikan Gabus sebagai Pangan Fungsional	44
3.3 <i>Fortified Snakehead Functional Food Development</i> <i>Model</i>	48
3.4 Teknologi Pengolahan Abon Ikan Gabus sebagai Matriks Pangan Fungsionaln	52
3.5 Prinsip Formulasi Abon Ikan Gabus sebagai Pangan Fungsional	56
3.6 Strategi Optimasi Formulasi Produk	58
3.7 Pengendalian Mutu dalam Pengembangan Abon Ikan Gabus sebagai Pangan Fungsional	59
BAGIAN 4. DASAR ILMIAH PEMILIHAN IKAN GABUS (<i>CHANNA</i> <i>STRIATA</i>) SEBAGAI BAHAN BAKU PANGAN FUNGSIONAL	63
4.1 Ikan Gabus dalam Perspektif Ilmu Pangan dan Gizi	63
4.2 Karakteristik Biologis dan Potensi Akuakultur Ikan Gabus	65
4.3 Komposisi Nutrisi dan Senyawa Bioaktif Ikan Gabus (<i>Channa striata</i>)	67
4.4 Protein, Albumin, dan Asam Amino Esensial Ikan Gabus sebagai Komponen Fungsional	71
4.5 Mekanisme Protein Ikan Gabus dalam Mendukung Eritropoiesis dan Pembentukan Hemoglobin	75
4.6 Ikan Gabus sebagai Matriks Ideal untuk <i>Food-to-Food</i> <i>Fortifi-cation</i>	79

BAGIAN 5. SAYURAN INDIGENOUS SEBAGAI SUMBER

MIKRONUTRIEN DAN SENYAWA BIOAKTIF DALAM FOOD-TO-FOOD FORTIFICATION 83

- 5.1 Sayuran Indigenous dalam Perspektif Pangan Fungsional..... 83
- 5.2 Daun Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas*) sebagai Sumber Mikronutrien dan Senyawa Bioaktif..... 87
- 5.3 Kangkung (*Ipomoea aquatica*) sebagai Bahan Fortifikasi Alami untuk Mendukung Hematopoiesis 91
- 5.4 Sinergi Nutrisi antara Ikan Gabus dan Sayuran Indigenous dalam Pendekatan *Food-to-Food Fortification*..... 95
- 5.5 Dasar Ilmiah Pemilihan Daun Ubi Jalar Ungu dan Kangkung pada Pengembangan Abon Ikan Gabus..... 101

BAGIAN 6. FORMULASI, KARAKTERISASI, DAN EVALUASI BIOEFIKASI ABON IKAN GABUS SEBAGAI PANGAN

- FUNGSIONAL 105**
- 6.1 Konsep Pengembangan Formulasi Produk 105
 - 6.2 Pendekatan *Scientific Formulation* dalam Pengembangan Abon Ikan Gabus Berbasis *Food-to-Food Fortification* 108
 - 6.3 Formulasi Produk Abon Ikan Gabus Berbasis *Food-to-Food Fortification* 112
 - 6.4 Karakterisasi Kimia Produk Abon Ikan Gabus sebagai Pangan Fungsional 114
 - 6.5 Interpretasi Nutrisi Berdasarkan Konsep *Food-to-Food Fortification*..... 118
 - 6.6 Karakteristik Sensoris sebagai Indikator Keberhasilan Pengembangan Produk 119
 - 6.7 Konsep Evaluasi Bioefikasi Pangan Fungsional 120

6.8	Model Integratif Pengembangan Abon Ikan Gabus sebagai Pangan Fungsional	122
BAGIAN 7. ARAH PENGEMBANGAN PANGAN FUNGSIONAL BERBASIS ABON IKAN GABUS		
		124
7.1	Tantangan Pengembangan Pangan Fungsional di Indonesia	124
7.2	Peluang Pengembangan Abon Ikan Gabus sebagai Pangan Fungsional	125
7.3	Implikasi terhadap Penelitian dan Kebijakan.....	125
Daftar Pustaka		127
Biografi Penulis		130
Sintesis Akhir Buku		131

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Komponen Nutrisi dan Relevansi Fisiologis Ikan Gabus dalam Pengembangan Pangan Fungsional	70
Tabel 4.2. Peran Protein, Albumin, dan Asam Amino Ikan Gabus dalam Pengembangan Pangan Fungsional Bogor.....	74
Tabel 5.1. Komponen Bioaktif Daun Ubi Jalar Ungu dan Relevansinya terhadap Pangan Fungsional	90
Tabel 5.2. Komponen Nutrisi dan Senyawa Bioaktif Kangkung serta Relevansinya terhadap Hematopoiesis	95
Tabel 5.3. Mekanisme Sinergi Nutrisi dalam Pendekatan <i>Food-to-Food Fortification</i> r	99
Tabel 5.4. Dasar Ilmiah Pemilihan Bahan Fortifikasi pada Pengembangan Abon Ikan Gabus	103
Tabel 6.1. Prinsip <i>Scientific Formulation</i> dalam Pengembangan Abon Ikan Gabus.....	111
Tabel 6.2. Komposisi Formulasi Produk.....	113
Tabel 6.3. Kandungan Protein Dua Formulasi Abon Ikan Gabus.....	103
Tabel 6.4. Kandungan Zat Besi pada Dua Formulasi Abon Ikan Gabus.....	117

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kerangka Konseptual Pengembangan Pangan Fungsional Berbasis Abon Ikan Gabus.....	36
Gambar 3.1. <i>Fortified Snakehead Functional Food Development Model</i>	47
Gambar 3.2. Alur Teknologi Pengolahan Abon Ikan Gabus sebagai Pangan Fungsional	55
Gambar 4.1. Ikan Gabus (<i>Channa Striata</i>).....	66
Gambar 5.1. Daun Ubi Jalar Ungu	90
Gambar 5.2. Daun Kangkung	94
Gambar 5.3. Konsep Sinergi Nutrisi dalam 7z.....	100
Gambar 6.1. Abon Ikan Gabus (<i>Channa Striata</i>).....	114

Wiqodatul Ummah, S.Tr.Keb., M.Kes
Santy Irene Putri, S.ST., M.PH
Woro Tri Utami, S.SiT., M.Kes

**PANGAN FUNGSIONAL ABON IKAN GABUS UNTUK
PENCEGAHAN ANEMIA**

Formulasi, Karakterisasi, Nilai Gizi, dan Potensi Kesehatan

PENDAHULUAN

1.1 Anemia sebagai Tantangan Kesehatan Global

Anemia masih menjadi salah satu permasalahan kesehatan masyarakat yang paling kompleks di dunia karena memengaruhi berbagai kelompok usia, terutama perempuan usia reproduktif, ibu hamil, bayi, dan anak-anak. Organisasi Kesehatan Dunia (*World Health Organization/WHO*) mendefinisikan anemia sebagai suatu kondisi ketika kadar hemoglobin (Hb) dalam darah berada di bawah nilai normal sehingga kapasitas darah dalam mengangkut oksigen menuju jaringan tubuh menjadi berkurang. Pada ibu hamil, anemia umumnya ditetapkan apabila kadar hemoglobin kurang dari 11,0 g/dL pada trimester pertama dan ketiga atau kurang dari 10,5 g/dL pada trimester kedua. Kondisi tersebut merupakan salah satu indikator penting status gizi sekaligus kualitas kesehatan maternal karena berhubungan langsung dengan fungsi fisiologis selama kehamilan (World Health Organization, 2024).

Secara global, anemia masih menjadi beban kesehatan yang sangat besar. Estimasi WHO menunjukkan bahwa lebih dari sepertiga ibu hamil di dunia mengalami anemia, dengan prevalensi tertinggi ditemukan di negara-negara berpendapatan rendah dan menengah (World Health Organization, 2023). Tingginya angka kejadian tersebut menunjukkan bahwa anemia bukan hanya merupakan masalah klinis individual, tetapi juga merupakan persoalan pembangunan kesehatan yang berkaitan erat dengan ketahanan pangan, kualitas konsumsi masyarakat, kemiskinan, akses terhadap pelayanan kesehatan,

pendidikan, dan ketimpangan sosial. Oleh karena itu, penanggulangan anemia telah menjadi salah satu prioritas dalam berbagai agenda kesehatan global, termasuk *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya tujuan untuk meningkatkan kesehatan ibu dan mengurangi angka kematian maternal.

Selama kehamilan terjadi berbagai perubahan fisiologis yang menyebabkan kebutuhan zat gizi meningkat secara signifikan. Peningkatan volume plasma darah sekitar 40–50% menyebabkan terjadinya hemodilusi fisiologis sehingga kebutuhan hemoglobin meningkat untuk memenuhi kebutuhan oksigen ibu maupun janin. Selain itu, perkembangan plasenta, pertumbuhan jaringan maternal, serta pembentukan eritrosit baru memerlukan ketersediaan zat besi, protein, folat, vitamin B₁₂, vitamin A, vitamin C, dan berbagai mikronutrien lainnya dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan sebelum kehamilan. Apabila peningkatan kebutuhan tersebut tidak diimbangi dengan asupan zat gizi yang memadai, maka cadangan besi tubuh akan semakin menurun dan berujung pada terjadinya anemia defisiensi besi (Balarajan, 2011).

Di antara berbagai penyebab anemia pada ibu hamil, defisiensi besi masih menjadi penyebab utama yang diperkirakan mencapai lebih dari setengah seluruh kasus anemia di dunia. Namun demikian, perkembangan ilmu gizi menunjukkan bahwa pembentukan hemoglobin tidak hanya dipengaruhi oleh kecukupan zat besi semata. Sintesis hemoglobin merupakan proses biologis yang melibatkan interaksi kompleks antara protein berkualitas tinggi, asam amino esensial, vitamin, mineral, dan berbagai senyawa bioaktif yang mendukung proses eritropoiesis. Oleh karena itu, pendekatan intervensi yang hanya berfokus pada suplementasi zat besi sering kali belum mampu memberikan hasil yang optimal apabila tidak disertai dengan perbaikan kualitas konsumsi pangan secara menyeluruh (Stevens, 2022).

Dampak anemia selama kehamilan sangat luas, baik terhadap kesehatan ibu maupun janin. Pada ibu, anemia meningkatkan risiko kelelahan kronis, penurunan kapasitas kerja, gangguan sistem imun, infeksi, perdarahan postpartum, hingga kematian maternal (World Health Organization, 2021). Sementara itu, pada janin, anemia maternal berhubungan dengan meningkatnya risiko kelahiran prematur, bayi berat lahir rendah, gangguan pertumbuhan intrauterin, serta penurunan perkembangan kognitif anak pada masa awal kehidupan. Berbagai penelitian juga menunjukkan bahwa anemia selama kehamilan berkontribusi terhadap terjadinya *intergenerational cycle of malnutrition*, yaitu siklus kekurangan gizi yang berulang dari ibu kepada anak dan berpotensi memengaruhi kualitas sumber daya manusia pada generasi berikutnya.

Di Indonesia, anemia pada ibu hamil masih menjadi tantangan kesehatan masyarakat yang memerlukan perhatian serius. Meskipun berbagai program nasional telah dilaksanakan, seperti pemberian tablet tambah darah, edukasi gizi, pelayanan antenatal terpadu, serta penguatan program kesehatan ibu dan anak, prevalensi anemia masih relatif tinggi di berbagai wilayah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa intervensi berbasis suplementasi belum sepenuhnya mampu menjawab kompleksitas penyebab anemia, terutama yang berkaitan dengan pola konsumsi pangan sehari-hari, rendahnya keragaman pangan, keterbatasan akses terhadap sumber protein hewani, serta rendahnya pemanfaatan pangan lokal yang sebenarnya memiliki nilai gizi tinggi.

Dalam beberapa tahun terakhir, paradigma penanggulangan anemia mulai bergeser dari pendekatan kuratif menuju pendekatan promotif dan preventif berbasis pangan (*food-based intervention*). Pendekatan ini menempatkan pangan bukan hanya sebagai sumber energi dan zat gizi, tetapi juga sebagai media intervensi kesehatan yang mampu memberikan manfaat fisiologis melalui kombinasi

berbagai komponen bioaktif yang terdapat secara alami dalam bahan pangan. Konsep tersebut kemudian berkembang menjadi dasar pengembangan pangan fungsional (*functional foods*), yaitu pangan yang selain memenuhi kebutuhan gizi dasar juga mampu memberikan manfaat kesehatan spesifik apabila dikonsumsi secara teratur sebagai bagian dari pola makan sehari-hari.

Dalam konteks tersebut, pengembangan pangan fungsional berbasis sumber daya lokal menjadi salah satu strategi yang semakin memperoleh perhatian dalam bidang ilmu pangan dan gizi. Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang sangat besar, termasuk berbagai sumber protein hewani dan sayuran lokal yang kaya zat gizi serta senyawa bioaktif. Pemanfaatan bahan pangan lokal sebagai dasar pengembangan produk pangan fungsional tidak hanya mendukung upaya diversifikasi pangan nasional, tetapi juga berpotensi menghasilkan intervensi gizi yang lebih berkelanjutan, mudah diterima masyarakat, serta memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Oleh karena itu, pengembangan produk pangan berbasis ikan gabus (*Channa striata*) yang dipadukan dengan fortifikasi sayuran lokal melalui pendekatan *food-to-food fortification* merupakan salah satu inovasi yang memiliki prospek besar dalam mendukung upaya pencegahan anemia, khususnya pada kelompok ibu hamil yang merupakan populasi dengan kebutuhan zat gizi yang sangat tinggi.

1.2 Pergeseran Paradigma Intervensi Gizi

Selama lebih dari tiga dekade terakhir, strategi utama dalam pencegahan dan penanggulangan anemia pada ibu hamil di berbagai negara masih didominasi oleh pendekatan suplementasi zat besi dan asam folat (*iron and folic acid supplementation*). Pendekatan ini dikembangkan berdasarkan tingginya proporsi anemia defisiensi besi pada perempuan usia reproduktif dan ibu hamil serta telah direkomendasikan sebagai bagian dari pelayanan antenatal oleh

berbagai organisasi kesehatan internasional. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) merekomendasikan pemberian suplementasi harian yang mengandung 30–60 mg zat besi elemental dan 400 µg asam folat selama kehamilan untuk menurunkan risiko anemia maternal, bayi berat lahir rendah, serta persalinan prematur.

Meskipun efektivitas suplementasi zat besi telah dibuktikan melalui berbagai penelitian klinis, implementasinya di lapangan masih menghadapi tantangan yang cukup besar. Berbagai laporan menunjukkan bahwa tingkat kepatuhan konsumsi tablet tambah darah pada ibu hamil masih relatif rendah, terutama di negara-negara berkembang. Rendahnya kepatuhan tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti efek samping gastrointestinal berupa mual, muntah, konstipasi, nyeri ulu hati, rasa logam di mulut, hingga ketidaknyamanan selama kehamilan. Selain itu, faktor sosial, budaya, tingkat pendidikan, akses pelayanan kesehatan, serta persepsi masyarakat terhadap suplementasi juga berkontribusi terhadap rendahnya keberhasilan program pencegahan anemia berbasis tablet tambah darah.

Perkembangan ilmu gizi modern menunjukkan bahwa pembentukan hemoglobin merupakan proses biologis yang jauh lebih kompleks dibandingkan sekadar pemenuhan kebutuhan zat besi. Sintesis eritrosit memerlukan interaksi berbagai zat gizi makro maupun mikro, termasuk protein berkualitas tinggi, asam amino esensial, folat, vitamin B₁₂, vitamin C, vitamin A, tembaga, seng, dan berbagai mineral lainnya. Protein berfungsi sebagai penyusun utama rantai globin, sedangkan vitamin C berperan meningkatkan absorpsi zat besi *non-heme* di usus halus. Folat dan vitamin B₁₂ diperlukan dalam sintesis DNA selama proses pembentukan eritrosit baru, sementara berbagai senyawa bioaktif dari bahan pangan berkontribusi terhadap perlindungan sel darah merah melalui mekanisme antioksidan. Oleh karena itu, efektivitas intervensi gizi tidak hanya ditentukan oleh

jumlah zat besi yang dikonsumsi, tetapi juga oleh kualitas matriks pangan yang membawa zat gizi tersebut serta interaksi antarkomponen di dalamnya.

Konsep mengenai *food matrix* menjadi salah satu perkembangan penting dalam ilmu pangan dan gizi. *Food matrix* menjelaskan bahwa manfaat biologis suatu pangan tidak hanya ditentukan oleh kandungan zat gizi tunggal, melainkan oleh struktur fisik, komposisi kimia, serta interaksi antarkomponen pangan yang memengaruhi proses pencernaan, absorpsi, metabolisme, dan pemanfaatan zat gizi di dalam tubuh (Talsma, 2021). Dengan demikian, dua bahan pangan yang memiliki kandungan zat besi yang sama belum tentu memberikan respons fisiologis yang sama karena dipengaruhi oleh perbedaan bioavailabilitas, keberadaan senyawa penghambat (inhibitor) maupun senyawa pendukung (*enhancer*) absorpsi zat besi. Paradigma ini menggeser cara pandang terhadap intervensi gizi, dari sekadar meningkatkan asupan zat gizi tertentu menjadi mengoptimalkan keseluruhan kualitas pangan yang dikonsumsi.

Sejalan dengan perkembangan tersebut, perhatian para peneliti mulai beralih menuju pendekatan *food-based intervention*, yaitu strategi peningkatan status gizi melalui pemanfaatan pangan sehari-hari yang dirancang secara ilmiah untuk memberikan manfaat fisiologis tertentu. Pendekatan ini menempatkan pangan sebagai media intervensi kesehatan yang mampu menyediakan berbagai zat gizi dan senyawa bioaktif secara simultan dalam satu matriks pangan. Dibandingkan suplementasi tunggal, intervensi berbasis pangan dinilai lebih sesuai dengan pola konsumsi masyarakat, memiliki tingkat penerimaan yang lebih tinggi, serta berpotensi memberikan efek jangka panjang karena dapat diintegrasikan ke dalam kebiasaan makan sehari-hari. Bahkan, WHO menyatakan bahwa strategi berbasis pangan merupakan komponen penting dalam upaya pencegahan anemia, terutama di wilayah yang masih menghadapi

keterbatasan akses terhadap suplementasi atau rendahnya kepatuhan konsumsi tablet tambah darah.

Pendekatan berbasis pangan juga selaras dengan konsep pembangunan sistem pangan berkelanjutan (*sustainable food systems*) yang saat ini menjadi perhatian global. Sistem pangan tidak lagi hanya dinilai dari kemampuannya menyediakan energi, tetapi juga dari kontribusinya terhadap peningkatan status gizi masyarakat, keberlanjutan lingkungan, pemberdayaan ekonomi lokal, serta pemanfaatan keanekaragaman hayati. Dalam konteks Indonesia, pendekatan ini memiliki relevansi yang sangat tinggi karena negara ini memiliki kekayaan sumber daya pangan lokal yang berlimpah, baik berupa sumber protein hewani maupun sayuran hijau yang kaya vitamin, mineral, dan senyawa bioaktif. Pemanfaatan bahan pangan lokal sebagai dasar pengembangan intervensi gizi tidak hanya berpotensi meningkatkan kualitas konsumsi masyarakat, tetapi juga memperkuat ketahanan pangan nasional dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku impor.

Dengan berkembangnya paradigma tersebut, penelitian mengenai pangan fungsional tidak lagi hanya berorientasi pada peningkatan kandungan zat gizi suatu produk, tetapi juga pada kemampuan produk tersebut dalam memberikan manfaat biologis yang nyata bagi kesehatan (Martirosyan, 2022). Oleh karena itu, pengembangan produk pangan yang mengombinasikan sumber protein hewani berkualitas tinggi dengan sumber mikronutrien nabati melalui pendekatan ilmiah menjadi salah satu arah penelitian yang berkembang pesat dalam bidang ilmu pangan dan gizi. Pendekatan inilah yang kemudian melandasi munculnya konsep *food-to-food fortification*, yaitu strategi fortifikasi yang memanfaatkan sinergi berbagai bahan pangan alami untuk meningkatkan kualitas gizi sekaligus efektivitas biologis suatu produk pangan. Konsep tersebut akan dibahas secara lebih mendalam pada subbab berikutnya sebagai landasan pengem-

bangun pangan fungsional berbasis abon ikan gabus dalam buku ini.

1.3 Food-to-Food Fortification sebagai Pendekatan Baru dalam Pencegahan Anemia

Perkembangan ilmu pangan dan gizi dalam dua dekade terakhir menunjukkan adanya perubahan paradigma dari pendekatan suplementasi zat gizi tunggal menuju pendekatan berbasis pangan (*food-based approach*) yang lebih komprehensif dan berkelanjutan. Pergeseran paradigma tersebut didorong oleh semakin banyaknya bukti ilmiah yang menunjukkan bahwa manfaat kesehatan suatu pangan tidak hanya ditentukan oleh kandungan zat gizi individual, tetapi juga oleh interaksi kompleks antara berbagai komponen bioaktif yang terdapat secara alami dalam matriks pangan (*food matrix*). Kondisi ini melahirkan berbagai inovasi dalam pengembangan pangan fungsional, salah satunya melalui konsep *Food-to-Food Fortification*, yaitu strategi fortifikasi yang memanfaatkan kombinasi dua atau lebih bahan pangan alami untuk meningkatkan nilai gizi sekaligus efektivitas biologis suatu produk tanpa bergantung pada *fortifikan sintetis*.

Berbeda dengan fortifikasi pangan konvensional yang umumnya dilakukan melalui penambahan vitamin atau mineral sintetis, *Food-to-Food Fortification* memanfaatkan keunggulan nutrisi dari berbagai bahan pangan lokal yang saling melengkapi. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kandungan zat gizi tertentu, tetapi juga mempertahankan keberadaan berbagai senyawa bioaktif alami seperti vitamin, mineral, asam amino esensial, serat pangan, pigmen alami, flavonoid, polifenol, karotenoid, klorofil, dan antioksidan yang bekerja secara sinergis dalam mendukung fungsi fisiologis tubuh. Dengan demikian, fortifikasi berbasis pangan alami dipandang lebih sesuai dengan konsep *whole food nutrition*, yaitu pemanfaatan

pangan secara utuh untuk memperoleh manfaat kesehatan yang optimal.

Salah satu keunggulan utama pendekatan *Food-to-Food Fortification* adalah kemampuannya meningkatkan bioavailabilitas zat gizi. Dalam konteks anemia, peningkatan kadar hemoglobin tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah zat besi yang dikonsumsi, tetapi juga oleh kemampuan tubuh dalam menyerap, mentranspor, dan memanfaatkan zat besi tersebut selama proses eritropoiesis. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa keberadaan protein hewani berkualitas tinggi dapat meningkatkan pemanfaatan zat besi melalui penyediaan asam amino esensial sebagai bahan pembentuk globin sekaligus meningkatkan absorpsi zat besi *non-heme* dari bahan pangan nabati. Sebaliknya, berbagai komponen bioaktif yang terdapat pada sayuran hijau, seperti vitamin C, folat, karotenoid, dan senyawa fenolik, berperan sebagai *enhancer* yang meningkatkan ketersediaan hayati zat besi dalam saluran pencernaan. Oleh karena itu, kombinasi sumber protein hewani dan sayuran hijau dalam satu produk pangan berpotensi menghasilkan efek biologis yang lebih besar dibandingkan apabila kedua bahan tersebut dikonsumsi secara terpisah.

Pendekatan *Food-to-Food Fortification* juga memiliki keunggulan dari aspek keberlanjutan (*sustainability*). Pemanfaatan bahan pangan lokal sebagai sumber fortifikasi mendukung diversifikasi pangan, mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku impor, serta memperkuat ketahanan pangan nasional. Selain itu, strategi ini memberikan nilai tambah terhadap komoditas lokal yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal sebagai bahan baku pangan fungsional. Dalam konteks pembangunan kesehatan masyarakat, pendekatan tersebut sejalan dengan berbagai kebijakan global yang menekankan pentingnya pemanfaatan sumber daya lokal untuk meningkatkan kualitas gizi masyarakat melalui sistem pangan yang berkelanjutan (*sustainable food systems*).

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat biodiversitas pangan tertinggi di dunia. Berbagai jenis ikan air tawar, sayuran hijau, umbi-umbian, dan tanaman lokal memiliki kandungan zat gizi yang sangat potensial untuk dikembangkan sebagai bahan baku pangan fungsional. Namun demikian, sebagian besar komoditas tersebut masih dikonsumsi dalam bentuk segar atau diolah secara sederhana sehingga nilai tambah ekonominya relatif rendah. Pengembangan produk pangan berbasis teknologi fortifikasi memberikan peluang untuk meningkatkan nilai fungsional sekaligus memperluas pemanfaatan komoditas lokal menjadi produk yang memiliki daya simpan lebih panjang, mutu yang lebih stabil, serta penerimaan konsumen yang lebih baik (Granato, 2020).

Dalam pengembangan pangan fungsional, pemilihan matriks pangan menjadi salah satu aspek yang sangat penting. Matriks pangan tidak hanya berfungsi sebagai media pembawa zat gizi, tetapi juga menentukan stabilitas senyawa bioaktif, karakteristik sensoris, daya simpan produk, serta efektivitas biologis setelah dikonsumsi. Produk olahan berbasis ikan merupakan salah satu matriks pangan yang sangat potensial karena mengandung protein berkualitas tinggi, memiliki cita rasa yang diterima oleh masyarakat, serta mudah dikombinasikan dengan berbagai bahan pangan nabati. Salah satu bentuk olahan yang memiliki prospek besar adalah abon ikan. Selain memiliki umur simpan yang relatif panjang, abon juga mudah dikonsumsi oleh berbagai kelompok usia, praktis dalam distribusi, serta dapat diformulasikan dengan berbagai bahan fortifikasi tanpa mengubah karakteristik dasar produk secara signifikan.

Pemanfaatan abon sebagai matriks pangan dalam pendekatan *Food-to-Food Fortification* membuka peluang untuk menghasilkan produk pangan yang tidak hanya memiliki nilai gizi tinggi, tetapi juga memberikan manfaat kesehatan yang lebih luas. Kombinasi antara protein hewani dari ikan dan mikronutrien serta senyawa

bioaktif dari sayuran hijau memungkinkan terjadinya interaksi positif yang mendukung pembentukan hemoglobin melalui berbagai mekanisme biologis, mulai dari peningkatan absorpsi zat besi, penyediaan asam amino untuk sintesis globin, hingga perlindungan eritrosit dari kerusakan akibat stres oksidatif. Dengan demikian, produk pangan yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai sumber zat gizi, tetapi juga sebagai media intervensi kesehatan berbasis pangan (*food as medicine*).

Meskipun konsep *Food-to-Food Fortification* semakin banyak diterapkan dalam pengembangan pangan fungsional, bukti ilmiah mengenai efektivitas berbagai kombinasi bahan pangan lokal, khususnya yang mengombinasikan sumber protein hewani dan sayuran hijau dalam bentuk produk olahan, masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian masih berfokus pada karakterisasi kandungan gizi atau peningkatan mutu sensoris produk, sementara kajian mengenai hubungan antara formulasi produk, karakteristik pangan, dan manfaat biologis terhadap status kesehatan masih memerlukan pengembangan lebih lanjut. Oleh karena itu, pendekatan *Food-to-Food Fortification* tidak hanya memberikan peluang untuk menghasilkan inovasi produk, tetapi juga memperluas pemahaman ilmiah mengenai hubungan antara teknologi pangan, komposisi nutrisi, dan manfaat klinis dalam upaya pencegahan penyakit berbasis gizi.

Atas dasar pertimbangan tersebut, pendekatan *Food-to-Food Fortification* menjadi landasan utama dalam pengembangan pangan fungsional berbasis abon ikan gabus yang dibahas dalam buku ini. Konsep ini tidak hanya menitikberatkan pada peningkatan kandungan zat gizi produk, tetapi juga pada bagaimana formulasi, karakterisasi, dan kualitas pangan dapat berkontribusi terhadap peningkatan manfaat biologis bagi kesehatan, khususnya dalam mendukung

upaya pencegahan anemia melalui pemanfaatan bahan pangan lokal yang bernilai gizi tinggi.

1.4 Potensi Biodiversitas Pangan Lokal sebagai Dasar Pengembangan Pangan Fungsional

Indonesia merupakan salah satu negara megabiodiversitas yang memiliki kekayaan sumber daya hayati terbesar di dunia. Letak geografis yang berada di wilayah tropis serta didukung oleh keragaman ekosistem daratan maupun perairan menyebabkan Indonesia memiliki ribuan spesies tanaman pangan, ikan, buah-buahan, sayuran, rempah-rempah, serta berbagai komoditas lokal yang memiliki nilai gizi tinggi dan berpotensi dikembangkan sebagai pangan fungsional. Kekayaan biodiversitas tersebut merupakan modal strategis dalam mendukung pembangunan ketahanan pangan, peningkatan kualitas gizi masyarakat, sekaligus pengembangan industri pangan berbasis sumber daya lokal.

Dalam beberapa dekade terakhir, perhatian terhadap pemanfaatan biodiversitas pangan semakin meningkat seiring berkembangnya konsep *sustainable food systems* dan *One Health*, yang menekankan pentingnya keterkaitan antara kesehatan manusia, keberlanjutan lingkungan, dan pemanfaatan sumber daya hayati secara bertanggung jawab. Sistem pangan modern tidak lagi hanya diukur berdasarkan kemampuan menghasilkan pangan dalam jumlah besar, tetapi juga berdasarkan kemampuannya menyediakan pangan yang bergizi, aman, berkelanjutan, serta mampu mendukung kesehatan masyarakat dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pemanfaatan bahan pangan lokal menjadi salah satu strategi penting untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku impor sekaligus meningkatkan nilai tambah komoditas lokal.

Keanekaragaman pangan lokal Indonesia mencakup berbagai sumber protein hewani maupun nabati yang memiliki karakteristik

nutrisi sangat beragam. Pada kelompok protein hewani, ikan air tawar merupakan salah satu sumber protein berkualitas tinggi yang relatif mudah diperoleh di berbagai wilayah Indonesia. Dibandingkan beberapa sumber protein lainnya, ikan memiliki kandungan protein yang mudah dicerna, komposisi asam amino esensial yang lengkap, serta mengandung berbagai mikronutrien penting seperti zat besi, seng, selenium, fosfor, dan vitamin B kompleks. Salah satu spesies ikan air tawar yang memperoleh perhatian besar dalam bidang pangan dan kesehatan adalah ikan gabus (*Channa striata*), yang dikenal memiliki kandungan protein dan albumin relatif tinggi sehingga berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku pangan fungsional.

Selain sumber protein hewani, Indonesia juga memiliki beragam jenis sayuran hijau yang kaya vitamin, mineral, dan senyawa fitokimia. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sayuran hijau lokal mengandung zat besi, folat, vitamin C, β -karoten, polifenol, flavonoid, serta berbagai antioksidan alami yang berperan penting dalam menjaga kesehatan dan mendukung metabolisme zat gizi. Namun demikian, sebagian besar pemanfaatannya masih terbatas sebagai sayuran segar dalam pola konsumsi sehari-hari, sehingga potensi pengembangannya sebagai bahan fortifikasi pangan masih relatif rendah.

