

SISTEM DEPURASI KERANG: SOLUSI EFISIEN PENINGKATAN MUTU KERANG BEBAS KONTAMINAN

Penulis:

- Endang Gunaisah
- Akbar Falah Tantri
- Ashr Hafiizh Tantri
- Arnest Rachmawan Tantri



SISTEM DEPURASI KERANG: SOLUSI EFISIEN PENINGKATAN MUTU KERANG BEBAS KONTAMINAN

**Endang Gunaisah
Akbar Falah Tantri
Ashr Hafiizh Tantri
Arnest Rachmawan Tantri**



GETPRESS INDONESIA

**SISTEM DEPURASI KERANG:
SOLUSI EFISIEN PENINGKATAN MUTU KERANG BEBAS KONTAMINAN**

Penulis :

Endang Gunaisah
Akbar Falah Tantri
Ashr Hafiizh Tantri
Arnest Rachmawan Tantri

ISBN : 978-634-255-524-8

Editor : Mila Sari, M. Si.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S. Pd.

PENERBIT : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Juni 2026

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu wa Ta'ala* atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Buku Pembelajaran ini dapat terselesaikan dengan baik. Buku ini diharapkan bermanfaat dan bisa dijadikan referensi media pembelajaran. Buku ini merupakan sebuah acuan materi kuliah yang mengintegrasikan kurikulum dari program studi D-III Teknik Budidaya Perikanan, D-III Teknik Penangkapan Ikan, serta D-III Mekanisasi Perikanan di Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong. Pada kesempatan ini, tidak lupa pula penulis haturkan terima kasih kepada:

1. Bapak Daniel Heintje Ndahawali, S.Pi, M.Si. selaku Direktur Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong.
2. Bapak Kadarusman, S.Pi., M.Sc., Ph.D. selaku Wakil Direktur I Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong.
3. Ibu Dr. Handayani, S.Pi., M.Si. selaku Wakil Direktur II Politeknik KP Sorong.
4. Bapak Dr. Sepri, S.St.Pi., M.Si. selaku Wakil Direktur III Politeknik KP Sorong.
5. Bapak Afnan Fuadi, SH., M.Pd. dan Bapak Sudharmono, S.Pi, M.P. yang telah memberikan arahan, petunjuk dan bimbingan selama penyusunan buku.
6. Dosen dan Tenaga Kependidikan Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong.
7. Peserta *Management Trainee* (MT) Latsar CPNS KKP formasi 2024, terutama eselon BPPSDMKP.
8. CPNS Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong formasi 2024. Brigitha Maurrenzha Leatemia, S.Pi., M.Si.; Chandika Lestariaji, S.Pi., M.P.; Siti Maysaroh, S.Kel., M.Si.; Grace Lady First Bara, A.Md.Pi.

9. Taruna/I Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong.
10. Semua pihak yang telah membantu sehingga buku ini bisa terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa Buku Pembelajaran ini masih banyak kekurangan, sehingga saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diperlukan untuk pengembangan lebih lanjut.

Sorong, November 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i	
DAFTAR ISI	iii	
DAFTAR GAMBAR	v	
DAFTAR TABEL.....	vi	
BAB I PENGANTAR MUTU PRODUK PERIKANAN		
DAN URGENSI DEPURASI.....	1	
1.1 Latar Belakang	1	
1.2 Mutu Produk Perikanan	2	
1.3 Urgensi Depurasi (Studi Kasus: Kerang (Bivalvia)).....	3	
BAB II KONSEP DASAR DEPURASI DAN ANATOMI		
MORFOLOGI KERANG	6	
2.1 Depurasi	6	
2.2 Kerang (Bivalvia)	8	
2.3 Evaluasi Mandiri.....	27	
BAB III STANDARISASI DAN OPERASI PROSEDUR		
DEPURASI	32	
3.1 Sistem Depurasi Kerang.....	32	
3.2 Faktor Parameter Kualitas Air	47	
3.3 Desinfeksi.....	54	
3.4 Evaluasi Mandiri.....	56	
BAB IV ASPEK REGULASI DAN SERTIFIKASI.....		63
4.1 Regulasi di Negara Kesatuan Republik Indonesia dan Sertifikasi Produk Perikanan	63	
4.2 Persyaratan Mutu dan Metode Uji Keamanan Pangan Produk Kerang.....	67	
4.3 Evaluasi Mandiri.....	82	

BAB V POTENSI KOTA SORONG DAN PENGEMBANGAN SISTEM DEPURASI KERANG OTOMATIS	87
5.1 Potensi Pengembangan Sistem Depurasi Otomatis Di Kota Sorong	87
5.2 Sistem Depurasi Kerang Otomatis.....	90
5.3 Evaluasi Mandiri.....	108
DAFTAR PUSTAKA	115
PROFIL PENULIS	121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1. Diagram Instalasi Sistem Depurasi Kerang	35
Gambar 3. 2. Contoh Alur Kegiatan Depurasi Kerang	36
Gambar 3. 3. Benang <i>byssal</i> atau <i>bysus</i> Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>)	38
Gambar 3. 4. Sistem Depurasi Kerang Skala Kecil (A) Wadah Bertingkat Vertikal (B)	40
Gambar 3. 5. Jenis Rak yang Dipakai pada Instalasi Depurasi Kerang	40
Gambar 3. 6. Mesin untuk <i>Loading</i> dan <i>Unloading</i> Kerang	43
Gambar 3. 7. Contoh Pelabelan pada Kerang	45
Gambar 3. 8. Instalasi <i>Sorting</i> dan <i>Packing</i> Kerang	45
Gambar 3. 9. Kegiatan <i>Sorting</i> dan <i>Packing</i> Kerang	46
Gambar 3. 10. Contoh Pengemasan (<i>Packing</i>) Kerang Hasil Depurasi	46
Gambar 5. 1. Contoh <i>Flowchart</i> Sistem Depurasi Kerang Otomatis Resirkulasi	95
Gambar 5. 2. Contoh Desain <i>Layout</i> Sistem Depurasi Otomatis	98
Gambar 5. 3. Contoh Skema Rangkaian Elektronika Sistem Depurasi Otomatis	101

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Perbandingan Sistem Depurasi Kerang	33
Tabel 3. 2. Kapasitas Depurasi Kerang	42
Tabel 3. 3. Suhu Optimal Proses Depurasi Kerang (°C)	48
Tabel 3. 4. Suhu Optimal Proses Depurasi terhadap Kontaminan Bakteri (°C)	49
Tabel 3. 5. Salinitas Optimal Proses Depurasi Kerang (ppt).....	50
Tabel 3. 6. Salinitas Optimal Proses Depurasi terhadap Kontaminan Bakteri	51
Tabel 3. 7. Kolerasi Oksigen Terlarut dengan Suhu dan Salinitas.....	52
Tabel 3. 8. Perbandingan Metode Desinfeksi Air Laut	56
Tabel 4. 1. Jenis Sertifikasi Produk Perikanan.....	65
Tabel 4. 2. SNI 3460.1:2009 tentang Daging Kerang Beku- Bagian 1:Spesifikasi.....	68
Tabel 4. 3. SNI 3460:2017 tentang Daging Kerang Masak Beku.....	69
Tabel 4. 4. Metode Uji Acuan Mutu dan Keamanan Pangan Daging Kerang.....	71
Tabel 4. 5. Jenis Metabolit Nitrofurantoin.....	78
Tabel 4. 6. Jenis Keracunan Kerang.....	79
Tabel 5. 1. Potensi Pengembangan Sistem Depurasi Otomatis Di Kota Sorong	89
Tabel 5. 2. Keunggulan Sistem Depurasi Otomatis	91
Tabel 5. 3. Perintah (Mode Operasi) melalui Aplikasi <i>monitoring</i> pada <i>smartphone</i>	103
Tabel 5. 4. Jenis Pengujian Fungsionalitas Sistem Kontrol	104
Tabel 5. 5. Jenis Pengujian Kinerja Depurasi	105

BAB I

PENGANTAR MUTU PRODUK PERIKANAN DAN URGENSI DEPURASI

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara maritim dengan garis pantai sepanjang 81.000 km dan luas wilayah laut yang dapat dikelola sebesar 5,8 juta km² memiliki potensi hasil perikanan yang terbesar di dunia, baik perikanan tangkap maupun perikanan budidaya. Berdasarkan cara produksi perikanan terbagi menjadi dua yaitu perikanan tangkap (*capture fisheries*) dan perikanan budidaya (*aquaculture*), dengan potensi produksi lestari sekitar 67 juta ton/tahun. Dari angka ini, potensi produksi lestari (*Maximum Sustainable Yield = MSY*) perikanan tangkap laut sebesar 9,3 juta ton/tahun dan perikanan tangkap di perairan darat (danau, sungai, waduk, dan rawa) sekitar 0,9 juta ton/tahun, atau total perikanan tangkap 10,2 juta ton/tahun. Sisanya, 56,8 juta ton/tahun adalah potensi perikanan budidaya, baik budidaya laut (*mariculture*), budidaya perairan payau (tambak), maupun budidaya perairan tawar (darat) (Wantimpres, 2017).

Produk perikanan, seperti ikan, udang, dan moluska (misalnya kerang), merupakan sumber protein hewani penting dan komoditas perdagangan yang bernilai tinggi, baik di pasar domestik maupun internasional. Namun, hasil perikanan dikenal sebagai bahan pangan yang sangat mudah

rusak (*perishable food*) karena memiliki kandungan air yang tinggi dan pH mendekati netral, yang sangat ideal untuk pertumbuhan mikroorganisme pembusuk dan patogen. Mutu dan keamanan pangan produk perikanan adalah dua aspek yang tidak dapat dipisahkan dan menjadi perhatian utama konsumen serta regulator global. Penurunan mutu dapat terjadi cepat pasca-panen akibat:

- (a) Aktivitas Enzimatis : Perubahan biokimia alami pada tubuh ikan.
- (b) Aktivitas Mikrobiologis : Kontaminasi dan pertumbuhan bakteri pembusuk atau patogen.
- (c) Perubahan Kimiawi : Oksidasi lemak, pembentukan histamin (toksik), dan akumulasi kontaminan (seperti logam berat).

Untuk dapat diterima di pasar, terutama pasar ekspor, produk perikanan harus memenuhi standar kualitas dan keamanan pangan internasional yang ketat (misalnya *Hazard Analysis Critical Control Point* (HACCP), standar Uni Eropa (*Food Safety - European Commission*) maupun Standar Nasional Indonesia (SNI)).

1.2 Mutu Produk Perikanan

Mutu produk perikanan adalah nilai yang ditentukan berdasarkan kriteria keamanan pangan, kandungan gizi, dan standar perdagangan. Mutu mencakup beberapa aspek utama:

Aspek Mutu	Deskripsi Singkat
Keamanan Pangan	Bebas dari bahaya fisik, kimia (misalnya logam berat, residu pestisida dan histamin), dan mikrobiologis (misalnya

Aspek Mutu	Deskripsi Singkat
	bakteri patogen seperti <i>Salmonella</i> dan <i>Vibrio</i>). Ini adalah aspek paling krusial.
Kualitas Sensori	Penampilan (warna dan keutuhan), tekstur, bau dan rasa yang sesuai dengan karakteristik kesegaran produk.
Kualitas Gizi	Kandungan gizi seperti protein, asam lemak Omega-3, dan vitamin yang tetap terjaga.
Kualitas Penanganan dan Pengolahan	Memenuhi standar higienis dan sanitasi di setiap tahapan, mulai dari penangkapan/budidaya, penanganan, pengolahan, pengemasan, hingga distribusi.

1.3 Urgensi Depurasi (Studi Kasus: Kerang (Bivalvia))

Hewan dari kelas bivalvia seperti kerang hijau (*Perna viridis*) atau kerang darah (*Anadara granosa*) hidup dan mencari makan dengan menyaring air (*filter feeder*). sehingga rentan mengakumulasi zat pencemar dari lingkungan perairan yang terkontaminasi, termasuk:

- (i) Mikroorganisme Patogen: Bakteri dan virus dari limbah domestik.
- (ii) Logam Berat: Timbal (Pb), Kadmium (Cd), dan Merkuri (Hg) dari limbah industri.
- (iii) Biotoksin Laut: Racun alami yang dihasilkan oleh alga tertentu, misalnya *Paralytic Shellfish Poisoning* (PSP) dan *Amnesic Shellfish Poisoning* (ASP).

Konsumsi kerang (bivalvia) yang terkontaminasi dapat menyebabkan keracunan pangan yang serius pada manusia, sehingga menjadi masalah kesehatan masyarakat dan hambatan perdagangan.

1.3.1 Prinsip dan Alasan Urgensi Depurasi

Depurasi adalah suatu metode perlakuan khusus yang dilakukan pada moluska dalam kondisi hidup dengan tujuan untuk mengurangi kandungan bakteri patogen dan/atau logam pencemar dalam daging kerang. Urgensi penerapan depurasi sangat tinggi, terutama untuk kerang hasil tangkapan atau budidaya dari perairan yang berpotensi tercemar:

- (i) Menjamin Keamanan Pangan: Depurasi adalah langkah kritis untuk menurunkan kadar kontaminan (terutama mikrobiologis dan logam berat) hingga batas maksimum yang diizinkan, sehingga produk menjadi aman dikonsumsi.
- (ii) Meningkatkan Daya Saing: Produk perikanan yang telah melalui proses depurasi dan memenuhi standar keamanan pangan memiliki peluang lebih besar untuk menembus pasar ekspor dan mendapatkan harga jual yang lebih baik.
- (iii) Memanfaatkan Sumber Daya: Memungkinkan pemanfaatan hasil panen dari perairan yang kualitasnya kurang optimal dengan perlakuan pasca-panen yang tepat, dibandingkan dengan membuang seluruh hasil panen.
- (iv) Menjaga Kesehatan Masyarakat: Mencegah terjadinya kasus keracunan makanan yang disebabkan oleh konsumsi kerang (bivalvia) yang terkontaminasi.

Secara keseluruhan, depurasi merupakan salah satu proses utama dalam upaya menjamin mutu dan keamanan

produk perikanan, khususnya kerang (bivalvia), agar dapat bersaing di pasar global dan melindungi kesehatan konsumen.

BAB II

KONSEP DASAR DEPURASI DAN ANATOMI MORFOLOGI KERANG

2.1 Depurasi

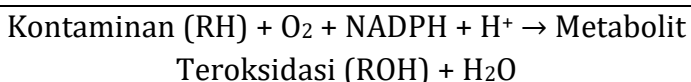
Depurasi merupakan teknik pengolahan pascapanen yang bertujuan membersihkan kerang dari kontaminan serta mengoptimalkan kelangsungan hidupnya. Depurasi adalah proses pemurnian dimana kerang ditempatkan di lingkungan perairan yang bersih dan melalui mekanisme *filter feeding* secara otomatis terjadi proses pembersihan diri alami atau depurasi dari patogen dan kontaminan lainnya. Proses depurasi alami kerang melibatkan langkah-langkah berikut: (i) kerang menggunakan otot insang dan silia untuk menciptakan arus air yang masuk melalui satu bukaan (*inhalant siphon*); (ii) air mengalir melewati insang, yang berfungsi sebagai saringan, kemudian partikel makanan (seperti fitoplankton) tertangkap dan ditransfer ke mulut; (iii) kotoran padat (termasuk bakteri, pasir atau material fekal) yang terlalu besar atau tidak diinginkan akan diikat dengan lendir dan dibuang sebagai *pseudofeces* (feses palsu) melalui bukaan yang sama atau dibuang sebagai feses melalui lubang pembuangan (*exhalant siphon*) (Firdaus *et al.*, 2020).

Zanette *et al.* (2009) menyatakan bahwa proses depurasi kerang secara alami juga melibatkan mekanisme biokimia, antara lain Enzim CYP450 (depurasi polutan dan racun organik) dan metallothionein (depurasi logam berat).

Enzim CYP450 merupakan monooksigenase yang berada di kelenjar pencernaan (*digestive gland*) kerang. Monooksigenase adalah golongan enzim oksidoreduktase yang memiliki fungsi utama untuk memasukkan satu atom oksigen (dalam bentuk gugus hidroksil, -OH) kedalam substrat organik melalui jalur metabolisme. Tahap depurasi kerang secara alami oleh Enzim CYP450 adalah sebagai berikut:

(1) Reaksi Oksidasi (Fase I)

Enzim CYP450 bertindak sebagai katalis untuk reaksi oksidasi menggunakan oksigen (O_2) dan NADPH untuk menambahkan gugus hidroksil (-OH) kedalam molekul kontaminan (RH). Reaksi ini bertujuan untuk memodifikasi molekul kontaminan.



(2) Peningkatan Polaritas

Penambahan gugus hidroksil (-OH) yang bersifat polar membuat kontaminan yang bersifat lipofilik (larut lemak) menjadi lebih polar (hidrofilik, lebih mudah larut air) dan mudah diekresikan.