Di antara berbagai jenis sayuran lokal, daun ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas*) dan daun kangkung (*Ipomoea aquatica*) merupakan dua komoditas yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai bahan fortifikasi pangan. Daun ubi jalar ungu dikenal memiliki kandungan protein nabati, zat besi, folat, vitamin C, serat pangan, serta antosianin yang berfungsi sebagai antioksidan alami. Antosianin tidak hanya memberikan warna khas pada tanaman, tetapi juga berperan dalam mengurangi stres oksidatif yang dapat memengaruhi stabilitas membran eritrosit dan proses pembentukan sel darah merah. Sementara itu, daun kangkung mengandung zat

besi, folat, vitamin A, vitamin C, klorofil, serta berbagai mineral yang mendukung proses hematopoiesis. Kombinasi kedua jenis sayuran tersebut memberikan peluang untuk menghasilkan produk pangan dengan karakteristik nutrisi yang saling melengkapi.

Pemanfaatan biodiversitas pangan lokal tidak hanya memberikan keuntungan dari sisi kandungan gizi, tetapi juga memiliki nilai strategis dalam mendukung pembangunan ekonomi berbasis sumber daya lokal. Pengembangan produk pangan inovatif dari bahan baku lokal dapat meningkatkan nilai tambah komoditas pertanian dan perikanan, memperluas peluang usaha bagi masyarakat, serta memperkuat rantai pasok pangan nasional. Selain itu, penggunaan bahan baku lokal juga berpotensi menurunkan biaya produksi karena ketersediaannya relatif melimpah dan mudah diperoleh di berbagai daerah. Kondisi ini menjadi penting dalam pengembangan pangan fungsional yang diharapkan tidak hanya efektif secara biologis, tetapi juga ekonomis dan mudah diakses oleh masyarakat.

Dalam perspektif kesehatan masyarakat, pemanfaatan pangan lokal sebagai bahan baku pangan fungsional juga mendukung upaya diversifikasi konsumsi pangan. Selama ini, pola konsumsi masyarakat masih didominasi oleh beberapa jenis bahan pangan tertentu sehingga potensi berbagai komoditas lokal belum dimanfaatkan secara optimal. Diversifikasi pangan melalui pengembangan produk olahan memberikan kesempatan untuk memperkenalkan kembali bahan pangan lokal dalam bentuk yang lebih praktis, memiliki cita rasa yang diterima konsumen, serta sesuai dengan gaya hidup masyarakat modern. Pendekatan ini sejalan dengan kebijakan pembangunan pangan nasional yang menempatkan diversifikasi pangan sebagai salah satu strategi utama dalam meningkatkan kualitas konsumsi masyarakat.

Meskipun Indonesia memiliki potensi biodiversitas pangan yang sangat besar, pengembangan produk pangan fungsional berbasis

bahan lokal masih menghadapi berbagai tantangan. Sebagian besar penelitian masih berorientasi pada identifikasi kandungan gizi masing-masing bahan secara terpisah, sedangkan kajian mengenai sinergi antar bahan pangan dalam satu produk masih relatif terbatas. Selain itu, pengembangan produk sering kali hanya berfokus pada peningkatan kandungan zat gizi tanpa memperhatikan aspek teknologi pengolahan, karakteristik sensoris, stabilitas produk, maupun efektivitas biologis setelah dikonsumsi. Padahal, keberhasilan suatu produk pangan fungsional tidak hanya ditentukan oleh kandungan gizinya, tetapi juga oleh kemampuan produk tersebut untuk diterima konsumen dan memberikan manfaat kesehatan yang nyata.

Atas dasar tersebut, pengembangan pangan fungsional berbasis abon ikan gabus melalui pemanfaatan daun ubi jalar ungu dan daun kangkung sebagai bahan fortifikasi merupakan salah satu bentuk implementasi konsep biodiversitas pangan lokal dalam bidang teknologi pangan. Pendekatan ini mengintegrasikan sumber protein hewani berkualitas tinggi dengan sumber mikronutrien dan senyawa bioaktif nabati dalam satu produk yang praktis, memiliki daya simpan relatif panjang, serta berpotensi memberikan manfaat fisiologis bagi kelompok rentan, khususnya ibu hamil yang mengalami anemia. Dengan demikian, inovasi produk berbasis bahan pangan lokal tidak hanya berkontribusi terhadap peningkatan status gizi masyarakat, tetapi juga memperkuat pemanfaatan biodiversitas Indonesia sebagai sumber inovasi pangan fungsional yang berdaya saing.

1.5 Tujuan dan Ruang Lingkup Buku

Perkembangan ilmu pangan dan gizi modern menunjukkan bahwa pengembangan produk pangan tidak lagi hanya berorientasi pada pemenuhan kebutuhan energi dan zat gizi dasar, tetapi juga diarahkan untuk menghasilkan pangan yang mampu memberikan manfaat fisiologis dalam upaya pencegahan penyakit. Konsep pangan

fungsional menjadi salah satu pendekatan yang semakin berkembang karena mampu mengintegrasikan aspek teknologi pangan, ilmu gizi, kesehatan masyarakat, dan pemanfaatan biodiversitas lokal ke dalam suatu produk yang memiliki nilai tambah ilmiah maupun ekonomi. Dalam konteks tersebut, inovasi produk berbasis bahan pangan lokal menjadi salah satu strategi yang relevan untuk menjawab tantangan peningkatan kualitas gizi masyarakat secara berkelanjutan.

Buku ini disusun sebagai bentuk sintesis ilmiah dari pengembangan pangan fungsional berbasis abon ikan gabus (*Channa striata*) melalui pendekatan *Food-to-Food Fortification*, dengan memanfaatkan daun ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas*) dan daun kangkung (*Ipomoea aquatica*) sebagai sumber fortifikasi alami. Berbeda dengan publikasi ilmiah yang umumnya hanya menyajikan hasil penelitian secara spesifik, buku ini mengintegrasikan berbagai aspek mulai dari landasan konseptual, karakteristik bahan baku, teknologi pengolahan, formulasi produk, karakterisasi mutu, hingga pembahasan mengenai potensi biologis dan implikasi klinis produk sebagai bagian dari pengembangan pangan fungsional.

Tujuan utama penyusunan buku ini adalah memberikan landasan ilmiah mengenai pengembangan pangan fungsional berbasis bahan pangan lokal yang dapat dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif intervensi gizi dalam upaya pencegahan anemia. Buku ini tidak hanya mendeskripsikan proses pengembangan produk, tetapi juga menjelaskan keterkaitan antara teknologi pangan, komposisi zat gizi, karakteristik produk, serta mekanisme biologis yang mendasari manfaat kesehatannya. Dengan demikian, pembaca diharapkan memperoleh pemahaman yang utuh mengenai bagaimana suatu produk pangan dikembangkan berdasarkan prinsip-prinsip ilmiah hingga memiliki potensi sebagai pangan fungsional.

Selain memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan, buku ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi berbagai kalangan, termasuk akademisi, peneliti, mahasiswa, praktisi teknologi pangan, ahli gizi, tenaga kesehatan, pelaku industri pangan, serta pemangku kebijakan yang memiliki perhatian terhadap pengembangan pangan berbasis sumber daya lokal. Bagi kalangan akademik, buku ini dapat digunakan sebagai rujukan dalam pembelajaran mengenai pangan fungsional, teknologi fortifikasi, dan inovasi produk pangan. Bagi praktisi dan industri, buku ini memberikan gambaran mengenai tahapan pengembangan produk, mulai dari pemilihan bahan baku hingga evaluasi karakteristik produk. Sementara itu, bagi pengambil kebijakan, buku ini dapat menjadi salah satu referensi dalam mendorong pemanfaatan pangan lokal sebagai bagian dari strategi peningkatan kualitas gizi masyarakat.

Buku ini juga menempatkan hasil penelitian sebagai bagian dari proses pengembangan ilmu pengetahuan, bukan sebagai satu-satunya fokus pembahasan. Oleh karena itu, hasil formulasi produk, karakterisasi mutu, analisis kandungan gizi, evaluasi sensoris, serta kajian mengenai bioefikasi produk disajikan dalam konteks yang lebih luas, yaitu sebagai bukti ilmiah yang mendukung konsep pengembangan pangan fungsional berbasis pangan lokal. Pendekatan tersebut diharapkan mampu memberikan perspektif yang lebih komprehensif dibandingkan penyajian hasil penelitian dalam bentuk artikel ilmiah yang umumnya memiliki ruang lingkup pembahasan yang lebih terbatas.

Ruang lingkup pembahasan dalam buku ini meliputi sembilan bab yang disusun secara sistematis. Bab pertama menguraikan latar belakang, perkembangan paradigma intervensi gizi, konsep *Food-to-Food Fortification*, serta pentingnya biodiversitas pangan lokal dalam pengembangan pangan fungsional. Bab kedua membahas landasan ilmiah pangan fungsional, termasuk konsep *food matrix*,

bioavailabilitas zat gizi, dan bioefikasi pangan. Bab ketiga mengulas potensi ikan gabus sebagai sumber protein hewani dalam pengembangan pangan fungsional, sedangkan bab keempat membahas karakteristik daun ubi jalar ungu dan daun kangkung sebagai bahan fortifikasi alami. Bab kelima menguraikan teknologi pengembangan abon ikan gabus sebagai matriks pangan fungsional. Bab keenam menyajikan formulasi produk dan karakterisasi mutu, sedangkan bab ketujuh membahas bioefikasi serta potensi klinis produk dalam mendukung pencegahan anemia. Bab kedelapan menguraikan peluang hilirisasi, komersialisasi, dan pengembangan produk di masa mendatang, sementara bab kesembilan menyajikan sintesis pembahasan serta rekomendasi bagi pengembangan penelitian dan implementasi pangan fungsional berbasis sumber daya lokal.

Melalui buku ini, penulis berharap konsep pengembangan pangan fungsional tidak hanya dipahami sebagai proses menghasilkan produk dengan kandungan gizi tertentu, tetapi juga sebagai pendekatan ilmiah yang mengintegrasikan ilmu pangan, ilmu gizi, teknologi pengolahan, dan kesehatan masyarakat. Dengan semakin berkembangnya penelitian mengenai pangan fungsional berbasis biodiversitas lokal, diharapkan berbagai komoditas pangan Indonesia dapat dimanfaatkan secara lebih optimal untuk mendukung ketahanan pangan, peningkatan kualitas gizi, dan pembangunan kesehatan masyarakat secara berkelanjutan.

LANDASAN ILMIAH PENGEMBA- NGAN PANGAN FUNGSIONAL BERBASIS *FOOD-TO-FOOD* *FORTIFICATION*

2.1 Evolusi Konsep Pangan Fungsional

Perkembangan ilmu pangan mengalami transformasi yang sangat pesat selama beberapa dekade terakhir. Pada awalnya pangan dipandang hanya sebagai sumber energi dan zat gizi yang berfungsi memenuhi kebutuhan fisiologis dasar manusia. Konsep tersebut kemudian berkembang seiring meningkatnya prevalensi penyakit tidak menular (*non-communicable diseases*) yang berkaitan erat dengan pola konsumsi masyarakat. Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa pangan tidak hanya berperan sebagai sumber zat gizi, tetapi juga mengandung berbagai komponen bioaktif yang mampu memberikan efek fisiologis spesifik terhadap kesehatan apabila dikonsumsi secara teratur dalam jumlah yang memadai.

Perubahan paradigma tersebut melahirkan konsep pangan fungsional (*functional foods*), yaitu pangan yang selain memenuhi kebutuhan nutrisi dasar juga memberikan manfaat kesehatan tambahan melalui mekanisme biologis tertentu. Konsep ini pertama kali berkembang di Jepang pada dekade 1980-an melalui program *Foods for Specified Health Uses* (FOSHU), yang bertujuan mendorong pengembangan produk pangan dengan manfaat kesehatan yang telah dibuktikan secara ilmiah. Sejak saat itu, konsep pangan fungsional berkembang secara luas di berbagai negara dan menjadi salah

satu bidang penelitian paling dinamis dalam ilmu pangan, gizi, farmasi, dan kesehatan masyarakat (Shahidi, 2023).

Berbeda dengan pangan konvensional, pangan fungsional dirancang tidak hanya berdasarkan kandungan zat gizinya, tetapi juga berdasarkan kemampuan komponen bioaktif di dalamnya dalam memodulasi berbagai proses fisiologis tubuh. Komponen tersebut dapat berupa protein bioaktif, peptida, asam lemak esensial, vitamin, mineral, serat pangan, probiotik, prebiotik, polifenol, flavonoid, karotenoid, antosianin, maupun berbagai metabolit sekunder lainnya yang secara ilmiah terbukti memberikan manfaat kesehatan.

Dalam perkembangan selanjutnya, konsep pangan fungsional mengalami perluasan yang tidak lagi hanya menitikberatkan pada penambahan komponen bioaktif tertentu, tetapi juga pada pemanfaatan bahan pangan alami secara utuh (*whole foods*). Pendekatan ini didasarkan pada pemahaman bahwa manfaat kesehatan suatu pangan merupakan hasil interaksi kompleks antara berbagai komponen yang terdapat di dalam matriks pangan, bukan hanya berasal dari satu zat gizi tunggal. Oleh karena itu, penelitian modern lebih menekankan pentingnya mengembangkan produk pangan yang mampu mempertahankan keseimbangan alami komponen penyusunnya sehingga memberikan manfaat biologis yang optimal.

Perkembangan tersebut menjadi dasar munculnya berbagai pendekatan baru dalam pengembangan pangan fungsional, salah satunya adalah *Food-to-Food Fortification*. Pendekatan ini memanfaatkan kombinasi berbagai bahan pangan alami yang memiliki karakteristik nutrisi berbeda sehingga mampu menghasilkan efek sinergis terhadap kesehatan. Berbeda dengan fortifikasi konvensional yang mengandalkan penambahan vitamin atau mineral sintetis, *Food-to-Food Fortification* memanfaatkan sumber daya pangan lokal sebagai bahan fortifikasi sehingga lebih sesuai dengan prinsip keberlanjutan, diversifikasi pangan, dan pemanfaatan biodiversitas.

Dalam konteks Indonesia, perkembangan konsep pangan fungsional memiliki arti yang sangat penting mengingat negara ini memiliki keanekaragaman hayati yang luar biasa, baik berupa sumber protein hewani maupun sumber pangan nabati yang kaya akan senyawa bioaktif. Berbagai komoditas lokal seperti ikan gabus, daun ubi jalar ungu, dan daun kangkung memiliki kandungan nutrisi yang berpotensi dikembangkan menjadi produk pangan fungsional berbasis bahan alam. Namun demikian, potensi tersebut masih memerlukan dukungan penelitian yang mengintegrasikan aspek teknologi pangan, karakterisasi produk, dan pembuktian manfaat biologis agar mampu menghasilkan inovasi pangan yang memiliki nilai ilmiah maupun nilai ekonomi.

Perkembangan konsep pangan fungsional saat ini tidak lagi berorientasi pada produk semata, tetapi telah berkembang menjadi bagian dari strategi pembangunan kesehatan masyarakat. Pangan dipandang sebagai salah satu instrumen penting dalam upaya promotif dan preventif untuk mengurangi risiko berbagai penyakit kronis maupun gangguan gizi, termasuk anemia pada ibu hamil. Oleh karena itu, pengembangan pangan fungsional berbasis bahan pangan lokal tidak hanya memberikan peluang inovasi di bidang teknologi pangan, tetapi juga menjadi bagian dari upaya meningkatkan kualitas kesehatan masyarakat melalui pendekatan yang lebih alami, berkelanjutan, dan mudah diterapkan dalam kehidupan sehari-hari.

2.2 Food Matrix dan Bioavailabilitas Zat Gizi

Perkembangan ilmu pangan modern menunjukkan bahwa manfaat fisiologis suatu bahan pangan tidak dapat dijelaskan hanya berdasarkan kandungan zat gizinya secara individual. Selama bertahun-tahun, pendekatan reduksionis (*reductionist approach*) mendominasi ilmu gizi dengan menilai kualitas pangan berdasarkan kandungan

protein, lemak, karbohidrat, vitamin, atau mineral secara terpisah. Namun, semakin banyak penelitian menunjukkan bahwa respons biologis tubuh terhadap suatu pangan merupakan hasil interaksi kompleks antara seluruh komponen penyusun pangan tersebut. Paradigma baru ini melahirkan konsep *food matrix*, yaitu suatu sistem tiga dimensi yang menggambarkan hubungan struktural antara komponen fisik, kimia, dan biologis dalam bahan pangan yang secara bersama-sama menentukan proses pencernaan, penyerapan, metabolisme, serta efek fisiologis setelah pangan dikonsumsi (Hurrell, 2010).

Konsep *food matrix* menjelaskan bahwa dua bahan pangan dengan kandungan zat gizi yang sama belum tentu memberikan manfaat biologis yang sama. Sebagai contoh, dua produk yang memiliki kandungan zat besi identik dapat menghasilkan tingkat absorpsi yang berbeda karena dipengaruhi oleh struktur protein, kandungan serat pangan, keberadaan vitamin C, polifenol, fitat, tanin, maupun senyawa lain yang dapat berperan sebagai *enhancer* atau *inhibitor* penyerapan zat besi. Oleh karena itu, kualitas pangan tidak lagi dinilai hanya berdasarkan jumlah zat gizi yang terkandung di dalamnya, tetapi juga berdasarkan bagaimana zat gizi tersebut tersedia (*bioaccessible*), diserap (*bioavailable*), dan dimanfaatkan oleh tubuh (*bioefficacy*).

Dalam konteks anemia, konsep *food matrix* memiliki arti yang sangat penting karena pembentukan hemoglobin merupakan proses biologis yang melibatkan berbagai tahapan metabolisme. Zat besi yang dikonsumsi melalui pangan harus terlebih dahulu dilepaskan dari matriks pangan selama proses pencernaan, kemudian diserap di usus halus, ditransportasikan melalui sirkulasi darah menggunakan transferrin, disimpan dalam bentuk ferritin, dan akhirnya digunakan dalam sintesis hemoglobin di sumsum tulang. Setiap tahapan tersebut dipengaruhi oleh keberadaan komponen lain dalam pangan yang

dikonsumsi secara bersamaan. Dengan demikian, keberhasilan intervensi gizi tidak hanya ditentukan oleh jumlah zat besi yang diberikan, tetapi juga oleh kualitas matriks pangan yang menjadi media penghantar zat gizi tersebut.

Konsep bioavailabilitas (*bioavailability*) menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari *food matrix*. Bioavailabilitas didefinisikan sebagai proporsi zat gizi yang berhasil diserap dan dimanfaatkan oleh tubuh untuk menjalankan fungsi fisiologis tertentu. Dalam ilmu pangan, bioavailabilitas merupakan indikator yang lebih relevan dibandingkan sekadar kandungan zat gizi total karena mencerminkan efektivitas biologis suatu produk pangan setelah dikonsumsi. Berbagai faktor diketahui memengaruhi bioavailabilitas zat gizi, antara lain bentuk kimia zat gizi, struktur pangan, proses pengolahan, interaksi antar-komponen pangan, kondisi fisiologis individu, serta status gizi awal (Gibson, 2024).

Pada zat besi, bioavailabilitas sangat dipengaruhi oleh bentuk kimianya. Zat besi *heme* yang berasal dari sumber pangan hewani umumnya memiliki tingkat absorpsi lebih tinggi dibandingkan zat besi *non-heme* yang berasal dari tumbuhan. Namun demikian, penyerapan zat besi *non-heme* dapat meningkat secara signifikan apabila dikonsumsi bersama protein hewani, vitamin C, atau berbagai senyawa organik lainnya yang berfungsi sebagai *absorption enhancer*. Sebaliknya, keberadaan fitat, oksalat, tanin, dan beberapa jenis polifenol tertentu dapat menghambat proses absorpsi sehingga menurunkan efektivitas biologis zat besi. Kondisi ini menjelaskan mengapa formulasi pangan menjadi aspek yang sangat penting dalam pengembangan produk pangan fungsional untuk pencegahan anemia.

Dalam beberapa tahun terakhir, konsep *food synergy* berkembang sebagai penyempurnaan dari teori *food matrix*. Konsep ini menyatakan bahwa manfaat kesehatan suatu pangan merupakan hasil interaksi sinergis antarberbagai komponen yang terdapat dalam

pangan tersebut, sehingga efek biologis yang dihasilkan lebih besar dibandingkan apabila setiap komponen dikonsumsi secara terpisah. Dengan kata lain, kombinasi protein hewani, vitamin, mineral, serat pangan, dan senyawa bioaktif dalam satu produk pangan dapat menghasilkan respons fisiologis yang lebih optimal dibandingkan suplementasi zat gizi tunggal. Pendekatan ini menjadi salah satu dasar ilmiah berkembangnya berbagai produk pangan fungsional modern.

Prinsip *food synergy* memiliki relevansi yang tinggi dalam pengembangan produk berbasis ikan gabus dan sayuran hijau. Protein berkualitas tinggi dari ikan gabus menyediakan asam amino esensial yang diperlukan dalam pembentukan rantai globin hemoglobin. Di sisi lain, daun ubi jalar ungu dan daun kangkung mengandung zat besi, folat, vitamin C, β -karoten, klorofil, serta berbagai senyawa antioksidan yang berkontribusi terhadap peningkatan absorpsi zat besi, perlindungan eritrosit dari stres oksidatif, serta optimalisasi proses eritropoiesis. Ketika kedua kelompok bahan tersebut dikombinasikan dalam satu matriks pangan, diharapkan terjadi interaksi sinergis yang meningkatkan efektivitas biologis produk secara keseluruhan (Fairweather-Tait, 2021).

Selain komposisi bahan baku, teknologi pengolahan juga memengaruhi karakteristik *food matrix*. Proses pemanasan, pengeringan, penghancuran, maupun pencampuran bahan dapat mengubah struktur fisik pangan sehingga memengaruhi pelepasan zat gizi selama proses pencernaan. Pengolahan yang tepat mampu meningkatkan ketersediaan beberapa zat gizi melalui inaktivasi senyawa antinutrisi, tetapi pengolahan yang berlebihan dapat menyebabkan degradasi vitamin maupun senyawa bioaktif yang sensitif terhadap panas. Oleh karena itu, pengembangan produk pangan fungsional memerlukan keseimbangan antara aspek teknologi pengolahan dan upaya mempertahankan kualitas nutrisi bahan baku.

Pemahaman mengenai *food matrix* dan bioavailabilitas memberikan implikasi penting dalam pengembangan produk pangan fungsional berbasis bahan pangan lokal. Produk tidak lagi dirancang semata-mata untuk memiliki kandungan zat gizi yang tinggi, tetapi juga harus mampu mengoptimalkan pemanfaatan zat gizi tersebut di dalam tubuh. Pendekatan ini menjadi dasar dalam pengembangan abon ikan gabus yang difortifikasi dengan sayuran hijau, di mana formulasi produk dirancang untuk menciptakan sinergi antara protein hewani dan mikronutrien nabati sehingga menghasilkan manfaat biologis yang lebih besar dibandingkan masing-masing bahan secara terpisah. Dengan demikian, keberhasilan suatu produk pangan fungsional tidak hanya diukur dari kandungan gizinya, tetapi juga dari kemampuan produk tersebut dalam meningkatkan status gizi dan kesehatan konsumen melalui mekanisme biologis yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

2.3 Food-to-Food Fortification: Konsep, Mekanisme, dan Aplikasi dalam Pengembangan Pangan Fungsional

Perkembangan ilmu pangan dalam beberapa dekade terakhir menunjukkan adanya pergeseran paradigma dalam strategi peningkatan kualitas gizi masyarakat. Jika sebelumnya fortifikasi pangan identik dengan penambahan vitamin dan mineral sintetis ke dalam produk pangan, maka saat ini berkembang pendekatan yang lebih alami, berkelanjutan, dan berbasis biodiversitas pangan lokal, yaitu *Food-to-Food Fortification* (FtFF). Pendekatan ini memanfaatkan bahan pangan alami yang kaya zat gizi sebagai fortifikan untuk meningkatkan nilai gizi produk sekaligus mempertahankan keberadaan berbagai komponen bioaktif yang tidak ditemukan pada fortifikasi sintetis. Oleh karena itu, *Food-to-Food Fortification* tidak hanya dipandang sebagai teknologi peningkatan kandungan gizi,

tetapi juga sebagai strategi pembangunan sistem pangan yang lebih berkelanjutan dan berorientasi pada kesehatan masyarakat.

Secara konseptual, *Food-to-Food Fortification* merupakan proses peningkatan kualitas nutrisi suatu pangan melalui penambahan bahan pangan alami lain yang memiliki kandungan zat gizi atau senyawa bioaktif lebih tinggi. Berbeda dengan fortifikasi konvensional yang umumnya hanya menambahkan satu atau beberapa mikronutrien tertentu, pendekatan ini mempertahankan kompleksitas komponen alami yang terdapat dalam bahan fortifikan. Dengan demikian, produk yang dihasilkan tidak hanya mengalami peningkatan kandungan protein, zat besi, vitamin, atau mineral, tetapi juga memperoleh tambahan serat pangan, antioksidan, flavonoid, polifenol, karotenoid, klorofil, dan berbagai metabolit sekunder yang berpotensi memberikan manfaat fisiologis secara sinergis.

Perbedaan mendasar antara fortifikasi sintetis dan *Food-to-Food Fortification* terletak pada filosofi pengembangannya. Fortifikasi sintetis berorientasi pada pemenuhan kebutuhan zat gizi tertentu melalui penambahan senyawa kimia yang telah dimurnikan, sedangkan *Food-to-Food Fortification* memanfaatkan interaksi alami antarkomponen pangan (*food synergy*) untuk meningkatkan efektivitas biologis suatu produk. Pendekatan ini sejalan dengan konsep *whole food nutrition*, yang menyatakan bahwa manfaat kesehatan pangan tidak dapat dipisahkan dari struktur alami dan interaksi seluruh komponen penyusunnya. Oleh karena itu, keberhasilan suatu produk pangan fungsional tidak hanya ditentukan oleh kandungan zat gizi total, tetapi juga oleh kualitas matriks pangan (*food matrix*) yang memengaruhi proses pencernaan, absorpsi, dan metabolisme zat gizi.

Dalam konteks kesehatan masyarakat, *Food-to-Food Fortification* menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan fortifikasi konvensional. Pertama, pendekatan ini lebih mudah diterima masyarakat

karena menggunakan bahan pangan yang telah dikenal dan dikonsumsi secara turun-temurun. Kedua, pemanfaatan bahan lokal mampu meningkatkan nilai tambah komoditas pertanian dan perikanan, sehingga memberikan dampak ekonomi bagi masyarakat. Ketiga, pendekatan ini mendukung diversifikasi pangan serta mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku impor. Keempat, kombinasi berbagai bahan pangan alami memungkinkan terbentuknya interaksi sinergis yang meningkatkan bioavailabilitas zat gizi sehingga manfaat biologis yang dihasilkan menjadi lebih optimal. Dengan demikian, *Food-to-Food Fortification* tidak hanya memberikan manfaat nutrisi, tetapi juga mendukung aspek keberlanjutan, kemandirian pangan, dan pemberdayaan sumber daya lokal.

Salah satu prinsip utama dalam *Food-to-Food Fortification* adalah pemilihan bahan fortifikan yang memiliki karakteristik nutrisi saling melengkapi. Kombinasi antara sumber protein hewani dan bahan pangan nabati merupakan salah satu strategi yang banyak dikembangkan karena mampu menghasilkan keseimbangan antara makronutrien dan mikronutrien dalam satu produk. Protein hewani menyediakan asam amino esensial yang diperlukan dalam sintesis jaringan tubuh, sedangkan bahan nabati memberikan kontribusi vitamin, mineral, serat pangan, dan berbagai senyawa bioaktif. Kombinasi tersebut tidak hanya meningkatkan kualitas nutrisi produk, tetapi juga memperbaiki karakteristik sensoris, stabilitas produk, serta efektivitas fisiologis setelah dikonsumsi.

Dalam upaya pencegahan anemia, pendekatan *Food-to-Food Fortification* memiliki dasar ilmiah yang kuat. Pembentukan hemoglobin memerlukan ketersediaan protein sebagai penyusun globin, zat besi sebagai komponen *heme*, folat dan vitamin B₁₂ untuk sintesis DNA eritrosit, serta vitamin C yang meningkatkan absorpsi zat besi *non-heme* di usus. Selain itu, berbagai senyawa antioksidan berperan melindungi eritrosit dari kerusakan akibat stres oksidatif. Dengan

mengombinasikan sumber protein hewani dan sayuran hijau yang kaya mikronutrien ke dalam satu produk pangan, diharapkan seluruh komponen tersebut dapat bekerja secara sinergis sehingga menghasilkan peningkatan bioefikasi dibandingkan pemberian masing-masing bahan secara terpisah.

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, implementasi *Food-to-Food Fortification* juga menghadapi sejumlah tantangan. Variabilitas kandungan zat gizi antar bahan baku, perubahan kualitas akibat proses pengolahan, stabilitas senyawa bioaktif selama penyimpanan, serta penerimaan konsumen terhadap karakteristik sensoris produk merupakan beberapa aspek yang harus diperhatikan. Oleh karena itu, pengembangan produk berbasis *Food-to-Food Fortification* memerlukan pendekatan multidisiplin yang mengintegrasikan ilmu teknologi pangan, kimia pangan, gizi, mikrobiologi, serta ilmu kesehatan masyarakat. Selain itu, evaluasi produk tidak hanya dilakukan melalui analisis kandungan gizi, tetapi juga mencakup karakterisasi fisik, kimia, sensoris, keamanan pangan, dan pembuktian manfaat biologis melalui studi bioefikasi.

Dalam praktiknya, konsep *Food-to-Food Fortification* telah diterapkan pada berbagai jenis produk pangan, seperti tepung, biskuit, mi, bubur bayi, makanan pendamping ASI, minuman fungsional, serta berbagai produk olahan berbasis sereal dan umbi-umbian. Namun demikian, pemanfaatan produk olahan berbasis ikan sebagai matriks pangan masih relatif terbatas, padahal ikan memiliki kandungan protein berkualitas tinggi dan zat besi *heme* yang sangat potensial untuk dikombinasikan dengan berbagai bahan pangan nabati. Salah satu bentuk produk yang memiliki prospek besar adalah abon ikan, karena memiliki umur simpan yang relatif panjang, mudah dikonsumsi oleh berbagai kelompok usia, praktis dalam distribusi, dan memungkinkan penambahan berbagai bahan fortifikasi tanpa mengubah karakteristik dasar produk secara signifikan.

Dalam buku ini, pendekatan *Food-to-Food Fortification* diaplikasikan melalui pengembangan abon ikan gabus (*Channa striata*) yang difortifikasi dengan daun ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas*) dan daun kangkung (*Ipomoea aquatica*). Pemilihan kedua bahan fortifikasi tersebut didasarkan pada kandungan protein nabati, zat besi, folat, vitamin C, serta berbagai senyawa bioaktif yang berpotensi mendukung proses eritropoiesis. Kombinasi tersebut diharapkan menghasilkan produk pangan fungsional yang tidak hanya memiliki karakteristik gizi yang lebih baik, tetapi juga memberikan manfaat fisiologis dalam mendukung pencegahan anemia pada kelompok rentan, khususnya ibu hamil. Pendekatan ini sekaligus menjadi contoh implementasi bagaimana konsep *Food-to-Food Fortification* dapat diterapkan dalam pengembangan pangan fungsional berbasis biodiversitas lokal Indonesia.

2.4 Bioefikasi sebagai Indikator Keberhasilan Pangan Fungsional

Perkembangan ilmu pangan fungsional telah mengubah paradigma evaluasi mutu produk pangan. Selama bertahun-tahun keberhasilan suatu produk pangan lebih banyak dinilai berdasarkan kandungan zat gizi, mutu sensoris, keamanan pangan, maupun daya simpan. Namun, berkembangnya konsep *functional foods* menunjukkan bahwa parameter-parameter tersebut belum cukup untuk menggambarkan manfaat kesehatan suatu produk. Sebuah pangan dapat memiliki kandungan protein, vitamin, atau mineral yang tinggi, tetapi belum tentu memberikan dampak fisiologis yang optimal apabila zat gizi tersebut tidak dapat dimanfaatkan secara efektif oleh tubuh. Oleh karena itu, konsep bioefikasi (*bioefficacy*) berkembang sebagai salah satu indikator penting dalam mengevaluasi efektivitas biologis suatu pangan fungsional.

Secara umum, bioefikasi menggambarkan kemampuan suatu zat gizi atau komponen bioaktif dalam menghasilkan respons fisiologis

tertentu setelah melalui proses konsumsi, pencernaan, absorpsi, distribusi, metabolisme, hingga akhirnya digunakan oleh jaringan target. Dengan kata lain, bioefikasi merupakan hasil akhir dari seluruh proses biologis yang menentukan apakah suatu komponen pangan benar-benar mampu memberikan manfaat kesehatan sesuai dengan yang diharapkan. Dalam konteks ini, bioefikasi berbeda dengan kandungan zat gizi maupun bioavailabilitas, karena tidak hanya menilai jumlah zat gizi yang tersedia atau diserap, tetapi juga menilai efektivitas biologisnya dalam memperbaiki fungsi tubuh.

Dalam ilmu gizi modern dikenal tiga konsep yang saling berkaitan, yaitu kandungan zat gizi (*nutrient content*), bioavailabilitas (*bioavailability*), dan bioefikasi (*bioefficacy*). Kandungan zat gizi menggambarkan jumlah nutrisi yang terdapat di dalam bahan pangan. Bioavailabilitas menunjukkan proporsi nutrisi yang berhasil diserap oleh tubuh. Sementara itu, bioefikasi menunjukkan sejauh mana nutrisi yang telah diserap tersebut mampu menghasilkan perubahan biologis yang nyata, misalnya peningkatan kadar hemoglobin, perbaikan status zat besi, peningkatan imunitas, atau penurunan risiko penyakit. Oleh karena itu, bioefikasi merupakan indikator yang paling mendekati manfaat klinis suatu produk pangan.

Dalam pengembangan pangan fungsional, konsep bioefikasi memiliki posisi yang sangat penting karena tujuan utama produk tidak lagi sekadar memenuhi kebutuhan nutrisi, tetapi memberikan manfaat kesehatan yang terukur. Berbagai organisasi internasional menekankan bahwa klaim kesehatan (*health claims*) pada pangan fungsional harus didukung oleh bukti ilmiah yang menunjukkan adanya hubungan sebab akibat antara konsumsi produk dengan perubahan fisiologis tertentu. Dengan demikian, keberhasilan pengembangan pangan fungsional tidak cukup dibuktikan melalui analisis laboratorium, tetapi juga memerlukan evaluasi terhadap respons biologis konsumen setelah mengonsumsi produk tersebut.

Bioefikasi dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berinteraksi. Faktor pertama adalah karakteristik bahan baku, termasuk kandungan protein, vitamin, mineral, dan senyawa bioaktif. Faktor kedua adalah teknologi pengolahan yang dapat meningkatkan atau justru menurunkan stabilitas komponen bioaktif. Faktor ketiga adalah struktur *food matrix* yang memengaruhi pelepasan zat gizi selama proses pencernaan. Faktor keempat berkaitan dengan karakteristik individu, seperti usia, status gizi, kondisi fisiologis, kesehatan saluran cerna, serta penyakit penyerta. Interaksi seluruh faktor tersebut menentukan besarnya manfaat biologis yang dihasilkan oleh suatu produk pangan.

Dalam penelitian pangan fungsional, evaluasi bioefikasi umumnya dilakukan menggunakan indikator biologis (*biomarkers*) yang dapat menggambarkan perubahan status kesehatan setelah intervensi. Biomarker dipilih berdasarkan tujuan pengembangan produk. Pada produk yang ditujukan untuk meningkatkan status zat besi, biomarker yang sering digunakan meliputi kadar hemoglobin, ferritin serum, saturasi transferin, hematokrit, jumlah eritrosit, maupun indikator lain yang berkaitan dengan metabolisme zat besi. Penggunaan biomarker memberikan bukti yang lebih kuat dibandingkan hanya mengukur kandungan nutrisi produk karena secara langsung menunjukkan manfaat fisiologis yang diperoleh konsumen.

Dalam konteks pencegahan anemia, kadar hemoglobin masih menjadi biomarker yang paling banyak digunakan karena mudah diukur, relatif murah, serta telah digunakan secara luas dalam berbagai penelitian klinis. Hemoglobin merupakan protein yang terdapat di dalam eritrosit dan berfungsi mengangkut oksigen ke seluruh jaringan tubuh. Sintesis hemoglobin dipengaruhi oleh kecukupan protein, zat besi, folat, vitamin B₁₂, vitamin C, vitamin A, serta berbagai faktor metabolik lainnya. Oleh karena itu, perubahan kadar hemoglobin

setelah intervensi pangan fungsional dapat digunakan sebagai indikator bioefikasi produk dalam mendukung proses eritropoiesis.

Meskipun demikian, bioefikasi tidak dapat dipisahkan dari kualitas formulasi produk. Produk dengan kandungan zat besi tinggi belum tentu menghasilkan peningkatan hemoglobin apabila zat besi tersebut memiliki bioavailabilitas rendah atau berada dalam matriks pangan yang kurang mendukung proses absorpsi. Sebaliknya, kombinasi bahan pangan yang dirancang berdasarkan prinsip *food synergy* dapat menghasilkan manfaat biologis yang lebih besar meskipun kandungan zat gizinya tidak jauh berbeda. Oleh karena itu, dalam pengembangan pangan fungsional modern, formulasi produk harus dirancang berdasarkan hubungan antara komposisi nutrisi, karakteristik matriks pangan, bioavailabilitas, dan bioefikasi.

Pendekatan tersebut menjadi dasar pengembangan produk pangan berbasis *Food-to-Food Fortification*. Kombinasi protein hewani dari ikan gabus dengan sayuran hijau yang kaya zat besi, folat, vitamin C, dan senyawa bioaktif diharapkan mampu menghasilkan interaksi sinergis yang meningkatkan efektivitas biologis produk. Dengan demikian, keberhasilan produk tidak hanya diukur dari tingginya kandungan protein atau zat besi, tetapi dari kemampuannya dalam memperbaiki status hemoglobin sebagai salah satu indikator utama pencegahan anemia.

Dalam buku ini, konsep bioefikasi menjadi kerangka ilmiah yang menghubungkan teknologi pengembangan produk dengan manfaat klinis yang diharapkan. Seluruh tahapan pengembangan, mulai dari pemilihan bahan baku, formulasi, teknologi pengolahan, hingga karakterisasi produk diarahkan untuk menghasilkan pangan fungsional yang memiliki efektivitas biologis optimal. Oleh karena itu, pembahasan mengenai bioefikasi tidak hanya menjadi bagian dari evaluasi hasil penelitian, tetapi juga menjadi prinsip dasar dalam perancangan produk pangan fungsional berbasis abon ikan gabus.

2.5 Kerangka Konseptual Pengembangan Pangan Fungsional Berbasis Abon Ikan Gabus

Perkembangan ilmu pangan modern menunjukkan bahwa keberhasilan suatu produk pangan fungsional tidak dapat dijelaskan hanya melalui satu disiplin ilmu. Pengembangan produk pangan fungsional merupakan proses multidisiplin yang mengintegrasikan ilmu pangan, gizi, biokimia, fisiologi, kesehatan masyarakat, teknologi pengolahan, serta ilmu material pangan (*food materials science*). Oleh karena itu, pendekatan konseptual diperlukan untuk menjelaskan hubungan antar komponen dalam suatu sistem pengembangan produk sehingga setiap tahapan memiliki dasar ilmiah yang jelas dan saling berkaitan.

Pengembangan pangan fungsional berbasis abon ikan gabus dibangun atas dasar integrasi lima komponen utama, yaitu biodiversitas pangan lokal, teknologi pengolahan pangan, *food-to-food fortification*, karakterisasi produk, dan bioefikasi klinis. Kelima komponen tersebut membentuk suatu kerangka pengembangan yang tidak hanya menghasilkan produk dengan kandungan gizi tinggi, tetapi juga memiliki manfaat fisiologis yang dapat dibuktikan secara ilmiah.

Tahap pertama dalam kerangka konseptual adalah identifikasi sumber daya pangan lokal. Indonesia memiliki kekayaan biodiversitas yang sangat besar, baik berupa sumber protein hewani maupun bahan pangan nabati yang kaya akan mikronutrien dan senyawa bioaktif. Pemanfaatan bahan pangan lokal tidak hanya bertujuan meningkatkan kualitas gizi masyarakat, tetapi juga mendukung diversifikasi pangan, meningkatkan nilai tambah komoditas lokal, serta memperkuat ketahanan pangan nasional. Dalam konteks buku ini, ikan gabus dipilih sebagai sumber protein hewani, sedangkan daun ubi jalar ungu dan daun kangkung dipilih sebagai bahan fortifikasi

alami karena memiliki kandungan zat besi, folat, vitamin C, serta berbagai senyawa bioaktif yang mendukung proses pembentukan hemoglobin.

Tahap kedua adalah rekayasa formulasi produk (*product formulation*). Formulasi merupakan proses ilmiah untuk menentukan komposisi bahan baku sehingga menghasilkan keseimbangan antara kualitas nutrisi, karakteristik sensoris, keamanan pangan, dan stabilitas produk. Pada tahap ini, prinsip *Food-to-Food Fortification* diterapkan dengan mengombinasikan protein hewani dan sayuran hijau dalam satu matriks pangan. Tujuannya bukan sekadar meningkatkan kandungan zat gizi, tetapi menciptakan interaksi sinergis antar komponen pangan sehingga manfaat biologis produk menjadi lebih optimal.

Tahap berikutnya adalah teknologi pengolahan. Teknologi pengolahan memiliki peran penting dalam mempertahankan kualitas protein, stabilitas zat besi, serta keberadaan senyawa bioaktif selama proses produksi. Pemanasan, pengeringan, pencampuran, maupun pengemasan harus dirancang sedemikian rupa sehingga tidak menyebabkan kehilangan nutrisi secara berlebihan. Pada tahap ini, teknologi pangan berfungsi sebagai jembatan antara potensi biologis bahan baku dengan kualitas produk akhir yang siap dikonsumsi oleh masyarakat.

Produk yang dihasilkan selanjutnya memasuki tahap karakterisasi mutu. Karakterisasi tidak hanya mencakup analisis kandungan protein dan zat besi, tetapi juga evaluasi sifat fisik, kimia, sensoris, serta penerimaan konsumen. Karakterisasi menjadi tahapan yang sangat penting karena menentukan apakah produk yang dikembangkan memiliki mutu yang memenuhi persyaratan sebagai pangan fungsional. Selain itu, karakterisasi juga menjadi dasar dalam

mengevaluasi hubungan antara formulasi produk dan efektivitas biologis yang akan diuji pada tahap berikutnya.

Tahap terakhir adalah evaluasi bioefikasi. Pada tahap ini produk tidak lagi dinilai berdasarkan kandungan gizinya, tetapi berdasarkan kemampuannya menghasilkan perubahan fisiologis yang dapat diukur melalui biomarker kesehatan. Dalam penelitian mengenai pencegahan anemia, kadar hemoglobin menjadi salah satu biomarker utama yang digunakan untuk mengevaluasi efektivitas produk pangan. Pendekatan ini menunjukkan bahwa keberhasilan suatu pangan fungsional tidak hanya ditentukan oleh kualitas formulasi maupun kandungan zat gizi, tetapi juga oleh manfaat biologis yang diperoleh setelah produk dikonsumsi.

Karakteristik bahan baku menentukan keberhasilan formulasi, formulasi memengaruhi kualitas *food matrix*, *food matrix* menentukan bioavailabilitas zat gizi, sedangkan bioavailabilitas menjadi salah satu faktor yang memengaruhi bioefikasi produk. Dengan demikian, pengembangan pangan fungsional harus dipandang sebagai suatu sistem yang terintegrasi, bukan sebagai serangkaian tahapan yang berdiri sendiri. Pendekatan sistem ini memberikan dasar ilmiah yang lebih kuat dalam menghasilkan inovasi produk yang tidak hanya unggul secara teknologi, tetapi juga efektif dalam mendukung peningkatan kesehatan masyarakat.

Pengembangan abon ikan gabus sebagai pangan fungsional dalam monograf ini tidak hanya berorientasi pada inovasi produk, tetapi juga pada pembentukan model pengembangan pangan berbasis biodiversitas lokal yang dapat direplikasi pada berbagai komoditas pangan lainnya. Pendekatan ini diharapkan mampu memperkuat posisi pangan lokal sebagai sumber inovasi dalam bidang teknologi pangan dan gizi, sekaligus memberikan kontribusi

terhadap pengembangan intervensi berbasis pangan untuk mengatasi berbagai permasalahan kesehatan masyarakat.



Gambar 2.1 Kerangka Konseptual Pengembangan Pangan Fungsional Berbasis Abon Ikan Gabus

2.6 Tantangan dan Prospek Pengembangan Pangan Fungsional Berbasis Biodiversitas Lokal

Perkembangan industri pangan global menunjukkan bahwa pangan fungsional merupakan salah satu sektor dengan pertumbuhan paling cepat dalam dua dekade terakhir. Meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap hubungan antara pola konsumsi dan kesehatan mendorong perubahan preferensi konsumen dari pangan yang hanya berfungsi sebagai sumber energi menjadi pangan yang mampu memberikan manfaat fisiologis tambahan. Kondisi tersebut membuka peluang besar bagi pengembangan berbagai produk pangan fungsional berbasis sumber daya lokal, terutama di negara-negara yang memiliki biodiversitas tinggi seperti Indonesia. Namun demikian, keberhasilan pengembangan pangan fungsional tidak hanya ditentukan oleh potensi bahan baku, tetapi juga oleh kemampuan mengintegrasikan ilmu pengetahuan, teknologi, regulasi, dan kebutuhan pasar dalam suatu sistem inovasi yang berkelanjutan.

Indonesia memiliki lebih dari 17.000 pulau dengan keanekaragaman hayati yang sangat tinggi, mencakup ribuan spesies tanaman pangan, ikan air tawar, hasil laut, rempah-rempah, buah-buahan, dan sayuran yang berpotensi menjadi bahan baku pangan fungsional. Kekayaan biodiversitas tersebut merupakan modal ilmiah sekaligus ekonomi yang belum dimanfaatkan secara optimal. Sebagian besar bahan pangan lokal masih dikonsumsi dalam bentuk segar atau diolah secara sederhana sehingga nilai tambahnya relatif rendah. Padahal berbagai penelitian menunjukkan bahwa banyak komoditas lokal memiliki kandungan protein, vitamin, mineral, antioksidan, maupun senyawa bioaktif yang berpotensi dikembangkan menjadi produk pangan bernilai tinggi.

Salah satu tantangan utama dalam pengembangan pangan fungsional berbasis bahan lokal adalah masih terbatasnya penelitian

yang mengintegrasikan seluruh tahapan pengembangan produk. Sebagian besar penelitian hanya berfokus pada identifikasi kandungan gizi, sementara aspek formulasi, teknologi pengolahan, stabilitas senyawa bioaktif, bioavailabilitas, bioefikasi, keamanan pangan, serta penerimaan konsumen sering kali dipelajari secara terpisah. Akibatnya, banyak inovasi berhenti pada skala laboratorium dan belum berkembang menjadi produk yang siap dihilirisasikan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan multidisiplin yang menghubungkan ilmu teknologi pangan, gizi, kesehatan masyarakat, rekayasa proses, dan manajemen inovasi agar pengembangan pangan fungsional dapat menghasilkan produk yang tidak hanya unggul secara ilmiah tetapi juga layak secara ekonomi.

Tantangan berikutnya berkaitan dengan standarisasi mutu produk. Pangan fungsional berbasis bahan alami memiliki variasi kandungan nutrisi yang dipengaruhi oleh varietas tanaman, kondisi lingkungan, musim, teknik budidaya, hingga metode pascapanen. Variasi tersebut dapat menyebabkan ketidakkonsistenan kualitas produk apabila tidak didukung oleh sistem standarisasi yang baik. Oleh sebab itu, proses seleksi bahan baku, pengendalian mutu, dan validasi proses produksi menjadi bagian yang tidak terpisahkan dalam pengembangan pangan fungsional. Standarisasi tidak hanya penting untuk menjamin mutu produk, tetapi juga menjadi dasar dalam memperoleh kepercayaan konsumen serta memenuhi persyaratan regulasi.

Selain aspek teknologi, penerimaan konsumen merupakan faktor yang menentukan keberhasilan suatu produk pangan fungsional. Produk dengan kandungan gizi tinggi tidak akan memberikan manfaat apabila tidak disukai atau tidak dikonsumsi secara berkelanjutan. Oleh karena itu, karakteristik sensoris seperti warna, aroma, rasa, tekstur, dan penampilan produk harus menjadi bagian integral

dalam proses pengembangan formulasi. Dalam konteks pangan fungsional berbasis abon ikan gabus, penerimaan konsumen menjadi semakin penting karena produk ditujukan sebagai makanan tambahan bagi ibu hamil yang memiliki perubahan preferensi makan selama kehamilan.

Perkembangan teknologi analisis pangan juga memberikan peluang baru dalam pengembangan pangan fungsional. Berbagai teknik analisis modern, seperti metabolomik, proteomik, lipidomik, dan pendekatan *foodomics*, memungkinkan peneliti memahami hubungan antara komposisi pangan dan respons biologis secara lebih mendalam. Pendekatan tersebut membuka peluang untuk mengembangkan produk pangan yang tidak hanya kaya nutrisi, tetapi juga memiliki mekanisme kerja yang dapat dijelaskan secara ilmiah. Di masa depan, integrasi teknologi analitik dengan ilmu gizi diperkirakan akan menghasilkan konsep *precision nutrition*, yaitu penyusunan intervensi pangan yang disesuaikan dengan karakteristik biologis individu maupun kelompok sasaran.

Dalam konteks pembangunan kesehatan masyarakat, pangan fungsional berbasis biodiversitas lokal memiliki prospek yang sangat besar sebagai bagian dari strategi pencegahan penyakit berbasis pangan. Pendekatan ini tidak hanya mendukung peningkatan status gizi, tetapi juga sejalan dengan upaya diversifikasi pangan nasional, pemberdayaan petani dan nelayan lokal, penguatan industri pangan berbasis sumber daya domestik, serta pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*). Pengembangan produk pangan berbasis bahan lokal juga memiliki nilai strategis dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku impor dan meningkatkan daya saing produk pangan Indonesia di pasar global.

Buku ini menempatkan pengembangan abon ikan gabus sebagai salah satu contoh implementasi pendekatan tersebut. Melalui integrasi antara sumber protein hewani berkualitas tinggi dengan sayuran lokal yang kaya mikronutrien dan senyawa bioaktif, produk yang dikembangkan tidak hanya memiliki nilai gizi yang tinggi tetapi juga berpotensi memberikan manfaat fisiologis dalam mendukung pencegahan anemia. Pendekatan ini diharapkan menjadi model pengembangan pangan fungsional yang dapat direplikasi pada berbagai komoditas lokal lainnya sehingga mendorong lahirnya inovasi pangan berbasis biodiversitas Indonesia yang berorientasi pada kesehatan masyarakat.

TEKNOLOGI PENGEMBANGAN ABON IKAN GABUS SEBAGAI PANGAN FUNGSIONAL

3.1 Konsep Pengembangan Produk Pangan Fungsional

Perkembangan teknologi pangan modern tidak lagi hanya berorientasi pada peningkatan produksi dan umur simpan bahan pangan, tetapi telah bergeser menuju pengembangan produk yang mampu memberikan manfaat kesehatan secara nyata. Pergeseran tersebut didorong oleh meningkatnya prevalensi penyakit tidak menular, perubahan pola konsumsi masyarakat, serta meningkatnya kesadaran konsumen terhadap hubungan antara pangan dan kesehatan. Dalam konteks tersebut, inovasi produk pangan tidak lagi hanya menitikberatkan pada aspek sensoris maupun kandungan gizi, tetapi juga diarahkan untuk menghasilkan pangan yang memiliki aktivitas biologis sehingga mampu mendukung upaya promotif dan preventif di bidang kesehatan.

Konsep pengembangan produk pangan fungsional merupakan salah satu bentuk implementasi paradigma tersebut. Produk pangan fungsional dirancang melalui pendekatan ilmiah yang mengintegrasikan pemilihan bahan baku, formulasi, teknologi pengolahan, karakterisasi mutu, evaluasi keamanan pangan, hingga pembuktian manfaat biologis. Dengan demikian, pengembangan pangan fungsional tidak dapat dipisahkan dari proses inovasi teknologi yang

sistematis karena setiap tahapan akan menentukan kualitas akhir produk serta efektivitas fisiologis setelah dikonsumsi.

Secara umum, pengembangan produk pangan terdiri atas beberapa tahapan yang saling berkaitan, yaitu identifikasi kebutuhan konsumen, pemilihan bahan baku, penyusunan formulasi, pengembangan proses produksi, karakterisasi mutu, evaluasi penerimaan konsumen, dan validasi manfaat kesehatan. Pendekatan tersebut dikenal sebagai *product development cycle*, yaitu suatu proses inovasi yang bertujuan menghasilkan produk yang tidak hanya layak diproduksi tetapi juga memiliki nilai tambah dari aspek nutrisi, ekonomi, dan kesehatan masyarakat.

Dalam pengembangan pangan fungsional, pemilihan bahan baku merupakan tahap yang sangat menentukan. Bahan baku harus memenuhi beberapa kriteria, antara lain memiliki kandungan nutrisi yang tinggi, tersedia secara berkelanjutan, aman dikonsumsi, mudah diolah, memiliki penerimaan konsumen yang baik, serta didukung oleh bukti ilmiah mengenai manfaat kesehatannya. Oleh karena itu, pengembangan pangan fungsional berbasis biodiversitas lokal menjadi salah satu pendekatan yang semakin berkembang karena mampu mengoptimalkan potensi sumber daya hayati sekaligus meningkatkan nilai tambah komoditas lokal.

Selain pemilihan bahan baku, teknologi pengolahan memegang peranan penting dalam mempertahankan kualitas nutrisi selama proses produksi. Berbagai perlakuan seperti pencucian, pengukusan, perebusan, pengeringan, penggorengan, penghalusan, pencampuran, hingga pengemasan dapat memengaruhi stabilitas protein, vitamin, mineral, maupun senyawa bioaktif. Pengolahan yang tepat mampu meningkatkan keamanan pangan, memperpanjang umur simpan, memperbaiki karakteristik sensoris, serta meningkatkan bioavailabilitas beberapa zat gizi. Sebaliknya, proses pengolahan

yang tidak terkendali dapat menyebabkan kerusakan protein, degradasi vitamin, oksidasi lemak, maupun penurunan aktivitas senyawa bioaktif yang menjadi komponen utama pangan fungsional.

Dalam pengembangan produk modern, aspek teknologi tidak lagi dipisahkan dari karakterisasi mutu. Setiap inovasi pangan harus didukung oleh evaluasi terhadap sifat fisik, kimia, mikrobiologi, dan sensoris produk. Karakterisasi tersebut bertujuan memastikan bahwa formulasi yang dikembangkan tidak hanya memiliki kandungan nutrisi yang sesuai, tetapi juga memenuhi standar keamanan pangan serta diterima oleh konsumen. Oleh karena itu, teknologi pengolahan dan karakterisasi mutu merupakan dua komponen yang tidak dapat dipisahkan dalam pengembangan pangan fungsional.

Prinsip lain yang menjadi perhatian dalam pengembangan pangan fungsional adalah *food design* atau perancangan pangan berbasis fungsi. Pendekatan ini menempatkan produk pangan sebagai suatu sistem yang dirancang untuk mencapai tujuan fisiologis tertentu. Dengan demikian, formulasi produk tidak lagi hanya mempertimbangkan cita rasa dan nilai ekonomi, tetapi juga diarahkan untuk menghasilkan komposisi nutrisi yang mampu memberikan manfaat kesehatan secara optimal. Konsep tersebut menjadi dasar dalam pengembangan berbagai produk pangan fungsional yang ditujukan untuk mendukung pencegahan penyakit, termasuk anemia pada ibu hamil.

Dalam buku ini, pengembangan abon ikan gabus diposisikan sebagai salah satu model penerapan konsep tersebut. Produk tidak hanya dirancang sebagai olahan ikan yang memiliki umur simpan panjang dan cita rasa yang baik, tetapi juga sebagai matriks pangan yang memungkinkan integrasi berbagai komponen bioaktif dari bahan fortifikasi alami. Pendekatan ini memberikan peluang untuk menghasilkan produk pangan yang memiliki keseimbangan antara

kualitas nutrisi, karakteristik sensoris, keamanan pangan, dan manfaat biologis sehingga mampu mendukung upaya pencegahan anemia melalui pendekatan berbasis pangan.

3.2 Pengembangan Produk Abon Ikan Gabus sebagai Pangan Fungsional

Pengembangan produk pangan merupakan suatu proses inovasi yang mengintegrasikan ilmu pengetahuan, teknologi, kebutuhan konsumen, serta aspek ekonomi menjadi suatu produk yang memiliki nilai tambah. Dalam industri pangan modern, keberhasilan suatu produk tidak hanya ditentukan oleh kualitas bahan baku, tetapi juga oleh kemampuan proses pengembangan dalam menghasilkan produk yang aman, bergizi, diterima konsumen, dan memiliki keunggulan kompetitif. Oleh karena itu, pengembangan produk pangan merupakan suatu siklus yang terdiri atas tahapan-tahapan yang saling berkaitan mulai dari identifikasi kebutuhan hingga evaluasi manfaat produk.

Pada pangan fungsional, siklus pengembangan produk menjadi lebih kompleks dibandingkan produk pangan konvensional. Hal tersebut disebabkan karena produk tidak hanya dituntut memiliki mutu sensoris yang baik, tetapi juga harus mampu memberikan manfaat fisiologis yang dapat dibuktikan secara ilmiah. Oleh sebab itu, setiap tahapan pengembangan harus mempertimbangkan hubungan antara karakteristik bahan baku, teknologi pengolahan, komposisi nutrisi, kualitas produk, serta respons biologis setelah produk dikonsumsi.

Pengembangan abon ikan gabus sebagai pangan fungsional dalam buku ini mengikuti prinsip *integrated product development*, yaitu suatu pendekatan yang mengintegrasikan aspek teknologi pangan, ilmu gizi, karakterisasi mutu, dan evaluasi bioefikasi dalam

satu sistem pengembangan produk. Pendekatan tersebut bertujuan menghasilkan produk yang tidak hanya memenuhi persyaratan mutu pangan, tetapi juga memiliki manfaat kesehatan yang terukur.

Tahapan pertama dalam pengembangan adalah identifikasi kebutuhan produk. Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap permasalahan gizi yang menjadi dasar pengembangan inovasi. Dalam konteks buku ini, anemia pada ibu hamil menjadi fokus utama karena prevalensinya masih tinggi dan memerlukan alternatif intervensi berbasis pangan yang lebih mudah diterima dibandingkan suplementasi konvensional. Analisis kebutuhan ini menjadi dasar dalam menentukan karakteristik produk yang akan dikembangkan.

Tahap berikutnya adalah pemilihan bahan baku. Bahan baku dipilih berdasarkan kandungan nutrisi, ketersediaan, keamanan, nilai ekonomi, serta potensi manfaat kesehatannya. Ikan gabus dipilih sebagai sumber protein hewani karena memiliki kandungan protein berkualitas tinggi dan zat besi *heme* yang berperan dalam pembentukan hemoglobin. Sementara itu, daun ubi jalar ungu dan daun kangkung dipilih sebagai bahan fortifikasi karena mengandung zat besi, folat, vitamin C, serta berbagai senyawa bioaktif yang mendukung proses eritropoiesis.

Setelah bahan baku ditetapkan, dilakukan pengembangan formulasi produk. Tahapan ini bertujuan menentukan proporsi bahan yang mampu menghasilkan keseimbangan antara kualitas nutrisi, karakteristik sensoris, stabilitas produk, dan manfaat biologis. Formulasi merupakan proses yang bersifat iteratif, di mana setiap perubahan komposisi bahan akan memengaruhi karakteristik produk secara keseluruhan. Oleh karena itu, penyusunan formulasi harus mempertimbangkan interaksi antara protein, serat, kadar air, pigmen alami, serta senyawa bioaktif yang berasal dari masing-masing bahan.

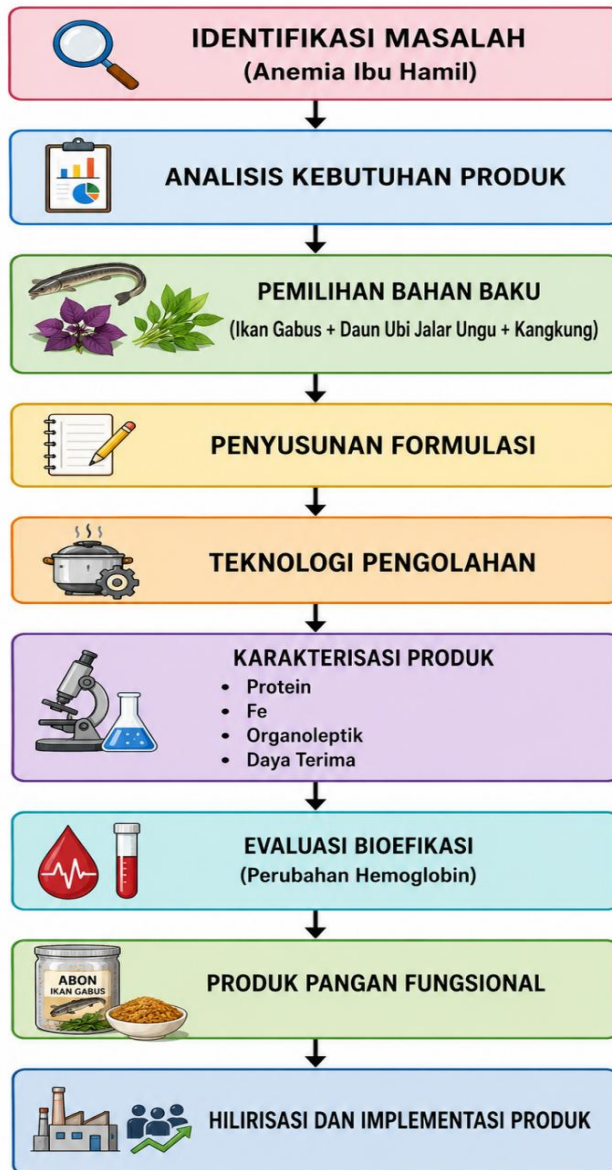
Tahapan selanjutnya adalah pengembangan teknologi proses. Teknologi pengolahan harus dirancang agar mampu mempertahankan kualitas nutrisi sekaligus menghasilkan karakteristik produk yang sesuai dengan preferensi konsumen. Pada pengembangan abon ikan gabus, tahapan pengolahan meliputi persiapan bahan, pemasakan, pencampuran bahan fortifikasi, pengeringan, hingga pengemasan. Setiap tahapan memiliki pengaruh terhadap stabilitas protein, kandungan zat besi, aktivitas antioksidan, warna produk, aroma, tekstur, serta umur simpan.