(3) Tahap Ekskresi (Fase II)

Metabolit yang teroksidasi (ROH) kemudian menjadi substrat untuk enzim Fase II (seperti Glukuronidasi atau Sulfasi). Enzim Fase II akan menambahkan molekul besar lain (seperti asam glukuronat atau sulfat) ke metabolit tersebut dan mengubah senyawa kontaminan menjadi konjugat yang lebih polar untuk diekskresikan.

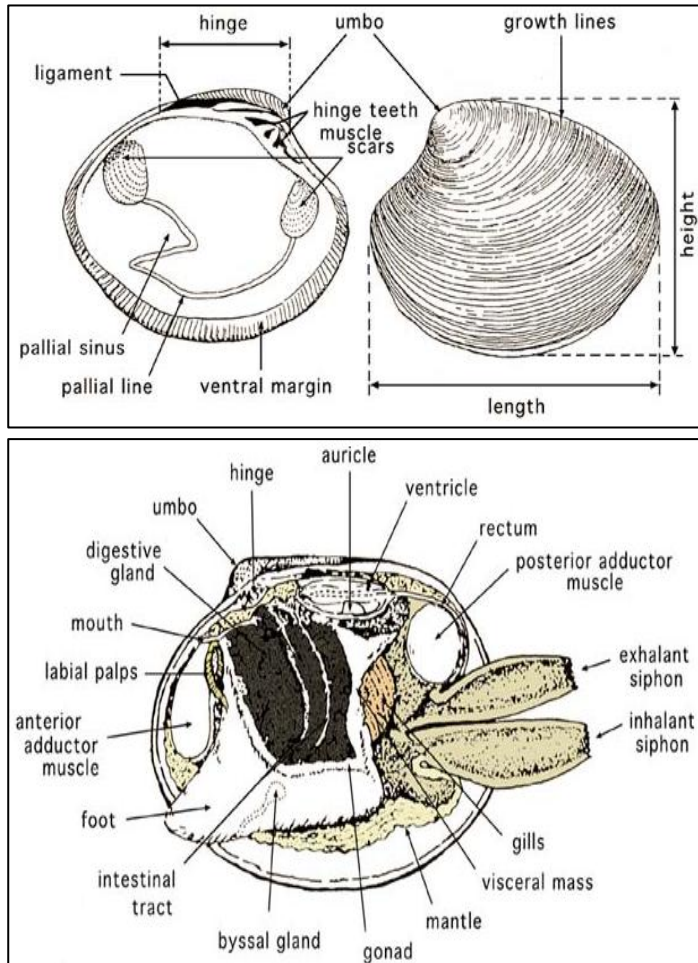
Metallothionein (MT) adalah molekul protein kecil berbobot 6 sampai 7 kDa (kilodalton) dan kaya akan asam amino sistein. Metallothionein (MT) berperan sebagai

mekanisme pertahanan diri dan detoksifikasi terhadap zat-zat beracun dari perairan melalui: (i) gugus tiol (-SH) pada metallothionein memiliki afinitas yang tinggi terhadap logam berat, sehingga terbentuk kompleks protein-logam yang lebih stabil, yang pada akhirnya menyebabkan logam berat tidak dapat berinteraksi dengan organ/jaringan lain dan mencegah kerusakan sel; (ii) Metallothionein (MT) berperan dalam homeostatis logam dalam sel. Metallothionein (MT) mampu mengikat logam esensial (misal tembaga (Cu) dan seng (Zn)) saat jumlahnya dalam sel melimpah, dan “melepaskan” logam tersebut ketika sel membutuhkan. Sehingga jumlah logam esensial dalam tubuh selalu seimbang (Isani and Carpenè, 2014).

2.2 Kerang (Bivalvia)

Kerang adalah kelompok bivalvia yang ciri utamanya memiliki dua cangkang (disebut katup) yang terhubung di bagian punggung (dorsal) oleh engsel yang dihubungkan oleh ligamen. Kedua cangkang ini dapat dibuka dan ditutup dengan bantuan dua otot adductor. Bivalvia mencakup berbagai jenis kerang, misal: Kupang, Remis, Tiram, Kijing, Lokan, Simping dan Kima. Berdasarkan cara makannya, Bivalvia dapat disebut sebagai pemakan suspensi (*filter feeder*), pemakan deposit (*deposit feeder*), pemakan partikel (*particle feeder*) dan pemakan endapan (*detritus feeder*). Hewan ini dapat ditemukan di berbagai habitat air, termasuk lautan, danau, saluran air, dan rawa-rawa. Sebagian besar bivalvia menghuni dasar perairan dangkal (laut, air payau atau air tawar) yang umumnya berpasir dan berlumpur. Beberapa jenis kerang mampu hidup pada substrat padat seperti batu atau kayu, serta menghadapi arus dan gelombang perairan. Anatomi

eksternal kerang (Bivalvia) menunjukkan struktur adaptif yang berfungsi melindungi tubuh lunak mereka, bergerak dan melakukan proses pertukaran air serta nutrisi. Anatomi eksternal kerang meliputi cangkang, umbo, kaki, sifon, mantel serta didukung oleh otot adductor (Arapov *et al.*, 2010). Anatomi eksternal kerang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1. Anatomi Eksternal Kerang

Sumber: Helm *et al.* (2004)

A. Cangkang Kerang

Cangkang merupakan ciri khas kerang dan berfungsi sebagai pelindung utama tubuh lunak mereka. Cangkang terdiri dari dua katup (kiri dan kanan) yang dihubungkan oleh ligamen. Cangkang ini tersusun atas tiga lapisan utama, yaitu (i) Periostrakum, adalah lapisan terluar yang tipis dan biasanya berwarna gelap. Lapisan ini tersusun atas protein organik (konkiolin) dan berfungsi melindungi lapisan di bawahnya; (ii) Prismatic, adalah lapisan tengah yang tebal dan tersusun dari kristal kalsium karbonat. Lapisan ini memberikan kekuatan struktural pada cangkang kerang; (iii) Nakreas (Nacre), adalah lapisan terdalam yang berkilau, sering disebut sebagai mutiara. Lapisan ini tersusun dari kristal karbonat, yang diproduksi secara terus menerus oleh mantel.

B. Umbo

Umbo adalah bagian cangkang kerang yang paling menonjol dan merupakan titik awal atau bagian tertua dari pertumbuhan cangkang kerang. Umbo terletak di puncak cangkang, biasanya di sisi dorsal (punggung) didekat engsel. Umbo berfungsi menunjukkan fase waktu cangkang mulai terbentuk yang terlihat pada garis konsentris (garis pertumbuhan) menjauh keluar dari umbo.

C. Kaki (*Foot*)

Kaki (*Foot*) pada kerang adalah organ otot berbentuk kapak, lidah atau pisau yang terletak di bagian ventral tubuh. Kaki pada kerang berfungsi untuk (i) menggali dan membenamkan diri ke dalam substrat lunak seperti pasir, lumpur, atau kerikil. Kerang akan menjulurkan kakinya,

memompa darah ke dalamnya untuk membuatnya membesar dan mengeras, lalu menarik tubuhnya mengikuti kaki; (ii) Beberapa jenis kerang tertentu (terutama famili Mytilidae), kaki pada kerang mampu menekskresikan benang *byssal* atau *byssus* yang berfungsi untuk menempelkan kerang secara permanen pada substrat keras seperti batu atau kayu; (iii) Kaki pada kerang yang memungkinkan pergerakan yang sangat lambat di dasar perairan.

D. Sifon

Sifon pada kerang (Bivalvia) adalah sepasang saluran berbentuk tabung yang terbentuk dari perpanjangan mantel di bagian posterior (belakang) cangkang. Saluran sifon terbagi menjadi dua dengan fungsi (i) *incurrent siphon/inhalant siphon*/sifon masuk: berfungsi sebagai jalur utama pertukaran air yang masuk membawa oksigen untuk respirasi dan partikel makanan melalui *filter feeding* bagi kehidupan kerang, serta membantu pemijahan dengan bertindak sebagai saluran untuk menarik sperma yang berada di air dari kerang jantan di sekitarnya; (ii) *excurrent siphon/exhalant siphon*/sifon keluar: berfungsi pertukaran air yang keluar membawa karbon dioksida (sisa respirasi), kotoran/feses (sisa pencernaan) dan produk reproduksi (sperma atau telur). Beberapa jenis kerang hidup dengan cara membenamkan diri di dalam lumpur atau pasir, sehingga sifon dapat memanjang seperti pipa fleksibel untuk mencapai air bersih diatas substrat, memungkinkan kerang tetap makan dan bernapas tanpa harus keluar dari tempat persembunyiannya.

E. Mantel

Mantel pada kerang merupakan jaringan lunak tipis yang melapisi dan menutupi semua organ internal tubuh lunak kerang. Fungsi utamanya adalah menyekresikan bahan (kalsium karbonat dan protein) untuk membentuk seluruh lapisan cangkang. Mantel juga membentuk struktur khusus di bagian posterior yang disebut sifon.

F. Otot Adduktor

Otot adduktor merupakan sepasang otot yang kuat dan berfungsi vital untuk menarik dan menahan kedua katup cangkang agar tetap tertutup rapat. Fungsi ini memberikan perlindungan dari predator atau kondisi lingkungan yang buruk. Cangkang dapat terbuka ketika otot ini berelaksasi, dibantu oleh tegangan ligamen penghubung.

G. Insang

Insang pada kerang dilengkapi dengan *silia* (rambut getar) dan berfungsi sebagai organ pernapasan (pertukaran gas) serta sebagai alat penyaring makanan (*filter feeder*) dari perairan.

H. Labial Palps

Labial palps merupakan sepasang struktur bersilia yang terletak di dekat mulut dan berfungsi untuk mengarahkan partikel makanan yang telah disaring oleh insang menuju ke mulut.

I. Garis Palial (*Pallial Line*)

Garis Palial (*Pallial Line*): Bekas otot yang menempel pada cangkang, terbentuk dari lipatan terdalam mantel.

Bivalvia memiliki organ indra (seperti tentakel) yang terletak di lipatan tengah mantel.

J. Gigi Engsel.

Gigi engsel kerang diklasifikasikan empat tipe utama, yaitu: taksodon, heterodon, skizodon dan isodon. Tipe gigi taksodon memiliki gigi engsel yang pendek dan berderet ditepi cangkang, misal suku Nuculidae. Tipe gigi skizodon memiliki bentuk dan ukuran gigi engsel beragam, misal marga Anodonta. Tipe gigi isodon memiliki bentuk dan ukuran gigi engsel yang sama pada masing-masing cangkang, misal suku Pectinidae. Sedangkan tipe gigi heterodon memiliki gigi kardinal, dengan atau tanpa gigi lateral, misal suku Veneridae.

2.2.1 Jenis-jenis Kerang

A. Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Klasifikasi Kerang Darah (*Anadara granosa*) adalah:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Mollusca
Kelas	: Bivalvia
Subkelas	: Pteriomorphia
Ordo	: Arcida
Super famili	: Arcoidea
Famili	: Arcidae
Genus	: <i>Anadara</i>
Spesies	: <i>Anadara granosa</i> (Linnaeus, 1758)



Gambar 2. 2. Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*) memiliki dua bilah (*valve*) yang setara, tebal dan padat berbentuk bulat telur, menggelembung kuat, sedikit lebih panjang dibanding tinggi. Umbo menonjol sangat kuat, area kardinal agak besar. Jumlah rusuk radial rata-rata 18 (berkisar 15 sampai 20) dengan celah lebar dimasing-masing valve, tulang rusuknya

kokoh dan sangat mencolok, mengandung nodul-nodul yang teratur, seringkali berbentuk persegi panjang. Periostrakum agak tipis dan halus. Batas atau garis tepi bagian internal dengan crenulasi yang kuat yang bersesuaian dengan tulang rusuk radial eksternal. Tidak ada celah *byssal*. Warna bagian luar cangkang putih dibawah periostracum berwarna coklat kekuningan. Sisi dalam berwarna putih, sering berwarna kuning muda pada daerah menuju rongga pusing. Ukuran tubuh kerang dewasa bisa mencapai 6 cm (ULP FST UNAIR, 2020).

B. Kerang Tude/Remis (*Asaphis deflorata*)

Klasifikasi Kerang Tude/Remis (*Asaphis deflorata*) adalah:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Mollusca
Kelas	: Bivalvia
Subkelas	: Autobranchia
Ordo	: Cardiida
Super famili	: Tellinoidea
Famili	: Psammobiidae
Genus	: <i>Asaphis</i>
Spesies	: <i>Asaphis deflorata</i> (Linnaeus, 1758)



Gambar 2. 3. Kerang Tude/Remis (*Asaphis deflorata*)

Sumber: <https://inaturalist-open-data.s3.amazonaws.com/photos/249957400/original.jpg> (2025)

Cangkang Kerang Tude (*Asaphis deflorata*) memiliki dua bilah (valve), tebal dan padat, berukuran sedang hingga relatif besar, berbentuk oval telur yang memanjang, menggelembung dan sedikit menganga (*gaping*). Umbo terletak sedikit ke depan dari pertengahan panjang cangkang. Permukaan luar cangkang dihiasi oleh alur-alur radial (garis-garis memancar) yang kuat, membulat, dan halus dengan ukuran yang tidak teratur. Alur-alur ini mungkin sedikit bersisik pada lereng anterior dan posterior. Engsel (*hinge*) memiliki dua gigi kardinal di setiap katup, tanpa gigi lateral. Batas atau garis tepi bagian internal cangkang rata atau halus. Warna bagian luar cangkang sangat bervariasi, sementara sisi dalam seringkali lebih cerah, dapat berwarna kuning, atau diwarnai dengan merah, mawar, atau ungu. Kerang ini hidup di dasar berpasir atau berlumpur berpasir di zona intertidal

hingga subtidal dangkal. Panjang maksimum cangkang dapat mencapai sekitar 6,7 cm hingga 8,0 cm (<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=213509> (WoRMS, 2025)).

C. Kerang Hijau (*Perna viridis*)

Klasifikasi Kerang Hijau (*Perna viridis*) adalah:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Mollusca
Kelas	: Bivalvia
Subkelas	: Autobranchia
Ordo	: Mytilida
Super famili	: Mytiloidea
Famili	: Mytilidae
Genus	: <i>Perna</i>
Spesies	: <i>Perna viridis</i> (Linnaeus, 1758)



Gambar 2. 4. Kerang Hijau (*Perna viridis*)

Sumber: <https://gce-liter.marsci.uga.edu/public/taxonomy/Pernaviridis.jpg> (2025)

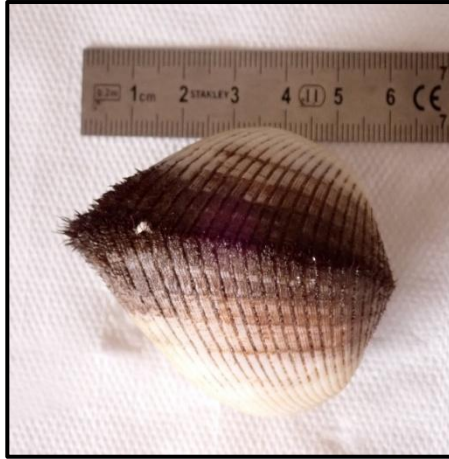
Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis*) memiliki dua bilah (valve) yang setara, tebal dan padat, berbentuk memanjang dengan ciri khas simetri bilateral. Kerang ini tidak memiliki kepala yang jelas. Cangkangnya dihubungkan oleh ligamen pada bagian dorsal. Umbo berada di ujung anterior cangkang. Permukaan luar cangkang berwarna hijau keperakan hingga hijau kebiruan atau biru-hitam dan bertekstur halus, seringkali memperlihatkan garis-garis lengkung radial yang jelas, berawal dari daerah umbo hingga tepi cangkang. Warna cangkang sering menimbulkan gradasi warna gelap ke gradasi warna cerah kehijauan. Periostrakum menutupi cangkang. Sisi dalam cangkang memiliki lapisan mutiara (*nacreous*) yang berkilau. Kerang hijau hidup menetap (*sessile*) dengan menempel kuat pada benda-benda keras (seperti kayu, bambu, batu) di substrat pasir berlumpur menggunakan benang *byssus*. Kerang dewasa memiliki ukuran panjang cangkang yang umumnya berkisar antara 8-10 cm (<https://marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=367822> (WoRMS, 2025)).

D. Kerang Bulu (*Anadara antiquata*)

Klasifikasi Kerang Bulu (*Anadara antiquata*) adalah:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Mollusca
Kelas	: Bivalvia
Subkelas	: Autobranchia
Ordo	: Arcida
Super famili	: Arcoidea
Famili	: Arcidae
Genus	: <i>Anadara</i>

Spesies : *Anadara antiquata* (Linnaeus, 1758)



Gambar 2. 5. Kerang Bulu (*Anadara antiquata*)

Sumber: <https://inaturalist-open-data.s3.amazonaws.com/photos/256289925/original.jpeg>
(2025)

Cangkang Kerang Bulu (*Anadara antiquata*) memiliki dua bilah (*valve*) yang simetris, tebal dan padat, berbentuk hampir bulat (*subrectangular*) atau menyerupai kotak memanjang. Umbo terletak di puncak cangkang bagian dorsal (punggung) dan menonjol. Permukaan luar cangkang ditutupi oleh lapisan luar (*periostrakum*) yang berwarna coklat kekuningan hingga coklat kehitaman, dan ciri khasnya adalah adanya bulu-bulu halus pada bagian sisi cangkang. Cangkangnya memiliki rusuk radial (garis-garis memancar) yang menonjol dan kuat, mengandung nodul-nodul atau simpul. Tepi bagian dalam memiliki crenulasi (lekukan kecil) yang kuat yang bersesuaian dengan rusuk radial eksternal. Warna bagian luar cangkang putih di bawah periostrakum,

sementara sisi dalamnya lebih cerah. Kerang ini hidup di substrat berlumpur atau berpasir berlumpur. Ukuran tubuh kerang dewasa biasanya berkisar antara 6 cm hingga 9 cm. *Anadara antiquata* sering disebut Kerang Bulu karena adanya bulu-bulu halus pada cangkangnya, yang membedakannya secara fisik dari Kerang Darah (*Anadara granosa*) yang cangkangnya lebih halus dan bulat telur (<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=207754> (WoRMS, 2025)).

E. Kerang Kampak/Simping (*Placuna placenta*)

Klasifikasi Kerang Kampak/Simping (*Placuna placenta*) adalah:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Mollusca
Kelas	: Bivalvia
Subkelas	: Autobranchia
Ordo	: Pectinida
Super famili	: Anomioidea
Famili	: Placunidae
Genus	: <i>Placuna</i>
Spesies	: <i>Placuna placenta</i> (Linnaeus, 1758)



Gambar 2. 6. Kerang Kampak/Simping (*Placuna placenta*)

Sumber: <https://marinebiodiversity.org.bd/wp-content/uploads/2024/01/Placuna-placenta-GBIF-20240106-133845.jpg> (2025)

Cangkang Kerang Simping (*Placuna placenta*) memiliki dua bilah (*valve*) yang sama besar (*equivalve*), sangat tipis dan pipih, berbentuk bundar atau bulat seperti kipas, dan sedikit transparan (tembus cahaya). Umbo hampir tidak ada, posisinya di median dorsal (tengah punggung). Permukaan luar cangkang umumnya halus dan memiliki rusuk-rusuk bertipe konsentris yang jelas. Ligamen yang menyatukan cangkang terletak secara internal dan membentuk struktur berbentuk V terbalik yang jelas. Engsel umumnya tanpa gigi atau bertipe *heterodont* yang sangat sederhana. Cangkang tidak memiliki sifon dan bersifat benthik. Warna bagian luar cangkang keputihan dengan sedikit cokelat. Sisi dalam berwarna putih keperakan yang memantulkan warna hitam atau keunguan yang membayang. Ukuran diameter cangkang dewasa bisa mencapai ≥ 15 cm (<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=367820> (WoRMS, 2025)).

F. Kerang Baling-baling (*Trisidos tortuosa*)

Klasifikasi Kerang Baling-baling (*Trisidos tortuosa*) adalah:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Mollusca
Kelas	: Bivalvia
Subkelas	: Autobranchia
Ordo	: Arcida
Super famili	: Arcoidea
Famili	: Arcidae
Genus	: <i>Trisidos</i>
Spesies	: <i>Trisidos tortuosa</i> (Linnaeus, 1758)



A



B

https://bishogai.com/pic_book/data62/r006132.html (2025)

<https://static.inaturalist.org/photos/391858965/large.jpeg> (2025)

Gambar 2. 7. Kerang Baling-baling (*Trisidos tortuosa*)

Cangkang Kerang Baling-Baling (*Trisidos tortuosa*) memiliki dua bilah (*valve*) yang cangkangnya tebal di bagian

dorsal dan tipis di bagian ventral, berbentuk memanjang bundar dan memiliki kekhasan utama yaitu terpelintir (*tortuous*), menyerupai baling-baling kapal. Engsel adalah tipe *taxodont* (memiliki barisan gigi kecil yang seragam) yang memanjang lurus. Umbo terdapat di bagian dorsal (punggung). Dekat engsel, cangkang memiliki bagian yang melebar membentuk sayap. Permukaan luar cangkang memiliki alur yang jelas dan bergerigi atau ditutupi oleh bulu-bulu halus pada bagian tepi cangkang. Cangkangnya dapat membuka dan menutup menggunakan otot adduktor. Warna bagian luar cangkang biasanya putih susu sebagai warna dasar, dengan lapisan *periostrakum* yang berwarna coklat. Kerang ini hidup di perairan yang berpasir dan berlumpur. Panjang cangkang maksimum dapat mencapai sekitar 8,5 cm (<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=504475> (WoRMS, 2025)).

G. Kerang Batik (*Paratapes undulatus*)

Klasifikasi Kerang Batik (*Paratapes undulatus*) adalah:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Mollusca
Kelas	: Bivalvia
Subkelas	: Autobranchia
Ordo	: Venerida
Super famili	: Veneroidea
Famili	: Veneridae
Genus	: <i>Paratapes</i>
Spesies	: <i>Paratapes undulatus</i> (Born, 1778)



Gambar 2. 8. Kerang Batik (*Paratapes undulatus*)

Sumber: <https://observation.org/media/photo/10212958.jpg>
(2025)

Cangkang Kerang Batik (*Paratapes undulatus*) memiliki dua bilah (*valve*) yang setara (*equivalve*), tebal, dan padat berbentuk oval memanjang (*elongate elliptical*). Cangkangnya mengkilap (*glossy*) dan agak tebal. Umbo agak menonjol, bertipe *prosogyrate*, dan posisinya *submedian* (agak ke depan dari tengah cangkang). Permukaan luar cangkang halus, dengan pahatan berupa garis-garis konsentris dan alur-alur halus yang sedikit miring (*oblique*) dan bergelombang (*undulating*). Pahatan ini membentuk pola seperti batik. Engsel (*hinge*) bertipe *heterodont* dengan tiga gigi kardinal di setiap katup. Lekuk palial (*pallial sinus*) dalam, berujung tumpul, dan mengarah ke dorsoanterior. Periostrakum tipis dan mengkilap. Batas atau garis tepi bagian internal cangkang rata atau halus. Warna bagian luar cangkang krem hingga

ungu muda pucat dengan hiasan pola jaring dari garis zig-zag berwarna coklat tua. Sisi dalam berwarna putih kekuningan, dengan daerah umbo yang mungkin berwarna keunguan. Ukuran tubuh kerang dewasa bisa mencapai $\geq 6,5$ cm (<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=863082> (WoRMS, 2025)).

H. Kerang Kepah (*Geloina expansa*)

Klasifikasi Kerang Kepah (*Geloina expansa*) adalah:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Mollusca
Kelas	: Bivalvia
Subkelas	: Autobranchia
Ordo	: Venerida
Super famili	: Cyrenoidea
Famili	: Cyrenoididae
Genus	: <i>Geloina</i>
Spesies	: <i>Geloina expansa</i> (Mousson, 1849)



Gambar 2. 9. Kerang Kepah (*Geloina expansa*)

Cangkang Kerang Kepah (*Geloina expansa*) memiliki dua bilah (*valve*) yang setara (*equivalve*), tebal dan padat, berbentuk bulat telur hingga hampir segitiga. Cangkangnya menggembung kuat dan biasanya sedikit lebih panjang dari tingginya. Umbo besar, menonjol kuat, dan berwarna kehijauan yang akan berubah menjadi kecoklatan saat dewasa. Permukaan luar cangkang umumnya kasar dan ditutupi oleh lapisan luar (*periostrakum*) yang tebal dan berwarna coklat kehijauan hingga coklat kehitaman (seringkali tampak berlumut/kotor karena habitatnya). Cangkang memiliki rusuk-rusuk konsentris yang jelas (garis pertumbuhan). Engsel bertipe *heterodont*, memiliki tiga gigi kardinal (dua di satu sisi dan satu di sisi lain). Garis palial (bekas perlekatan mantel) lengkap (tidak terputus) dan tanpa sinus (*pallial sinus*) yang jelas atau dengan lekuk palial yang dangkal. Warna bagian luar cangkang coklat kehijauan gelap. Sisi dalam cangkang (interior) berwarna putih bersih atau putih kebiruan. Kerang ini memiliki sifon yang sangat pendek dan kaki yang tebal. Ukuran panjang cangkang dewasa dapat mencapai 6,5 cm hingga 9 cm (<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=747114> (WoRMS, 2025)).

2.3 Evaluasi Mandiri

Indikator Penilaian BAB II: Konsep Dasar Depurasi dan Anatomi Morfologi Kerang

Petunjuk: Soal pilihan ganda; Pilihlah satu jawaban yang paling tepat (A, B, C atau D).

1. Tujuan utama dari teknik pengolahan pascapanen depurasi adalah...

- A. Mempercepat proses pertumbuhan kerang di lingkungan baru.
- B. Membersihkan kerang dari kontaminan dan mengoptimalkan kelangsungan hidupnya.
- C. Mengubah kerang yang bersifat *deposit feeder* menjadi *filter feeder*.
- D. Meningkatkan kandungan protein dalam jaringan kerang sebelum dikonsumsi.

2. Pada mekanisme *filter feeding* alami kerang, air masuk melalui bukaan yang disebut...

- A. *Exhalant siphon*
- B. *Pseudofeces*
- C. *Inhalant siphon*
- D. Otot adductor

3. Kotoran padat yang terlalu besar atau tidak diinginkan dan dibuang kerang sebagai feses palsu (diikat dengan lendir) disebut...

- A. Metabolit teroksidasi
- B. Konjugat
- C. *Pseudofeces*

D. *Exhalant siphon*

4. Mekanisme biokimia yang berperan dalam depurasi polutan dan racun organik dalam kerang adalah melalui...

- A. Metallothionein
- B. Asam amino sistein
- C. Enzim CYP450
- D. Enzim Glukuronidasi

5. Enzim CYP450 pada kerang berada di bagian organ yang dikenal sebagai...

- A. Insang (*Gills*)
- B. Mantel (*Mantle*)
- C. *Inhalant siphon*
- D. Kelenjar pencernaan (*Digestive gland*)

6. Golongan enzim oksidoreduktase yang memiliki fungsi utama untuk memasukkan satu atom oksigen (dalam bentuk gugus hidroksil, -OH) ke dalam substrat organik melalui jalur metabolisme adalah...

- A. Enzim Fase II
- B. Monooksigenase
- C. Metallothionein
- D. Glukuronidasi

7. Pada Tahap Ekskresi (Fase II) depurasi oleh Enzim CYP450, metabolit teroksidasi (ROH) diubah menjadi konjugat yang lebih polar dengan penambahan molekul besar lain oleh enzim seperti.....

- A. Enzim Oksidasi
- B. Enzim Lipofilik

- C. Enzim Glukuronidasi atau Sulfasi
- D. Enzim Metallothionein

8. Protein kecil yang kaya akan asam amino sistein dan berperan sebagai mekanisme detoksifikasi terhadap logam berat adalah...

- A. Konkiolin
- B. Enzim CYP450
- C. Metallothionein (MT)
- D. Oksidoreduktase

9. Mekanisme Metallothionein (MT) dalam mencegah kerusakan sel akibat logam berat adalah melalui gugus tiol (-SH) yang memiliki afinitas tinggi terhadap logam berat, sehingga terbentuk...

- A. Metabolit teroksidasi yang bersifat hidrofilik.
- B. Gugus hidroksil yang lebih polar.
- C. Kompleks protein-logam yang lebih stabil.
- D. Benang byssal yang menempel.

10. Lapisan terluar cangkang kerang yang tipis, berwarna gelap, dan tersusun atas protein organik konkiolin adalah...

- A. Prismatic
- B. Periostrakum
- C. Nakreas (*Nacre*)
- D. Umbo

11. Bagian cangkang kerang yang paling menonjol dan merupakan titik awal atau bagian tertua dari pertumbuhan cangkang adalah...

- A. Mantel

- B. Cangkang Prismatic
- C. Umbo
- D. Garis Palial

12. Organ otot berbentuk kapak, lidah, atau pisau yang berfungsi untuk menggali dan membenamkan diri ke dalam substrat lunak adalah...

- A. Mantel
- B. Sifon
- C. Insang
- D. Kaki (Foot)

13. Saluran pada kerang yang berfungsi sebagai jalur utama pertukaran air yang keluar membawa karbon dioksida dan kotoran/feses adalah...

- A. *Incurrent siphon*
- B. *Inhalant siphon*
- C. *Excurrent siphon*
- D. *Labial Palps*

14. Jenis kerang yang hidup menetap (*sessile*) dengan menempel kuat pada benda-benda keras menggunakan benang *byssus* adalah.....

- A. Kerang Darah (*Anadara granosa*)
- B. Kerang Tude (*Asaphis deflorata*)
- C. Kerang Hijau (*Perna viridis*)
- D. Kerang Kampak (*Placuna placenta*)

15. Ciri khas yang membedakan Kerang Baling-Baling (*Trisidos tortuosa*) dari jenis kerang lain adalah bentuk cangkangnya yang.....

- A. Tipis, pipih, dan sedikit transparan.

- B. Memiliki bulu-bulu halus pada seluruh cangkang.
- C. Terpelintir (*tortuous*) menyerupai baling-baling kapal.
- D. Memiliki pola jaring dari garis zig-zag berwarna coklat tua.

Indikator Penilaian BAB II: Konsep Dasar Depurasi dan Anatomi Morfologi Kerang

Petunjuk: Kriteria Target Penguasaan (Target $\geq$ 80%; 12 Soal)

- 1. Jawaban: B
- 2. Jawaban: C
- 3. Jawaban: C
- 4. Jawaban: C
- 5. Jawaban: D
- 6. Jawaban: B
- 7. Jawaban: C
- 8. Jawaban: C
- 9. Jawaban: C
- 10. Jawaban: B
- 11. Jawaban: C
- 12. Jawaban: D
- 13. Jawaban: C
- 14. Jawaban: C
- 15. Jawaban: C

BAB III:

STANDARISASI DAN OPERASI PROSEDUR DEPURASI

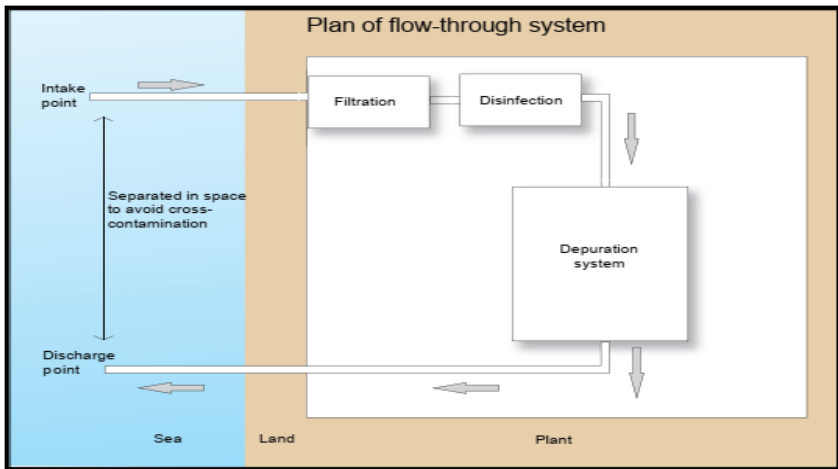
3.1 Sistem Depurasi Kerang

Sistem depurasi kerang dapat dibagi menjadi dua jenis utama berdasarkan pergerakan airnya, yaitu sistem resirkulasi (*Recirculating System*) dan sistem air mengalir (*Flow-Through*). Keduanya memiliki tujuan yang sama membersihkan kerang dari kontaminan tetapi prinsip operasionalnya berbeda. Sistem resirkulasi (*Recirculating System*) menggunakan volume air yang relatif kecil yang terus-menerus dibersihkan, disterilkan, dan digunakan kembali dalam bak depurasi. Sistem air mengalir (*Flow-Through*) mengandalkan pasokan air bersih yang terus-menerus mengalir melalui bak depurasi dan kemudian dibuang. Perbandingan sistem depurasi kerang dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.1. Proses depurasi kerang melibatkan beberapa tahapan utama, yaitu tahap pra-depurasi, tahap depurasi dan pasca-depurasi, dimana ketiga tahapan ini harus dilakukan secara berurutan dan dengan kondisi yang terkontrol untuk memastikan kerang bersih dan aman dikonsumsi (Künili, 2024). Alur kegiatan depurasi kerang dapat dilihat pada Gambar 3.2.