Produk yang telah dihasilkan kemudian memasuki tahap karakterisasi mutu. Evaluasi dilakukan terhadap parameter kimia, fisik, dan sensoris. Analisis kimia meliputi kandungan protein dan zat besi, sedangkan evaluasi sensoris mencakup warna, aroma, rasa, tekstur, dan tingkat kesukaan konsumen. Karakterisasi mutu bertujuan memastikan bahwa produk memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan serta layak digunakan sebagai pangan fungsional.

Tahapan akhir dalam pengembangan adalah evaluasi manfaat biologis. Pada tahap ini produk tidak lagi dinilai berdasarkan kandungan nutrisi semata, tetapi berdasarkan kemampuannya dalam menghasilkan perubahan fisiologis yang dapat diukur melalui biomarker kesehatan. Dalam konteks pengembangan pangan untuk pencegahan anemia, indikator yang digunakan adalah perubahan kadar hemoglobin setelah konsumsi produk. Evaluasi tersebut memberikan bukti ilmiah mengenai efektivitas produk sebagai pangan fungsional.

Dengan demikian, pengembangan abon ikan gabus sebagai pangan fungsional merupakan suatu proses yang bersifat sistematis dan berkesinambungan. Setiap tahapan saling memengaruhi sehingga perubahan pada satu tahap akan berdampak terhadap tahapan berikutnya. Pendekatan ini memastikan bahwa produk yang

dihasilkan tidak hanya unggul dari aspek teknologi dan mutu, tetapi juga memiliki manfaat biologis yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.



Gambar 3.1 *Fortified Snakehead Functional Food Development Model*

3.3 *Fortified Snakehead Functional Food Development Model*

Pengembangan pangan fungsional pada dasarnya merupakan suatu proses inovasi yang bersifat sistematis, multidisiplin, dan berorientasi pada pencapaian manfaat kesehatan yang dapat dibuktikan secara ilmiah. Berbeda dengan pengembangan produk pangan konvensional yang lebih menitikberatkan pada aspek mutu, keamanan, dan penerimaan konsumen, pengembangan pangan fungsional menuntut integrasi antara ilmu pangan, ilmu gizi, teknologi pengolahan, biokimia, dan kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, setiap tahapan dalam proses pengembangan produk tidak dapat dipandang sebagai aktivitas yang berdiri sendiri, melainkan sebagai suatu sistem yang saling berkaitan dan memengaruhi keberhasilan produk secara keseluruhan.

Berdasarkan sintesis berbagai teori mengenai *functional food development*, *food-to-food fortification*, *food matrix*, bioavailabilitas, serta bioefikasi yang telah dibahas pada bab sebelumnya, buku ini mengembangkan suatu kerangka konseptual yang menggambarkan tahapan pengembangan pangan fungsional berbasis abon ikan gabus. Kerangka tersebut disusun untuk menunjukkan bahwa inovasi produk pangan fungsional harus dimulai dari identifikasi masalah kesehatan yang ingin diatasi, dilanjutkan dengan pemilihan bahan pangan yang sesuai, pengembangan formulasi, penerapan teknologi pengolahan, karakterisasi produk, pembuktian manfaat biologis, hingga proses hilirisasi agar produk dapat dimanfaatkan secara luas oleh masyarakat.

Tahap awal dalam model ini diawali dengan identifikasi permasalahan kesehatan masyarakat yang menjadi dasar pengembangan produk. Dalam konteks ini, anemia pada ibu hamil dipilih sebagai fokus utama karena masih merupakan salah satu masalah gizi yang memiliki prevalensi tinggi baik di tingkat global maupun nasional.

Tingginya angka kejadian anemia serta keterbatasan efektivitas intervensi berbasis suplementasi menjadi landasan perlunya pengembangan alternatif intervensi melalui pangan fungsional. Dengan demikian, proses pengembangan produk sejak awal telah diarahkan untuk menghasilkan pangan yang mampu mendukung peningkatan status hemoglobin melalui pendekatan berbasis pangan (*food-based intervention*).

Berdasarkan kebutuhan tersebut, tahapan berikutnya diarahkan pada proses seleksi bahan baku yang memiliki karakteristik nutrisi sesuai dengan tujuan pengembangan produk. Pemilihan bahan tidak hanya mempertimbangkan kandungan protein, zat besi, vitamin, maupun senyawa bioaktif, tetapi juga aspek ketersediaan, keamanan pangan, keberlanjutan produksi, serta penerimaan masyarakat terhadap bahan tersebut. Ikan gabus dipilih sebagai sumber protein hewani karena memiliki kandungan protein berkualitas tinggi serta zat besi *heme* yang berperan penting dalam sintesis hemoglobin. Sementara itu, daun ubi jalar ungu dan daun kangkung dipilih sebagai bahan fortifikasi karena mengandung zat besi, folat, vitamin C, dan berbagai senyawa antioksidan yang berpotensi meningkatkan bioavailabilitas zat besi serta mendukung proses eritropoiesis.

Tahapan selanjutnya merupakan inti dari pengembangan produk, yaitu penyusunan formulasi berdasarkan konsep *Food-to-Food Fortification*. Pada tahap ini dilakukan integrasi antara protein hewani dan sumber mikronutrien nabati ke dalam satu matriks pangan yang dirancang untuk menghasilkan efek sinergis. Formulasi tidak hanya bertujuan meningkatkan kandungan nutrisi produk, tetapi juga mempertahankan keseimbangan karakteristik sensoris sehingga produk tetap memiliki cita rasa, aroma, warna, dan tekstur yang dapat diterima oleh konsumen. Oleh karena itu, proses formulasi

dilakukan melalui berbagai pertimbangan ilmiah yang memperhatikan interaksi antar komponen pangan serta pengaruhnya terhadap mutu produk akhir.

Formulasi yang telah ditetapkan kemudian diimplementasikan melalui penerapan teknologi pengolahan yang sesuai. Teknologi pengolahan berfungsi sebagai media untuk mentransformasikan bahan baku menjadi produk pangan yang aman, stabil, dan memiliki mutu yang konsisten. Setiap tahapan pengolahan, mulai dari persiapan bahan, pemasakan, pencampuran bahan fortifikasi, pengeringan, hingga pengemasan, dirancang untuk mempertahankan kandungan nutrisi sekaligus meminimalkan kerusakan senyawa bioaktif akibat proses termal. Dengan demikian, teknologi pengolahan tidak hanya berperan dalam membentuk karakteristik fisik produk, tetapi juga menentukan kualitas biologis pangan fungsional yang dihasilkan.

Produk yang telah dihasilkan selanjutnya memasuki tahap karakterisasi untuk memastikan bahwa seluruh parameter mutu memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Karakterisasi dilakukan melalui analisis kandungan protein dan zat besi sebagai indikator mutu nutrisi, disertai dengan evaluasi sensoris yang meliputi warna, aroma, rasa, tekstur, serta tingkat penerimaan konsumen. Tahapan ini menjadi sangat penting karena keberhasilan suatu pangan fungsional tidak hanya ditentukan oleh kandungan zat gizinya, tetapi juga oleh kemampuan produk untuk diterima dan dikonsumsi secara berkelanjutan oleh masyarakat sasaran.

Tahapan berikutnya adalah evaluasi bioefikasi yang bertujuan membuktikan manfaat biologis produk setelah dikonsumsi. Berbeda dengan analisis laboratorium yang hanya menggambarkan kandungan nutrisi, evaluasi bioefikasi menilai kemampuan produk dalam menghasilkan perubahan fisiologis yang dapat diukur melalui biomarker kesehatan. Perubahan kadar hemoglobin digunakan sebagai indikator

utama untuk mengevaluasi efektivitas formulasi abon ikan gabus yang difortifikasi dengan daun ubi jalar ungu maupun daun kangkung. Tahapan ini memberikan dasar ilmiah bahwa produk yang dikembangkan tidak hanya memiliki kandungan nutrisi yang baik, tetapi juga mampu memberikan manfaat kesehatan yang nyata.

Tahapan terakhir dalam model pengembangan diarahkan pada proses validasi dan hilirisasi produk. Validasi dilakukan untuk memastikan bahwa produk dapat diproduksi secara konsisten dengan mutu yang tetap terjaga, sedangkan hilirisasi bertujuan mendorong pemanfaatan hasil penelitian menjadi produk yang dapat diimplementasikan dalam masyarakat. Proses ini mencakup pengembangan standar mutu, perlindungan kekayaan intelektual, peluang komersialisasi, hingga integrasi produk ke dalam program intervensi gizi berbasis masyarakat. Dengan demikian, pengembangan pangan fungsional tidak berhenti pada skala laboratorium, tetapi berlanjut menuju pemanfaatan nyata sebagai salah satu alternatif intervensi gizi dalam pencegahan anemia.

Secara keseluruhan, model pengembangan pangan fungsional yang diuraikan dalam buku ini menempatkan inovasi produk sebagai suatu sistem yang terintegrasi. Hubungan antara identifikasi masalah, pemilihan bahan baku, formulasi, teknologi pengolahan, karakterisasi mutu, bioefikasi, dan hilirisasi membentuk suatu siklus inovasi yang saling memengaruhi. Pendekatan tersebut diharapkan dapat menjadi kerangka ilmiah dalam pengembangan berbagai produk pangan fungsional berbasis biodiversitas lokal Indonesia, sehingga tidak hanya menghasilkan inovasi produk yang unggul secara teknologi, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan status gizi dan kesehatan masyarakat.

3.4 Teknologi Pengolahan Abon Ikan Gabus sebagai Matriks Pangan Fungsional

Teknologi pengolahan merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan pengembangan pangan fungsional karena berpengaruh langsung terhadap mutu gizi, karakteristik sensoris, keamanan pangan, serta stabilitas produk selama penyimpanan. Dalam pengembangan pangan fungsional, proses pengolahan tidak hanya bertujuan menghasilkan produk yang memiliki cita rasa dan tekstur yang disukai konsumen, tetapi juga harus mampu mempertahankan komponen bioaktif yang berperan dalam memberikan manfaat fisiologis (Stone, 2020). Oleh karena itu, pemilihan teknologi pengolahan menjadi aspek yang sangat penting dalam menghasilkan produk pangan yang memiliki kualitas nutrisi dan bioefikasi yang optimal.

Abon merupakan salah satu produk olahan pangan tradisional Indonesia yang dihasilkan melalui proses pemasakan, penghancuran serat daging, pencampuran bumbu, dan pengeringan hingga diperoleh tekstur berserat halus dengan kadar air yang rendah. Karakteristik tersebut menjadikan abon memiliki umur simpan yang relatif panjang, mudah didistribusikan, praktis dikonsumsi, dan diterima oleh berbagai kelompok masyarakat. Dalam perspektif teknologi pangan, abon tidak hanya berfungsi sebagai produk olahan, tetapi juga dapat digunakan sebagai matriks pangan (*food matrix*) yang memungkinkan integrasi berbagai komponen nutrisi dan senyawa bioaktif melalui proses fortifikasi berbasis pangan (*food-to-food fortification*).

Penggunaan abon sebagai matriks pangan memiliki beberapa keunggulan dibandingkan bentuk olahan lainnya. Struktur serat yang terbentuk selama proses pengolahan memberikan luas permukaan yang cukup besar sehingga memungkinkan pencampuran bahan fortifikasi secara lebih homogen. Selain itu, kadar air produk

yang rendah berkontribusi terhadap peningkatan stabilitas mikrobiologis serta memperpanjang umur simpan. Karakteristik tersebut memberikan peluang untuk mengembangkan abon sebagai media penghantar (*delivery system*) berbagai zat gizi makro maupun mikro yang diperlukan dalam upaya pencegahan anemia.

Dalam pengembangan pangan fungsional, teknologi pengolahan harus mempertimbangkan keseimbangan antara kualitas sensoris dan retensi zat gizi. Perlakuan termal yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi protein, degradasi vitamin yang sensitif terhadap panas, serta penurunan aktivitas senyawa antioksidan. Sebaliknya, proses pemasakan yang tidak memadai dapat memengaruhi keamanan pangan maupun karakteristik sensoris produk. Oleh karena itu, setiap tahapan pengolahan harus dirancang untuk menghasilkan produk yang aman dikonsumsi sekaligus mampu mempertahankan kandungan nutrisi yang menjadi target pengembangan.

Pada pengembangan abon ikan gabus sebagai pangan fungsional, proses produksi diawali dengan pemilihan bahan baku yang memenuhi standar mutu. Ikan gabus yang digunakan harus memiliki tingkat kesegaran yang baik karena kualitas bahan baku akan memengaruhi kandungan protein, karakteristik tekstur, cita rasa, serta stabilitas produk akhir. Setelah dilakukan pembersihan, ikan diproses melalui tahap pemasakan untuk mempermudah pemisahan daging dari tulang dan jaringan ikat. Tahap ini juga berfungsi mengurangi kontaminasi mikroorganisme serta mempersiapkan struktur protein untuk proses penghancuran menjadi serat-serat halus yang menjadi ciri khas abon.

Daging ikan yang telah dipisahkan selanjutnya dihancurkan hingga membentuk serat-serat halus sebelum dicampurkan dengan bumbu dan bahan fortifikasi. Pada tahap ini, prinsip *food-to-food fortification* mulai diterapkan melalui penambahan bahan pangan nabati yang telah dipersiapkan sebelumnya. Proses pencampuran

harus dilakukan secara homogen agar distribusi zat gizi dalam produk menjadi merata. Homogenitas formulasi merupakan salah satu faktor penting karena berpengaruh terhadap konsistensi mutu nutrisi maupun karakteristik sensoris pada setiap bagian produk.

Tahap pengeringan menjadi proses yang sangat menentukan dalam pembentukan karakteristik akhir abon. Pengurangan kadar air bertujuan menghambat pertumbuhan mikroorganisme, memperpanjang umur simpan, serta menghasilkan tekstur khas yang ringan dan berserat. Namun demikian, proses pengeringan harus dikendalikan dengan baik agar tidak menyebabkan kehilangan protein, oksidasi lemak, maupun degradasi senyawa bioaktif yang berasal dari bahan fortifikasi. Pengendalian suhu, lama pemanasan, dan kadar air akhir menjadi parameter penting dalam menjaga keseimbangan antara stabilitas produk dan kualitas nutrisi.

Setelah proses pengeringan selesai, produk didinginkan sebelum dikemas menggunakan bahan kemasan yang memiliki kemampuan melindungi produk dari paparan udara, kelembapan, cahaya, dan kontaminasi mikroorganisme. Pengemasan merupakan tahapan penting karena kualitas produk pangan fungsional harus tetap terjaga selama distribusi dan penyimpanan. Pemilihan kemasan yang sesuai juga berkontribusi terhadap stabilitas warna, aroma, tekstur, serta kandungan zat gizi produk hingga masa simpan berakhir.

Keseluruhan tahapan pengolahan tersebut menunjukkan bahwa teknologi produksi abon tidak hanya merupakan proses mekanis untuk mengubah bahan mentah menjadi produk siap konsumsi, tetapi juga merupakan bagian dari strategi mempertahankan kualitas nutrisi dan manfaat biologis produk. Dengan demikian, teknologi pengolahan berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan potensi nutrisi bahan baku dengan efektivitas produk sebagai pangan fungsional. Keberhasilan proses ini selanjutnya akan dievaluasi melalui karakterisasi mutu produk yang meliputi analisis kandungan

protein, zat besi, sifat sensoris, serta daya terima konsumen sebagaimana akan dibahas pada subbab berikutnya.



Gambar 3.2 Alur Teknologi Pengolahan Abon Ikan Gabus sebagai Pangan Fungsional

3.5 Prinsip Formulasi Abon Ikan Gabus sebagai Pangan Fungsional

Formulasi merupakan salah satu tahapan paling penting dalam pengembangan produk pangan fungsional karena menentukan karakteristik nutrisi, mutu sensoris, stabilitas produk, serta efektivitas biologis setelah dikonsumsi. Dalam ilmu teknologi pangan, formulasi tidak sekadar dipahami sebagai proses mencampurkan berbagai bahan baku, tetapi merupakan suatu proses ilmiah untuk menghasilkan komposisi bahan yang mampu memenuhi tujuan fungsional tertentu. Oleh karena itu, penyusunan formulasi harus mempertimbangkan hubungan antara karakteristik masing-masing bahan, interaksi antar komponen pangan, proses pengolahan, dan tujuan kesehatan yang ingin dicapai.

Pada pengembangan abon ikan gabus sebagai pangan fungsional, formulasi diarahkan untuk menghasilkan produk yang memiliki keseimbangan antara kualitas nutrisi, karakteristik sensoris, keamanan pangan, dan manfaat fisiologis. Pendekatan tersebut menjadi sangat penting karena produk tidak hanya ditujukan sebagai makanan sumber protein, tetapi juga sebagai media penghantar berbagai zat gizi dan senyawa bioaktif yang berperan dalam mendukung pembentukan hemoglobin. Dengan demikian, penyusunan formulasi tidak hanya berorientasi pada peningkatan kandungan protein atau zat besi, tetapi juga mempertimbangkan bioavailabilitas dan bioefikasi nutrisi setelah produk dikonsumsi.

Prinsip utama dalam penyusunan formulasi adalah sinergi nutrisi (*nutrient synergy*). Konsep ini menjelaskan bahwa manfaat biologis suatu produk pangan merupakan hasil interaksi berbagai zat gizi yang bekerja secara bersama-sama. Protein hewani dari ikan gabus menyediakan asam amino esensial yang diperlukan dalam sintesis rantai globin, sedangkan daun ubi jalar ungu dan daun kangkung memberikan kontribusi zat besi, folat, vitamin C, serta berbagai senyawa antioksidan yang mendukung proses eritropoiesis. Kombinasi

ketiga bahan tersebut diharapkan menghasilkan efek biologis yang lebih besar dibandingkan apabila masing-masing bahan dikonsumsi secara terpisah.

Selain sinergi nutrisi, formulasi juga harus mempertimbangkan keseimbangan karakteristik sensoris. Penambahan bahan fortifikasi dalam jumlah tertentu dapat meningkatkan kandungan zat gizi, tetapi pada saat yang sama berpotensi mengubah warna, aroma, rasa, maupun tekstur produk. Oleh karena itu, proses formulasi harus mampu menemukan titik keseimbangan antara peningkatan nilai gizi dan penerimaan konsumen. Produk pangan fungsional yang memiliki manfaat biologis tinggi tetapi tidak disukai konsumen tidak akan memberikan dampak kesehatan yang optimal karena tidak dikonsumsi secara berkelanjutan.

Aspek lain yang menjadi pertimbangan dalam formulasi adalah stabilitas komponen bioaktif selama proses pengolahan. Berbagai vitamin, pigmen alami, dan senyawa antioksidan diketahui sensitif terhadap panas, oksigen, maupun cahaya. Oleh karena itu, proporsi bahan fortifikasi harus disusun sedemikian rupa sehingga kehilangan zat gizi selama proses produksi dapat diminimalkan tanpa mengurangi kualitas produk akhir. Dalam konteks ini, formulasi dan teknologi pengolahan merupakan dua komponen yang tidak dapat dipisahkan karena keduanya secara bersama-sama menentukan mutu nutrisi produk.

Prinsip formulasi pangan fungsional juga menempatkan keamanan pangan sebagai prioritas utama. Seluruh bahan yang digunakan harus memenuhi persyaratan keamanan, bebas dari cemaran biologis, kimia, maupun fisik, serta berasal dari sumber yang layak dikonsumsi. Selain itu, proses pencampuran bahan harus menghasilkan distribusi yang homogen agar setiap bagian produk memiliki komposisi nutrisi yang relatif seragam. Homogenitas formulasi menjadi penting terutama apabila produk digunakan sebagai bagian dari intervensi

gizi karena konsistensi kandungan nutrisi akan memengaruhi validitas evaluasi manfaat biologis.

Dalam pengembangan abon ikan gabus sebagai pangan fungsional, formulasi juga mempertimbangkan aspek keberlanjutan (*sustainability*). Pemanfaatan bahan pangan lokal seperti ikan gabus, daun ubi jalar ungu, dan daun kangkung tidak hanya memberikan manfaat nutrisi, tetapi juga mendukung diversifikasi pangan, meningkatkan nilai tambah komoditas lokal, serta memperkuat ketahanan pangan nasional. Pendekatan ini sejalan dengan konsep *sustainable food systems* yang menekankan pentingnya pengembangan produk pangan yang tidak hanya bermanfaat bagi kesehatan, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap lingkungan dan masyarakat.

Melalui penerapan prinsip-prinsip tersebut, formulasi abon ikan gabus dikembangkan sebagai suatu sistem yang mengintegrasikan aspek nutrisi, teknologi, sensoris, dan manfaat kesehatan. Dengan demikian, formulasi tidak hanya menjadi tahapan teknis dalam proses produksi, tetapi merupakan fondasi ilmiah yang menentukan keberhasilan produk sebagai pangan fungsional.

3.6 Strategi Optimasi Formulasi Produk

Dalam pengembangan pangan fungsional, formulasi tidak bersifat statis, tetapi merupakan proses optimasi yang dilakukan secara bertahap untuk memperoleh komposisi terbaik. Setiap perubahan proporsi bahan akan memengaruhi karakteristik nutrisi, mutu sensoris, serta stabilitas produk, sehingga proses formulasi harus dilakukan secara sistematis melalui evaluasi terhadap berbagai parameter mutu.

Optimasi formulasi bertujuan menghasilkan keseimbangan antara kandungan protein, zat besi, karakteristik sensoris, dan penerimaan konsumen. Dalam penelitian pengembangan abon

ikan gabus, proses optimasi dilakukan dengan membandingkan beberapa formulasi yang berbeda berdasarkan jenis bahan fortifikasi yang digunakan. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi formulasi yang memiliki karakteristik paling sesuai sebagai pangan fungsional untuk mendukung pencegahan anemia.

Hasil optimasi formulasi selanjutnya menjadi dasar dalam proses karakterisasi produk yang meliputi analisis kandungan protein, kadar zat besi, evaluasi sensoris, dan uji daya terima konsumen. Melalui tahapan tersebut diperoleh formulasi yang tidak hanya unggul dari aspek nutrisi, tetapi juga memiliki kualitas organoleptik yang baik dan berpotensi memberikan manfaat biologis yang optimal.

3.7 Pengendalian Mutu dalam Pengembangan Abon Ikan Gabus sebagai Pangan Fungsional

Pengendalian mutu (*quality control*) merupakan salah satu komponen fundamental dalam pengembangan pangan fungsional karena berperan memastikan bahwa produk yang dihasilkan memiliki karakteristik yang konsisten, aman dikonsumsi, memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan, serta mampu memberikan manfaat fisiologis sesuai tujuan pengembangannya. Dalam industri pangan modern, mutu tidak lagi dimaknai hanya sebagai kesesuaian terhadap standar fisik atau sensoris, tetapi mencakup keseluruhan karakteristik produk yang memengaruhi keamanan, nilai gizi, stabilitas, penerimaan konsumen, hingga efektivitas biologis. Oleh karena itu, sistem pengendalian mutu menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari proses inovasi pangan fungsional.

Pada produk pangan konvensional, parameter mutu umumnya difokuskan pada karakteristik fisik, kimia, mikrobiologi, dan organoleptik. Namun, pada pangan fungsional ruang lingkup pengendalian mutu menjadi lebih luas karena produk harus mampu mempertahankan kandungan zat gizi dan senyawa bioaktif yang menjadi

dasar klaim fungsionalnya. Dengan demikian, pengendalian mutu tidak hanya dilakukan terhadap produk akhir, tetapi juga mencakup bahan baku, proses pengolahan, formulasi, penyimpanan, hingga distribusi produk.

Tahap pertama dalam sistem pengendalian mutu dimulai sejak proses seleksi bahan baku. Kualitas ikan gabus, daun ubi jalar ungu, dan daun kangkung sangat menentukan mutu produk akhir karena kandungan protein, zat besi, vitamin, maupun senyawa bioaktif dipengaruhi oleh tingkat kesegaran bahan, metode budidaya, umur panen, serta penanganan pascapanen. Oleh sebab itu, seluruh bahan baku harus memenuhi persyaratan mutu yang telah ditetapkan agar variasi kandungan nutrisi dapat diminimalkan. Standardisasi bahan baku menjadi langkah awal dalam menghasilkan produk yang memiliki konsistensi kualitas pada setiap proses produksi.

Pengendalian mutu selanjutnya dilakukan selama proses pengolahan. Setiap tahapan produksi memiliki potensi memengaruhi kualitas nutrisi maupun karakteristik sensoris produk. Proses pemasakan, pencampuran bahan fortifikasi, pengeringan, dan pengemasan harus dilakukan berdasarkan prosedur operasional yang terstandar untuk menjaga keseragaman mutu. Pengendalian parameter proses, seperti suhu, waktu pemanasan, kadar air akhir, dan homogenitas pencampuran, menjadi faktor penting dalam mempertahankan kandungan protein, zat besi, serta stabilitas senyawa bioaktif yang terdapat dalam produk.

Selain parameter proses, pengendalian mutu juga mencakup evaluasi terhadap karakteristik produk akhir. Analisis kimia dilakukan untuk memastikan kandungan protein dan zat besi sesuai dengan target formulasi. Evaluasi sensoris bertujuan menilai warna, aroma, rasa, tekstur, dan tingkat kesukaan konsumen, sedangkan analisis fisik digunakan untuk mengevaluasi karakteristik produk yang berkaitan dengan mutu penyimpanan. Keseluruhan parameter

tersebut saling melengkapi dalam memberikan gambaran mengenai kualitas produk sebagai pangan fungsional.

Dalam pengembangan pangan fungsional, mutu produk tidak hanya ditentukan oleh kandungan nutrisi, tetapi juga oleh stabilitas nutrisi selama penyimpanan. Protein, vitamin, pigmen alami, maupun senyawa antioksidan dapat mengalami perubahan akibat paparan oksigen, kelembapan, cahaya, maupun suhu penyimpanan. Oleh karena itu, sistem pengendalian mutu harus mencakup evaluasi terhadap stabilitas produk agar manfaat biologis yang diharapkan tetap dapat dipertahankan hingga akhir masa simpan. Pemilihan jenis kemasan yang sesuai serta pengendalian kondisi penyimpanan menjadi bagian penting dalam menjaga kualitas produk.

Pengendalian mutu juga berhubungan erat dengan aspek keamanan pangan. Produk pangan fungsional harus memenuhi persyaratan keamanan mikrobiologis, kimia, dan fisik sesuai standar nasional maupun internasional. Penerapan prinsip *Good Manufacturing Practices* (GMP), *Sanitation Standard Operating Procedures* (SSOP), dan *Hazard Analysis and Critical Control Point* (HACCP) menjadi pendekatan yang direkomendasikan dalam menghasilkan produk pangan yang aman dikonsumsi. Integrasi sistem tersebut memungkinkan identifikasi dan pengendalian potensi bahaya sejak awal proses produksi sehingga mutu dan keamanan produk dapat dipertahankan secara konsisten.

Dalam konteks pengembangan abon ikan gabus sebagai pangan fungsional, pengendalian mutu juga mencakup evaluasi terhadap kesesuaian formulasi dengan tujuan biologis yang ingin dicapai. Produk yang memiliki kandungan protein dan zat besi tinggi belum tentu memberikan manfaat fisiologis yang optimal apabila proses pengolahan menyebabkan penurunan bioavailabilitas zat gizi atau kerusakan senyawa bioaktif. Oleh karena itu, parameter mutu pada pangan fungsional harus dipahami secara lebih luas, yaitu sebagai

kombinasi antara mutu fisik, kimia, sensoris, keamanan pangan, dan potensi bioefikasi.

Pendekatan tersebut menunjukkan bahwa pengendalian mutu bukan hanya merupakan aktivitas inspeksi terhadap produk akhir, melainkan suatu sistem yang terintegrasi sejak pemilihan bahan baku hingga evaluasi manfaat biologis. Dengan sistem pengendalian mutu yang baik, produk pangan fungsional tidak hanya memiliki kualitas yang konsisten, tetapi juga mampu memberikan manfaat kesehatan yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Prinsip ini menjadi landasan penting dalam pengembangan abon ikan gabus sebagai salah satu inovasi pangan fungsional berbasis biodiversitas lokal.

DASAR ILMIAH PEMILIHAN IKAN GABUS (*CHANNA STRIATA*) SEBAGAI BAHAN BAKU PANGAN FUNGSIONAL

4.1 Ikan Gabus dalam Perspektif Ilmu Pangan dan Gizi

Ikan merupakan salah satu sumber protein hewani yang memiliki peranan penting dalam pemenuhan kebutuhan gizi manusia. Dibandingkan berbagai sumber protein lainnya, ikan memiliki komposisi asam amino esensial yang lengkap, daya cerna yang tinggi, serta mengandung berbagai vitamin dan mineral yang berperan dalam berbagai proses metabolisme tubuh. Selain berfungsi sebagai sumber nutrisi, berbagai penelitian dalam dua dekade terakhir menunjukkan bahwa beberapa spesies ikan juga mengandung senyawa bioaktif yang berpotensi memberikan manfaat fisiologis sehingga semakin banyak dikembangkan sebagai bahan baku pangan fungsional.

Di antara berbagai spesies ikan air tawar yang terdapat di Indonesia, ikan gabus (*Channa striata*) memperoleh perhatian yang cukup besar dalam bidang ilmu pangan, gizi, dan kesehatan. Ikan ini dikenal memiliki kandungan protein yang relatif tinggi dengan komposisi asam amino esensial yang lengkap, sehingga berpotensi mendukung berbagai proses sintesis protein di dalam tubuh. Selain itu, ikan gabus juga mengandung albumin, zat besi, seng, fosfor, serta berbagai mikronutrien lain yang berkontribusi terhadap proses penyembuhan jaringan, pemeliharaan fungsi imun, dan pembentukan sel darah merah (Mat Jais, 2007).

Pemanfaatan ikan gabus sebagai bahan pangan sebenarnya telah berlangsung lama di berbagai wilayah Indonesia. Masyarakat memanfaatkan ikan ini dalam berbagai bentuk olahan tradisional seperti ikan segar, ikan asap, ikan asin, maupun abon. Namun demikian, pemanfaatan tersebut sebagian besar masih didasarkan pada pengalaman empiris dan nilai budaya lokal, sedangkan pengembangan berbasis bukti ilmiah (*evidence-based food development*) masih relatif terbatas. Seiring berkembangnya penelitian mengenai pangan fungsional, perhatian terhadap ikan gabus semakin meningkat karena potensinya sebagai sumber protein berkualitas tinggi yang dapat dikombinasikan dengan berbagai bahan pangan nabati melalui pendekatan *Food-to-Food Fortification*.