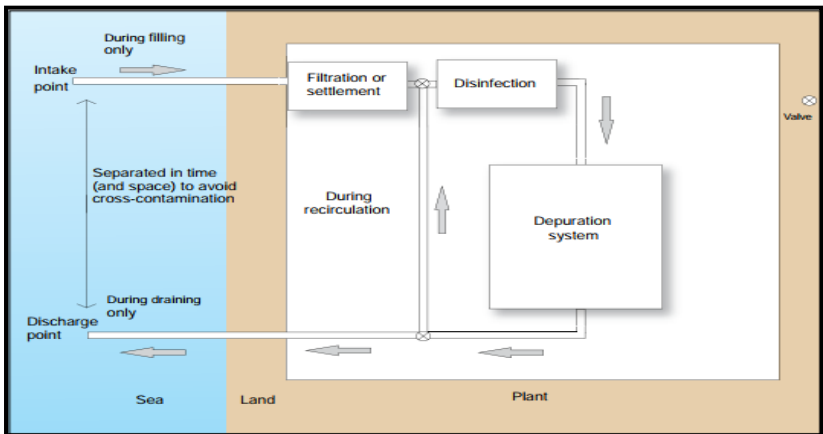
Tabel 3. 1. Perbandingan Sistem Depurasi Kerang

No.	Aspek	Sistem Depurasi	
		Resirkulasi	Air Mengalir
1	Prinsip Kerja	Air dari bak depurasi diambil → difiltrasi (mekanis dan biologis) → disterilkan (ultraviolet atau Ozon) → dikontrol kualitasnya → dikembalikan ke bak depurasi.	Air dari sumber bersih (misalnya, perairan lepas pantai yang dikontrol) → dipompa ke bak depurasi → air mengalir melalui kerang (sekali pakai) → dibuang (setelah perlakuan minimal).
2	Lokasi	Ideal untuk dibangun di pedalaman (jauh dari laut) atau di area di mana pasokan air laut bersih sulit didapatkan.	Hanya dapat digunakan di lokasi yang memiliki pasokan air laut bersih yang melimpah dan stabil (biasanya di dekat pantai).
3	Konsumsi Air	Sangat hemat air. Hanya sejumlah kecil air yang ditambahkan untuk mengganti kehilangan akibat penguapan atau pembuangan minimal.	Boros air, membutuhkan volume air yang besar karena air hanya digunakan sekali pakai.
4	Pengendalian Kualitas Air	Sangat terkontrol. Suhu, salinitas, dan pH dapat dimanipulasi dan	Kurang fleksibel. Kualitas air (suhu, salinitas) sangat bergantung pada

No.	Aspek	Sistem Depurasi	
		Resirkulasi	Air Mengalir
		dipertahankan secara akurat.	kondisi sumber air laut di lokasi.
5	Kelebihan	Efisien, dapat dibangun di mana saja, biaya operasional air dan pembuangan lebih rendah, kualitas air sangat stabil.	Biaya investasi awal lebih rendah (hanya perlu pompa dan unit sterilisasi sederhana), pengoperasian lebih sederhana, risiko akumulasi kotoran di air media rendah.
6	Kekurangan	Biaya investasi awal (alat filtrasi, sterilisasi, kontrol) tinggi, membutuhkan pemantauan parameter air secara ketat, risiko kegagalan sistem filtrasi atau sterilisasi dapat mengkontaminasi seluruh kerang.	Hanya bisa di lokasi tertentu, biaya pompa dan pembuangan tinggi, kualitas air yang mengalir kurang stabil (dipengaruhi musim atau pasang surut).

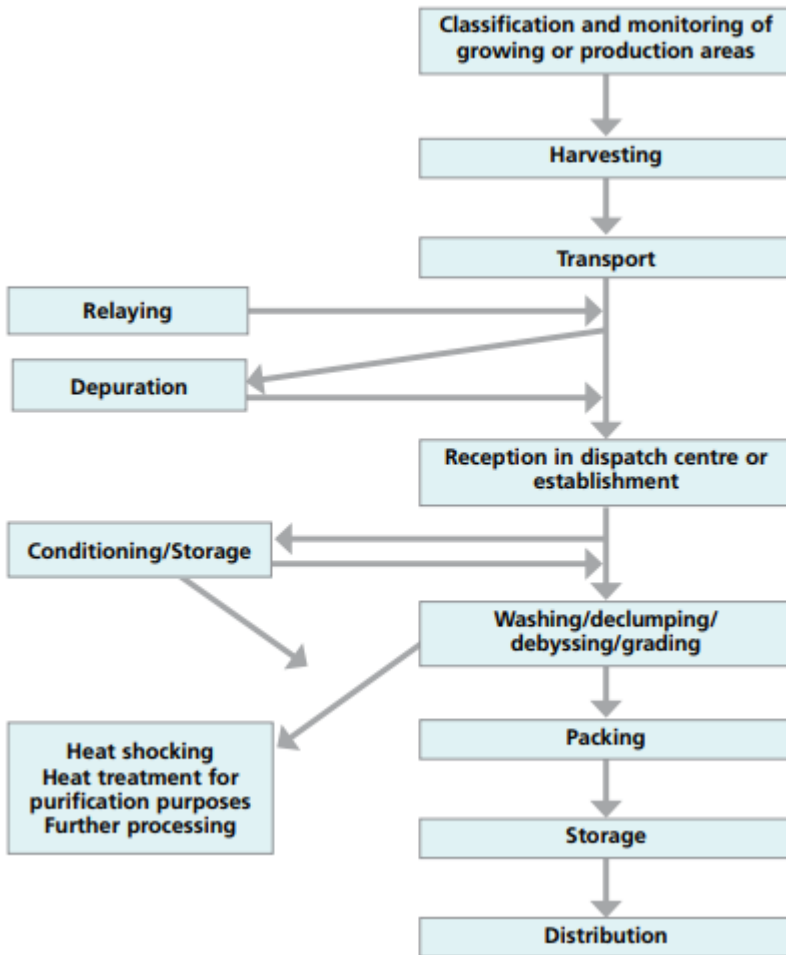


A. Sistem Air Mengalir



B. Sistem Resirkulasi

Gambar 3. 1. Diagram Instalasi Sistem Depurasi Kerang
Sumber: Helm et al. (2004)



Gambar 3. 2. Contoh Alur Kegiatan Depurasi Kerang (Helm *et al.*, 2004)

3.1.1 Tahap Pra-Depurasi

A. Panen (*Harvest*)

Kegiatan panen kerang yang dilakukan harus meminimalkan guncangan, dikarenakan akan menyebabkan kerang menjadi stress, mengurangi *survival rate* dan

efektivitas depurasi pasca panen. Metode paling aman yaitu nelayan atau pembudidaya mengambil kerang satu per satu secara tradisional, dibanding pemanenan secara mekanis.

B. Transportasi (*Transport*) I

Transportasi hasil panen kerang bertujuan untuk menjaga kerang tetap hidup, mencegah kontaminasi, kerusakan fisik dan stress pada kerang, dengan prinsip: (i) Kerang hidup harus dijaga dalam kondisi dingin untuk menekan laju metabolisme dan mencegah perkembangbiakan bakteri, tetapi tidak sampai membeku; (ii) Kerang harus diletakkan dalam wadah dan ditutup untuk mencegah kontak dengan kontaminan dan sinar matahari secara langsung; (iii) Menggunakan wadah yang kokoh untuk mencegah kerusakan pada kerang dan menjaga sirkulasi udara, penempatan kerang harus ditata sedemikian rupa sehingga beratnya tersebar merata; (iv) Mempercepat waktu transportasi.

C. Penerimaan atau Penanganan (*Handling*)

Kerang diterima difasilitas penyimpanan (misal pabrik), yang memiliki persyaratan mampu mencegah kontaminasi dan terhindar dari paparan suhu ekstrem. Suhu ekstrem dapat menghambat efektivitas proses depurasi, sedangkan suhu panas menyebabkan perkembangbiakan bakteri, terutama *Vibrio* spp. Suhu penyimpanan ideal berkisar 2 °C sampai 10 °C (Campbell *et al.*, 2022).

D. Pembersihan Kerang (*Washing, Culling and Debyssing*)

Kerang harus dibersihkan (*washing*) secara menyeluruh. Lumpur dan kotoran harus dihilangkan dari cangkang luar kerang untuk menjaga kebersihan wadah

depurasi. Selanjutnya kerang diseleksi (*culling*) dengan cara memisahkan kerang yang mati atau rusak serta biota asing lainnya (seperti bintang laut dan rumput laut). Kerang yang mati akan membusuk dan mencemari air, mengganggu seluruh proses depurasi. Proses ini dapat dilakukan secara mekanis dengan mesin, namun pengecekan secara manual tetap harus dilakukan. Proses *debyssing* adalah pelepasan *byssal* benang dari kerang. Beberapa jenis kerang tertentu, terutama famili Mytilidae (misal kerang hijau (*Perna viridis*) dan kerang biru (*Mytilus edulis*)) memiliki benang *byssal* atau *bysus* yaitu struktur serat protein kuat yang dihasilkan oleh kelenjar khusus pada kerang. Fungsi benang *byssal* sebagai alat menempel (*attachment*) pada substrat.



Gambar 3. 3. Benang *byssal* atau *bysus* Kerang Hijau (*Perna viridis*)

Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Perna_viridis (2025)

3.1.2 Tahap Depurasi

A. Pemuatan (*Tray and Tank Loading*)

Pemuatan kerang ke dalam baki atau keranjang dan tangki (wadah depurasi) bertujuan untuk menjaga efektivitas

depurasi, mencegah kontaminasi dan menghindari stres pada kerang. Prinsip pemuatan kerang adalah sebagai berikut:

- (i) Kapasitas beban (pemuatan baki atau keranjang): kerang harus diletakkan dalam baki atau keranjang dengan mempertimbangkan batas toleransi berat maksimum di atasnya, agar setiap spesies masih mampu membuka cangkang dan memompa air dengan baik;
- (ii) Prosedur pemasukan air: hendaknya memuat kerang terlebih dahulu ke dalam tangki, kemudian air laut dimasukkan. Hal ini untuk mencegah operator mengkontaminasi air laut bersih dan mencegah stress pada kerang;
- (iii) Pengaturan baki atau keranjang didalam tangki (wadah depurasi) harus secara rapi dan sesuai dengan desain serta standar sistem depurasi yang digunakan, sehingga memungkinkan aliran air dan distribusi beban yang benar;
- (iv) Menghindari kelebihan beban (*overloading*), *overloading* akan menyebabkan penurunan kadar oksigen, peningkatan ekskresi kerang dan menurunnya efektivitas proses depurasi;
- (v) Pencegahan kontaminasi: operator harus menghindari area baki atau keranjang dan tangki (wadah depurasi) saat memuat atau membongkar kerang untuk meminimalkan risiko kontaminasi pada seluruh sistem depurasi.



A



B

Gambar 3. 4. Sistem Depurasi Kerang Skala Kecil (A) Wadah Bertingkat Vertikal (B)
(Helm *et al.*, 2004)



Gambar 3. 5. Jenis Rak yang Dipakai pada Instalasi Depurasi Kerang (Helm *et al.*, 2004)

B. Kegiatan Depurasi (*Batch Operation and Depuration*)

Proses depurasi menggunakan prinsip “memasukkan dan mengeluarkan kerang secara keseluruhan dan bersamaan” (*all in/all out*). Tidak ada kerang yang boleh ditambahkan atau dikeluarkan dari tangki selama satu siklus proses depurasi. Jika terjadi gangguan pada sistem atau aliran air selama satu siklus, semua kerang harus diganti dalam sistem dan seluruh siklus harus dimulai ulang. Pemantauan parameter kualitas air dilakukan minimal tiga kali, yaitu: pada awal proses, saat proses berlangsung dan akhir proses depurasi. Jika salah satu dari parameter kualitas air belum mencapai standar depurasi, maka proses depurasi harus dimulai kembali dari awal proses.

Proses pembuangan air sisa depurasi pada tangki perlakuan dilakukan mengikuti arah aliran air, untuk memastikan kontaminan yang telah mengendap tidak tercampur kembali ke dalam air. Hal ini bertujuan untuk menjaga sanitasi dan efektivitas proses depurasi. Beberapa negara memiliki standar jangka waktu depurasi yang berbeda, antara lain: United Kingdom menggunakan standar jangka waktu depurasi minimal 42 jam, Amerika Serikat minimal 44 jam, Selandia Baru minimal 48 jam, sedangkan Italia selama 18 jam sampai 24 jam. Volume air laut yang digunakan untuk depurasi kerang *hard clams* (*Mercenaria mercenaria*), kerang *eastern oysters* (*Crassostrea virginica*), kerang jenis *cockles* dan *oyster* berkisar 6400 liter/m³, sedangkan untuk kerang *soft clams* (*Mya arenaria*) berkisar 4000 liter/m³ (Helm *et al.*, 2004). Kapasitas proses depurasi kerang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2. Kapasitas Depurasi Kerang

System	Water capacity (litres)	Maximum capacity for mussels (kg) ¹	Mini
Small-scale shallow tank	550	90	
Medium-scale multi layer	2 600	750 ²	
Large-scale multi layer	9 200	1 500 ²	
Vertical stack	650	240	
Bulk bin system (per bin)	1 100	300 ³	

¹ The maximum capacity for other species will be less.
² The capacity of the medium and large scale systems depends on which type of approved
³ The bulk bin system has only been properly verified for use with mussels.

System type	Mussels <i>Mytilus</i> species and hybrids	Cockles <i>Cerastoderma</i> <i>edule</i>	Oysters ¹ <i>Crassostrea</i> <i>gigas</i> and <i>Ostrea edulis</i>	Clam <i>Tapes</i> <i>philippinarum</i> and <i>Tapes</i> <i>decussatus</i>
Small-scale 550–600 litres	90 kg	30 kg	750	56 kg
Medium-scale ² 2 000–2 500 litres	750 kg	110 kg	4150	500 kg
Large-scale ² 4 000–4 500 litres	1 500 kg	220 kg	12 000	1 000 kg
Bulk bin ³ 1 100 litres Bin	300 kg	-	-	-
Vertical stack 650 litre sump total 16 trays	240 kg	80 kg	2 000	168 kg

¹ The loading for oysters is specified in terms of the number of animals.
² The capacity of the medium and large scale systems depends on which type of approved trays a
³ The bulk bin system has only been fully verified for use with mussels.

Sumber: Helm *et al.* (2004)

3.1.3 Tahap Pasca-Depurasi

A. Pembongkaran (*Unloading*).

Kerang harus dibilas dengan air laut bersih yang mengalir setelah depurasi untuk menghilangkan kontaminan yang masih melekat. Beberapa jenis kerang tertentu (misal famili *Mytilidae*) akan membentuk benang *byssal* saat proses depurasi, sehingga benang *byssal* perlu dihilangkan sebelum proses pengemasan. Setelah proses depurasi selesai dilakukan, baki atau keranjang dan tangki (wadah depurasi)

dibersihkan dan diberi desinfektan (misal natrium hipoklorit (NaOCl)) serta dikeringkan.



Gambar 3. 6. Mesin untuk *Loading dan Unloading* Kerang (Helm et al., 2004)

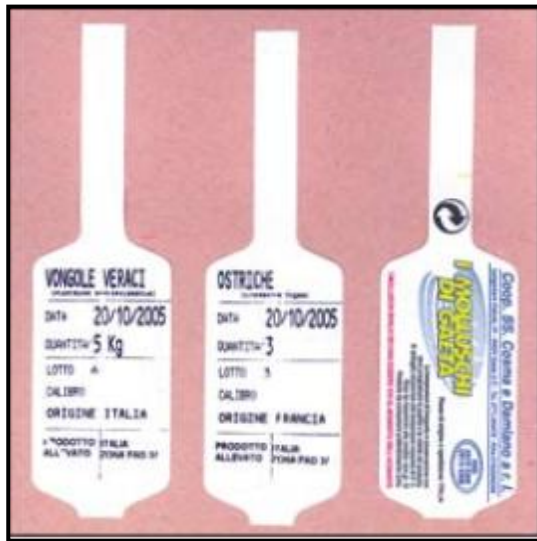
B. Pengemasan (*Packing*).

Proses pengemasan harus dilakukan di area yang terpisah dari kegiatan lain di pabrik, untuk mencegah kontaminasi silang (*cross-contamination*) produk kerang. Bahan kemasan yang digunakan terbuat dari material yang aman dan berkualitas *food-grade*. Beberapa jenis kerang (misal *oyster*) perlu dilakukan sortir terkait ukuran dan berat sebelum pengemasan. Bentuk kemasan (seperti nampan, jaring, atau kantong) harus dirancang untuk memudahkan penghitungan, penempatan, dan pemuatan kerang selama proses distribusi. Kemasan wajib memiliki mekanisme yang memungkinkan cairan hasil ekskresi oleh kerang selama penyimpanan dapat keluar/mengalir (*drainase*). Spesies

kerang tertentu (misal *oysters*) membutuhkan posisi pengemasan dengan menempatkan cangkang yang cekung menghadap ke bawah, untuk mengoptimalkan masa hidup kerang.

Penggunaan mesin pengemasan untuk menimbang dan mengatur jumlah kerang per kemasan harus disertai perawatan dan pembersihan secara teratur. Kemasan juga berfungsi sebagai tempat pencantuman label yang memuat informasi penting seperti: spesies kerang, tanggal pengemasan, masa simpan atau tanggal kedaluwarsa, nomor persetujuan pusat pengemasan, negara asal (terutama untuk ekspor). Label pada kemasan memberikan informasi mengenai ketertelusuran (*traceability*), digunakan jika terjadi masalah kualitas atau keamanan pangan dengan mencantumkan nomor *batch* yang mengacu pada siklus, sistem dan tangki depurasi produk tersebut berasal. Sedangkan detail komersial seperti nama perusahaan dapat ditambahkan sesuai kebutuhan. Pengemasan (*packing*) pada kerang bertujuan untuk:

- a) Melindungi kerang dari kerusakan fisik, kemasan melindungi kerang dari benturan, pecah, atau kerusakan cangkang selama proses penimbangan, penanganan dan transportasi.
- b) Mencegah kontaminasi pada kerang, dengan memisahkan produk kerang yang sudah bersih (setelah depurasi) dari kotoran dan kontaminan lainnya.
- c) Menjaga agar kerang tetap dalam kondisi hidup, pengemasan dirancang agar kerang tetap bersih, meminimalisir kontaminasi dan kematian.



Gambar 3. 7. Contoh Pelabelan pada Kerang (Helm *et al.*, 2004)



Gambar 3. 8. Instalasi *Sorting* dan *Packing* Kerang (Helm *et al.*, 2004)



Gambar 3. 9. Kegiatan *Sorting* dan *Packing* Kerang (Helm *et al.*, 2004)



Gambar 3. 10. Contoh Pengemasan (*Packing*) Kerang Hasil Depurasi (Helm *et al.*, 2004).

C. Penyimpanan (*Storage*).

Kerang yang sudah dikemas dan menunggu pengiriman atau penjualan harus disimpan di area bersih (atau ruang dingin). Penyimpanan harus dilakukan dalam kondisi suhu terkontrol, berkisar 2 sampai 10 °C (tergantung pada spesies kerang), berfungsi untuk memperlambat metabolisme kerang guna kelangsungan hidupnya dan meminimalkan pertumbuhan bakteri. Area penyimpanan kerang yang sudah dikemas harus terpisah dari area lain yang digunakan untuk pemrosesan (seperti depurasi atau pembersihan awal). Sedangkan area penyimpanan kerang dapat menjadi bagian dari, atau berdekatan dengan area pengemasan itu sendiri, untuk mempermudah penyimpanan produk kerang.

D. Distribusi.

Distribusi kerang harus dilakukan dengan hati-hati untuk mempertahankan kualitas dan kelangsungan hidup kerang. Sarana transportasi yang digunakan harus dilapisi bahan yang mudah dibersihkan untuk mencegah kontaminasi. Kerang tidak boleh terkena guncangan atau kontaminasi selama perjalanan. Penataan produk kerang ditempatkan agar produk ekskresi kerang dapat langsung mengalir terbuang (misal ditempatkan didalam rak dan tidak menempel dengan alas wadah).

3.2 Faktor Parameter Kualitas Air

Proses depurasi kerang dipengaruhi berbagai macam faktor. Faktor-faktor yang memengaruhi proses depurasi kerang berperan krusial karena menentukan tingkat aktivitas

filter feeder kerang, yang pada akhirnya mengoptimalkan pembersihan kontaminan dari tubuh kerang. Salah satu faktor tersebut adalah parameter kualitas air selama proses depurasi, antara lain:

A. Suhu

Suhu adalah besaran fisika yang menyatakan derajat panas atau dinginnya sesuatu. Suhu berpengaruh terhadap laju metabolisme, pertumbuhan dan reproduksi kerang. Peningkatan suhu di atas ambang batas dapat menyebabkan stres termal dan kematian. Suhu optimal depurasi kerang berkisar 14 – 29 °C. Peningkatan suhu air juga berkorelasi dengan perkembangan bakteri (Lees *et al.*, 2010). Suhu optimal proses depurasi kerang dapat dilihat pada tabel 3.3, sedangkan suhu optimal proses depurasi kerang terhadap kontaminan bakteri dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3. 3. Suhu Optimal Proses Depurasi Kerang (°C)

Jenis Kerang	Suhu (°C)		Negara Asal
	Terendah	Tertinggi	
Soft Clam (<i>Mya arenaria</i>)	2	20	USA
Flat Oyster (<i>Ostrea edulis</i>)	5	15	UK
	5	15	UK
Mussels (<i>Mytilus edulis</i>)	5	20	UK
Manila Clam (<i>Tapes philippinarum</i>)	7	16	UK
	8	18	UK
Cockles (<i>Cerastoderma edule</i>)	10	-	UK
	10	20	USA
Pacific Oyster (<i>Crassostrea gigas</i>)	10	25	USA
	12	20	UK
Razor Clam (<i>Ensis spp.</i>)	12	20	UK
Hard Clam (<i>Mercenaria mercenaria</i>)			

Jenis Kerang	Suhu (°C)		Negara Asal
	Terendah	Tertinggi	
Oyster Clam (<i>Tapes decussatus</i>) Hard Clam (<i>Mercenaria mercenaria</i>)			

Sumber: Helm *et al.* (2004).

Tabel 3. 4. Suhu Optimal Proses Depurasi terhadap Kontaminan Bakteri (°C)

Jenis Bakteri	(°C)	Jenis Bakteri	(°C)	Jenis Bakteri	(°C)
Hard Clam		Eastern Oyster		Sydney Rock Oyster	
Fecal coliform	22-		24-		18-
<i>Escherichia coli</i>	25	Fecal	29		20
<i>Vibrio</i>	20	coliform	24-	Total	13-
<i>parahaemolyticus</i>	15	Total	29	coliform	20
<i>Vibrio cholera</i>		coliform	22-	<i>Escherichia</i>	18-
<i>Vibrio vulnificus</i>	22-	<i>Vibrio</i>	24	<i>coli</i>	22
Polio type 1	24	<i>cholera</i>	22-	<i>Salmonella</i>	
Polio type 3	22-	<i>Vibrio</i>	24	spp.	
Coxsackie B4	24	<i>vulnificus</i>	12-		
	20	Polio type	23	Soft-shelled Clam	8-
	18-	1	18-		16
	20	Polio type	20		8-
	20	3	20		16
		Coxsackie	12-	Total	13
		B4	23	coliform	
		Hepatitis		<i>Escherichia</i>	
		A		<i>coli</i>	
				<i>Salmonella</i>	
				spp.	

Sumber: Rodrick and Schneider (2009)

B. Salinitas

Salinitas adalah total kadar garam terlarut dalam air. Salinitas berpengaruh terhadap keseimbangan osmotik/osmoregulasi kerang. Perubahan/fluktuasi salinitas memaksa kerang menutup cangkang dan menghentikan aktivitas *filter feeder*, serta berkorelasi dengan perkembangan bakteri. Peningkatan salinitas berpengaruh terhadap proses depurasi yang lebih optimal, sedangkan penurunan salinitas menghambat proses depurasi tersebut. Perbedaan salinitas pada lingkungan hidup kerang dengan salinitas pada proses depurasi berkisar $\leq 20\%$ (Lees *et al.*, 2010). Salinitas optimal proses depurasi kerang dapat dilihat pada tabel 3.5 sedangkan salinitas optimal proses depurasi kerang terhadap kontaminan bakteri dapat dilihat pada tabel 3.6.

Tabel 3. 5. Salinitas Optimal Proses Depurasi Kerang (ppt)

Jenis Kerang	Salinitas Terendah (ppt)	Negara Asal
Slipper Cupped Oyster (<i>Crassostrea iredalei</i>)	17,5	Philippines
Mussels (<i>Mytilus edulis</i>)	19,0	UK
Oyster	20,0	Japan
Cockles (<i>Cerastoderma edule</i>)	20,0	UK
Pacific Oyster (<i>Crassostrea gigas</i>)	20,5	UK
Hard Clam (<i>Mercenaria mercenaria</i>)	20,5	UK
Clam (<i>Tapes decussatus</i>)	20,5	UK
Manila Clam (<i>Tapes philippinarum</i>)	25,0	UK
Flat Oyster (<i>Ostrea edulis</i>)	30,0	UK
Razor Clam (<i>Ensis spp.</i>)		

Sumber: Helm *et al.* (2004).

Tabel 3. 6. Salinitas Optimal Proses Depurasi terhadap Kontaminan Bakteri

Jenis Bakteri	ppt	Jenis Bakteri	ppt	Jenis Bakteri	ppt
Hard Clam		Eastern Oyster		Sydney Rock Oyster	
<i>Eshcerichia coli</i>	20-		16-		23-
Polio type 1	30	Fecal	18		36
	31	coliform	16-	<i>Escherichia coli</i>	43-
		Total	18		47
		coliform	8-		23-
		Hepatitis	28	<i>Salmonella</i> spp.	36
		A			43-
					47

Sumber: Rodrick and Schneider (2009)

C. Oksigen Terlarut/*Disolved Oxygen* (DO)

Kerang merupakan biota akuatik yang bernapas dengan menyaring air menggunakan insang. Kerang memerlukan oksigen untuk respirasi dan metabolisme. Berbagai faktor mempengaruhi tingkat oksigen terlarut di dalam air selama depurasi, antara lain: (i) luas permukaan air yang terpapar udara; (ii) laju aliran air selama depurasi; (iii) jumlah kerang yang didepurasi; (iv) aktivitas fisiologis kerang selama depurasi; (v) aerasi; dan (vi) salinitas serta suhu air laut yang digunakan untuk depurasi. Pemenuhan kebutuhan oksigen bagi kerang dalam sistem depurasi dilakukan melalui aerator atau pompa air. (a) Aerator adalah peralatan yang dirancang spesifik untuk memasukkan oksigen ke dalam air (aerasi) dan meningkatkan pertukaran gas di permukaan air. Mekanisme kerja aerator adalah memecah air menjadi butiran kecil (seperti pada kincir) atau menghasilkan gelembung

udara halus di dasar kolam. Ini memaksimalkan area kontak antara udara (oksigen) dan air, serta mendorong gas CO₂ (karbondioksida) dan gas berbahaya lainnya untuk keluar dari air ke atmosfer; (b) Pompa Air berfungsi utama untuk memindahkan air, tetapi memiliki peran sekunder yang penting dalam pemenuhan oksigen, terutama dalam sistem resirkulasi. Mekanisme kerja pompa air adalah memindahkan air dari satu lokasi ke lokasi lain (misalnya, dari kolam ke filter, lalu kembali ke kolam), sehingga membawa air bersih (beroksigen tinggi) dari sumber luar ke dalam kolam, sekaligus mengeluarkan air lama (beroksigen rendah). Untuk memastikan kerang berada dalam kondisi aktif dan sehat (terutama selama depurasi), kadar oksigen terlarut yang ideal adalah ≥ 5 ppm. Jika kadar oksigen terlarut turun < 3 ppm, berdampak pada penurunan laju respirasi, melambatnya aktivitas *filter feeding* diikuti melambatnya proses depurasi, serta meningkatkan risiko kematian. Kandungan oksigen terlarut ditentukan oleh kelarutan oksigen diperairan laut, penurunan kelarutan oksigen berkorelasi dengan peningkatan suhu dan salinitas air laut (Lees *et al.*, 2010).. Kolerasi oksigen terlarut dengan suhu dan salinitas dapat dilihat pada tabel 3.7.

Tabel 3. 7. Kolerasi Oksigen Terlarut dengan Suhu dan Salinitas

Salinitas	Suhu Perairan		
	10 °C	20 °C	30 °C
10 ppt	10,7 ppm	10,1 ppm	9,4 ppm
20 ppt	8,6 ppm	8,1 ppm	7,6 ppm
30 ppt	7,2 ppm	6,7 ppm	6,4 ppm

Sumber: Rodrick and Schneider (2009)

D. Turbiditas dan *Total Suspended Solid (TSS)*

Turbiditas (disebut juga kekeruhan) adalah sifat optik air yang menunjukkan sejauh mana cahaya dihamburkan dan diserap oleh materi tersuspensi atau koloid yang ada di dalamnya. Secara umum turbiditas adalah tingkat kekeruhan atau ketidakjernihan suatu cairan. Semakin tinggi nilai turbiditas mengindikasikan semakin keruh perairan tersebut, yang berarti semakin banyak partikel halus yang melayang dan menghalangi masuknya cahaya. *Total Suspended Solids (TSS)* mengacu pada partikel-partikel padatan yang melayang atau tersuspensi di dalam air yang tidak terlarut, biasanya berukuran 1-2 mikron. Kerang merupakan *filter feeder* yang menyaring sebagian besar partikel padat dari air laut, kemudian diekskresikan sebagai kotoran *pseudofeces* dan *feces*. Kotoran ini merupakan biodeposit yang berdampak negatif dalam proses depurasi, dikarenakan: (i) biodeposit merupakan media yang ideal bagi perkembangan mikroorganisme yang dapat menyebabkan kontaminasi ulang; (ii) ketika kandungan oksigen terlarut dalam perairan rendah, dekomposisi biodeposit akan menghasilkan gas hidrogen sulfida (H_2S) yang bersifat toksik bagi kerang; (iii) biodeposit merupakan partikel padat yang mempengaruhi tingkat kekeruhan, dimana kekeruhan air yang tinggi dapat mengganggu proses sanitasi karena mengurangi efektivitas penetrasi sinar ultraviolet yang dipakai untuk desinfeksi (Lees *et al.*, 2010).

3.3 Desinfeksi

Desinfeksi adalah proses untuk membunuh bakteri patogen penyebab penyakit, mikroorganisme dan sebagai oksidator dalam air yang digunakan dalam sistem depurasi. Desinfeksi pada pengolahan air diperlukan dalam rangka menjaga agar air dalam sistem depurasi aman digunakan. Desinfeksi air laut dalam sistem depurasi bertujuan untuk menciptakan dan menjaga kondisi air yang bersih dan aman, sehingga kerang mampu mengoptimalkan mekanisme *filter-feeding* alami guna pembersihan diri hingga aman dikonsumsi (Guimarães-Filho *et al.*, 2022). Beberapa metode desinfeksi yang biasanya digunakan dalam proses depurasi kerang antara lain: ultraviolet, ozon dan klorin. Perbandingan metode desinfeksi air laut dapat dilihat pada Tabel 3.8.

(A) Ultraviolet

Desinfeksi menggunakan radiasi ultraviolet dengan panjang gelombang 253,7 nm yang menghancurkan materi genetik (asam nukleat) mikroorganisme, menyebabkan pecahnya membran sel dan kematian sel. Teknologi ini tidak menambahkan zat kimia kedalam air, sehingga tidak mengubah rasa, bau atau komposisi fisika-kimia air. Efektivitas desinfeksi menggunakan ultraviolet dipengaruhi oleh intensitas radiasi ultraviolet, waktu kontak dan transmisivitas air (Guimarães-Filho *et al.*, 2022).

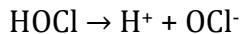
(B) Ozon (O₃)

Ozon (O₃) adalah gas yang terdiri dari tiga atom oksigen dan secara alami terdapat di atmosfer. Ozon memiliki bentuk oksigen tidak stabil, bersifat sangat reaktif, berbau tajam dan berwarna biru dalam jumlah besar. Ozon memiliki

potensi lebih tinggi dibandingkan klorin, sehingga mampu menonaktifkan mikroorganisme lebih cepat dan menyeluruh. Ozon dapat terurai kembali menjadi oksigen (O_2) setelah proses desinfeksi tanpa meninggalkan residu berbahaya di air. Ozon mampu mengoksidasi zat-zat yang menyebabkan warna dan bau pada air, sehingga air menjadi jernih dan tidak berbau (Guimarães-Filho *et al.*, 2022).

(C) Klorin

Metode desinfeksi menggunakan klorin (dikenal sebagai klorinasi) umum digunakan dalam pengolahan air. Mekanisme kerja klorin adalah membentuk asam hipoklorit ($HOCl$) dan ion hipoklorit (OCl^-) yang bertindak sebagai desinfektan, reaksi kimia yang terjadi:



Asam hipoklorit ($HOCl$) bersifat netral dan tidak bermuatan, sehingga dapat dengan mudah berdifusi menembus membran sel mikroorganisme. Kemudian merusak DNA atau RNA, yang pada akhirnya menyebabkan kematian sel. Proses depurasi kerang yang optimal menggunakan asam hipoklorit dengan konsentrasi 4-6 mg/L selama 12-18 jam. Namun proses desinfeksi air menggunakan klorin mempengaruhi aktivitas *filter feeder* kerang serta kualitas daging, untuk menetralkan efek dari klorin tersebut menggunakan sodium thiosulfate ($Na_2O_3S_2$) dengan dosis 0,2 ppm klorin dinetralkan dengan 3 ppm sodium thiosulfate (Rodrick and Schneider, 2009).

Tabel 3. 8. Perbandingan Metode Desinfeksi Air Laut

No.	Aspek	Ultraviolet	Chlorine	Ozone
1	Biaya Modal	Rendah	Sedang	Tinggi
2	Biaya Operasional	Paling Rendah	Rendah	Tinggi
3	Pemasangan	Sederhana	Rumit	Rumit
4	Perawatan	Mudah dan Biaya Rendah	Sedang dan Biaya Rendah	Sulit dan Mahal
5	Produk Samping	Tidak Ada	Trihalomethanes	Produk Samping Bersifat Toksik
6	Waktu Kontak	1-5 Detik	30-60 Menit	10-20 Menit
7	Toksistasitas bagi Kerang	Tidak Ada	Iya	Iya

Sumber: Rodrick and Schneider (2009).