Dalam perspektif teknologi pangan, ikan gabus memiliki karakteristik yang mendukung proses pengembangan produk. Struktur dagingnya relatif padat dengan serat otot yang mudah dipisahkan sehingga sesuai untuk diolah menjadi abon. Kandungan protein yang tinggi memberikan kemampuan membentuk tekstur berserat yang stabil, sedangkan cita rasa yang relatif netral memudahkan proses formulasi dengan berbagai bahan fortifikasi tanpa menimbulkan perubahan karakteristik sensoris yang berlebihan. Karakteristik tersebut menjadikan ikan gabus sebagai salah satu matriks pangan yang potensial dalam pengembangan produk pangan fungsional (Zuraini, 2006).

Selain aspek teknologi, ikan gabus juga memiliki keunggulan dari sisi kesehatan masyarakat. Tingginya prevalensi anemia, kekurangan protein, serta berbagai gangguan gizi di Indonesia mendorong perlunya pemanfaatan sumber protein lokal yang mudah diperoleh dan memiliki kualitas nutrisi yang baik. Pengembangan produk berbasis ikan gabus tidak hanya memberikan alternatif sumber protein hewani, tetapi juga mendukung diversifikasi pangan dan peningkatan konsumsi ikan nasional. Oleh karena itu, pemanfaatan

ikan gabus sebagai bahan baku pangan fungsional memiliki relevansi yang tinggi dalam mendukung program peningkatan status gizi masyarakat.

Dalam konteks buku ini, ikan gabus tidak hanya diposisikan sebagai bahan baku utama, tetapi juga sebagai matriks biologis yang memungkinkan integrasi berbagai komponen bioaktif melalui pendekatan *Food-to-Food Fortification*. Dengan demikian, pemilihan ikan gabus didasarkan pada pertimbangan ilmiah yang mencakup aspek nutrisi, teknologi, bioavailabilitas, karakteristik sensoris, serta potensi manfaat biologis dalam mendukung pembentukan hemoglobin.

4.2 Karakteristik Biologis dan Potensi Akuakultur Ikan Gabus

Ikan gabus (*Channa striata*) merupakan salah satu spesies ikan air tawar yang termasuk dalam famili *Channidae*. Spesies ini tersebar luas di berbagai wilayah Asia Tenggara dan dikenal memiliki kemampuan adaptasi yang sangat baik terhadap berbagai kondisi lingkungan. Kemampuan bernapas menggunakan organ suprabranchial memungkinkan ikan gabus bertahan pada perairan dengan kadar oksigen terlarut yang rendah, sehingga dapat hidup di rawa, sungai, danau, sawah, maupun kolam budidaya. Adaptasi fisiologis tersebut menjadikan ikan gabus sebagai salah satu komoditas perikanan air tawar yang memiliki prospek pengembangan sangat baik.

Dari perspektif produksi pangan, ikan gabus memiliki beberapa keunggulan dibandingkan spesies air tawar lainnya. Pertumbuhannya relatif cepat, toleran terhadap fluktuasi kualitas air, serta mampu memanfaatkan berbagai jenis pakan. Karakteristik tersebut memberikan peluang bagi pengembangan budidaya secara berkelanjutan guna memenuhi kebutuhan bahan baku industri pangan. Selain itu, ketersediaan ikan gabus di berbagai wilayah Indonesia menjadikan

komoditas ini mudah diakses sebagai sumber protein lokal yang dapat diolah menjadi berbagai produk bernilai tambah.

Secara morfologi, ikan gabus memiliki tubuh memanjang dengan massa otot yang cukup besar dibandingkan bagian tulangnya. Proporsi daging yang tinggi memberikan rendemen yang baik pada proses pengolahan, terutama untuk produk abon yang memerlukan pemisahan serat otot secara intensif. Struktur serat otot yang kompak juga memudahkan pembentukan tekstur khas abon tanpa memerlukan penambahan bahan pengikat dalam jumlah besar (Mustafa, 2012).

Potensi akuakultur ikan gabus semakin meningkat seiring berkembangnya teknologi budidaya dan meningkatnya permintaan pasar terhadap produk berbasis protein lokal. Pengembangan sistem budidaya yang berkelanjutan menjadi faktor penting dalam menjamin kontinuitas pasokan bahan baku bagi industri pangan fungsional. Dengan demikian, pemanfaatan ikan gabus tidak hanya memberikan manfaat dari aspek gizi, tetapi juga berkontribusi terhadap penguatan ekonomi perikanan lokal dan pembangunan sistem pangan yang berkelanjutan.



Gambar 4.1 Ikan Gabus (*Channa Striata*)

4.3 Komposisi Nutrisi dan Senyawa Bioaktif Ikan Gabus (*Channa striata*)

Nilai suatu bahan pangan dalam pengembangan pangan fungsional tidak hanya ditentukan oleh kandungan zat gizinya secara kuantitatif, tetapi juga oleh komposisi senyawa bioaktif yang mampu memberikan manfaat fisiologis setelah dikonsumsi. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian mengenai ikan gabus (*Channa striata*) mengalami perkembangan yang sangat pesat karena spesies ini diketahui memiliki profil nutrisi yang lengkap dan berpotensi mendukung berbagai fungsi biologis, termasuk perbaikan status gizi, penyembuhan jaringan, peningkatan sistem imun, dan pembentukan sel darah merah. Oleh karena itu, ikan gabus tidak lagi dipandang hanya sebagai sumber protein hewani, tetapi juga sebagai bahan pangan yang memiliki karakteristik fungsional.

Komposisi nutrisi ikan gabus menunjukkan keseimbangan antara makronutrien dan mikronutrien yang dibutuhkan tubuh. Daging ikan gabus mengandung protein dalam jumlah tinggi dengan kualitas biologis yang baik, sementara kandungan lemaknya relatif rendah dibandingkan beberapa jenis ikan air tawar lainnya. Karakteristik ini menjadikan ikan gabus sebagai sumber protein yang sesuai untuk berbagai kelompok usia, termasuk ibu hamil yang memerlukan asupan protein berkualitas tinggi untuk mendukung pertumbuhan janin dan mempertahankan status kesehatan ibu.

Selain kandungan protein, ikan gabus juga mengandung berbagai mineral penting seperti zat besi, seng, fosfor, kalsium, magnesium, dan selenium. Mineral-mineral tersebut berperan dalam berbagai proses metabolisme, termasuk sintesis hemoglobin, pembentukan tulang, fungsi enzimatis, serta sistem pertahanan antioksidan tubuh. Di antara berbagai mineral tersebut, zat besi memiliki perhatian khusus karena merupakan komponen utama hemoglobin yang berfungsi mengikat dan mengangkut oksigen ke

seluruh jaringan tubuh. Keberadaan zat besi dalam matriks protein hewani memberikan keuntungan karena memiliki tingkat bioavailabilitas yang relatif lebih tinggi dibandingkan zat besi yang berasal dari bahan pangan nabati.

Dari kelompok vitamin, ikan gabus mengandung berbagai vitamin larut air dan larut lemak, terutama vitamin B kompleks yang berperan dalam metabolisme energi dan pembentukan sel darah merah. Vitamin B₆ dan vitamin B₁₂ diketahui berperan penting dalam sintesis hemoglobin dan pematangan eritrosit di sumsum tulang. Selain itu, kandungan vitamin D dan vitamin A turut mendukung fungsi imun, diferensiasi sel, dan metabolisme mineral. Kombinasi berbagai vitamin tersebut menjadikan ikan gabus sebagai salah satu sumber pangan yang memiliki nilai gizi tinggi dan relevan untuk mendukung intervensi gizi pada kelompok rentan.

Salah satu karakteristik yang membedakan ikan gabus dari berbagai spesies ikan air tawar lainnya adalah keberadaan senyawa bioaktif yang memiliki aktivitas biologis. Berbagai penelitian melaporkan bahwa daging ikan gabus mengandung peptida bioaktif, asam amino esensial, serta albumin yang berkontribusi terhadap berbagai fungsi fisiologis. Senyawa-senyawa tersebut tidak hanya berperan sebagai penyusun jaringan tubuh, tetapi juga terlibat dalam regulasi proses inflamasi, penyembuhan luka, keseimbangan tekanan osmotik, dan metabolisme protein. Kehadiran komponen bioaktif tersebut memperkuat posisi ikan gabus sebagai bahan baku yang potensial dalam pengembangan pangan fungsional.

Komposisi asam amino ikan gabus juga menjadi salah satu faktor yang mendukung kualitas biologisnya. Protein ikan gabus mengandung berbagai asam amino esensial seperti lisin, leusin, isoleusin, valin, metionin, fenilalanin, treonin, triptofan, dan histidin. Asam-asam amino tersebut diperlukan dalam sintesis protein tubuh, termasuk pembentukan rantai globin pada molekul hemoglobin.

Selain itu, beberapa asam amino juga berperan dalam regulasi sistem imun, sintesis enzim, dan pemeliharaan keseimbangan metabolisme selama kehamilan.

Keunggulan lain ikan gabus terletak pada kandungan lemaknya yang relatif rendah namun tetap menyediakan asam lemak esensial dalam jumlah yang memadai. Kandungan lemak yang rendah memberikan keuntungan dalam pengembangan produk pangan karena mengurangi risiko oksidasi lipid selama proses penyimpanan. Di sisi lain, keberadaan asam lemak esensial tetap memberikan kontribusi terhadap fungsi membran sel, regulasi inflamasi, serta perkembangan sistem saraf janin. Karakteristik ini menjadikan ikan gabus sebagai bahan baku yang sesuai untuk dikembangkan menjadi produk pangan dengan masa simpan yang relatif panjang tanpa mengorbankan kualitas nutrisi.

Dalam perspektif pengembangan pangan fungsional, komposisi nutrisi ikan gabus menunjukkan adanya sinergi antara makronutrien dan mikronutrien. Protein berkualitas tinggi menyediakan asam amino yang diperlukan untuk sintesis jaringan, sedangkan mineral dan vitamin mendukung berbagai jalur metabolisme yang berkaitan dengan pembentukan hemoglobin, fungsi imun, dan metabolisme energi. Kombinasi tersebut memberikan dasar ilmiah bahwa ikan gabus tidak hanya berfungsi sebagai sumber protein, tetapi juga sebagai matriks biologis yang mampu membawa berbagai komponen nutrisi dalam satu sistem pangan.

Potensi tersebut menjadi semakin besar ketika ikan gabus dikombinasikan dengan bahan pangan nabati melalui pendekatan *Food-to-Food Fortification*. Penambahan daun ubi jalar ungu dan daun kangkung tidak hanya meningkatkan kandungan zat besi, folat, dan vitamin C, tetapi juga melengkapi komponen bioaktif yang telah terdapat secara alami dalam ikan gabus. Dengan demikian, produk yang dihasilkan tidak hanya mengalami peningkatan

kandungan nutrisi, tetapi juga memiliki peluang menghasilkan efek sinergis yang mendukung peningkatan bioavailabilitas dan bioefikasi zat gizi.

Secara keseluruhan, komposisi nutrisi dan senyawa bioaktif ikan gabus memberikan landasan ilmiah yang kuat bagi pemanfaatannya sebagai bahan baku pangan fungsional. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa ikan gabus memiliki keunggulan dibandingkan berbagai sumber protein lainnya karena mampu menyediakan kombinasi protein berkualitas tinggi, mikronutrien, dan komponen bioaktif yang saling melengkapi. Oleh karena itu, pemanfaatan ikan gabus sebagai matriks pangan dalam pengembangan abon fungsional merupakan pendekatan yang didasarkan pada pertimbangan ilmiah, bukan semata-mata pada ketersediaan bahan baku.

Tabel 4.1. Komponen Nutrisi dan Relevansi Fisiologis Ikan Gabus dalam Pengembangan Pangan Fungsional

Komponen	Fungsi Fisiologis	Relevansi terhadap Pencegahan Anemia
Protein	Sintesis jaringan dan enzim	Pembentukan rantai globin hemoglobin
Albumin	Transport protein dan keseimbangan osmotik	Mendukung metabolisme dan pemulihan jaringan
Zat Besi (Fe)	Sintesis hemoglobin	Meningkatkan kapasitas pengangkutan oksigen
Seng (Zn)	Aktivitas enzim	Mendukung eritropoiesis dan imunitas
Fosfor	Metabolisme energi	Mendukung fungsi sel darah merah
Vitamin B Kompleks	Sintesis DNA dan metabolisme energi	Mendukung pembentukan eritrosit
Asam Amino Esensial	Sintesis protein	Pembentukan hemoglobin dan jaringan tubuh
Peptida Bioaktif	Aktivitas antioksidan dan imunomodulator	Mendukung kesehatan sel dan jaringan

4.4 Protein, Albumin, dan Asam Amino Esensial Ikan Gabus sebagai Komponen Fungsional

Protein merupakan komponen makronutrien yang memiliki fungsi sangat luas dalam sistem biologis manusia. Selain berperan sebagai penyusun utama jaringan tubuh, protein juga berfungsi sebagai komponen struktural enzim, hormon, molekul transport, antibodi, serta berbagai mediator yang mengatur proses metabolisme. Dalam ilmu pangan fungsional, kualitas suatu sumber protein tidak hanya ditentukan oleh jumlah protein yang dikandungnya, tetapi juga oleh komposisi asam amino esensial, tingkat pencernaan, nilai biologis (*biological value*), serta kemampuan protein tersebut dalam menghasilkan respons fisiologis tertentu setelah dikonsumsi.

Di antara berbagai sumber protein hewani, ikan gabus (*Channa striata*) dikenal memiliki kualitas protein yang sangat baik. Protein ikan gabus tersusun atas berbagai fraksi protein struktural dan protein fungsional yang berperan dalam mempertahankan fungsi fisiologis tubuh. Kandungan protein yang relatif tinggi dengan komposisi asam amino yang lengkap menjadikan ikan gabus sebagai salah satu sumber protein lokal yang potensial untuk dikembangkan menjadi bahan baku pangan fungsional. Keunggulan tersebut semakin penting apabila dikaitkan dengan kebutuhan protein selama kehamilan yang meningkat seiring pertumbuhan janin, pembentukan jaringan plasenta, peningkatan volume darah, serta sintesis berbagai protein maternal.

Dalam pengembangan pangan fungsional, kualitas protein lebih penting dibandingkan kuantitasnya. Protein dengan komposisi asam amino esensial yang seimbang memiliki efisiensi sintesis protein tubuh yang lebih tinggi sehingga memberikan manfaat fisiologis yang lebih optimal. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa protein ikan memiliki tingkat pencernaan yang tinggi karena struktur serat ototnya lebih pendek dan jaringan ikatnya lebih sedikit dibandingkan

protein yang berasal dari mamalia. Kondisi tersebut menyebabkan protein ikan lebih mudah dihidrolisis oleh enzim pencernaan sehingga asam amino lebih cepat tersedia untuk berbagai proses metabolisme, termasuk sintesis hemoglobin.

Salah satu karakteristik yang membedakan ikan gabus dari berbagai spesies ikan lainnya adalah kandungan albumin yang relatif tinggi. Albumin merupakan protein plasma dengan berat molekul sekitar 66,5 kDa yang disintesis di hati dan memiliki berbagai fungsi fisiologis yang sangat penting. Dalam tubuh manusia, albumin berperan mempertahankan tekanan osmotik koloid, mengangkut berbagai molekul seperti asam lemak, hormon, bilirubin, mineral, dan obat-obatan, serta berkontribusi dalam regulasi keseimbangan cairan tubuh. Selain itu, albumin juga memiliki aktivitas antioksidan melalui kemampuannya mengikat radikal bebas dan ion logam transisi sehingga melindungi sel dari kerusakan oksidatif.

Dalam konteks pangan fungsional, albumin yang terdapat pada ikan gabus tidak hanya dipandang sebagai sumber protein, tetapi juga sebagai komponen bioaktif yang berpotensi mendukung berbagai proses metabolisme. Walaupun albumin yang dikonsumsi melalui pangan akan mengalami hidrolisis menjadi peptida dan asam amino selama proses pencernaan, keberadaan protein dengan komposisi asam amino yang kaya tetap memberikan kontribusi penting terhadap sintesis protein tubuh. Dengan demikian, manfaat konsumsi ikan gabus lebih tepat dijelaskan melalui penyediaan substrat asam amino berkualitas tinggi untuk sintesis protein endogen, termasuk albumin tubuh, enzim, hormon, dan protein struktural lainnya, daripada mengasumsikan albumin pangan diserap dalam bentuk utuh.

Selain albumin, protein ikan gabus juga mengandung berbagai asam amino esensial yang berperan penting dalam pembentukan jaringan dan regulasi metabolisme. Lisin merupakan salah satu asam

amino utama yang mendukung sintesis kolagen, meningkatkan absorpsi kalsium, dan berkontribusi terhadap pembentukan berbagai protein struktural. *Leusin*, *isoleusin*, dan *valin* sebagai kelompok *branched-chain amino acids* (BCAA) berfungsi merangsang sintesis protein melalui aktivasi jalur *mammalian target of rapamycin* (mTOR), sehingga berperan dalam pemeliharaan massa otot dan regenerasi jaringan. Sementara itu, metionin dan sistein berkontribusi dalam pembentukan glutathion sebagai antioksidan endogen yang melindungi sel dari stres oksidatif.

Dari perspektif hematologi, keberadaan asam amino esensial memiliki arti yang sangat penting. Sintesis hemoglobin memerlukan pembentukan rantai globin yang seluruhnya tersusun atas asam amino. Oleh karena itu, kecukupan protein dengan komposisi asam amino yang lengkap menjadi prasyarat utama dalam proses eritropoiesis. Kekurangan protein tidak hanya menyebabkan penurunan sintesis globin, tetapi juga dapat menghambat proliferasi sel prekursor eritrosit di sumsum tulang. Dengan demikian, peningkatan kadar hemoglobin tidak hanya bergantung pada kecukupan zat besi, tetapi juga memerlukan suplai protein berkualitas tinggi sebagai bahan baku pembentukan molekul hemoglobin.

Hubungan antara protein, albumin, dan metabolisme zat besi juga menjadi perhatian dalam penelitian gizi modern. Protein berperan sebagai pembentuk berbagai molekul transport yang mengatur distribusi zat besi di dalam tubuh, sedangkan status protein yang baik mendukung sintesis transferrin, ferritin, dan berbagai protein lain yang terlibat dalam homeostasis besi. Kondisi ini menunjukkan bahwa intervensi peningkatan hemoglobin melalui pangan sebaiknya tidak hanya difokuskan pada penambahan zat besi, tetapi juga harus mempertimbangkan kecukupan protein dan kualitas asam amino sebagai faktor pendukung proses hematopoiesis.

Dalam pengembangan abon ikan gabus sebagai pangan fungsional, protein dan albumin memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi pemilihan ikan gabus sebagai matriks pangan. Kandungan protein yang tinggi tidak hanya meningkatkan nilai gizi produk, tetapi juga menyediakan substrat biologis yang diperlukan dalam pembentukan hemoglobin. Ketika dikombinasikan dengan daun ubi jalar ungu dan daun kangkung yang kaya zat besi, folat, vitamin C, serta senyawa antioksidan melalui pendekatan *Food-to-Food Fortification*, diharapkan terjadi sinergi antara protein berkualitas tinggi dan mikronutrien hematopoietik sehingga menghasilkan produk yang memiliki bioefikasi lebih baik dalam meningkatkan status hemoglobin ibu hamil.

Dengan demikian, keunggulan ikan gabus sebagai bahan baku pangan fungsional tidak semata-mata disebabkan oleh kandungan proteinnya yang tinggi, tetapi juga oleh kualitas biologis protein tersebut, keberadaan albumin, serta komposisi asam amino esensial yang mendukung berbagai proses fisiologis. Karakteristik inilah yang menjadikan ikan gabus sebagai matriks pangan yang sangat potensial untuk dikembangkan melalui pendekatan *Food-to-Food Fortification* dalam upaya pencegahan anemia berbasis pangan.

Tabel 4.2. Peran Protein, Albumin, dan Asam Amino Ikan Gabus dalam Pengembangan Pangan Fungsional

Komponen	Fungsi Biologis	Relevansi terhadap Anemia
Protein total	Menyediakan asam amino untuk sintesis protein tubuh	Mendukung pembentukan rantai globin hemoglobin
Albumin	Menjaga tekanan osmotik, transport molekul, antioksidan	Mendukung status protein dan metabolisme selama kehamilan
Lisin	Sintesis kolagen dan protein struktural	Mendukung pertumbuhan jaringan ibu dan janin

Leusin	Aktivasi sintesis protein melalui jalur mTOR	Mempercepat pembentukan protein baru
Metionin	Donor gugus metil dan prekursor glutation	Mendukung perlindungan sel terhadap stres oksidatif
Histidin	Komponen penyusun globin	Berkontribusi pada sintesis hemoglobin
BCAA (Leusin, Isoleusin, Valin)	Regenerasi jaringan dan metabolisme protein	Mendukung kebutuhan protein selama kehamilan

4.5 Mekanisme Protein Ikan Gabus dalam Mendukung Eritropoiesis dan Pembentukan Hemoglobin

Pembentukan hemoglobin merupakan proses biologis yang kompleks dan melibatkan koordinasi berbagai jalur metabolisme yang berlangsung di sumsum tulang. Hemoglobin tersusun atas dua komponen utama, yaitu gugus *heme* yang mengandung atom besi (Fe^{2+}) dan rantai globin yang tersusun atas protein. Oleh karena itu, sintesis hemoglobin tidak hanya memerlukan kecukupan zat besi, tetapi juga membutuhkan suplai protein berkualitas tinggi, asam amino esensial, vitamin, mineral, dan berbagai kofaktor enzimatik yang bekerja secara sinergis selama proses eritropoiesis. Pemahaman mengenai mekanisme tersebut menjadi dasar penting dalam pengembangan pangan fungsional untuk pencegahan anemia karena menunjukkan bahwa intervensi gizi yang efektif harus mempertimbangkan seluruh komponen yang terlibat dalam pembentukan sel darah merah.

Dalam beberapa tahun terakhir, pendekatan intervensi gizi berbasis pangan mengalami perkembangan dari konsep suplementasi zat besi tunggal menuju pendekatan multnutrien yang menginteg-

rasikan protein berkualitas tinggi dengan berbagai mikronutrien hematopoietik. Pergeseran paradigma ini didasarkan pada bukti bahwa keberhasilan peningkatan kadar hemoglobin dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara status protein, metabolisme besi, sintesis DNA eritroblas, serta regulasi hormon eritropoietin. Dengan demikian, keberadaan protein berkualitas tinggi dari ikan gabus menjadi salah satu faktor yang memiliki relevansi fisiologis dalam mendukung pembentukan hemoglobin.

Protein berperan sebagai penyedia asam amino yang diperlukan untuk sintesis rantai globin, yaitu komponen protein yang menyusun molekul hemoglobin. Setelah dikonsumsi, protein ikan gabus mengalami hidrolisis menjadi peptida dan asam amino bebas yang kemudian diserap melalui mukosa usus halus. Asam amino tersebut didistribusikan melalui sirkulasi portal menuju hati sebelum digunakan sebagai substrat sintesis berbagai protein tubuh. Di sumsum tulang, asam amino dimanfaatkan oleh eritroblas untuk membentuk rantai α -globin dan β -globin yang selanjutnya berikatan dengan gugus *heme* membentuk molekul hemoglobin fungsional. Oleh karena itu, kualitas dan kecukupan protein menjadi salah satu determinan utama keberhasilan eritropoiesis.

Selain menyediakan substrat untuk pembentukan globin, protein juga mendukung sintesis berbagai protein regulator metabolisme besi. Protein seperti transferrin berfungsi mengangkut besi dari usus menuju jaringan hematopoietik, sedangkan ferritin berperan sebagai tempat penyimpanan besi intraseluler. Sintesis kedua protein tersebut sangat dipengaruhi oleh status protein tubuh. Pada kondisi defisiensi protein, produksi transferrin dan ferritin dapat menurun sehingga distribusi besi menjadi kurang optimal meskipun asupan besi telah mencukupi. Hal ini menunjukkan bahwa kecukupan protein memiliki hubungan erat dengan efisiensi pemanfaatan besi dalam pembentukan hemoglobin.

Protein ikan gabus juga menyediakan berbagai asam amino esensial yang memiliki fungsi spesifik dalam proses eritropoiesis. Histidin merupakan salah satu asam amino penting yang berperan sebagai komponen penyusun globin sekaligus terlibat dalam pengikatan gugus heme. Lisin dan leusin mendukung sintesis protein melalui aktivasi jalur *mammalian target of rapamycin* (mTOR), sedangkan metionin berperan sebagai donor gugus metil dalam berbagai reaksi metabolisme yang berkaitan dengan proliferasi dan diferensiasi sel. Ketersediaan asam amino tersebut memungkinkan berlangsungnya pembentukan eritrosit secara optimal, terutama pada kondisi kebutuhan protein yang meningkat seperti selama kehamilan.

Di samping protein, zat besi tetap menjadi komponen utama dalam sintesis hemoglobin. Besi yang berasal dari ikan gabus berada dalam bentuk yang memiliki bioavailabilitas relatif tinggi sehingga lebih mudah diserap dibandingkan besi *non-heme* dari bahan pangan nabati. Setelah diserap oleh enterosit, besi diikat oleh transferrin dan diangkut menuju sumsum tulang untuk dimanfaatkan dalam pembentukan gugus heme. Namun demikian, keberhasilan proses ini tetap bergantung pada tersedianya rantai globin sebagai pasangan biologis gugus heme. Oleh karena itu, kecukupan protein dan zat besi harus dipandang sebagai dua komponen yang saling melengkapi dalam pembentukan hemoglobin.

Dalam konteks pengembangan pangan fungsional berbasis *Food-to-Food Fortification*, mekanisme tersebut menjadi semakin penting karena produk yang dikembangkan tidak hanya mengandung protein dari ikan gabus, tetapi juga diperkaya dengan daun ubi jalar ungu dan daun kangkung yang menyediakan zat besi *non-heme*, folat, vitamin C, β -karoten, dan berbagai senyawa antioksidan. Vitamin C berperan meningkatkan reduksi besi ferri (Fe^{3+}) menjadi besi fero (Fe^{2+}) yang lebih mudah diserap di usus halus, sedangkan

folat diperlukan dalam sintesis DNA selama pembelahan eritroblas. β -karoten dan antioksidan membantu melindungi membran eritrosit dari kerusakan akibat stres oksidatif sehingga umur sel darah merah dapat dipertahankan. Dengan demikian, kombinasi protein hewani dan mikronutrien nabati menghasilkan mekanisme sinergis yang mendukung seluruh tahapan eritropoiesis.

Selain mendukung pembentukan eritrosit baru, protein berkualitas tinggi juga berperan mempertahankan status protein maternal selama kehamilan. Peningkatan volume plasma, pertumbuhan jaringan ibu, perkembangan plasenta, dan pembentukan jaringan janin menyebabkan kebutuhan protein meningkat secara signifikan. Apabila kebutuhan tersebut tidak terpenuhi, tubuh akan memprioritaskan penggunaan asam amino untuk mempertahankan fungsi vital sehingga sintesis hemoglobin dapat terganggu. Oleh karena itu, penyediaan protein berkualitas tinggi melalui pangan fungsional memiliki peran strategis dalam mendukung keseimbangan metabolisme selama kehamilan.

Dari perspektif fisiologi gizi, mekanisme peningkatan hemoglobin tidak dapat dijelaskan hanya berdasarkan satu zat gizi. Sebaliknya, proses tersebut merupakan hasil interaksi antara protein, zat besi, folat, vitamin B₁₂, vitamin C, vitamin A, seng, tembaga, dan berbagai faktor regulasi hormonal. Pendekatan ini memperkuat konsep bahwa pangan fungsional berbasis *Food-to-Food Fortification* lebih relevan dibandingkan suplementasi zat gizi tunggal karena mampu menyediakan berbagai komponen nutrisi dalam satu matriks pangan yang saling mendukung.

Berdasarkan mekanisme tersebut, pemanfaatan ikan gabus sebagai matriks pangan yang diperkaya dengan sayuran lokal melalui pendekatan *Food-to-Food Fortification* memiliki dasar ilmiah yang kuat dalam mendukung peningkatan status hemoglobin. Produk yang dihasilkan tidak hanya menyediakan protein berkualitas tinggi

dan zat besi, tetapi juga menghadirkan lingkungan nutrisi yang kondusif bagi berlangsungnya eritropoiesis secara optimal. Konsep inilah yang menjadi landasan biologis pengembangan abon ikan gabus sebagai pangan fungsional untuk ibu hamil anemia.

4.6 Ikan Gabus sebagai Matriks Ideal untuk *Food-to-Food Fortification*

Keberhasilan pengembangan pangan fungsional tidak hanya ditentukan oleh pemilihan bahan fortifikasi, tetapi juga oleh karakteristik matriks pangan (*food matrix*) yang digunakan sebagai media penghantar berbagai komponen nutrisi dan senyawa bioaktif. Dalam ilmu pangan modern, matriks pangan dipahami sebagai suatu sistem kompleks yang terdiri atas struktur fisik, komposisi kimia, dan interaksi antarkomponen yang secara bersama-sama memengaruhi stabilitas, bioavailabilitas, dan bioefikasi zat gizi (Hurrell, 2023). Oleh karena itu, pemilihan matriks pangan menjadi salah satu aspek paling penting dalam pengembangan produk berbasis *Food-to-Food Fortification*.

Pada banyak produk pangan, penambahan bahan fortifikasi sering kali menyebabkan perubahan warna, aroma, rasa, tekstur, maupun stabilitas produk sehingga menurunkan penerimaan konsumen. Tantangan tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan fortifikasi tidak hanya bergantung pada kandungan nutrisi bahan fortifikan, tetapi juga pada kemampuan matriks pangan dalam mengakomodasi penambahan bahan tersebut tanpa menurunkan mutu produk. Dalam konteks ini, ikan gabus memiliki berbagai karakteristik yang menjadikannya sangat sesuai sebagai matriks pangan untuk pengembangan produk fungsional.

Salah satu keunggulan utama ikan gabus adalah kandungan protein miofibrilar yang tinggi. Protein miofibrilar memiliki kemampuan membentuk struktur serat yang stabil setelah mengalami proses

pemasakan dan penghancuran. Struktur tersebut menghasilkan tekstur abon yang ringan, berserat, dan mudah bercampur secara homogen dengan berbagai bahan fortifikasi. Homogenitas pencampuran menjadi faktor penting karena menentukan distribusi zat gizi dalam setiap bagian produk sehingga konsumen memperoleh kandungan nutrisi yang relatif seragam pada setiap porsi konsumsi.

Selain struktur protein yang mendukung, ikan gabus juga memiliki cita rasa yang relatif netral dibandingkan beberapa jenis ikan air tawar lainnya. Karakteristik ini memberikan keuntungan dalam formulasi karena penambahan daun ubi jalar ungu maupun daun kangkung tidak menyebabkan perubahan rasa yang terlalu dominan. Interaksi antara protein ikan dan senyawa volatil dari bumbu maupun bahan fortifikasi menghasilkan profil cita rasa yang tetap dapat diterima oleh konsumen. Dengan demikian, penggunaan ikan gabus sebagai matriks pangan tidak hanya mempertahankan kualitas nutrisi, tetapi juga mendukung penerimaan sensoris produk.

Dari perspektif kimia pangan, protein ikan gabus berfungsi sebagai sistem pengikat alami (*natural binding system*) yang mampu mempertahankan distribusi bahan fortifikasi selama proses pencampuran dan pemasakan. Jaringan protein yang terbentuk setelah proses pemanasan mampu mengikat partikel-partikel daun yang telah dihaluskan sehingga menghasilkan struktur produk yang lebih stabil. Kondisi ini penting dalam pengembangan pangan fungsional karena distribusi bahan fortifikasi yang homogen akan meningkatkan konsistensi kandungan nutrisi dan mempermudah proses standarisasi mutu.

Karakteristik kadar air abon yang rendah juga memberikan keuntungan dalam pengembangan *Food-to-Food Fortification*. Penurunan kadar air setelah proses pengeringan akan menghambat aktivitas mikroorganisme dan memperlambat berbagai reaksi kimia yang menyebabkan kerusakan produk. Dengan demikian, senyawa bioaktif

yang berasal dari ikan maupun sayuran memiliki peluang lebih besar untuk dipertahankan selama penyimpanan apabila didukung oleh sistem pengemasan yang sesuai. Aspek ini menjadi penting karena efektivitas pangan fungsional sangat dipengaruhi oleh stabilitas komponen bioaktif hingga produk dikonsumsi.

Dalam perspektif *food matrix*, interaksi antara protein ikan gabus dengan senyawa bioaktif dari daun ubi jalar ungu dan daun kangkung diperkirakan menghasilkan lingkungan mikro yang mendukung pelepasan zat gizi selama proses pencernaan. Protein yang mengalami hidrolisis secara bertahap di saluran cerna dapat melepaskan asam amino bersamaan dengan mineral dan vitamin yang berasal dari bahan fortifikasi. Proses pelepasan bertahap (*controlled nutrient release*) tersebut memungkinkan penyerapan zat gizi berlangsung secara lebih efisien dibandingkan apabila setiap komponen dikonsumsi secara terpisah. Walaupun mekanisme ini masih memerlukan pembuktian lebih lanjut melalui penelitian *in vitro* maupun *in vivo*, konsep tersebut memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan produk pangan berbasis matriks protein hewani.

Keunggulan lain dari ikan gabus sebagai matriks pangan adalah fleksibilitasnya dalam menerima berbagai jenis bahan fortifikasi. Struktur abon memungkinkan penambahan bahan pangan nabati dalam berbagai bentuk, baik tepung, pasta, maupun bubuk, tanpa mengubah karakteristik dasar produk secara signifikan. Fleksibilitas tersebut membuka peluang untuk mengembangkan berbagai formulasi berbasis biodiversitas lokal sesuai dengan tujuan intervensi gizi yang ingin dicapai. Pendekatan tersebut diwujudkan melalui pemanfaatan daun ubi jalar ungu dan daun kangkung sebagai sumber mikronutrien dan senyawa bioaktif yang melengkapi komposisi nutrisi ikan gabus.

Dari sudut pandang teknologi pangan, penggunaan ikan gabus sebagai matriks *Food-to-Food Fortification* juga mendukung proses

standardisasi produk. Struktur fisik yang relatif konsisten mempermudah pengendalian mutu selama proses produksi sehingga variasi kandungan nutrisi *antarbatches* dapat diminimalkan. Kemampuan menghasilkan produk dengan mutu yang seragam menjadi syarat penting dalam pengembangan pangan fungsional, terutama apabila produk akan digunakan sebagai bagian dari intervensi gizi pada kelompok sasaran tertentu.

Secara keseluruhan, karakteristik fisik, kimia, nutrisi, dan sensoris ikan gabus menunjukkan bahwa spesies ini memiliki keunggulan sebagai matriks pangan untuk pendekatan *Food-to-Food Fortification*. Kombinasi antara protein berkualitas tinggi, struktur serat yang stabil, cita rasa yang netral, serta kemampuan mengakomodasi berbagai bahan fortifikasi memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi pengembangan abon ikan gabus sebagai pangan fungsional. Dengan demikian, keberhasilan produk tidak hanya ditentukan oleh kualitas bahan fortifikasi, tetapi juga oleh kemampuan matriks ikan gabus dalam mempertahankan stabilitas, bioavailabilitas, dan bioefikasi komponen nutrisi yang dikandungnya.

SAYURAN INDIGENOUS SEBAGAI SUMBER MIKRONUTRIEN DAN SENYAWA BIOAKTIF DALAM *FOOD-TO-FOOD FORTIFICATION*

5.1 Sayuran Indigenous dalam Perspektif Pangan Fungsional

Perkembangan ilmu pangan dan gizi dalam beberapa dekade terakhir telah mengubah paradigma mengenai fungsi bahan pangan dalam mendukung kesehatan manusia. Jika pada masa lalu pangan dipandang terutama sebagai sumber energi dan zat gizi esensial, maka saat ini pangan dipahami sebagai suatu sistem biologis yang mampu memberikan efek fisiologis di luar fungsi nutrisi dasarnya. Perubahan paradigma tersebut melahirkan konsep pangan fungsional (*functional food*), yaitu pangan yang tidak hanya memenuhi kebutuhan gizi, tetapi juga berkontribusi terhadap pencegahan penyakit dan peningkatan kualitas kesehatan melalui keberadaan berbagai komponen bioaktif. Dalam konteks ini, perhatian para peneliti semakin tertuju pada pemanfaatan sumber daya hayati lokal yang memiliki kandungan nutrisi tinggi serta potensi fungsional yang dapat dikembangkan menjadi produk pangan inovatif.

Salah satu kelompok bahan pangan yang memperoleh perhatian besar adalah sayuran indigenous, yaitu kelompok sayuran yang berasal dari atau telah lama dibudidayakan oleh masyarakat lokal dan menjadi bagian dari sistem pangan tradisional. Sayuran indigenous memiliki nilai strategis karena mampu beradaptasi dengan kondisi agroekologi setempat, mudah dibudidayakan, memiliki produktivitas

yang relatif stabil, serta menjadi sumber berbagai zat gizi dan senyawa bioaktif yang penting bagi kesehatan. Dibandingkan dengan banyak komoditas introduksi, sayuran indigenous juga memiliki keunggulan dari aspek keberlanjutan karena memanfaatkan sumber daya lokal, mendukung pelestarian keanekaragaman hayati, dan memperkuat ketahanan pangan masyarakat.

Dalam perspektif gizi, sayuran indigenous dikenal sebagai pangan dengan kepadatan nutrisi (*nutrient density*) yang tinggi. Berbagai spesies mengandung vitamin, mineral, serat pangan, pigmen alami, dan metabolit sekunder yang berperan dalam berbagai proses fisiologis. Kandungan zat besi, folat, vitamin C, provitamin A, kalsium, magnesium, serta berbagai senyawa fenolik menjadikan kelompok sayuran ini penting dalam mendukung metabolisme energi, fungsi sistem imun, pembentukan jaringan, dan proses hematopoiesis. Selain itu, keberadaan flavonoid, antosianin, karotenoid, serta senyawa antioksidan lainnya memberikan perlindungan terhadap stres oksidatif yang diketahui berkontribusi terhadap berbagai penyakit degeneratif maupun gangguan metabolik.

Perhatian terhadap sayuran indigenous semakin meningkat seiring berkembangnya konsep *Food-to-Food Fortification* (FtFF) sebagai pendekatan inovatif dalam intervensi gizi berbasis pangan. Berbeda dengan fortifikasi konvensional yang mengandalkan penambahan vitamin atau mineral sintetis, FtFF memanfaatkan bahan pangan alami yang kaya nutrisi untuk meningkatkan kualitas gizi produk melalui kombinasi antar bahan pangan. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kandungan zat gizi tertentu, tetapi juga mempertahankan kompleksitas matriks pangan sehingga berbagai komponen bioaktif dapat bekerja secara sinergis. Dengan demikian, manfaat kesehatan yang dihasilkan tidak hanya berasal dari satu nutrisi, melainkan dari interaksi berbagai komponen yang secara alami terdapat dalam bahan pangan.

Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai organisasi internasional seperti FAO dan WHO mulai mendorong pemanfaatan biodiversitas pangan sebagai bagian dari strategi global dalam mengatasi masalah malnutrisi dan defisiensi mikronutrien. Pendekatan ini didasarkan pada kenyataan bahwa banyak negara berkembang memiliki kekayaan sumber daya hayati yang belum dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber pangan bergizi (FAO, 2023). Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat biodiversitas tertinggi di dunia yang memiliki ratusan spesies sayuran indigenous berpotensi sebagai bahan baku pangan fungsional. Namun demikian, sebagian besar sayuran tersebut masih dimanfaatkan secara tradisional dan belum banyak dikembangkan menjadi produk pangan bernilai tambah.

Pengembangan sayuran indigenous menjadi bahan fortifikasi alami memiliki berbagai keunggulan dibandingkan penggunaan fortifikan sintetis. Selain menyediakan vitamin dan mineral, sayuran juga membawa serat pangan, pigmen alami, dan senyawa fitokimia yang dapat meningkatkan kualitas biologis produk. Misalnya, vitamin C berperan meningkatkan absorpsi zat besi *non-heme* melalui reduksi ion besi ferri menjadi bentuk fero yang lebih mudah diserap, sedangkan folat berfungsi dalam sintesis DNA selama proses pembentukan eritrosit. Di sisi lain, senyawa antioksidan seperti antosianin, flavonoid, dan karotenoid membantu melindungi membran sel dari kerusakan oksidatif, sehingga mendukung stabilitas dan fungsi sel darah merah. Interaksi berbagai komponen tersebut menunjukkan bahwa manfaat sayuran indigenous tidak dapat dijelaskan hanya berdasarkan kandungan zat besinya, tetapi harus dipahami sebagai suatu sistem nutrisi yang bekerja secara terpadu (Allen, 2023).

Dalam konteks pengembangan pangan fungsional, pemanfaatan sayuran indigenous juga memiliki nilai strategis dari aspek sosial,

ekonomi, dan lingkungan. Penggunaan bahan pangan lokal dapat meningkatkan nilai tambah komoditas pertanian, memperluas peluang usaha bagi petani, serta mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku impor. Selain itu, pengembangan produk berbasis biodiversitas lokal mendukung pelestarian plasma nutfah dan memperkuat sistem pangan berkelanjutan (*sustainable food system*). Oleh karena itu, pemanfaatan sayuran indigenous sebagai bahan fortifikasi tidak hanya memberikan manfaat kesehatan, tetapi juga berkontribusi terhadap pembangunan ekonomi lokal dan pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*).

Monograf ini mengadopsi pendekatan tersebut dengan memanfaatkan dua jenis sayuran indigenous yang banyak ditemukan di Indonesia, yaitu daun ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas*) dan kangkung (*Ipomoea aquatica*). Kedua komoditas dipilih berdasarkan kandungan mikronutrien, senyawa bioaktif, ketersediaan yang melimpah, serta potensi sinerginya dengan protein ikan gabus dalam meningkatkan kualitas biologis produk. Kombinasi bahan hewani dan nabati melalui pendekatan *Food-to-Food Fortification* diharapkan mampu menghasilkan pangan fungsional yang tidak hanya kaya zat gizi, tetapi juga memiliki bioavailabilitas dan bioefikasi yang lebih baik dalam mendukung peningkatan kadar hemoglobin pada ibu hamil dengan anemia.

Dengan demikian, sayuran indigenous tidak lagi dipandang sebagai bahan pelengkap dalam formulasi pangan, melainkan sebagai komponen strategis yang menentukan keberhasilan pengembangan pangan fungsional. Potensi nutrisi yang tinggi, keberadaan berbagai senyawa bioaktif, serta kemampuannya berinteraksi secara sinergis dengan matriks pangan hewani menjadikan kelompok sayuran ini memiliki peran penting dalam inovasi produk berbasis *Food-to-Food Fortification*. Pemahaman terhadap konsep tersebut menjadi

landasan untuk membahas secara lebih mendalam karakteristik daun ubi jalar ungu dan kangkung sebagai bahan fortifikasi alami pada subbab berikutnya.

5.2 Daun Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas*) sebagai Sumber Mikronutrien dan Senyawa Bioaktif

Daun ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas*) merupakan salah satu sayuran indigenous yang memiliki potensi besar sebagai bahan baku pangan fungsional karena mengandung berbagai zat gizi esensial dan senyawa bioaktif yang berkontribusi terhadap kesehatan. Selama ini pemanfaatan tanaman ubi jalar lebih banyak berfokus pada umbinya sebagai sumber karbohidrat, sedangkan bagian daun masih relatif kurang dimanfaatkan dan sering kali hanya digunakan sebagai sayuran konsumsi rumah tangga atau bahkan pakan ternak. Padahal berbagai penelitian menunjukkan bahwa daun ubi jalar memiliki kepadatan nutrisi yang tinggi dan dalam beberapa aspek bahkan memiliki kandungan vitamin, mineral, dan senyawa antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan bagian umbinya. Temuan tersebut menjadikan daun ubi jalar sebagai salah satu komoditas yang sangat potensial untuk dikembangkan dalam inovasi pangan berbasis biodiversitas lokal.

Secara nutrisi, daun ubi jalar ungu mengandung protein nabati, serat pangan, zat besi, folat, vitamin C, vitamin A dalam bentuk provitamin A (β -karoten), vitamin E, kalsium, magnesium, kalium, dan berbagai mineral lain yang berperan dalam menjaga fungsi metabolisme tubuh. Kombinasi zat gizi tersebut menjadikan daun ubi jalar sebagai sumber mikronutrien yang sangat penting, terutama bagi kelompok rentan seperti ibu hamil yang mengalami peningkatan kebutuhan nutrisi selama masa gestasi. Kehadiran folat mendukung sintesis DNA dan pembelahan sel, sedangkan zat besi berkontribusi dalam pembentukan hemoglobin. Vitamin C berfungsi meningkatkan

absorpsi zat besi *non-heme* di usus halus, sehingga keberadaan ketiga komponen tersebut dalam satu bahan pangan memberikan keuntungan fisiologis yang tidak dimiliki oleh sumber zat besi tunggal.

Salah satu karakteristik utama daun ubi jalar ungu adalah kandungan senyawa fenolik dan pigmen antosianin yang relatif tinggi. Antosianin merupakan kelompok flavonoid yang memberikan warna ungu kemerahan pada jaringan tanaman dan dikenal memiliki aktivitas antioksidan yang kuat. Senyawa ini mampu menangkap radikal bebas, menghambat proses peroksidasi lipid, serta mengurangi kerusakan oksidatif pada membran sel. Dalam konteks kesehatan ibu hamil, aktivitas antioksidan tersebut menjadi penting karena kehamilan merupakan kondisi fisiologis yang ditandai dengan peningkatan stres oksidatif akibat meningkatnya aktivitas metabolisme. Perlindungan terhadap stres oksidatif tidak hanya mendukung kesehatan maternal, tetapi juga membantu menjaga integritas membran eritrosit sehingga umur sel darah merah dapat dipertahankan (Ukom, 2019).

Selain antosianin, daun ubi jalar ungu juga mengandung berbagai senyawa fenolik lain seperti asam klorogenat, asam kafeat, dan berbagai flavonoid yang memiliki aktivitas antiinflamasi dan antioksidan. Senyawa-senyawa tersebut diketahui berperan dalam menghambat pembentukan spesies oksigen reaktif (*reactive oxygen species*) serta meningkatkan kapasitas antioksidan endogen tubuh. Walaupun hubungan langsung antara senyawa fenolik dan peningkatan kadar hemoglobin masih memerlukan penelitian lebih lanjut, keberadaan antioksidan dipercaya mampu menciptakan lingkungan fisiologis yang lebih kondusif bagi proses eritropoiesis melalui perlindungan terhadap sel-sel hematopoietik dari kerusakan oksidatif.

Dari perspektif teknologi pangan, daun ubi jalar ungu memiliki karakteristik yang mendukung proses *Food-to-Food Fortification*. Jaringan daun yang relatif lunak memudahkan proses penghancuran

menjadi pasta atau bubuk sehingga dapat dicampurkan secara homogen ke dalam matriks abon ikan gabus. Selain itu, cita rasa daun ubi jalar relatif ringan sehingga tidak memberikan perubahan sensoris yang terlalu tajam apabila digunakan dalam proporsi yang sesuai. Karakteristik ini menjadi penting karena keberhasilan pangan fungsional tidak hanya ditentukan oleh peningkatan kandungan nutrisi, tetapi juga oleh penerimaan konsumen terhadap warna, aroma, rasa, dan tekstur produk.

Keunggulan lain daun ubi jalar ungu adalah ketersediaannya yang melimpah di berbagai wilayah Indonesia. Tanaman ini mudah dibudidayakan, memiliki siklus panen yang relatif singkat, serta mampu tumbuh pada berbagai kondisi agroekologi (Islam, 2006). Dengan demikian, pemanfaatannya sebagai bahan fortifikasi tidak hanya mendukung peningkatan kualitas gizi produk, tetapi juga memperkuat konsep pemanfaatan biodiversitas lokal dan pembangunan sistem pangan yang berkelanjutan. Nilai tambah tersebut sejalan dengan prinsip *sustainable functional food development*, yaitu pengembangan pangan yang memberikan manfaat kesehatan sekaligus mendukung aspek ekonomi dan lingkungan.

Daun ubi jalar ungu dipilih bukan semata-mata karena kandungan zat besinya, tetapi karena menyediakan kombinasi mikronutrien dan senyawa bioaktif yang bekerja secara komplementer dengan protein ikan gabus. Protein berkualitas tinggi dari ikan gabus menyediakan asam amino untuk sintesis globin, sedangkan daun ubi jalar ungu berkontribusi melalui penyediaan zat besi, folat, vitamin C, β -karoten, dan antioksidan. Kombinasi tersebut diharapkan menghasilkan efek sinergis yang mendukung pembentukan hemoglobin secara lebih efektif dibandingkan apabila masing-masing bahan dikonsumsi secara terpisah.



Gambar 5.1. Daun Ubi Jalar Ungu

Dengan demikian, pemanfaatan daun ubi jalar ungu sebagai bahan fortifikasi alami memiliki dasar ilmiah yang kuat baik dari aspek nutrisi, fisiologi, maupun teknologi pangan. Potensi tersebut menjadikan daun ubi jalar ungu sebagai salah satu komponen penting dalam pengembangan abon ikan gabus sebagai pangan fungsional berbasis *Food-to-Food Fortification* yang ditujukan untuk mendukung peningkatan status hemoglobin pada ibu hamil dengan anemia.

Tabel 5.1. Komponen Bioaktif Daun Ubi Jalar Ungu dan Relevansinya terhadap Pangan Fungsional

Komponen	Fungsi Biologis	Relevansi terhadap Pencegahan Anemia
Zat Besi (Fe)	Komponen utama hemoglobin	Mendukung sintesis heme
Folat	Sintesis DNA	Mendukung proliferasi eritroblas
Vitamin C	Meningkatkan absorpsi Fe non-heme	Meningkatkan bioavailabilitas besi
β -Karoten	Antioksidan dan prekursor vitamin A	Mendukung metabolisme besi dan diferensiasi sel
Antosianin	Antioksidan	Melindungi eritrosit dari stres oksidatif
Polifenol	Antiinflamasi dan antioksidan	Mendukung lingkungan fisiologis untuk eritropoiesis
Serat Pangan	Kesehatan saluran cerna	Mendukung pola konsumsi sehat secara keseluruhan

5.3 Kangkung (*Ipomoea aquatica*) sebagai Bahan Fortifikasi Alami untuk Mendukung Hematopoiesis

Kangkung (*Ipomoea aquatica*) merupakan salah satu sayuran indigenous yang telah lama menjadi bagian dari pola konsumsi masyarakat di kawasan Asia Tenggara, termasuk Indonesia. Tanaman ini dikenal luas karena pertumbuhannya yang cepat, mudah dibudidayakan pada berbagai kondisi lingkungan, serta memiliki produktivitas yang tinggi sepanjang tahun. Selain berperan sebagai sayuran konsumsi harian, berbagai penelitian dalam bidang pangan dan gizi menunjukkan bahwa kangkung memiliki potensi yang besar sebagai sumber mikronutrien dan senyawa bioaktif yang mendukung kesehatan. Potensi tersebut menjadikan kangkung tidak lagi dipandang sekadar sebagai sayuran tradisional, tetapi sebagai komoditas yang memiliki prospek dalam pengembangan pangan fungsional berbasis biodiversitas lokal.

Dalam perspektif ilmu gizi, kangkung termasuk kelompok sayuran dengan kepadatan nutrisi yang tinggi. Daunnya mengandung zat besi, folat, vitamin C, vitamin A dalam bentuk β -karoten, vitamin K, magnesium, kalsium, kalium, serta berbagai mineral lain yang berperan dalam berbagai proses metabolisme. Kandungan tersebut menjadikan kangkung relevan untuk mendukung kebutuhan mikronutrien pada kelompok rentan, terutama ibu hamil yang mengalami peningkatan kebutuhan nutrisi akibat pertumbuhan janin, pembentukan plasenta, dan peningkatan volume darah. Dibandingkan hanya mengandalkan satu jenis mikronutrien, konsumsi kangkung memberikan kombinasi berbagai zat gizi yang bekerja secara sinergis dalam mendukung fungsi fisiologis tubuh.

Salah satu alasan utama pemanfaatan kangkung adalah kandungan zat besi (Fe) yang berperan sebagai komponen utama pembentukan gugus heme pada molekul hemoglobin. Walaupun besi yang berasal dari tanaman termasuk dalam bentuk non-heme

dengan tingkat absorpsi yang lebih rendah dibandingkan besi *heme*, keberadaan vitamin C dalam jaringan daun membantu meningkatkan kelarutan dan penyerapan besi di usus halus. Dengan demikian, kangkung menyediakan kombinasi nutrisi yang lebih menguntungkan dibandingkan bahan pangan yang hanya mengandung zat besi tanpa disertai faktor peningkat absorpsi.

Selain zat besi dan vitamin C, kangkung merupakan salah satu sumber folat alami yang penting dalam proses hematopoiesis. Folat berfungsi sebagai koenzim dalam sintesis purin dan pirimidin yang diperlukan untuk pembentukan DNA selama proliferasi eritroblas di sumsum tulang. Kekurangan folat dapat menghambat pembelahan sel dan menyebabkan pembentukan eritrosit berukuran besar namun tidak matang secara sempurna. Oleh karena itu, keberadaan folat dalam kangkung menjadi sangat penting, terutama bagi ibu hamil yang memiliki kebutuhan folat lebih tinggi untuk mendukung pertumbuhan janin sekaligus menjaga proses pembentukan sel darah merah.

Karakteristik lain yang membedakan kangkung dari banyak sayuran lainnya adalah kandungan klorofil yang tinggi. Walaupun struktur klorofil tidak dapat secara langsung diubah menjadi hemoglobin di dalam tubuh, keberadaan pigmen ini sering dikaitkan dengan aktivitas antioksidan serta kemampuannya menjaga integritas sel melalui perlindungan terhadap stres oksidatif. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa klorofil dan turunannya dapat berkontribusi terhadap lingkungan biologis yang lebih kondusif bagi proses regenerasi jaringan dan pemeliharaan fungsi sel. Oleh karena itu, manfaat kangkung dalam pengembangan pangan fungsional tidak hanya berasal dari kandungan zat besinya, tetapi juga dari kombinasi berbagai komponen bioaktif yang bekerja secara komplementer.

Selain kandungan vitamin dan mineral, kangkung mengandung berbagai senyawa fitokimia seperti flavonoid, polifenol, dan karotenoid

yang memiliki aktivitas antioksidan. Senyawa-senyawa tersebut berperan dalam menekan pembentukan spesies oksigen reaktif (*reactive oxygen species*) yang dapat merusak membran eritrosit dan sel-sel hematopoietik. Dengan mengurangi stres oksidatif, lingkungan fisiologis menjadi lebih mendukung bagi berlangsungnya eritropoiesis secara optimal. Walaupun efek tersebut bersifat tidak langsung, keberadaan antioksidan merupakan komponen penting dalam pendekatan pangan fungsional yang menekankan interaksi berbagai zat gizi dan senyawa bioaktif.

Dari perspektif teknologi pangan, kangkung memiliki karakteristik yang sesuai sebagai bahan fortifikasi alami. Daunnya mudah diolah menjadi pasta, bubuk, maupun tepung sehingga dapat dicampurkan secara homogen ke dalam matriks abon ikan gabus. Warna hijau alami yang dihasilkan masih dapat diterima dalam formulasi tertentu apabila proporsi penambahannya dioptimalkan, sedangkan cita rasanya yang relatif ringan memungkinkan formulasi tetap mempertahankan karakteristik sensoris produk. Hal ini menjadi penting karena keberhasilan suatu pangan fungsional tidak hanya ditentukan oleh kandungan nutrisinya, tetapi juga oleh tingkat penerimaan konsumen.

Pemanfaatan kangkung sebagai bahan fortifikasi juga memiliki nilai strategis dari aspek keberlanjutan. Tanaman ini mudah diperoleh di berbagai daerah di Indonesia, memiliki biaya produksi yang rendah, dan dapat dibudidayakan sepanjang tahun. Kondisi tersebut menjadikan kangkung sebagai bahan baku yang ekonomis dan mudah diakses untuk pengembangan pangan fungsional berbasis masyarakat. Dengan demikian, penggunaan kangkung tidak hanya mendukung peningkatan kualitas gizi produk, tetapi juga memperkuat konsep diversifikasi pangan lokal dan pemanfaatan biodiversitas nasional.

Dalam pengembangan abon ikan gabus, pemilihan kangkung didasarkan pada kemampuannya melengkapi komposisi nutrisi

matriks protein hewani. Protein berkualitas tinggi dari ikan gabus menyediakan asam amino untuk sintesis globin, sedangkan kangkung berkontribusi melalui penyediaan zat besi, folat, vitamin C, β -karoten, dan berbagai senyawa bioaktif yang mendukung proses pembentukan eritrosit. Sinergi tersebut diharapkan menghasilkan produk pangan fungsional dengan kemampuan yang lebih baik dalam meningkatkan status hemoglobin dibandingkan produk tanpa fortifikasi.



Gambar 5.2. Daun Kangkung

Dengan demikian, kangkung memiliki dasar ilmiah yang kuat untuk digunakan sebagai bahan fortifikasi alami dalam pendekatan *Food-to-Food Fortification*. Keunggulannya tidak hanya terletak pada kandungan zat besi, tetapi juga pada kombinasi berbagai mikronutrien dan senyawa bioaktif yang mendukung metabolisme besi, sintesis DNA, perlindungan terhadap stres oksidatif, dan proses hematopoiesis. Karakteristik tersebut menjadikan kangkung sebagai salah satu komponen penting dalam pengembangan abon ikan gabus sebagai pangan fungsional bagi ibu hamil dengan anemia.

Tabel 5.2. Komponen Nutrisi dan Senyawa Bioaktif Kangkung serta Relevansinya terhadap Hematopoiesis

Komponen	Peran Fisiologis	Kontribusi terhadap Pencegahan Anemia
Zat Besi (Fe)	Pembentukan gugus <i>heme</i>	Mendukung sintesis hemoglobin
Folat	Sintesis DNA dan pembelahan sel	Mendukung proliferasi eritroblas
Vitamin C	Meningkatkan absorpsi besi non- <i>heme</i>	Meningkatkan bioavailabilitas besi
β -Karoten	Prekursor vitamin A dan antioksidan	Mendukung metabolisme besi dan diferensiasi sel
Klorofil	Aktivitas antioksidan	Mendukung lingkungan fisiologis hematopoiesis
Flavonoid dan Polifenol	Menekan stres oksidatif	Melindungi eritrosit dan sel hematopoietik
Magnesium dan Kalium	Mendukung metabolisme sel	Menjaga fungsi fisiologis selama kehamilan

5.4 Sinergi Nutrisi antara Ikan Gabus dan Sayuran Indigenous dalam Pendekatan *Food-to-Food Fortification*

Pendekatan *Food-to-Food Fortification* berkembang sebagai respons terhadap keterbatasan strategi fortifikasi konvensional yang selama ini lebih banyak mengandalkan penambahan zat gizi sintetis ke dalam bahan pangan. Meskipun fortifikasi sintetis terbukti efektif dalam meningkatkan kandungan mikronutrien tertentu, pendekatan tersebut belum sepenuhnya mampu mereplikasi kompleksitas interaksi nutrisi yang secara alami terdapat dalam bahan pangan. Sebaliknya, *Food-to-Food Fortification* memanfaatkan kombinasi berbagai bahan pangan alami yang memiliki karakteristik nutrisi saling melengkapi sehingga mampu menghasilkan efek fisiologis yang lebih komprehensif. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kandungan zat gizi, tetapi juga mempertahankan integritas matriks

pangan dan memungkinkan terjadinya interaksi sinergis antarkomponen nutrisi.

Konsep sinergi nutrisi didasarkan pada pemahaman bahwa manfaat biologis suatu pangan tidak ditentukan oleh satu zat gizi secara terpisah, melainkan oleh interaksi berbagai komponen yang bekerja secara simultan. Protein, vitamin, mineral, serat pangan, dan senyawa bioaktif membentuk suatu sistem yang saling memengaruhi selama proses pencernaan, absorpsi, transportasi, metabolisme, hingga pemanfaatannya di tingkat sel. Oleh karena itu, efektivitas suatu produk pangan fungsional lebih tepat dipahami sebagai hasil interaksi antarberbagai komponen tersebut daripada sekadar akumulasi kandungan zat gizinya.

Dalam pengembangan abon ikan gabus sebagai pangan fungsional, konsep sinergi nutrisi diwujudkan melalui kombinasi matriks protein hewani dengan sayuran indigenous yang kaya mikronutrien dan senyawa bioaktif. Ikan gabus menyediakan protein berkualitas tinggi dengan komposisi asam amino esensial yang lengkap serta zat besi heme yang memiliki bioavailabilitas tinggi. Di sisi lain, daun ubi jalar ungu dan kangkung memberikan kontribusi zat besi non-heme, folat, vitamin C, β -karoten, serat pangan, serta berbagai senyawa antioksidan seperti antosianin, flavonoid, dan polifenol. Perbedaan karakteristik tersebut justru menjadi dasar terbentuknya interaksi nutrisi yang saling melengkapi.

Protein ikan gabus memiliki peran sentral dalam sintesis rantai globin yang merupakan komponen protein penyusun hemoglobin. Setelah mengalami hidrolisis di saluran pencernaan, protein dipecah menjadi asam amino yang kemudian dimanfaatkan untuk sintesis berbagai protein tubuh, termasuk globin. Namun demikian, pembentukan hemoglobin tidak akan berlangsung optimal apabila tidak tersedia zat besi sebagai pembentuk gugus *heme*. Dalam konteks inilah keberadaan sayuran indigenous menjadi sangat penting karena

menyediakan zat besi serta berbagai faktor yang meningkatkan pemanfaatannya.