3.4 Evaluasi Mandiri

Indikator Penilaian BAB III: Standarisasi dan Operasi Prosedur Depurasi

Petunjuk: Soal pilihan ganda; Pilihlah satu jawaban yang paling tepat (A, B, C atau D).

1. Sistem depurasi yang menggunakan volume air relatif kecil yang terus-menerus dibersihkan, disterilkan, dan digunakan kembali dalam bak depurasi disebut.....

- A. Sistem Air Mengalir (*Flow-Through*)
- B. Sistem Resirkulasi (*Recirculating System*)
- C. Sistem Semi-Tertutup
- D. Sistem *All In/All Out*

2. Kelebihan utama dari Sistem Air Mengalir (*Flow-Through*) dibandingkan dengan Sistem Resirkulasi adalah....
- A. Biaya operasional air dan pembuangan lebih rendah.
 - B. Dapat dibangun di pedalaman (jauh dari laut).
 - C. Biaya investasi awal lebih rendah dan pengoperasian lebih sederhana.
 - D. Kualitas air (suhu, salinitas) sangat stabil dan terkontrol.
3. Tahapan dalam proses depurasi kerang yang harus dilakukan secara berurutan dan terkontrol adalah....
- A. Pemuatan, Depurasi, dan Pengemasan.
 - B. Pra-depurasi, Depurasi, dan Pasca-depurasi.
 - C. Panen, Transportasi, dan Distribusi.
 - D. Filtrasi, Sterilisasi, dan Resirkulasi.
4. Pada tahap Pra-depurasi, kegiatan yang bertujuan untuk melepaskan benang *byssal* dari kerang adalah....
- A. *Washing*
 - B. *Culling*
 - C. *Packing*
 - D. *Debyssing*
5. Proses penanganan (*Handling*) kerang di fasilitas penyimpanan (pabrik) memiliki suhu penyimpanan ideal berkisar antara....
- A. 0 °C sampai 2 °C
 - B. 2 °C sampai 10 °C
 - C. 14 °C sampai 29 °C
 - D. 20 °C sampai 30 °C

6. Prinsip utama pada tahap Pemuatan (*Tray and Tank Loading*) yang bertujuan mencegah penurunan kadar oksigen dan penurunan efektivitas depurasi adalah.....

- A. Pengaturan baki secara rapi.
- B. Pemasukan air sebelum kerang dimuat.
- C. Mempercepat waktu transportasi.
- D. Menghindari kelebihan beban (*overloading*).

7. Prinsip "memasukkan dan mengeluarkan kerang secara keseluruhan dan bersamaan" (*all in/all out*) wajib diterapkan pada tahap.....

- A. Pre-depurasi
- B. Pengemasan
- C. Kegiatan Depurasi (*Batch Operation*)
- D. Distribusi

8. Menurut standar Selandia Baru, jangka waktu depurasi kerang minimal adalah.....

- A. 18 jam
- B. 42 jam
- C. 44 jam
- D. 48 jam

9. Pada tahap Pasca-Depurasi, pengemasan (*packing*) harus memiliki mekanisme yang memungkinkan.....

- A. Kerang dikemas dalam posisi cangkang yang cekung menghadap ke atas.
- B. Bahan kemasan terbuat dari plastik kedap udara.
- C. Cairan hasil ekskresi oleh kerang selama penyimpanan dapat keluar/mengalir (*drainase*).

D. Semua informasi label disamarkan untuk keamanan produk.

10. Informasi yang wajib dicantumkan pada label kemasan kerang yang berkaitan dengan ketertelusuran (*traceability*) adalah.....

A. Nama perusahaan

B. Detail komersial

C. Nomor *batch* yang mengacu pada siklus/tangki depurasi.

D. Berat bersih kemasan

11. Kadar Oksigen Terlarut (DO) yang ideal untuk memastikan kerang berada dalam kondisi aktif dan sehat selama depurasi adalah.....

A. < 3 ppm

B. < 5 ppm

C. ≥ 5 ppm

D. ≥ 10 ppm

12. Peningkatan suhu air depurasi di atas ambang batas dapat menyebabkan stres termal pada kerang dan juga berkorelasi positif dengan.....

A. Penurunan laju metabolisme kerang.

B. Peningkatan aktivitas filter feeder.

C. Perkembangan bakteri.

D. Peningkatan kelarutan oksigen.

13. Fluktuasi atau perubahan salinitas yang besar selama depurasi dapat berdampak pada kerang, yaitu.....

A. Kerang menutup cangkang dan menghentikan aktivitas filter feeder.

- B. Peningkatan osmoregulasi yang mempercepat depurasi.
- C. Terbentuknya kompleks protein-logam yang lebih stabil.
- D. Penurunan suhu air secara drastis.

14. Berdasarkan data, semakin tinggi suhu air laut dan semakin tinggi salinitas air laut, maka kelarutan oksigen di perairan tersebut akan.....

- A. Meningkat
- B. Tetap stabil
- C. Menurun
- D. Tidak terpengaruh

15. Partikel-partikel padatan yang melayang atau tersuspensi di dalam air yang tidak terlarut, biasanya berukuran 1-2 mikron, disebut.....

- A. Turbiditas
- B. Biodeposit
- C. *Total Suspended Solids* (TSS)
- D. Asam hipoklorit

16. Salah satu dampak negatif dari biodeposit (kotoran kerang) terhadap proses depurasi, terutama jika kadar oksigen terlarut rendah, adalah.....

- A. Biodeposit mengikat logam berat.
- B. Menghasilkan gas hidrogen sulfida (H_2S) yang bersifat toksik.
- C. Peningkatan efektivitas penetrasi sinar ultraviolet.
- D. Peningkatan aktivitas filter feeder kerang.

17. Metode desinfeksi air laut yang bekerja dengan menghancurkan materi genetik (asam nukleat) mikroorganisme menggunakan radiasi pada panjang gelombang 253,7 nm adalah.....

- A. Klorinasi
- B. Ultraviolet
- C. Ozonisasi
- D. Sulfasi

18. Berdasarkan perbandingan metode desinfeksi, metode yang memiliki biaya modal paling rendah dan biaya operasional paling rendah adalah.....

- A. Ozon
- B. Klorin
- C. Ultraviolet
- D. Kombinasi Ozon dan Klorin

19. Pada proses desinfeksi menggunakan klorin, zat yang bersifat netral dan tidak bermuatan sehingga dapat dengan mudah berdifusi menembus membran sel mikroorganisme adalah.....

- A. Ion hipoklorit (OCl^-)
- B. Sodium thiosulfate ($\text{Na}_2\text{O}_3\text{S}_2$)
- C. Asam hipoklorit (HOCl)
- D. Ozon (O_3)

20. Untuk menetralkan efek toksisitas klorin terhadap aktivitas filter feeder kerang setelah desinfeksi, dapat digunakan zat.....

- A. Natrium hipoklorit (NaOCl)
- B. Asam glukuronat

C. Sodium thiosulfate ($\text{Na}_2\text{O}_3\text{S}_2$)

D. Trihalomethanes

**Indikator Penilaian BAB III: Standarisasi dan Operasi
Prosedur Depurasi Petunjuk:** Kriteria Target Penguasaan
(Target $\geq 80\%$; 16 Soal)

1. Jawaban: B
2. Jawaban: C
3. Jawaban: B
4. Jawaban: B
5. Jawaban: D
6. Jawaban: B
7. Jawaban: C
8. Jawaban: D
9. Jawaban: C
10. Jawaban: C
11. Jawaban: C
12. Jawaban: C
13. Jawaban: A
14. Jawaban: C
15. Jawaban: C
16. Jawaban: B
17. Jawaban: B
18. Jawaban: C
19. Jawaban: C
20. Jawaban: C

BAB IV

ASPEK REGULASI DAN SERTIFIKASI

4.1 Regulasi di Negara Kesatuan Republik Indonesia dan Sertifikasi Produk Perikanan

Pemerintah Indonesia, melalui Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) dan lembaga terkait lainnya, telah menetapkan kerangka regulasi yang komprehensif untuk mengawasi seluruh rantai pasok produk perikanan, mulai dari hulu hingga hilir. Tujuan utamanya adalah untuk memastikan produk perikanan yang dihasilkan aman untuk dikonsumsi (*food safety*) dan memenuhi standar kualitas (*quality*) melalui berbagai regulasi, diantaranya:

- **Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 57 Tahun 2015** tentang Sistem Jaminan Mutu dan Keamanan Hasil Perikanan serta Peningkatan Nilai Tambah Produk Hasil Perikanan. Ini adalah payung hukum utama yang mewajibkan penerapan Sistem Jaminan Mutu dan Keamanan Hasil Perikanan (SJM KHP) di seluruh tahapan: pembudidayaan/penangkapan, penanganan, pengolahan, pengemasan, penyimpanan dan pendistribusian.
- **Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan (Permen KP)** yang mengatur secara spesifik, seperti:
 - **Permen KP Nomor 17 Tahun 2019** tentang Persyaratan dan Tata Cara Penerbitan Sertifikat Kelayakan Pengolahan (SKP).

- **Permen KP Nomor 8 Tahun 2024** tentang Pengendalian Pelaksanaan Sistem Jaminan Mutu dan Keamanan Hasil Kelautan dan Perikanan.

4.1.1 Prinsip Pengendalian Mutu

Regulasi di Indonesia menekankan pada penerapan praktik sanitasi dan higienis yang ketat, diantaranya:

- ***Sanitation Standard Operating Procedure (SSOP)***: Prosedur standar operasi sanitasi yang wajib dipenuhi Unit Pengolahan Ikan (UPI), mencakup keamanan air dan es, kebersihan permukaan kontak pangan, pencegahan kontaminasi silang, hingga pengendalian hama.
- ***Good Manufacturing Practices (GMP)* serta Cara Pengolahan Ikan yang Baik (CPIB)**: Praktik-praktik yang memastikan produk diolah secara konsisten dan sesuai standar mutu dan keamanan pangan.
- ***Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP)***: Sistem yang mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengendalikan bahaya signifikan terhadap keamanan pangan. Penerapan HACCP seringkali menjadi syarat wajib untuk produk ekspor.

4.1.2 Sertifikasi Produk Perikanan dan Peranannya dalam Daya Saing

Sertifikasi adalah pengakuan resmi dari otoritas yang kompeten bahwa produk atau unit usaha telah memenuhi standar mutu dan keamanan pangan yang ditetapkan. Sertifikasi sangat krusial untuk meningkatkan daya saing produk perikanan Indonesia, terutama di pasar global. Jenis sertifikasi produk perikanan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1. Jenis Sertifikasi Produk Perikanan

Sertifikasi	Fokus Penerapan	Keterangan
Sertifikat Kelayakan Pengolahan (SKP)	Unit Pengolahan Ikan (UPI)	Sertifikat yang menunjukkan UPI telah menerapkan CPIB/GMP dan SSOP, yang menjadi persyaratan dasar jaminan mutu.
Sertifikat Penerapan HACCP	Unit Pengolahan Ikan (UPI)	Pengakuan atas penerapan sistem <i>Hazard Analysis Critical Control Point</i> (HACCP).
Cara Budidaya Ikan yang Baik (CBIB)	Pembudidayaan Ikan	Jaminan bahwa proses budidaya memenuhi standar mutu dan lingkungan.
Cara Penanganan Ikan yang Baik (CPIB)	Penanganan di Kapal Tangkap	Standar penanganan ikan di atas kapal untuk menjaga kesegaran dan mutu bahan baku.
Standar Nasional Indonesia (SNI)	Produk Akhir	Acuan mutu, termasuk kandungan gizi dan keamanan, untuk produk perikanan baik di pasar domestik maupun internasional. KKP terus memperluas layanan sertifikasi SNI.
Sertifikat Mutu dan Keamanan Hasil Perikanan (SMKHP)	Produk	Sertifikat yang menjadi syarat wajib bagi produk perikanan yang ingin

Sertifikasi	Fokus Penerapan	Keterangan
		menembus pasar ekspor.

4.1.3 Aspek penerapan Regulasi dan Sertifikasi

Beberapa aspek utama yang diatur dalam regulasi dan sertifikasi produk perikanan meliputi:

- **Jaminan Mutu dan Keamanan Pangan:** Melalui pengendalian mutu di setiap tahapan, mulai dari budidaya/penangkapan, penanganan, pengolahan, hingga distribusi, untuk memastikan produk bebas dari bahaya (kimia, biologi, fisik) dan kontaminan.
- **Sistem Penelusuran (*Traceability*):** Regulasi mewajibkan adanya sistem yang memungkinkan produk dilacak asalnya (dari kapal penangkap/kolam budidaya) sampai ke tangan konsumen. Ini penting untuk pertanggungjawaban dan penarikan produk (jika diperlukan).
- **Labeling (Pelabelan):** Produk yang diekspor maupun dipasarkan domestik harus mencantumkan informasi yang lengkap dan akurat sesuai ketentuan, termasuk nama produk, nama perusahaan, tanggal produksi, dan tanggal kedaluwarsa.
- **Keberlanjutan (*Sustainability*):** KKP juga menekankan bahwa produk perikanan harus berasal dari sumber yang bertanggung jawab dan ramah lingkungan, mendukung praktik penangkapan ikan yang bertanggung jawab dan budidaya yang berkelanjutan.
- **Daya Saing:** Membuka akses pasar global karena sertifikasi (seperti SKP, HACCP, SMKHP) adalah persyaratan hukum dan kepercayaan di negara tujuan ekspor (Uni Eropa, AS,

Jepang, dll.), serta meningkatkan kepercayaan konsumen domestik dan harga jual produk.

4.2 Persyaratan Mutu dan Metode Uji Keamanan Pangan Produk Kerang

Manajemen Mutu Keamanan Pangan produk perikanan didefinisikan sebagai upaya sistematis dan terstruktur yang dilakukan untuk memastikan bahwa produk perikanan (ikan, udang, kerang dan hasil laut lainnya) yang dihasilkan adalah aman, layak dikonsumsi, dan bebas dari bahaya (biologis, kimia, atau fisik) yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan bagi manusia. Manajemen ini sangat penting karena produk perikanan dikenal sebagai *high perishable food* (makanan yang mudah rusak), sehingga memerlukan penanganan khusus di seluruh rantai pasok, mulai dari penangkapan/budidaya hingga sampai di tangan konsumen.

4.2.1 Pentingnya Metode Uji Berstandar

Manajemen mutu keamanan pangan memerlukan standar yang mengatur ambang batas aman suatu produk. Untuk membuktikan bahwa produk telah memenuhi standar tersebut, diperlukan Metode Uji Berstandar.

- Definisi: Metode Uji Berstandar adalah prosedur teknis yang rinci, terverifikasi, dan tervalidasi yang menjelaskan cara pengambilan sampel, persiapan sampel, dan pelaksanaan analisis untuk mengukur parameter tertentu (misalnya, Angka Lempeng Total, Salmonella atau Logam Berat).

Standar Acuan: Metode uji ini mengacu pada prosedur pengujian ilmiah yang telah diakui secara nasional (Standar Nasional Indonesia/SNI) atau internasional (*International Organization for Standardization/ISO*). Persyaratan mutu dan keamanan daging kerang SNI dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

- Tujuan Utama:
 - Akurasi dan Keterbandingan: Memastikan hasil uji yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan, serta dapat diperbandingkan antar laboratorium atau antar negara.
 - Kepatuhan Regulasi: Wajib digunakan oleh laboratorium untuk menganalisis sampel guna memenuhi persyaratan regulasi perdagangan domestik maupun internasional.