Vitamin C yang terdapat dalam daun ubi jalar ungu maupun kangkung meningkatkan absorpsi besi *non-heme* dengan mereduksi besi ferri (Fe^{3+}) menjadi besi fero (Fe^{2+}) yang lebih mudah diserap oleh enterosit. Selain itu, vitamin C juga membentuk kompleks larut dengan besi sehingga mengurangi pengaruh inhibitor absorpsi yang mungkin terdapat dalam bahan pangan nabati. Dengan demikian, keberadaan vitamin C tidak hanya meningkatkan jumlah besi yang diserap, tetapi juga memperbaiki efisiensi pemanfaatannya dalam proses eritropoiesis.

Folat memberikan kontribusi yang berbeda tetapi tidak kalah penting. Mikronutrien ini berperan dalam sintesis DNA dan pembelahan sel yang berlangsung sangat aktif selama pembentukan eritroblas di sumsum tulang. Tanpa kecukupan folat, proliferasi eritroblas menjadi terganggu sehingga pembentukan eritrosit berlangsung tidak optimal. Oleh karena itu, keberadaan folat bersama protein dan zat besi membentuk suatu hubungan fisiologis yang saling melengkapi dalam mendukung pembentukan sel darah merah.

Senyawa bioaktif seperti antosianin, flavonoid, polifenol, dan β -karoten memperkuat sinergi tersebut melalui mekanisme yang berbeda. Aktivitas antioksidan senyawa-senyawa tersebut membantu mengurangi stres oksidatif yang dapat merusak membran eritrosit maupun sel-sel prekursor hematopoietik. Perlindungan terhadap kerusakan oksidatif memungkinkan eritrosit memiliki umur hidup yang lebih baik serta mendukung berlangsungnya eritropoiesis dalam lingkungan fisiologis yang lebih stabil. Walaupun kontribusi antioksidan terhadap peningkatan hemoglobin bersifat tidak langsung, keberadaannya menjadi bagian penting dari pendekatan pangan fungsional modern yang menekankan interaksi berbagai komponen bioaktif.

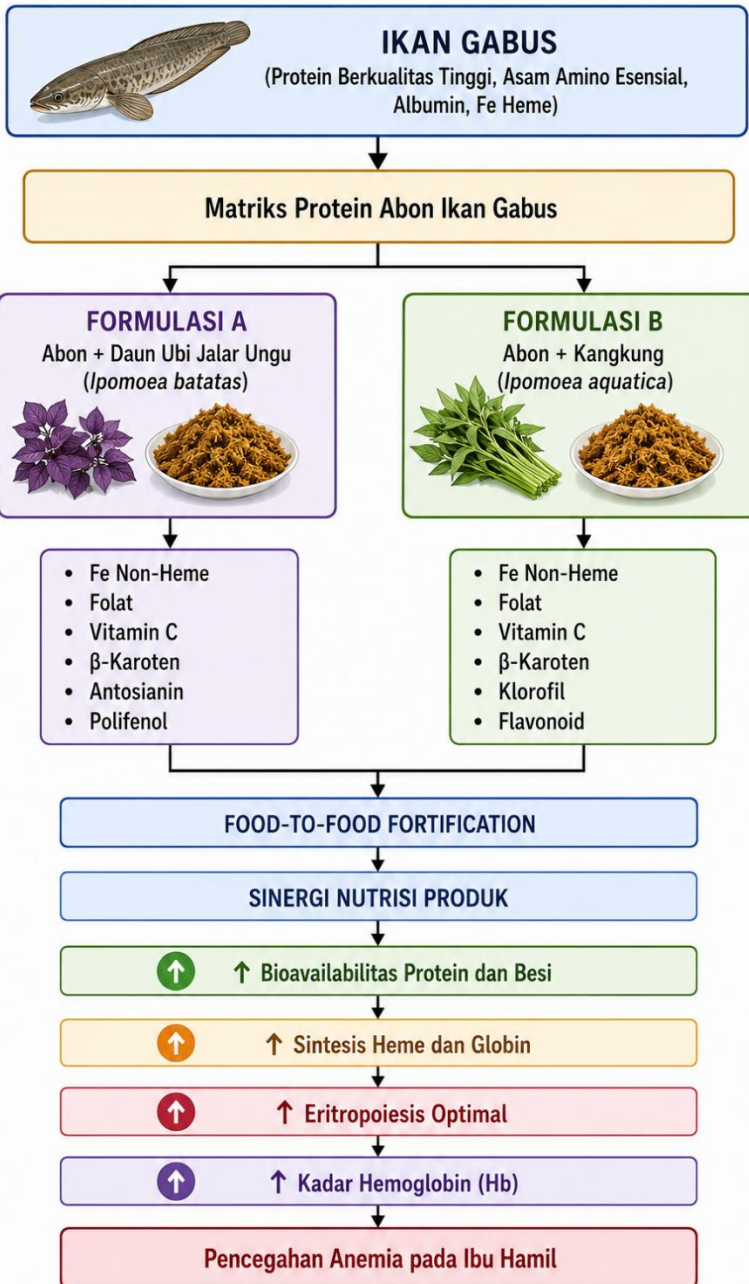
Sinergi nutrisi juga dipengaruhi oleh keberadaan *food matrix*, yaitu struktur fisik dan kimia produk pangan yang menentukan bagaimana zat gizi dilepaskan selama proses pencernaan. Matriks protein pada abon ikan gabus berfungsi sebagai media penghantar (*delivery system*) yang membawa berbagai mikronutrien dan senyawa bioaktif dari sayuran indigenous dalam satu sistem pangan yang terintegrasi. Selama proses pencernaan, protein mengalami hidrolisis secara bertahap sehingga pelepasan asam amino, mineral, dan vitamin berlangsung lebih terkoordinasi. Interaksi tersebut berpotensi meningkatkan efisiensi pemanfaatan nutrisi dibandingkan apabila setiap komponen dikonsumsi secara terpisah.

Pendekatan sinergis ini memiliki implikasi yang sangat penting dalam intervensi gizi pada ibu hamil dengan anemia. Selama kehamilan terjadi peningkatan kebutuhan protein, zat besi, folat, vitamin C, dan berbagai mikronutrien lainnya akibat pertumbuhan janin, pembentukan plasenta, serta peningkatan volume darah maternal. Intervensi yang hanya mengandalkan satu jenis zat gizi sering kali kurang mampu memenuhi kompleksitas kebutuhan tersebut. Sebaliknya, kombinasi protein hewani berkualitas tinggi dengan sayuran indigenous melalui pendekatan *Food-to-Food Fortification* memungkinkan penyediaan berbagai nutrisi penting secara simultan sehingga lebih sesuai dengan kebutuhan fisiologis ibu hamil.

Dengan demikian, sinergi nutrisi antara ikan gabus dan sayuran indigenous tidak hanya meningkatkan kandungan gizi produk, tetapi juga memperkuat mekanisme biologis yang mendasari peningkatan bioavailabilitas dan bioefikasi. Konsep ini menjadi landasan ilmiah utama dalam pengembangan abon ikan gabus sebagai pangan fungsional yang ditujukan untuk mendukung peningkatan kadar hemoglobin pada ibu hamil dengan anemia.

Tabel 5.3. Mekanisme Sinergi Nutrisi dalam Pendekatan
Food-to-Food Fortification

Komponen	Peran Utama	Efek Sinergis
Protein ikan gabus	Menyediakan asam amino esensial	Sintesis rantai globin
Besi heme	Pembentukan gugus heme	Bioavailabilitas tinggi
Besi non-heme	Menambah cadangan besi	Ditingkatkan penyerapannya oleh vitamin C
Vitamin C	Meningkatkan absorpsi Fe	Mendukung pembentukan hemoglobin
Folat	Sintesis DNA eritroblas	Mendukung eritropoiesis
β-Karoten	Antioksidan dan prekursor vitamin A	Mendukung metabolisme besi
Antosianin dan flavonoid	Antioksidan	Melindungi eritrosit dari stres oksidatif
Matriks pangan	Pelepasan nutrisi bertahap	Meningkatkan bioavailabilitas dan bioefikasi



Gambar 5.3. Konsep Sinergi Nutrisi dalam 7z

5.5 Dasar Ilmiah Pemilihan Daun Ubi Jalar Ungu dan Kangkung pada Pengembangan Abon Ikan Gabus

Pemilihan bahan fortifikasi merupakan salah satu tahapan paling menentukan dalam pengembangan pangan fungsional berbasis *Food-to-Food Fortification*. Keberhasilan suatu produk tidak hanya dipengaruhi oleh kualitas matriks pangan yang digunakan, tetapi juga oleh karakteristik nutrisi, senyawa bioaktif, stabilitas selama proses pengolahan, ketersediaan bahan baku, serta kemampuan bahan fortifikasi dalam menghasilkan efek biologis yang diharapkan. Oleh karena itu, proses pemilihan bahan fortifikasi harus didasarkan pada pendekatan ilmiah yang mempertimbangkan hubungan antara komposisi nutrisi, mekanisme fisiologis, teknologi pengolahan, dan tujuan intervensi kesehatan.

Dalam pengembangan abon ikan gabus sebagai pangan fungsional untuk ibu hamil dengan anemia, daun ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas*) dan kangkung (*Ipomoea aquatica*) dipilih sebagai bahan fortifikasi berdasarkan beberapa pertimbangan ilmiah yang saling melengkapi. Kedua sayuran tersebut merupakan bagian dari biodiversitas pangan Indonesia yang mudah diperoleh, memiliki nilai ekonomi yang relatif rendah, tersedia sepanjang tahun, serta telah lama dikonsumsi oleh masyarakat sehingga memiliki tingkat keamanan pangan yang baik. Selain itu, kedua komoditas tersebut memiliki profil nutrisi yang berbeda namun saling melengkapi, sehingga memberikan peluang untuk menghasilkan formulasi dengan karakteristik biologis yang berbeda pula.

Pendekatan pemilihan dua jenis sayuran ini juga didasarkan pada konsep komplementaritas nutrisi (*nutritional complementarity*). Daun ubi jalar ungu memiliki keunggulan pada kandungan antosianin, polifenol, dan aktivitas antioksidan yang tinggi, sedangkan kangkung lebih dikenal sebagai sumber zat besi, folat, klorofil, dan vitamin C yang berperan dalam proses hematopoiesis. Dengan demikian, kedua

formulasi tidak dirancang untuk saling menggantikan, melainkan untuk mengeksplorasi dua mekanisme biologis yang berbeda dalam mendukung peningkatan kadar hemoglobin. Pendekatan ini memberikan dasar ilmiah bagi dilakukannya evaluasi komparatif terhadap bioefikasi masing-masing formulasi.

Pertimbangan berikutnya berkaitan dengan bioavailabilitas zat gizi. Kandungan zat besi yang tinggi dalam suatu bahan pangan belum tentu menghasilkan peningkatan status besi apabila tidak didukung oleh faktor-faktor yang meningkatkan absorpsinya. Oleh karena itu, pemilihan daun ubi jalar ungu dan kangkung tidak hanya mempertimbangkan kandungan zat besi, tetapi juga keberadaan vitamin C, folat, β -karoten, dan senyawa antioksidan yang diketahui berkontribusi terhadap metabolisme besi dan pembentukan eritrosit. Kombinasi tersebut diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan zat besi ketika dikonsumsi bersama protein berkualitas tinggi dari ikan gabus.

Aspek teknologi pangan juga menjadi dasar dalam pemilihan kedua bahan fortifikasi. Daun ubi jalar ungu dan kangkung memiliki karakteristik fisik yang memungkinkan proses pengolahan menjadi pasta atau bubuk dengan tingkat homogenitas yang baik ketika dicampurkan ke dalam matriks abon ikan gabus. Kedua bahan juga memiliki kadar serat yang masih dapat ditoleransi dalam formulasi sehingga tidak menyebabkan perubahan tekstur yang berlebihan. Selain itu, warna alami yang dihasilkan memberikan identitas visual produk tanpa memerlukan pewarna tambahan, sehingga tetap mempertahankan prinsip *clean label* yang semakin diminati dalam pengembangan pangan fungsional modern.

Dari perspektif keberlanjutan, pemanfaatan kedua sayuran ini juga mendukung konsep *sustainable food systems*. Penggunaan komoditas lokal yang mudah dibudidayakan dapat memperkuat ketahanan pangan, meningkatkan nilai tambah hasil pertanian, serta

membuka peluang pengembangan industri pangan berbasis sumber daya lokal. Dengan demikian, inovasi yang dihasilkan tidak hanya memiliki manfaat kesehatan, tetapi juga memberikan dampak sosial dan ekonomi bagi masyarakat.

Perbedaan karakteristik nutrisi antara kedua sayuran menjadi landasan bagi penelitian komparatif yang dilakukan dalam buku ini. Formulasi abon ikan gabus yang difortifikasi dengan daun ubi jalar ungu dikembangkan untuk mengeksplorasi kontribusi antioksidan dan senyawa fenolik terhadap bioefikasi produk, sedangkan formulasi dengan kangkung diarahkan untuk mengevaluasi peran mikronutrien hematopoietik dalam mendukung peningkatan hemoglobin. Pendekatan komparatif tersebut memungkinkan identifikasi formulasi yang paling efektif sekaligus memperkaya pemahaman mengenai mekanisme kerja *Food-to-Food Fortification* berbasis biodiversitas lokal.

Dengan demikian, pemilihan daun ubi jalar ungu dan kangkung bukan merupakan keputusan yang bersifat praktis semata, tetapi didasarkan pada sintesis bukti ilmiah mengenai kandungan nutrisi, senyawa bioaktif, karakteristik teknologi, keamanan pangan, keberlanjutan, serta relevansinya terhadap mekanisme pembentukan hemoglobin. Pendekatan ini memperkuat posisi penelitian sebagai inovasi pangan fungsional yang berlandaskan pada prinsip ilmiah dan memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut pada berbagai produk pangan berbasis sumber daya lokal Indonesia.

Tabel 5.4. Dasar Ilmiah Pemilihan Bahan Fortifikasi pada Pengembangan Abon Ikan Gabus

Aspek	Daun Ubi Jalar Ungu (Ipomoea batatas)	Kangkung (Ipomoea aquatica)
Keunggulan utama	Kaya antosianin dan polifenol	Kaya Fe, folat, dan klorofil
Fokus biologis	Perlindungan terhadap stres oksidatif	Mendukung hematopoiesis

Mikronutrien dominan	Vitamin C, β -karoten, folat	Fe, folat, vitamin C
Senyawa bioaktif	Antosianin, flavonoid, polifenol	Flavonoid, klorofil, karotenoid
Peran dalam formulasi	Meningkatkan kapasitas antioksidan	Meningkatkan potensi pembentukan hemoglobin
Karakteristik teknologi	Mudah dihomogenisasi dalam matriks abon	Stabil dalam proses pencampuran dan pengolahan
Tujuan penelitian	Evaluasi bioefikasi antioksidan	Evaluasi bioefikasi hematopoietik

FORMULASI, KARAKTERISASI, DAN EVALUASI BIOEFIKASI ABON IKAN GABUS SEBAGAI PANGAN FUNGSIONAL

6.1 Konsep Pengembangan Formulasi Produk

Pengembangan produk pangan fungsional merupakan suatu proses multidisiplin yang mengintegrasikan ilmu pangan, ilmu gizi, teknologi pengolahan, dan ilmu kesehatan dalam menghasilkan produk yang tidak hanya memenuhi kebutuhan nutrisi dasar, tetapi juga memberikan manfaat fisiologis yang dapat dibuktikan secara ilmiah. Berbeda dengan pengembangan produk pangan konvensional yang lebih menitikberatkan pada karakteristik sensoris, keamanan pangan, dan daya simpan, pengembangan pangan fungsional menempatkan hubungan antara komposisi nutrisi dan efek biologis sebagai tujuan utama formulasi. Oleh karena itu, setiap keputusan dalam penyusunan formula harus didasarkan pada bukti ilmiah mengenai fungsi masing-masing komponen terhadap target kesehatan yang ingin dicapai.

Dalam hal ini, target fisiologis yang menjadi fokus pengembangan produk adalah peningkatan kadar hemoglobin pada ibu hamil dengan anemia. Kondisi anemia selama kehamilan merupakan masalah kesehatan masyarakat yang bersifat multifaktorial karena dipengaruhi oleh kecukupan protein, zat besi, folat, vitamin, status inflamasi, hingga bioavailabilitas nutrisi. Dengan demikian, formulasi produk tidak dapat disusun hanya berdasarkan tingginya kandungan satu

jenis zat gizi, tetapi harus mempertimbangkan interaksi berbagai komponen yang mendukung proses eritropoiesis secara menyeluruh.

Sebagai matriks pangan utama, ikan gabus (*Channa striata*) dipilih karena memiliki kandungan protein berkualitas tinggi, asam amino esensial yang lengkap, serta zat besi heme dengan bioavailabilitas yang relatif tinggi. Karakteristik tersebut menjadikan ikan gabus sebagai bahan dasar yang sesuai untuk dikembangkan menjadi produk pangan fungsional berbasis protein. Selain memiliki nilai gizi yang tinggi, struktur serat daging ikan gabus memungkinkan pembentukan tekstur abon yang stabil sehingga dapat berfungsi sebagai media penghantar berbagai bahan fortifikasi tanpa mengurangi karakteristik sensoris produk.

Untuk meningkatkan nilai biologis produk, formulasi dikembangkan melalui pendekatan *Food-to-Food Fortification* dengan memanfaatkan dua jenis sayuran indigenous, yaitu daun ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas*) dan kangkung (*Ipomoea aquatica*). Kedua bahan dipilih bukan untuk menghasilkan satu produk yang sama, melainkan untuk membangun dua formulasi yang memiliki karakteristik nutrisi dan mekanisme biologis yang berbeda. Pendekatan komparatif ini memberikan peluang untuk mengevaluasi kontribusi masing-masing bahan fortifikasi terhadap peningkatan kualitas nutrisi dan bioefikasi produk.

Formulasi pertama menggunakan daun ubi jalar ungu sebagai fortifikan alami yang kaya akan antosianin, polifenol, vitamin C, folat, dan β -karoten. Kombinasi komponen tersebut diharapkan memberikan perlindungan terhadap stres oksidatif sekaligus mendukung metabolisme besi melalui peningkatan bioavailabilitas dan stabilitas eritrosit. Sebaliknya, formulasi kedua menggunakan kangkung yang memiliki kandungan zat besi, folat, vitamin C, dan klorofil yang relatif tinggi, sehingga lebih diarahkan untuk memperkuat proses

hematopoiesis melalui peningkatan ketersediaan mikronutrien yang diperlukan dalam pembentukan hemoglobin.

Pengembangan dua formulasi ini mencerminkan pendekatan *comparative food formulation*, yaitu strategi formulasi yang tidak hanya bertujuan menghasilkan produk dengan kandungan nutrisi tinggi, tetapi juga mengevaluasi perbedaan bioefikasi antarformula berdasarkan karakteristik biologis bahan fortifikasinya. Pendekatan tersebut memungkinkan identifikasi formulasi yang paling efektif sekaligus memberikan informasi ilmiah mengenai mekanisme sinergi antara protein hewani dan komponen bioaktif nabati.

Dalam teknologi pangan modern, formulasi produk juga harus mempertimbangkan aspek stabilitas selama pengolahan. Penambahan bahan fortifikasi dapat memengaruhi kadar air, warna, tekstur, aroma, serta homogenitas produk. Oleh karena itu, proses formulasi harus dirancang sedemikian rupa agar peningkatan kandungan nutrisi tidak mengorbankan mutu sensoris dan penerimaan konsumen. Prinsip ini menjadi sangat penting karena keberhasilan suatu pangan fungsional tidak hanya diukur berdasarkan komposisi kimianya, tetapi juga berdasarkan kemampuannya untuk dikonsumsi secara rutin oleh kelompok sasaran.

Konsep formulasi yang dikembangkan didasarkan pada prinsip bahwa keberhasilan suatu pangan fungsional merupakan hasil interaksi antara matriks pangan, komponen fortifikasi, proses pengolahan, karakteristik sensoris, dan bioefikasi. Dengan demikian, formulasi bukan sekadar proses pencampuran bahan, tetapi merupakan tahapan ilmiah yang bertujuan menghasilkan produk dengan karakteristik nutrisi dan manfaat fisiologis yang optimal.

6.2 Pendekatan *Scientific Formulation* dalam Pengembangan Abon Ikan Gabus Berbasis *Food-to-Food Fortification*

Formulasi merupakan tahapan fundamental dalam pengembangan produk pangan fungsional karena menentukan karakteristik nutrisi, stabilitas produk, mutu sensoris, serta efektivitas biologis setelah dikonsumsi. Berbeda dengan formulasi pangan konvensional yang umumnya berorientasi pada cita rasa, tekstur, dan umur simpan, formulasi pangan fungsional dikembangkan berdasarkan hubungan ilmiah antara komposisi bahan dan target fisiologis yang ingin dicapai. Oleh karena itu, penyusunan formula tidak hanya mempertimbangkan proporsi bahan, tetapi juga interaksi antarkomponen nutrisi, stabilitas senyawa bioaktif selama pengolahan, bioavailabilitas zat gizi, dan potensi bioefikasi produk terhadap kesehatan.

Pendekatan *Scientific Formulation* diterapkan untuk mengembangkan abon ikan gabus sebagai pangan fungsional yang ditujukan bagi ibu hamil dengan anemia. Pendekatan tersebut menempatkan ikan gabus sebagai matriks protein utama, sedangkan daun ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas*) dan kangkung (*Ipomoea aquatica*) berfungsi sebagai fortifikan alami yang dipilih berdasarkan karakteristik nutrisi dan mekanisme biologisnya. Dengan demikian, formulasi produk tidak disusun secara empiris, tetapi melalui integrasi berbagai pertimbangan ilmiah yang melibatkan ilmu gizi, teknologi pangan, fisiologi, dan kesehatan masyarakat.

Dasar pertama dalam penyusunan formulasi adalah kecukupan protein berkualitas tinggi. Protein memiliki peran sentral dalam sintesis rantai globin hemoglobin, pembentukan jaringan maternal dan janin, serta pemeliharaan status protein selama kehamilan. Oleh karena itu, jumlah ikan gabus dalam formulasi dipertahankan sebagai komponen dominan agar produk tetap berfungsi sebagai sumber protein utama. Pengurangan proporsi ikan secara berlebihan untuk meningkatkan jumlah bahan fortifikasi justru berpotensi

menurunkan kualitas biologis produk karena berkurangnya suplai asam amino esensial.

Pertimbangan kedua adalah optimalisasi kandungan mikronutrien hematopoietik. Daun ubi jalar ungu dan kangkung dipilih karena menyediakan zat besi non-heme, folat, vitamin C, dan β -karoten yang berkontribusi terhadap metabolisme besi serta pembentukan eritrosit. Penentuan proporsi kedua bahan fortifikasi dilakukan dengan mempertimbangkan keseimbangan antara peningkatan kandungan mikronutrien dan penerimaan sensoris produk. Penambahan bahan fortifikasi dalam jumlah terlalu tinggi memang dapat meningkatkan kandungan nutrisi, tetapi juga berpotensi menimbulkan perubahan warna, aroma, tekstur, maupun cita rasa yang dapat menurunkan tingkat penerimaan konsumen.

Pertimbangan ketiga adalah stabilitas senyawa bioaktif selama proses pengolahan. Senyawa seperti vitamin C, antosianin, dan beberapa polifenol diketahui sensitif terhadap suhu tinggi dan paparan oksigen. Oleh karena itu, tahapan pengolahan harus dirancang agar kehilangan senyawa bioaktif dapat diminimalkan. Pengaturan suhu pemasakan, lama pemanasan, metode pencampuran, dan waktu penambahan bahan fortifikasi menjadi bagian penting dalam pendekatan *Scientific Formulation*. Dengan demikian, formulasi tidak hanya menghasilkan kandungan nutrisi yang tinggi pada bahan baku, tetapi juga mempertahankan sebanyak mungkin komponen bioaktif hingga produk siap dikonsumsi.

Aspek berikutnya adalah interaksi antar nutrisi. Dalam sistem pangan, berbagai komponen nutrisi dapat saling mendukung maupun saling menghambat. Vitamin C, misalnya, meningkatkan absorpsi besi non-heme melalui mekanisme reduksi ion ferri menjadi ferro, sedangkan protein berkualitas tinggi mendukung sintesis rantai globin. Sebaliknya, beberapa senyawa seperti fitat atau tanin dalam jumlah tinggi dapat menghambat absorpsi besi.

Oleh karena itu, formulasi harus memperhatikan keseimbangan seluruh komponen agar interaksi yang terbentuk bersifat sinergis. Pendekatan inilah yang menjadi dasar konsep *Nutrient Synergy Framework* yang telah dibahas pada bab sebelumnya.

Selain mempertimbangkan aspek nutrisi, *Scientific Formulation* juga mengintegrasikan prinsip *food matrix*. Matriks pangan menggambarkan struktur fisik dan kimia produk yang memengaruhi pelepasan nutrisi selama proses pencernaan. Pada abon ikan gabus, jaringan protein yang terbentuk selama proses pengolahan berfungsi sebagai media penghantar berbagai komponen nutrisi dari bahan fortifikasi. Struktur tersebut memungkinkan distribusi zat gizi berlangsung lebih homogen sekaligus memberikan peluang pelepasan nutrisi secara bertahap di saluran cerna. Dengan demikian, keberhasilan formulasi tidak hanya diukur berdasarkan kandungan zat gizi, tetapi juga berdasarkan kemampuan matriks pangan dalam mendukung bioavailabilitas nutrisi.

Pendekatan *Scientific Formulation* ini juga mempertimbangkan kualitas sensoris sebagai faktor penting yang menentukan keberhasilan implementasi produk. Produk dengan kandungan nutrisi tinggi tidak akan memberikan manfaat apabila tidak dikonsumsi secara rutin oleh kelompok sasaran. Oleh karena itu, evaluasi warna, aroma, rasa, tekstur, dan penerimaan keseluruhan menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari proses pengembangan formulasi. Pendekatan ini menunjukkan bahwa kualitas biologis dan kualitas sensoris harus dipandang sebagai dua komponen yang saling melengkapi dalam pengembangan pangan fungsional.

Selanjutnya, formulasi dikembangkan melalui pendekatan *comparative formulation*, yaitu penyusunan dua formula yang memiliki tujuan biologis berbeda namun menggunakan matriks pangan yang sama. Formulasi A memanfaatkan daun ubi jalar ungu untuk mengeksplorasi kontribusi antosianin dan senyawa antioksidan

terhadap peningkatan kualitas biologis produk, sedangkan Formulasi B menggunakan kangkung sebagai sumber mikronutrien hemato-poitetik. Strategi ini memungkinkan dilakukan evaluasi komparatif terhadap karakteristik kimia, daya terima, dan bioefikasi kedua produk sehingga dapat diidentifikasi formulasi yang paling efektif dalam meningkatkan kadar hemoglobin.

Dengan demikian, pendekatan *Scientific Formulation* ini tidak hanya menghasilkan dua formulasi abon ikan gabus, tetapi juga membangun suatu model pengembangan pangan fungsional yang mengintegrasikan matriks protein hewani, fortifikasi berbasis bio-diversitas lokal, stabilitas senyawa bioaktif, mutu sensoris, dan bioefikasi dalam satu kerangka ilmiah. Pendekatan ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan produk pangan fungsional berbasis sumber daya lokal Indonesia.

Tabel 6.1. Prinsip *Scientific Formulation* dalam Pengembangan Abon Ikan Gabus

Prinsip Formulasi	Tujuan	Implementasi pada Penelitian
Matriks protein	Menyediakan protein berkualitas tinggi	Ikan gabus sebagai bahan utama
Fortifikasi alami	Meningkatkan mikronutrien dan senyawa bioaktif	Daun ubi jalar ungu dan kangkung
Sinergi nutrisi	Meningkatkan bioavailabilitas	Kombinasi protein, Fe, folat, vitamin C
Stabilitas senyawa bioaktif	Mempertahankan kualitas nutrisi	Optimasi proses pengolahan
Mutu sensoris	Menjamin penerimaan konsumen	Uji warna, aroma, rasa, tekstur, dan kesukaan
Bioefikasi	Menghasilkan manfaat fisiologis	Evaluasi perubahan kadar hemoglobin

6.3 Formulasi Produk Abon Ikan Gabus Berbasis *Food-to-Food Fortification*

Tahap formulasi merupakan proses yang menjembatani konsep ilmiah dengan implementasi teknologi pangan. Pada tahap ini, berbagai komponen yang telah dipilih berdasarkan pertimbangan nutrisi, bioavailabilitas, stabilitas, dan karakteristik sensoris diintegrasikan menjadi suatu produk pangan fungsional yang dapat diproduksi secara konsisten. Formulasi tidak hanya bertujuan menghasilkan produk dengan kandungan gizi yang tinggi, tetapi juga memastikan bahwa seluruh komponen dapat berinteraksi secara harmonis sehingga menghasilkan karakteristik fisik, kimia, sensoris, dan biologis yang optimal (Fellows, 2022).

Dalam hal ini dikembangkan dua formulasi abon ikan gabus yang menggunakan matriks pangan yang sama, namun berbeda pada jenis bahan fortifikasi. Pendekatan tersebut dipilih untuk mengevaluasi bagaimana karakteristik nutrisi masing-masing fortifikan memengaruhi mutu produk dan potensi peningkatan kadar hemoglobin pada ibu hamil anemia.

Meskipun kedua formulasi memiliki tujuan akhir yang sama, yaitu menghasilkan pangan fungsional yang mampu mendukung pembentukan hemoglobin, masing-masing dikembangkan berdasarkan mekanisme biologis yang berbeda. Formulasi berbasis daun ubi jalar ungu diarahkan untuk memanfaatkan aktivitas antioksidan dan senyawa fenolik, sedangkan formulasi berbasis kangkung dikembangkan untuk mengoptimalkan kontribusi mikronutrien hematopoietik seperti zat besi dan folat.

Tabel 6.2. Komposisi Formulasi Produk

Bahan	Formulasi A (Abon ikan gabus modifikasi daun ubi jalar ungu)	Formulasi B (Abon ikan gabus modifikasi daun kangkung)
Ikan gabus	300 gram	300 gram
Daun ubi jalar ungu	25 gram	-
Daun Kangkung	-	25 gram
Bawang merah	200 gram	200 gram
Bawang putih	160 gram	160 gram
Ketumbar	40 gram	40 gram
Gula	120 gram	120 gram
Garam	24 gram	24 gram
Santan	1.200 ml	1.200 ml
Minyak	50 ml	50 ml
Lengkuas	120 gram	120 gram
Kunyit	40 gram	40 gram
Daun salam	16 lembar	16 lembar
Sereh	8 batang	8 batang

Formulasi kedua produk diawali dengan proses seleksi bahan baku untuk memastikan bahwa ikan gabus dan bahan fortifikasi memenuhi persyaratan mutu. Ikan gabus segar dibersihkan, kemudian direbus atau dikukus hingga daging mudah dipisahkan dari tulangnya. Daging ikan selanjutnya disuwir menjadi serat halus sebagai matriks utama abon.

Daun ubi jalar ungu maupun kangkung diproses secara terpisah sesuai dengan formulasi yang dikembangkan. Setelah melalui tahap sortasi, pencucian, dan perlakuan pendahuluan yang bertujuan mempertahankan kualitas nutrisi, bahan fortifikasi dicampurkan secara homogen dengan serat ikan gabus dan bumbu. Seluruh campuran kemudian dimasak sambil diaduk hingga terbentuk tekstur abon yang kering, berserat, dan homogen. Setelah mencapai kadar kekeringan yang diinginkan, produk didinginkan, dikemas,

dan disimpan sebelum dilakukan karakterisasi kimia, uji sensoris, serta evaluasi bioefikasi.



Formulasi A

Formulasi B

Gambar 6.1 Abon Ikan Gabus (*Channa Striata*)

6.4 Karakterisasi Kimia Produk Abon Ikan Gabus sebagai Pangan Fungsional

Karakterisasi kimia merupakan salah satu tahapan penting dalam pengembangan pangan fungsional karena memberikan informasi mengenai kualitas nutrisi produk yang dihasilkan. Berbeda dengan pangan konvensional yang lebih banyak dinilai berdasarkan karakteristik sensoris dan keamanan pangan, pangan fungsional memerlukan evaluasi yang lebih komprehensif untuk memastikan bahwa formulasi yang dikembangkan mampu menyediakan zat gizi dan komponen bioaktif sesuai dengan tujuan fisiologis yang diharapkan. Oleh karena itu, karakterisasi kimia menjadi dasar dalam menilai apakah suatu produk memiliki potensi untuk memberikan manfaat kesehatan secara ilmiah.

Karakterisasi kimia difokuskan pada dua parameter utama, yaitu kadar protein dan kandungan zat besi (Fe). Pemilihan kedua parameter tersebut didasarkan pada tujuan pengembangan produk sebagai pangan fungsional untuk ibu hamil dengan anemia. Protein dipilih karena merupakan komponen utama dalam sintesis rantai

globin hemoglobin, sedangkan zat besi merupakan unsur esensial dalam pembentukan gugus *heme*. Kombinasi kedua komponen tersebut menjadi dasar biologis bagi pembentukan hemoglobin sehingga sangat relevan dalam evaluasi mutu nutrisi abon ikan gabus yang difortifikasi dengan daun ubi jalar ungu dan kangkung.

Selain sebagai indikator kualitas nutrisi, hasil karakterisasi kimia juga memberikan gambaran mengenai keberhasilan pendekatan *Food-to-Food Fortification*. Penambahan bahan fortifikasi diharapkan tidak hanya meningkatkan kandungan mikronutrien, tetapi juga mempertahankan kualitas protein ikan gabus selama proses pengolahan. Oleh karena itu, interpretasi hasil karakterisasi tidak hanya didasarkan pada besarnya nilai yang diperoleh, tetapi juga pada hubungan antara komposisi bahan, proses pengolahan, dan tujuan biologis produk.

6.4.1 Kandungan Protein Produk

Protein merupakan parameter utama karena ikan gabus berfungsi sebagai matriks protein yang mendukung pembentukan hemoglobin. Kandungan protein yang tinggi menunjukkan bahwa proses pengolahan mampu mempertahankan sebagian besar fraksi protein selama pemasakan dan pengeringan. Selain itu, kadar protein yang baik mengindikasikan bahwa produk masih memiliki kemampuan untuk menyediakan asam amino esensial yang diperlukan dalam sintesis globin dan berbagai protein tubuh lainnya.

Perbedaan kadar protein antara Formulasi A dan Formulasi B dapat dipengaruhi oleh proporsi bahan fortifikasi, karakteristik masing-masing daun, serta interaksi antara protein dan komponen lain selama proses pengolahan. Oleh karena itu, interpretasi hasil tidak hanya didasarkan pada nilai absolut, tetapi juga mempertimbangkan keseimbangan antara peningkatan kandungan mikronutrien dan kemampuan mempertahankan kadar protein produk.

Tabel 6.3. Kandungan Protein Dua Formulasi Abon Ikan Gabus

Parameter	Formulasi A (Daun Ubi Jalar Ungu)	Formulasi B (Kangkung)
Protein (%)	26,93	29,86

Hasil analisis menunjukkan bahwa Formulasi B yang menggunakan kangkung memiliki kadar protein lebih tinggi (29,86%) dibandingkan Formulasi A yang menggunakan daun ubi jalar ungu (26,93%). Terdapat selisih sebesar 2,93 poin persentase, atau sekitar 10,9% lebih tinggi dibandingkan Formulasi A.

Perbedaan ini mengindikasikan bahwa penambahan kangkung pada formulasi abon ikan gabus mampu mempertahankan atau meningkatkan kandungan protein produk secara lebih baik dibandingkan penggunaan daun ubi jalar ungu. Meskipun kedua bahan merupakan sayuran hijau yang mengandung protein nabati, perbedaan komposisi kimia, kadar air, proporsi penambahan, serta interaksi antara protein ikan dan komponen penyusun sayuran selama proses pengolahan (pengukusan, penumisan, dan penggorengan) dapat memengaruhi kadar protein akhir produk.

Selain itu, kadar protein pada kedua formulasi masih tergolong tinggi (>20%), yang menunjukkan bahwa abon ikan gabus merupakan pangan sumber protein yang baik. Kandungan protein yang tinggi ini terutama berasal dari ikan gabus yang dikenal memiliki protein berkualitas tinggi dengan kandungan asam amino esensial yang lengkap serta albumin yang berperan penting dalam pertumbuhan, perbaikan jaringan, dan pemeliharaan status gizi.

6.4.2 Kandungan Zat Besi (Fe) Produk

Zat besi merupakan salah satu indikator utama dalam evaluasi pangan fungsional yang ditujukan untuk mendukung peningkatan kadar hemoglobin. Kandungan zat besi dianalisis untuk mengetahui kontribusi fortifikasi berbasis sayuran indigenous terhadap peningkatan nilai gizi produk. Keberadaan zat besi dalam produk berasal dari dua sumber, yaitu besi *heme* yang secara alami terdapat pada ikan gabus dan besi *non-heme* yang berasal dari daun ubi jalar ungu maupun kangkung.

Pendekatan ini memberikan keunggulan karena produk tidak hanya mengandung satu jenis besi, tetapi memadukan dua bentuk besi dengan karakteristik bioavailabilitas yang berbeda. Kombinasi tersebut diharapkan mampu meningkatkan potensi biologis produk dalam mendukung pembentukan hemoglobin

Tabel 6.4. Kandungan Zat Besi pada Dua Formulasi
Abon Ikan Gabus

Parameter	Formulasi A (Daun Ubi Jalar Ungu)	Formulasi B (Kangkung)
Fe (ppm)	52,60	61,44

Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa Formulasi B yang menggunakan kangkung memiliki kandungan zat besi (Fe) lebih tinggi, yaitu 61,44 ppm, dibandingkan Formulasi A yang menggunakan daun ubi jalar ungu sebesar 52,60 ppm. Selisih kandungan Fe antara kedua formulasi adalah 8,84 ppm, atau sekitar 16,8% lebih tinggi pada Formulasi B.

Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan kangkung pada abon ikan gabus memberikan kontribusi yang lebih besar terhadap peningkatan kandungan zat besi dibandingkan penambahan daun ubi jalar ungu. Peningkatan tersebut kemungkinan disebabkan oleh

kandungan mineral, khususnya zat besi, yang relatif lebih tinggi pada kangkung, serta kemampuan mineral tersebut bertahan selama proses pengolahan menjadi abon.

6.5 Interpretasi Nutrisi Berdasarkan Konsep *Food-to-Food Fortification*

Karakterisasi kimia menunjukkan bahwa kedua formulasi memiliki karakteristik nutrisi yang mendukung pengembangan pangan fungsional berbasis *Food-to-Food Fortification*. Protein berkualitas tinggi yang berasal dari ikan gabus tetap menjadi komponen dominan, sedangkan fortifikasi menggunakan daun ubi jalar ungu maupun kangkung memberikan kontribusi terhadap peningkatan kandungan zat besi dan komponen pendukung lainnya.

Temuan tersebut memperlihatkan bahwa pendekatan *Food-to-Food Fortification* tidak hanya meningkatkan kandungan nutrisi, tetapi juga mempertahankan keseimbangan antara protein hewani dan mikronutrien nabati. Dengan demikian, produk yang dihasilkan tidak hanya kaya protein, tetapi juga memiliki komposisi nutrisi yang lebih lengkap untuk mendukung pembentukan hemoglobin.

Perbedaan karakteristik nutrisi antara kedua formulasi memberikan dasar bagi evaluasi bioefikasi pada subbab berikutnya. Apabila salah satu formulasi menunjukkan kandungan zat besi lebih tinggi, sedangkan formulasi lain memiliki kadar protein atau komponen bioaktif yang lebih baik, maka efektivitas biologis produk akan ditentukan oleh interaksi seluruh komponen tersebut, bukan oleh satu parameter tunggal. Hal ini memperkuat konsep bahwa keberhasilan pangan fungsional harus dinilai melalui pendekatan multidimensional yang mengintegrasikan kandungan nutrisi, bioavailabilitas, dan efek fisiologis.

6.6 Karakteristik Sensoris sebagai Indikator Keberhasilan Pengembangan Produk

Karakteristik sensoris merupakan salah satu aspek penting dalam pengembangan pangan fungsional karena menentukan tingkat penerimaan produk oleh konsumen. Meskipun suatu produk memiliki kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif yang tinggi, manfaat fisiologisnya tidak akan tercapai apabila produk tidak disukai dan tidak dikonsumsi secara berkelanjutan. Oleh karena itu, pengembangan pangan fungsional harus mempertimbangkan keseimbangan antara kualitas nutrisi dan kualitas sensoris.

Pada produk abon ikan gabus berbasis *Food-to-Food Fortification*, penambahan bahan fortifikasi alami berpotensi memengaruhi warna, aroma, rasa, dan tekstur produk. Perubahan tersebut merupakan konsekuensi alami dari penggunaan bahan pangan yang kaya pigmen, serat, maupun senyawa volatil. Tantangan dalam proses formulasi adalah mempertahankan karakteristik khas abon ikan gabus tanpa mengurangi manfaat nutrisi yang diperoleh dari bahan fortifikasi.

Dalam teknologi pangan, evaluasi sensoris berfungsi sebagai alat untuk menilai apakah suatu formulasi telah memenuhi harapan konsumen. Warna menjadi atribut pertama yang diamati karena membentuk persepsi awal terhadap mutu produk. Aroma berperan dalam membangun ekspektasi cita rasa, sedangkan tekstur menentukan kenyamanan saat dikonsumsi. Rasa merupakan atribut yang paling menentukan keputusan konsumen untuk menerima atau menolak suatu produk. Seluruh atribut tersebut kemudian diintegrasikan dalam penilaian penerimaan keseluruhan (*overall acceptability*), yang mencerminkan potensi produk untuk dikembangkan lebih lanjut.

Pengembangan pangan fungsional berbasis ikan gabus dengan fortifikasi daun ubi jalar ungu maupun kangkung menunjukkan bahwa setiap bahan fortifikasi memberikan karakteristik sensoris

yang berbeda. Perbedaan tersebut tidak selalu dipandang sebagai kelemahan, tetapi justru menjadi identitas produk yang mencerminkan penggunaan bahan alami. Oleh karena itu, proses optimasi formulasi harus diarahkan pada pencapaian keseimbangan antara peningkatan nilai gizi, stabilitas produk, dan penerimaan konsumen.

Dengan demikian, karakteristik sensoris tidak hanya berfungsi sebagai indikator mutu organoleptik, tetapi juga menjadi bagian integral dari keberhasilan pengembangan pangan fungsional. Produk yang memiliki karakteristik sensoris yang baik akan memiliki peluang lebih besar untuk dikonsumsi secara rutin, sehingga manfaat biologis yang diharapkan dari produk dapat tercapai secara optimal.

6.7 Konsep Evaluasi Bioefikasi Pangan Fungsional

Pengembangan pangan fungsional tidak berhenti pada tahap formulasi dan karakterisasi produk, tetapi harus diikuti dengan evaluasi terhadap manfaat biologis yang dihasilkan setelah produk dikonsumsi. Konsep ini dikenal sebagai bioefikasi, yaitu kemampuan suatu pangan untuk menghasilkan perubahan fisiologis yang sesuai dengan tujuan pengembangannya. Berbeda dengan analisis komposisi kimia yang hanya menggambarkan kandungan nutrisi produk, bioefikasi menekankan pada bagaimana nutrisi tersebut dimanfaatkan oleh tubuh sehingga mampu memberikan dampak terhadap status kesehatan.

Dalam pengembangan pangan fungsional berbasis *Food-to-Food Fortification*, evaluasi bioefikasi menjadi tahapan yang sangat penting karena manfaat produk tidak hanya ditentukan oleh tingginya kandungan protein, zat besi, maupun senyawa bioaktif, tetapi juga oleh kemampuan seluruh komponen tersebut untuk bekerja secara sinergis di dalam tubuh. Oleh karena itu, keberhasilan suatu produk tidak dapat dinilai hanya melalui analisis laboratorium, tetapi

juga melalui indikator biologis yang mencerminkan perubahan fungsi fisiologis setelah intervensi.

Pada produk abon ikan gabus yang difortifikasi dengan daun ubi jalar ungu dan kangkung, indikator bioefikasi yang paling relevan adalah kadar hemoglobin, karena tujuan utama pengembangan produk adalah mendukung pencegahan dan perbaikan anemia pada ibu hamil. Hemoglobin dipilih sebagai indikator karena secara langsung mencerminkan keberhasilan proses eritropoiesis yang dipengaruhi oleh kecukupan protein, zat besi, folat, vitamin C, dan berbagai komponen bioaktif lain yang terkandung dalam formulasi produk.

Evaluasi bioefikasi juga harus dipahami sebagai bagian dari pendekatan *evidence-based functional food*, yaitu pengembangan pangan yang didasarkan pada bukti ilmiah mengenai hubungan antara komposisi produk dan manfaat fisiologisnya. Pendekatan ini menempatkan pangan fungsional bukan sekadar sebagai sumber nutrisi, tetapi sebagai bagian dari strategi intervensi gizi yang mampu mendukung peningkatan status kesehatan kelompok sasaran.

Dalam konteks ibu hamil, evaluasi bioefikasi memiliki arti yang lebih luas karena peningkatan kadar hemoglobin tidak hanya berkaitan dengan perbaikan status gizi ibu, tetapi juga berhubungan dengan peningkatan kapasitas pengangkutan oksigen, pertumbuhan janin yang optimal, serta penurunan risiko komplikasi kehamilan. Oleh karena itu, indikator biologis yang digunakan harus mampu merepresentasikan manfaat fisiologis produk secara nyata.

Konsep bioefikasi juga menekankan pentingnya melihat pangan sebagai suatu *food matrix*, bukan sekadar kumpulan zat gizi. Protein ikan gabus, zat besi, vitamin C, folat, antosianin, flavonoid, dan senyawa bioaktif lainnya bekerja melalui mekanisme yang saling melengkapi. Efek yang dihasilkan merupakan konsekuensi dari interaksi seluruh komponen tersebut, sehingga manfaat produk

tidak dapat dijelaskan hanya berdasarkan satu zat gizi tertentu (Damodaran, 2017).

Dengan demikian, evaluasi bioefikasi merupakan jembatan antara formulasi produk dan manfaat kesehatan yang diharapkan. Pendekatan ini memperkuat konsep bahwa pengembangan pangan fungsional harus mengintegrasikan ilmu pangan, ilmu gizi, fisiologi, dan kesehatan masyarakat dalam satu kerangka ilmiah yang utuh.

6.8 Model Integratif Pengembangan Abon Ikan Gabus sebagai Pangan Fungsional

Pengembangan abon ikan gabus berbasis *Food-to-Food Fortification* tidak hanya menghasilkan suatu produk pangan, tetapi juga membangun suatu model konseptual yang mengintegrasikan pemanfaatan sumber daya hayati lokal, teknologi pangan, ilmu gizi, dan kesehatan masyarakat. Model ini menempatkan ikan gabus sebagai matriks protein berkualitas tinggi yang diperkaya melalui fortifikasi alami menggunakan sayuran indigenous, sehingga menghasilkan pangan fungsional yang dirancang untuk mendukung peningkatan status hemoglobin pada ibu hamil dengan anemia.

Model pengembangan tersebut dimulai dari identifikasi masalah kesehatan masyarakat, yaitu tingginya prevalensi anemia pada ibu hamil. Permasalahan ini kemudian dijawab melalui pendekatan berbasis pangan (*food-based approach*) dengan memanfaatkan bahan pangan lokal yang memiliki nilai gizi tinggi dan mudah diakses masyarakat. Selanjutnya, dilakukan formulasi produk berdasarkan prinsip *Food-to-Food Fortification*, diikuti dengan karakterisasi mutu kimia dan sensoris, hingga evaluasi bioefikasi sebagai dasar pembuktian manfaat fisiologis.

Pendekatan ini menunjukkan bahwa pengembangan pangan fungsional bukan hanya proses menghasilkan produk baru, tetapi juga proses membangun sistem intervensi gizi yang berkelanjutan.

Melalui integrasi antara ilmu dasar dan teknologi terapan, pangan lokal dapat ditingkatkan nilai tambahnya menjadi produk yang memiliki manfaat kesehatan sekaligus potensi ekonomi.

ARAH PENGEMBANGAN PANGAN FUNGSIONAL BERBASIS ABON IKAN GABUS

7.1 Tantangan Pengembangan Pangan Fungsional di Indonesia

Perkembangan pangan fungsional di Indonesia menunjukkan tren yang semakin positif seiring meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya pola konsumsi yang mendukung kesehatan. Namun demikian, sebagian besar produk pangan fungsional yang beredar masih didominasi oleh produk berbasis fortifikasi sintetis atau bahan baku impor. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan sumber daya hayati lokal sebagai bahan baku pangan fungsional masih belum optimal, meskipun Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang sangat tinggi.

Salah satu tantangan utama adalah masih terbatasnya penelitian yang mengintegrasikan aspek teknologi pangan, ilmu gizi, dan pembuktian bioefikasi dalam satu kerangka pengembangan produk. Banyak inovasi berhenti pada tahap formulasi atau analisis kandungan gizi tanpa dilanjutkan dengan evaluasi manfaat biologis. Akibatnya, banyak produk lokal yang memiliki potensi besar tetapi belum memiliki dasar ilmiah yang kuat untuk dikembangkan secara lebih luas.

Tantangan lainnya adalah rendahnya hilirisasi hasil penelitian menjadi produk yang siap diterapkan oleh masyarakat maupun industri. Padahal, pendekatan berbasis *Food-to-Food Fortification* memberikan peluang untuk menghasilkan produk pangan fungsional yang relatif sederhana, mudah diproduksi, dan menggunakan bahan baku lokal yang tersedia sepanjang tahun.

7.2 Peluang Pengembangan Abon Ikan Gabus sebagai Pangan Fungsional

Abon ikan gabus memiliki prospek yang sangat baik untuk dikembangkan sebagai salah satu pangan fungsional berbasis sumber daya lokal. Ikan gabus menyediakan protein berkualitas tinggi, sedangkan fortifikasi menggunakan sayuran indigenous mampu memperkaya kandungan mikronutrien dan senyawa bioaktif. Kombinasi tersebut menghasilkan produk yang tidak hanya bernilai gizi tinggi, tetapi juga berpotensi memberikan manfaat fisiologis bagi kelompok rentan, khususnya ibu hamil.

Selain memiliki nilai kesehatan, abon ikan gabus juga memiliki karakteristik yang mendukung pengembangan industri pangan. Produk ini memiliki daya simpan yang relatif panjang, mudah didistribusikan, praktis dikonsumsi, serta dapat diterima oleh berbagai kelompok usia. Dengan karakteristik tersebut, abon ikan gabus berpotensi menjadi salah satu alternatif makanan tambahan berbasis pangan lokal yang dapat diintegrasikan dalam berbagai program peningkatan gizi masyarakat.

Pengembangan lebih lanjut dapat diarahkan pada diversifikasi formulasi dengan memanfaatkan berbagai sayuran indigenous lain yang memiliki karakteristik nutrisi berbeda. Pendekatan tersebut akan memperluas pemanfaatan biodiversitas pangan Indonesia sekaligus memperkaya pilihan produk pangan fungsional yang tersedia bagi masyarakat.

7.3 Implikasi terhadap Penelitian dan Kebijakan

Pendekatan *Food-to-Food Fortification* memberikan implikasi penting bagi arah penelitian pangan dan gizi di Indonesia. Penelitian tidak lagi hanya berfokus pada identifikasi kandungan nutrisi suatu bahan pangan, tetapi juga pada pengembangan formulasi, evaluasi bioavailabilitas, bioefikasi, serta pembuktian manfaat kesehatan melalui desain penelitian yang sesuai.

Dari sisi kebijakan, hasil pengembangan pangan fungsional berbasis bahan pangan lokal dapat menjadi dasar dalam penyusunan strategi intervensi gizi yang lebih berkelanjutan. Pemanfaatan komoditas lokal tidak hanya mendukung peningkatan status gizi masyarakat, tetapi juga memperkuat ketahanan pangan nasional, pemberdayaan petani, serta pengembangan industri pangan berbasis sumber daya domestik.

Kolaborasi antara perguruan tinggi, pemerintah, tenaga kesehatan, dan pelaku industri menjadi faktor penting dalam mempercepat proses hilirisasi inovasi pangan fungsional. Melalui kerja sama tersebut, hasil penelitian tidak berhenti sebagai publikasi ilmiah, tetapi dapat berkembang menjadi produk yang memberikan manfaat nyata bagi masyarakat.

Daftar Pustaka

- Aguilera, J. M. (2019). The food matrix: Implications in processing, nutrition and health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(22), 3612–3629.
- Allen, L., de Benoist, B., Dary, O., & Hurrell, R. (Eds.). (2023). *Guidelines on Food Fortification with Micronutrients*. WHO & FAO.
- Balarajan, Y., Ramakrishnan, U., Özaltın, E., Shankar, A. H., & Subramanian, S. V. (2011). Anaemia in low-income and middle-income countries. *The Lancet*, 378(9809), 2123–2135.
- Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (2017). *Fennema's Food Chemistry* (5th ed.). CRC Press.
- FAO. (2023). *Food-Based Dietary Guidelines*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Fairweather-Tait, S., et al. (2021). Bioavailability of micronutrients. *Advances in Nutrition*, 12(3), 964–980.
- Fardet, A. (2018). A shift toward a new holistic paradigm will help to preserve and better process grain products' food structure. *Foods*, 7(11), 182.
- Fardet, A., & Rock, E. (2022). Toward a new philosophy of preventive nutrition. *Frontiers in Nutrition*, 9, 870221.
- Fellows, P. J. (2022). *Food Processing Technology: Principles and Practice* (5th ed.). Woodhead Publishing.
- Gibson, R. S. (2024). *Principles of Nutritional Assessment* (3rd ed.). Oxford University Press.
- Granato, D., Barba, F. J., Kovačević, D. B., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11, 93–118.
- Hurrell, R. (Ed.). (2023). *The Mineral Fortification of Foods*. Woodhead Publishing.

- Hurrell, R., & Egli, I. (2010). Iron bioavailability and dietary reference values. *American Journal of Clinical Nutrition*, 91(5), 1461S–1467S.
- Islam, S. (2006). Sweet potato leaves: Nutritional value. *Food Chemistry*, 98, 283–290.
- Martirosyan, D. M., Lampert, T., & Ekblad, M. (2022). Classification and regulation of functional foods. *Functional Foods in Health and Disease*, 12(4), 202–218.
- Mat Jais, A. M. (2007). Pharmacognosy and pharmacology of *Channa striatus*. *Malaysian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 5(2), 1–16.
- Mustafa, A., Widodo, M. A., & Kristianto, Y. (2012). Albumin and zinc content of snakehead fish. *International Food Research Journal*, 19(2), 775–779.
- Shahidi, F. (Ed.). (2023). *Handbook of Functional Foods and Nutraceuticals* (3rd ed.). CRC Press.
- Stevens, G. A., Paciorek, C. J., Flores-Urrutia, M. C., et al. (2022). National, regional, and global estimates of anaemia prevalence in women and children. *The Lancet Global Health*, 10(5), e627–e639.
- Stone, H., Bleibaum, R., & Thomas, H. (2020). *Sensory Evaluation Practices* (5th ed.). Academic Press.
- Sun, H., Mu, T., Xi, L., Zhang, M., & Chen, J. (2014). Sweet potato leaves as nutritional and functional foods. *Food Chemistry*, 156, 380–389.
- Talsma, E. F., et al. (2021). Food-to-food fortification: A sustainable strategy to improve micronutrient intake. *Food Reviews International*, 37(6), 577–600.
- Ukom, A. N., Ojmelukwe, P. C., & Egesi, C. (2019). Nutritional quality of water spinach (*Ipomoea aquatica*). *Food Science & Nutrition*, 7, 3423–3431.
- USDA. (2024). *FoodData Central*. United States Department of Agriculture.

- World Health Organization. (2024). Anaemia. Geneva: WHO.
- World Health Organization. (2023). Guideline on Daily Iron and Folic Acid Supplementation in Pregnant Women. Geneva: WHO.
- World Health Organization. (2021). Global Anaemia Estimates, 2021 Edition. Geneva: WHO.
- Zuraini, A., et al. (2006). The effect of *Channa striatus* on wound healing. *Journal of Ethnopharmacology*, 107, 321–328.

Biografi Penulis



Wiqodatul Ummah, S.Tr.Keb., M.Kes., menyelesaikan Pendidikan Dasar hingga Sekolah Menengah Pertama di tempat kelahirannya, Situbondo Jawa Timur. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas di SMA Nurul Jadid Paiton Probolinggo. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan D3 Kebidanan di Politeknik Kesehatan Wira Husada Nusantara Malang, kemudian melanjutkan Pendidikan D4 Bidan Pendidik di Universitas Tribhuwana Tunggadewi Malang. Penulis mendapatkan gelar Magister Kesehatan (M.Kes) setelah menempuh S2 Kesehatan Masyarakat di Universitas Negeri Jember. Selama menjadi pembaca hingga saat ini, Penulis aktif di organisasi profesi Ikatan Bidan Indonesia Cabang Kota Malang. Selain aktif menulis buku, beliau juga aktif menjadi editor dan reviewer jurnal. Saat ini penulis dipercaya sebagai Dosen pada Program Studi Kebidanan di Politeknik Kesehatan Wira Husada Nusantara Malang.



Santy Irene Putri, S.ST., M.PH. adalah dosen, peneliti, dan penulis di bidang kesehatan masyarakat dan kesehatan perempuan. Penulis menyelesaikan pendidikan D3 dan D4 Kebidanan di Politeknik Kesehatan Kemenkes Malang serta Magister Ilmu Kesehatan Masyarakat di Universitas Sebelas Maret. Saat ini penulis aktif sebagai dosen di Politeknik Kesehatan Wira Husada Nusantara Malang. Bidang keahlian penulis meliputi kesehatan masyarakat, kesehatan reproduksi, kesehatan perempuan, kebidanan, promosi kesehatan, dan mutu pelayanan kesehatan. Penulis aktif menghasilkan publikasi ilmiah, buku ajar dan referensi, penelitian, pengabdian kepada masyarakat, serta terlibat dalam pengelolaan jurnal ilmiah. Beberapa karya bukunya antara lain Mutu Pelayanan Kebidanan, Konseling Kesehatan

Wanita, Post Partum dan Bayi Baru Lahir, Stunting: Kenali Faktor Penyebabnya, Perilaku dan Kesehatan, dan Epidemiologi Kesehatan.



Woro Tri Utami, S.SiT, M.Kes, Ch, Cht. Pendidikan S2 Kesehatan ditempuh pada tahun 2010 di Universitas Sebelas Maret Surakarta (UNS). Sudah menjadi dosen kebidanan selama dari tahun 2002 sampai dengan sekarang. Selain mengajar, juga aktif menjadi konselor utamanya pada ibu hamil dan mengedukasi masyarakat terkait Kesehatan. Bidan yang juga praktisi *hypnotherapy* memiliki ketertarikan dalam pengembangan sumber daya manusia. Oleh karenanya selain aktif mengajar sebagai dosen, beliau juga sering kali diundang sebagai pembicara atau motivator di kelas belajar baik untuk SDM, pendidikan dan kesehatan.

Sintesis Akhir Buku

Buku ini menunjukkan bahwa pengembangan pangan fungsional berbasis abon ikan gabus merupakan hasil integrasi antara ilmu pangan, ilmu gizi, teknologi pengolahan, dan kesehatan masyarakat. Pendekatan *Food-to-Food Fortification* yang memanfaatkan daun ubi jalar ungu dan kangkung sebagai fortifikan alami memberikan contoh bagaimana biodiversitas pangan Indonesia dapat dioptimalkan untuk menghasilkan produk yang memiliki nilai gizi dan potensi manfaat kesehatan yang lebih baik.

Lebih dari sekadar menghasilkan produk pangan, pendekatan ini memperkenalkan suatu model pengembangan yang mengedepankan sinergi antara matriks protein hewani, mikronutrien, senyawa bioaktif, dan proses formulasi ilmiah. Model tersebut menegaskan bahwa keberhasilan pangan fungsional tidak hanya ditentukan oleh kandungan zat gizi, tetapi juga oleh bioavailabilitas, bioefikasi, serta penerimaan konsumen terhadap produk yang dikembangkan.

Dengan demikian, abon ikan gabus berbasis *Food-to-Food Fortification* dapat dipandang sebagai salah satu bentuk inovasi pangan yang memiliki potensi untuk mendukung upaya pencegahan anemia melalui pendekatan berbasis pangan lokal. Pengembangan konsep ini diharapkan dapat menjadi inspirasi bagi penelitian dan inovasi selanjutnya dalam bidang pangan fungsional, sekaligus memperkuat pemanfaatan biodiversitas Indonesia sebagai fondasi pembangunan sistem pangan yang sehat, berkelanjutan, dan berdaya saing.

PANGAN FUNGSIONAL ABON IKAN GABUS UNTUK PENCEGAHAN ANEMIA

Formulasi, Karakterisasi, Nilai Gizi, dan Potensi Kesehatan



Buku ini membahas pengembangan abon ikan gabus (*Channa striata*) sebagai pangan fungsional berbasis sumber daya lokal untuk mendukung pencegahan anemia. Melalui pendekatan *Food-to-Food Fortification*, ikan gabus dipadukan dengan daun ubi jalar ungu dan kangkung sebagai bahan fortifikasi alami yang kaya zat gizi dan senyawa bioaktif. Pembahasan mencakup konsep pangan fungsional, pemilihan bahan baku, formulasi dan teknologi pengolahan, karakterisasi mutu dan nilai gizi, serta potensi bioavailabilitas dan bioefikasi produk.

Buku ini menghadirkan perspektif integratif antara ilmu pangan, gizi, teknologi pengolahan, dan kesehatan masyarakat. Selain menawarkan landasan ilmiah bagi pengembangan produk pangan inovatif, buku ini menunjukkan peluang pemanfaatan biodiversitas pangan lokal untuk menghasilkan pangan fungsional yang bernilai kesehatan dan berpotensi dikembangkan secara berkelanjutan.



Penerbit Forind
Jl. Raya Tlogomas V No. 24 Malang 65141
Telp. 081233992973
Email : forind_publishing@yahoo.com