Tabel 4. 2. SNI 3460.1:2009 tentang Daging Kerang Beku-Bagian 1:Spesifikasi

Parameter Uji	Satuan	Persyaratan
A. Sensori	Angka (1-9)	Minimal 7
B. Cemarkan Mikroba - ALT - <i>Escchericia coli</i> - Salmonella - <i>Vibrio parahaemolyticus</i> - <i>Staphylococcus aureus</i>	Koloni/g APM/g Per 25 g Per 25 g Koloni/g	Maksimal 5 x 10 ⁵ Maksimal < 3 Negatif Maksimal < 3 Maksimal 1,0 x 10 ³
C. Cemarkan Kimia - Kadmium (Cd) - Merkuri (Hg) - Timbal (Pb)	mg/kg mg/kg mg/kg	Maksimal 1,0 Maksimal 0,5 Maksimal 1,0
D. Fisika - Suhu Pusat	°C	Maksimal -18

Parameter Uji	Satuan	Persyaratan
- Filth	Potongan	Maksimal 0
E. Racun Hayati (Marine Biotoxin)	μg toksin/100 gr	Maksimal 80
- <i>Paralytic Shellfish Poisoning</i> (PSP)	mg toksin/100 gr	Negatif
- <i>Amnesic Shellfish Poisoning</i> (ASP)	μg asam domoic/kg	Maksimal 20
- <i>Diarhetic Shellfish Poisoning</i> (DSP)		

Tabel 4. 3. SNI 3460:2017 tentang Daging Kerang Masak Beku

Parameter Uji	Satuan	Persyaratan			
A. Sensori	angka	Min. 7,0			
B. Fisika					
- Suhu Pusat	$^{\circ}\text{C}$	Maks. -18			
C. Cemar Mikroba		n	c	M	M
- ALT	koloni/g	5	2	10^4	10^5
- Salmonella	per 25 g	5	0	Negatif	Td
- <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	APM/g	5	0	< 3	Td
- <i>Staphylococcus aureus</i>	koloni/g	5	0	10^3	Td
D. Cemar Logam					
- Merkuri (Hg)	mg/kg	Maks. 1,0			
- Timbal (Pb)	mg/kg	Maks. 1,5			
- Kadmium (Cd)	mg/kg	Maks. 1,0			
- Arsen (As)	mg/kg	Maks. 1,0			
e. Cemar Fisik					
- Filth	potongan	0			
f. Racun Hayati (Marine Biotoxin)					
- <i>Paralytic Shellfish Poisoning</i> (PSP)	mg/kg	Maks. 0,8			
- <i>Amnesic Shellfish Poisoning</i> (ASP)	mg/kg	Maks. 20			
	mg/kg	Maks. 0,16			

Parameter Uji	Satuan	Persyaratan
- <i>Diarhetic Shellfish Poisioning</i> (DSP)		
CATATAN * Untuk setiap parameter sensori ** Apabila diperlukan *** Ekvivalen asam domoat n jumlah sampel uji c 2 kelas sampling: jumlah maksimum sampel yang diperbolehkan melebihi batas persyaratan maksimum yang tercantum pada m. 3 kelas sampling: jumlah maksimum sampel yang persyaratannya berada antara m dan M dan tidak boleh satupun sampel melebihi batas persyaratan maksimum yang tercantum pada M serta sampel yang lain harus kurang dari nilai m. m 2 kelas sampling: batas persyaratan maksimum. M 3 kelas sampling: batas persyaratan maksimum. Td Tidak diberlakukan. Maks. Maksimum Min. Minimum		

4.2.2 Parameter Uji Keamanan Pangan (Standar Teknis)

Parameter uji keamanan pangan adalah kriteria spesifik yang dianalisis pada suatu produk pangan untuk memastikan bahwa produk tersebut aman. Parameter uji ini memiliki ambang batas terkait keamanan pangan yang harus dianalisis menggunakan metode uji acuan yang telah berstandar, termasuk produk kerang. Parameter uji keamanan pangan dikelompokkan menjadi tiga kategori utama: Mikrobiologi, Fisika dan Kimia. Parameter mikrobiologi berfokus pada deteksi dan kuantifikasi mikroorganisme yang berpotensi menyebabkan penyakit (patogen) atau merusak makanan. Cemaran mikroba pada produk perikanan merupakan masalah serius dalam

keamanan pangan karena dapat menyebabkan penyakit bawaan makanan (*foodborne diseases*) dan menunjukkan kondisi sanitasi atau penanganan yang buruk selama proses produksi, penyimpanan atau penyajian (Salton and Kim, 1996). Berikut adalah penjelasan mengenai metode uji acuan mutu dan keamanan pangan daging kerang (Tabel 4.4) parameter uji cemaran mikroba:

Tabel 4. 4. Metode Uji Acuan Mutu dan Keamanan Pangan Daging Kerang

No.	Parameter Uji	Metode Uji
1	Organoleptik dan Cemaran Fisik	
	Organoleptik / Sensori	SNI 2346:2015
	Filth	SNI 2372.7:2011
2	Cemaran Mikroba	
	<i>Salmonella</i> sp.	SNI 01-2332.2-2006
	<i>Salmonella</i> spp.	SNI 2332.11:2017 ISO 6579-1 : 2017
	<i>Eschericia coli</i>	SNI 2332.1:2015 ISO 16649-3:2015
	Coliform	SNI 2332.1:2015
	Angka Lempeng Total	SNI 01-2332.3:2015 SNI ISO 4833.1:2015
	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	SNI 01-2332.5-2006
	<i>Listeria monocytogenes</i>	SNI 2332-14:2020
	<i>Staphylococcus aureus</i>	SNI 2332.9:2015
	<i>Vibrio cholerae</i>	SNI 01-2332.4-2006
3	Logam Berat	

No.	Parameter Uji	Metode Uji
	Timbal (Pb)	SNI 2354.5:2011 (AAS)
	Kadmium (Cd)	SNI 2354.5:2011 (AAS)
	Merkuri (Hg)	SNI 2354.6:2016 (AAS)
	Arsenik (As)	SNI 2354.15:2017 (AAS)
	Timah Putih/Stannum (Sn)	SNI 2354-19:2018 (AAS)
No.	Parameter Uji	Metode Uji
4	Cemaran Kimia dan Residu Antibiotik	
	Formalin*	SNI 2987:2015 (SNI tentang Mutu Mi Basah)
	Chloramphenicol (CAP)	SNI 7587.3:2010 Konfirmasi 2020 SNI 2354.9-2009
	Nitrofurantoin AOZ*	SNI 7587.4:2010 Metode uji residu antibiotik secara enzyme linked immunoassay (ELISA) pada ikan dan udang – Bagian 4: Metabolit Furazolidone (AOZ).
	Nitrofurantoin AMOZ*	SNI 7587.5:2010 Metode uji residu antibiotik secara enzyme linked immunoassay (ELISA) pada ikan dan udang – Bagian 5: Metabolit Furaltidone (AMOZ).
	Nitrofurantoin SEM*	SNI 7587.1:2010 Metode uji residu antibiotik secara enzyme linked immunoassay (ELISA) pada ikan dan udang – Bagian 1: Semicarbazide (SEM).
	Nitrofurantoin AHD*	SNI 7587.2:2010 Metode uji residu antibiotik secara enzyme linked immunoassay (ELISA) pada ikan dan udang – Bagian 2: Aminohydantoin (AHD).
	Dimetridazole*	Mo et al. (2024).

No.	Parameter Uji	Metode Uji
		Front Vet Sci, Jul 23:11:1451904. doi: 10.3389/fvets.2024.1451904.
5	Racun	
	<i>Paralytic Shellfish Poison (PSP)</i>	SNI 2354.16:2017
	<i>Amnesic Shellfish Poison (ASP)</i>	SNI 2354.16:2017
	<i>Neurotoxic Shellfish Poisoning (NSP): Brevetoxins*</i>	Gerssen <i>et al</i> (2010). Toxins. April; 2(4):878-904. doi: 10.3390/toxins2040878.

Keterangan: *= belum ada metode baku pengujian pada kerang

a) Angka Lempeng Total (ALT) adalah parameter untuk mengukur jumlah total bakteri yang hidup pada suatu sampel pangan. Meskipun sebagian besar bukan patogen, tingginya ALT menunjukkan potensi risiko kontaminasi oleh patogen lain.

b) Coliform adalah kelompok bakteri yang ditemukan di lingkungan (termasuk tanah, air dan kotoran hewan/manusia). Angka Coliform yang tinggi menunjukkan kemungkinan besar higienitas yang kurang atau adanya kontaminasi lingkungan pada pangan.

c) *Escherichia coli* (*E. coli*) adalah salah satu jenis bakteri yang termasuk dalam kelompok Coliform, yang secara spesifik merupakan Coliform fekal (berasal dari kotoran). Beberapa strain *E. coli* bersifat patogen, antara lain: Enterohemorrhagic *E. coli* (Serotipe paling terkenal adalah O157:H7); Enterotoxigenic *E. coli*; Enteropathogenic *E. coli*; Enteroinvasive *E. coli*; Enteroaggregative *E. coli*. Beberapa

strain *E. coli* tersebut menyebabkan diare dan dampak negatif lainnya.

d) *Salmonella* sp. dan *Salmonella* spp. *Salmonella* sp. (singkatan dari *species*) digunakan ketika merujuk pada *satu* spesies yang tidak spesifik dalam genus *Salmonella*. *Salmonella* spp. (singkatan dari *species pluralis*) digunakan ketika merujuk pada *banyak* spesies atau seluruh genus *Salmonella*. Dalam konteks keamanan pangan, keduanya merujuk pada bahaya keracunan makanan yang ditimbulkan oleh genus ini. Bakteri ini menyebabkan Salmonellosis (gejala: demam, kram perut, diare) dan Demam Tifoid (*S. typhi*). Kontaminasi sering terjadi pada daging hewan, telur, produk susu dan air karena berasal dari saluran usus hewan.

e) *Staphylococcus aureus* merupakan bakteri yang umum ditemukan pada kulit, rambut dan hidung manusia. *S. aureus* berbahaya karena memproduksi toksin yang tahan panas (termostabil). Walaupun bakteri mati saat dimasak, toksin yang sudah terbentuk pada produk perikanan yang disimpan pada suhu ruangan (4 sampai 60 °C) tetap aktif dan menyebabkan keracunan makanan dengan gejala mual, muntah parah dan kram perut.

f) *Vibrio parahaemolyticus* merupakan bakteri yang secara alami hidup di lingkungan laut dan menyukai garam (halofilik). *V. parahaemolyticus* merupakan penyebab utama gastroenteritis (diare) dari makanan laut. *V. parahaemolyticus* sering mengontaminasi ikan, kerang dan produk makanan laut lainnya, terutama jika dikonsumsi mentah atau kurang matang.

g) *Vibrio cholerae* merupakan bakteri yang ditemukan di perairan dan sering dikaitkan dengan sanitasi air yang buruk. *V. cholerae* merupakan penyebab penyakit kolera yang

ditandai dengan diare parah dan dehidrasi. Kontaminasi pangan terjadi melalui air minum atau air pengolahan yang tercemar.

h) *Listeria monocytogenes* merupakan bakteri yang tersebar luas di lingkungan dan memiliki kemampuan untuk berkembang pada suhu dingin (psikrofilik). *Listeria monocytogenes* menyebabkan penyakit Listeriosis yang fatal, terutama pada kelompok rentan (bayi, lansia dan ibu hamil). Pemasakan dengan suhu $> 75^{\circ}\text{C}$ dapat mematikan bakteri ini.

Parameter fisika yang paling umum digunakan untuk menilai mutu produk perikanan berkaitan dengan tingkat kesegaran, tekstur dan penampakan produk. Parameter fisika utama meliputi parameter organoleptik atau sensori adalah pengujian mutu hasil perikanan yang menggunakan indra manusia (penglihatan, penciuman, peraba dan terkadang perasa) untuk menilai tingkat kesegaran dan penerimaan konsumen terhadap produk. Ini sering dianggap sebagai metode penilaian mutu yang paling cepat dan praktis. Cemar Fisik atau dikenal juga sebagai *Filth* dalam konteks keamanan pangan (termasuk hasil perikanan) adalah benda asing yang tidak seharusnya ada dalam produk dan dapat dilihat secara langsung. Cemar ini dapat berasal dari lingkungan, proses penanganan atau pengolahan. Cemar fisik merupakan indikator penting dalam aspek sanitasi dan keamanan pangan. Parameter kimia bertujuan untuk mendeteksi dan mengukur keberadaan kontaminan kimia atau zat-zat berbahaya lainnya dalam makanan. Cemar kimia ini meliputi residu antibiotik, racun dan logam berat. Pengujian parameter cemaran kimia ini diperlukan pada produk perikanan dikarenakan ekosistem perairan

merupakan tempat akumulasi zat kimia berbahaya. Berikut adalah penjelasan mengenai parameter uji cemaran kimia:

a) Logam berat adalah kelompok unsur logam dan metaloid yang secara umum memiliki kriteria densitas (berat jenis) 5,0 g/cm³ atau lebih; memiliki nomor atom antara 21 (scandium) sampai 92 (uranium); memiliki massa atom antara 63,5 dan 200,6 g/mol (Palar, 2004)

(a.1) Timbal (Pb). Kontaminasi timbal (Pb) pada lingkungan perairan berasal dari limbah cat dan pipa air, emisi kendaraan serta dari industri baterai. Dampak timbal (Pb) terhadap kesehatan manusia antara lain: toksisitas saraf (terutama pada anak-anak), kerusakan ginjal dan gangguan pembentukan sel darah merah. Bentuk senyawa timbal (Pb) yang paling toksik adalah organotimbal Tetraethyllead (C_2H_5)₄Pb, karena bersifat lipofilik (larut dalam lemak) yang mudah masuk kedalam jaringan otak dan sel syaraf.

(a.2) Kadmium (Cd). Kontaminasi kadmium (Cd) pada lingkungan perairan berasal dari pupuk fosfat, limbah industri (baterai dan pigmen). Dampak kadmium (Cd) terhadap kesehatan manusia antara lain: kerusakan ginjal, kerapuhan tulang (*Itai-Itai disease*) dan bersifat karsinogen. Kadmium (Cd) cenderung terakumulasi pada bivalvia (misal kerang dan tiram) yang bersifat *filter feeder*.

(a.3) Merkuri (Hg). Kontaminasi merkuri (Hg) pada lingkungan perairan berasal dari emisi industri (pembakaran batu bara), limbah pertambangan dan proses alam. Dampak merkuri (Hg) terhadap kesehatan manusia yaitu kerusakan sistem saraf pusat (terutama pada janin dan anak-anak). Bentuk senyawa

merkuri (Hg) yang paling toksik adalah metil merkuri (CH_3Hg^+). Kontaminan merkuri (Hg) dalam perairan dapat mengalami biomagnifikasi, yaitu: peningkatan konsentrasi merkuri (Hg) dalam jaringan organisme pada tingkat trofik yang lebih tinggi dalam rantai makanan. Sehingga akumulasi merkuri (Hg) tertinggi pada biota di perairan terdapat pada ikan predator besar (misal tuna, hiu dan kerapu).

- (a.4) Arsenik (As). Kontaminasi arsenik (As) pada lingkungan perairan berasal dari pestisida, limbah industri elektronik, pertambangan dan secara alami terdapat pada air tanah. Dampak arsenik (As) terhadap kesehatan manusia yaitu lesi kulit, kanker, penyakit kardiovaskular, dan gangguan neurologis. Bentuk arsenik (As) yang ditemukan pada produk perikanan berupa organik (misal arsenobetaina dan arsenocholine) bersifat tidak toksik dan mudah diekskresikan oleh tubuh manusia, sedangkan bentuk anorganik (misal arsenit (As^{3+}) dan arsenat (As^{5+})) bersifat toksik bagi manusia.
- (a.5) Timah Putih (Sn). Kontaminasi arsenik (As) pada produk perikanan sebagian besar berasal dari lapisan kaleng atau wadah pengemasan. Gejala keracunan timah putih antara lain: masalah pernapasan, sakit kepala dan gangguan pencernaan.
- b) Formalin (Formaldehid). Formalin adalah larutan 37 - 40 % formaldehid dalam air, biasanya ditambahkan methanol hingga 15 %. Formalin dikenal sebagai bahan pengawet mayat dan desinfektan. Dampak formalin terhadap kesehatan manusia yaitu iritasi parah pada saluran pencernaan, serta bersifat toksik dan karsinogenik (BPOM, 2025).

c) Antibiotik adalah golongan obat yang digunakan khusus untuk mengatasi atau mencegah infeksi yang disebabkan oleh bakteri. Mekanisme kerja antibiotik adalah bakterisida (membunuh bakteri secara langsung) serta bakteristatik (menghambat pertumbuhan dan perkembangbiakan bakteri), sehingga sistem kekebalan tubuh dapat mengatasi infeksi bakteri (Mo *et al.*, 2024).

(c1) Chloramphenicol merupakan antibiotik dengan spektrum luas. Dampak chloramphenicol terhadap kesehatan manusia yaitu menyebabkan anemia aplastik (gangguan fatal pada sumsum tulang) bagi orang yang sensitif terhadap antibiotik tersebut (GALAB, 2023).

(c2) Nitrofurantoin merupakan antibiotik yang digunakan dalam budidaya perikanan. Dampak nitrofurantoin terhadap kesehatan manusia yaitu bersifat karsinogenik dan menimbulkan gangguan pada sistem endokrin manusia. Senyawa nitrofurantoin dapat dimetabolisme secara cepat oleh tubuh hewan, sehingga pengujian kandungan nitrofurantoin menggunakan metabolitnya yang lebih stabil dan tahan lama (GALAB, 2023). Jenis metabolit nitrofurantoin dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5. Jenis Metabolit Nitrofurantoin

Metabolit Nitrofurantoin	Antibiotik Induk	Target Pengujian/Residu
AOZ	Furazolidone	3-amino-2-oxazolidinone
AMOX	Amoxycillin	3-amino-5-morpholinomethyl-2-oxazolidinone

Metabolit Nitrofuran	Antibiotik Induk	Target Pengujian/Residu
		(Namun, AMOZ adalah metabolit dari Furaltadone)
AHD	Nitrofurazone	1-aminohydantoin
SEM	Nitrofurantoin	Semicarbazide

d) Dimetridazole merupakan obat antimikroba yang digunakan untuk mengobati penyakit yang disebabkan oleh protozoa (*Histomoniasis* dan *Trichomoniasis*) pada hewan, terutama unggas dan babi. Dampak dimetridazole dan turunannya terhadap kesehatan manusia yaitu berpotensi karsinogenik (Mo *et al.*, 2024).

e) Keracunan Kerang (*Shellfish Poisoning*) adalah kondisi keracunan yang terjadi setelah mengonsumsi kerang-kerangan (seperti tiram, kerang hijau, remis atau *scallop*) yang telah terkontaminasi oleh racun yang dihasilkan oleh alga mikroskopis beracun (fitoplankton/dinoflagellata) biasanya terjadi ketika blooming alga (*Harmful Algal Blooms/HABs*). Racun ini bersifat tahan terhadap suhu tinggi, sehingga tidak bisa dihilangkan dengan pemasakan. Jenis keracunan kerang (*Shellfish Poisoning*) (Gerssen *et al.*, 2010). Jenis Keracunan Kerang (*Shellfish Poisoning*) dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6. Jenis Keracunan Kerang

Jenis Keracunan	Jenis Racun / Penyebab	Mekanisme	Gejala
<i>Paralytic Shellfish Poisoning</i> (PSP)	Saxitoxin (SXT) / Dinoflagellata (misalnya <i>Alexandrium</i>)	Saxitoxin (STX) merupakan toksin syaraf yang terdiri dari dua substruktur guanidine yang terprotonasi. Substruktur ini membentuk saluran	Gejala keracunan saxitoxin meliputi gejala neurologis yang parah, seperti kesemutan dan mati rasa pada bibir serta anggota tubuh, kelumpuhan otot dan

Jenis Keracunan	Jenis Racun / Penyebab	Mekanisme	Gejala
		natrium dalam sel syaraf, menghambat masuknya ion natrium dan mengakibatkan penurunan aktifitas sel.	gangguan pernapasan, yang muncul beberapa menit hingga beberapa jam setelah mengonsumsi makanan laut yang terkontaminasi. Gejala gastrointestinal seperti mual, muntah, dan diare juga dapat terjadi bersamaan. Kasus yang parah dapat menyebabkan kematian akibat kelumpuhan pernapasan.
<i>Amnesic Shellfish Poisoning (ASP)</i>	<i>Domoic Acid (Asam Domoat) / Diatom (genus Pseudo-nitzschia)</i>	Mekanisme kerja <i>domoic acid</i> melibatkan pengaktifasian reseptor glutamat pada otak, yang berfungsi sebagai neurotransmitter. Dalam konteks ini, <i>domoic acid</i> berfungsi sebagai analog dari glutamat, dengan afinitas yang tinggi terhadap reseptor-reseptor tersebut. Pengaktifasian reseptor ini menyebabkan otak menjadi terlalu terangsang dan akhirnya merusak hipokampus dan nukleus amigdaloid. Dalam proses ini,	Gejala keracunan asam domoat meliputi gejala pencernaan ringan seperti mual, muntah, diare, dan kram perut dalam 24 jam setelah konsumsi makanan laut. Pada kasus yang lebih parah, gejala neurologis berkembang dalam 48 jam, seperti sakit kepala, kebingungan, pusing, kehilangan ingatan jangka pendek, kelemahan motorik, kejang, koma, bahkan kematian. Beberapa efek seperti kehilangan ingatan jangka pendek bisa bersifat permanen.

Jenis Keracunan	Jenis Racun / Penyebab	Mekanisme	Gejala
		<i>domoic acid</i> mengaktifkan reseptor kainat dan AMPA (asam α -amino-3-hidroksi-5-metil-4-isoksazolpropionat), yang mendatangkan kalsium dalam jumlah tidak terkendali. Kalsium biasanya mengalir kedalam sel, namun jika jumlahnya berlebih akan menyebabkan degenerasi sel.	
<i>Neurotoxic Shellfish Poisoning</i> (NSP)	Brevetoxin / dinoflagellata (<i>Karenia brevis</i>).	Mekanisme kerja brevetoxin dengan cara mengikat saluran natrium bertegangan pada sel syaraf dan otot, yang menyebabkan depolarisasi membran syaraf dan gangguan dalam proses neurologis normal.	Gejala keracunan brevetoksin meliputi gejala pencernaan seperti mual, muntah, diare dan sakit perut. Paparan inhalasi dapat menyebabkan masalah pernapasan seperti sesak napas, bronkokonstriksi, dan iritasi mata dan tenggorokan. Gejala neurologis yang timbul adalah pusing, kesemutan pada wajah atau anggota badan, mati rasa dan kelemahan otot.

Sumber: Gerssen et al. (2010)

4.3 Evaluasi Mandiri

Indikator Penilaian BAB IV: Aspek Regulasi dan Sertifikasi

Petunjuk: Soal pilihan ganda; Pilihlah satu jawaban yang paling tepat (A, B, C atau D).

1. Sertifikasi Cara Penanganan Ikan yang Baik (CPIB) berfokus pada penerapan standar untuk.....
 - A. Unit Pengolahan Ikan (UPI)
 - B. Pembudidayaan Ikan
 - C. Produk Akhir
 - D. Penanganan di Kapal Tangkap
2. Berikut ini adalah salah satu aspek utama penerapan regulasi dan sertifikasi yang bertujuan membuka akses pasar global dan meningkatkan kepercayaan konsumen domestik.....
 - A. Keberlanjutan (*Sustainability*)
 - B. Sistem Penelusuran (*Traceability*)
 - C. Pelabelan (*Labeling*)
 - D. Daya Saing
3. Manajemen Mutu Keamanan Pangan sangat penting diterapkan pada produk perikanan karena produk tersebut dikenal sebagai.....
 - A. *Low risk food*
 - B. *Stable food*
 - C. *High perishable food*
 - D. *Ready to eat food*

4. Parameter uji keamanan pangan dikelompokkan menjadi tiga kategori utama, yaitu...
- A. Kualitas, Kuantitas, dan Higienitas
 - B. Organoleptik, Fisik, dan Biologi
 - C. Mikrobiologi, Fisika, dan Kimia
 - D. Warna, Bau, dan Tekstur
5. Cemaran mikroba pada produk perikanan merupakan masalah serius karena dapat menyebabkan...
- A. Pengurangan nilai gizi
 - B. Perubahan warna yang signifikan
 - C. Penyakit bawaan makanan (*foodborne diseases*)
 - D. Peningkatan daya saing produk
6. Bakteri *Salmonella* spp. dapat menyebabkan dua jenis penyakit keracunan makanan utama, yaitu...
- A. Kolera dan Diare
 - B. Listeriosis dan Gastroenteritis
 - C. Salmonellosis dan Demam Tifoid
 - D. Anemia Aplastik dan Kanker
7. Walaupun bakteri *Staphylococcus aureus* mati saat dimasak, keracunan makanan tetap terjadi karena bakteri ini menghasilkan...
- A. Toksin yang tahan panas (termotabil)
 - B. Racun yang larut dalam lemak
 - C. Bentuk spora yang tidak aktif
 - D. Metabolit karsinogenik

8. Bakteri *Vibrio cholerae* yang ditemukan di perairan sering dikaitkan dengan...
- A. Akumulasi pada biota filter feeder
 - B. Perkembangan pada suhu dingin
 - C. Kandungan garam yang tinggi (halofilik)
 - D. Sanitasi air yang buruk
9. Logam berat yang kontaminasinya pada lingkungan perairan berasal dari limbah cat, emisi kendaraan, dan industri baterai, serta paling toksik dalam bentuk organotimbal adalah...
- A. Kadmium (Cd)
 - B. Merkuri (Hg)
 - C. Arsenik (As)
 - D. Timbal (Pb)
10. Logam berat Kadmium (Cd) cenderung terakumulasi pada biota perairan jenis...
- A. Ikan predator besar (misalnya Tuna)
 - B. Ikan demersal
 - C. Bivalvia (*filter feeder*)
 - D. Krustasea
11. Dalam kasus kontaminasi Merkuri (Hg), mengapa akumulasi tertinggi ditemukan pada ikan predator besar?
- A. Karena ikan predator besar berenang di perairan yang lebih dalam.
 - B. Karena ikan predator besar lebih tahan terhadap toksin.
 - C. Karena terjadinya biomagnifikasi dalam rantai makanan.
 - D. Karena ikan predator besar memetabolisme Merkuri secara lambat.

12. Bentuk Arsenik (As) yang ditemukan pada produk perikanan yang bersifat tidak toksik dan mudah diekskresikan oleh tubuh manusia adalah...

- A. Arsenit (As^{3+})
- B. Arsenat (As^{5+})
- C. Timah Putih (Sn)
- D. Bentuk organik (misal arsenobetaina)

13. Dampak antibiotik Chloramphenicol terhadap kesehatan manusia adalah...

- A. Bersifat karsinogenik dan mengganggu sistem endokrin.
- B. Keracunan dengan gejala mual dan muntah parah.
- C. Menyebabkan anemia aplastik.
- D. Menyebabkan kerusakan sistem saraf pusat.

14. Keracunan Kerang (*Shellfish Poisoning*) merupakan ancaman serius karena racun yang dihasilkan oleh alga mikroskopis beracun.....

- A. Dapat dihilangkan seluruhnya dengan proses depurasi yang ketat.
- B. Hanya terjadi jika kerang dikonsumsi mentah.
- C. Bersifat tahan terhadap suhu tinggi (tidak bisa dihilangkan dengan pemasakan).
- D. Berasal dari cemaran fisik yang terlihat langsung.

15. Prosedur standar operasi sanitasi yang wajib dipenuhi Unit Pengolahan Ikan (UPI), mencakup keamanan air dan es, kebersihan permukaan kontak pangan, hingga pengendalian hama adalah definisi dari...

- A. *Good Manufacturing Practices* (GMP)

- B. *Hazard Analysis Critical Control Point* (HACCP)
- C. *Sanitation Standard Operating Procedure* (SSOP)
- D. Cara Pengolahan Ikan yang Baik (CBIB)

Indikator Penilaian BAB IV: Aspek Regulasi dan Sertifikasi

Petunjuk: Kriteria Target Penguasaan (Target $\geq$ 80%; 12 Soal)

1. Jawaban: D
2. Jawaban: D
3. Jawaban: C
4. Jawaban: C
5. Jawaban: C
6. Jawaban: C
7. Jawaban: A
8. Jawaban: D
9. Jawaban: D
10. Jawaban: C
11. Jawaban: C
12. Jawaban: D
13. Jawaban: C
14. Jawaban: C
15. Jawaban: C

BAB V

POTENSI KOTA SORONG DAN PENGEMBANGAN SISTEM DEPURASI KERANG OTOMATIS

5.1 Potensi Pengembangan Sistem Depurasi Otomatis Di Kota Sorong

Kota Sorong merupakan ibu kota Provinsi Papua Barat Daya yang memiliki akses menuju destinasi wisata, Kepulauan Raja Ampat. Kota Sorong terletak di bawah garis khatulistiwa, tepatnya antara 131°51' Bujur Timur (BT) dan 0°54' Lintang Selatan (LS), dengan luas wilayah berkisar 1.105 km² dan berada pada ketinggian 3 meter diatas permukaan laut (dpl). Keadaan permukaan Kota Sorong sangat bervariasi, berupa dataran rendah (terutama di area pesisir), perbukitan dan lereng serta beberapa wilayah pegunungan. Sebelah timur kota dikelilingi oleh hutan lebat yang merupakan hutan lindung dan hutan wisata. Wilayah kota ini dialiri oleh beberapa sungai berukuran sedang dan kecil, seperti Sungai Rufei, Sungai Klabala, dan Sungai Remu. Terdapat hamparan galian golongan C seperti batu gunung, batu kali, sirtu, pasir, tanah uruk, dan kerikil. Jenis tanah utama adalah latosol putih (di pinggiran pantai) dan ferralsol merah kuning (di hamparan wilayah lainnya). Batas wilayah Kota Sorong secara umum adalah:

Sebelah Utara : Berbatasan dengan Distrik Makbon (Kabupaten Sorong) dan Selat (Kabupaten Raja Ampat).

Sebelah Timur : Berbatasan dengan Distrik Makbon (Kabupaten Sorong).

Sebelah Selatan: Berbatasan dengan Distrik Aimas dan Distrik Salawati (Kabupaten Sorong).

Sebelah Barat : Berbatasan dengan Selat Dampier (Kabupaten Raja Ampat).

Kota Sorong memiliki iklim tropis dengan suhu udara yang cukup stabil sepanjang tahun berkisar antara 24 °C hingga 31 °C. Curah hujan di Kota Sorong cukup tinggi dan merata sepanjang tahun berkisar 2.700 hingga 3.200 mm per tahun. Kelembaban udara rata-rata tercatat sekitar $\pm 83\%$. Kota Sorong memiliki posisi yang sangat strategis karena terletak dekat dengan Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) 3, menjadikannya “gerbang” yang menghubungkan rute pelayaran internasional dan domestik di Kawasan Timur Indonesia. Data-data diatas menunjukkan bahwa Kota Sorong memiliki potensi kelautan dan perikanan yang cukup besar (BPK RI-Papua Barat, 2025). Pengembangan sistem depurasi kerang otomatis merupakan gagasan yang sangat relevan bagi Kota Sorong untuk memaksimalkan potensi komoditas kerang, mengubahnya dari produk laut biasa menjadi produk pangan aman dan bermutu tinggi yang memiliki daya saing, sejalan dengan visi pengembangan sektor perikanan yang modern dan berkelanjutan (Tabel 5.1).

Tabel 5. 1. Potensi Pengembangan Sistem Depurasi Otomatis Di Kota Sorong

Faktor Potensi	Keterangan	Relevansi dengan Sistem Depurasi
1. Kekayaan Sumber Daya Perikanan Laut	Kota Sorong memiliki akses langsung ke laut yang kaya akan potensi kekerangan sebagai komoditas perikanan rakyat dan UMKM yang perlu digali dan ditingkatkan mutunya.	Memastikan ketersediaan bahan baku (kerang) yang akan diolah melalui depurasi.
2. Pusat Logistik dan Akses ke Pasar	Kota Sorong berperan strategis sebagai pintu gerbang ke Papua dan memiliki infrastruktur logistik (pelabuhan) yang berkembang. Hal ini mempermudah distribusi hasil laut.	Mempermudah pengiriman kerang yang sudah terdepurasi ke pasar lokal (pasar tradisional, swalayan, warung makan) dan regional/nasional,serta ekspor produk bernilai tambah.
3. Peningkatan Kualitas dan Nilai Jual	Penerapan depurasi kerang dapat secara efektif mengurangi atau menghilangkan kontaminan (seperti mikroplastik dan mikroorganisme patogen) dalam kerang.	Meningkatkan mutu produk kerang, menjadikannya lebih aman untuk dikonsumsi, serta meningkatkan nilai jual dan daya saing di pasar yang menuntut standar kualitas tinggi.
4. Dukungan Pembangunan Sektor Perikanan	Pemerintah daerah (Dinas Perikanan) menunjukkan komitmen untuk perbaikan dan pembinaan sektor perikanan tangkap tradisional, termasuk rencana pembangunan kawasan perikanan modern dan	Menciptakan iklim yang mendukung untuk inovasi dan adopsi teknologi seperti depurasi, terutama untuk nelayan skala kecil dan UMKM.

Faktor Potensi	Keterangan	Relevansi dengan Sistem Depurasi
	penyaluran bantuan tepat sasaran kepada nelayan.	
5. Peluang Bisnis dan Investasi	Sektor perikanan dan pengolahan laut di Sorong menawarkan peluang investasi yang menjanjikan, termasuk pengolahan hasil laut menjadi produk bernilai tambah.	Depurasi dapat menjadi bagian integral dari rantai nilai pengolahan kerang, menarik investor yang berfokus pada produk makanan laut aman dan berkualitas tinggi.

5.2 Sistem Depurasi Kerang Otomatis

Kerang (Bivalvia) merupakan komoditas hasil perikanan yang memiliki nilai ekonomis, namun memiliki risiko kesehatan yang tinggi. Kerang bersifat organisme penyaring (*filter feeder*), menyerap dan mengakumulasi kontaminan dari lingkungan perairan. Depurasi adalah proses pembersihan kerang hidup dalam tangki berisi air laut bersih yang steril dan terkontrol selama periode waktu tertentu. Sistem Depurasi Otomatis (*Automatic Depuration System*) adalah modifikasi sistem depurasi konvensional yang memiliki beberapa keunggulan (Tabel 5.2), dimana proses pemurnian air dan kontrol kondisi lingkungan dilakukan secara terprogram dan terintegrasi menggunakan teknologi modern. Pengembangan sistem depurasi otomatis terdiri dari beberapa tahap.

Tabel 5. 2. Keunggulan Sistem Depurasi Otomatis

No.	Aspek Keunggulan	Keterangan
1	Konsistensi Mutu	Kontrol parameter air yang presisi menjamin kerang terdepurasi secara efektif, menghasilkan produk yang aman dan bermutu tinggi secara konsisten.
2	Efisiensi Operasional	Mengurangi kebutuhan intervensi manusia, menghemat waktu dan tenaga kerja, serta mengoptimalkan penggunaan air laut melalui sistem resirkulasi.
3	Kepatuhan Regulasi	Mempermudah pemenuhan standar keamanan pangan nasional (BPOM) dan internasional (<i>HACCP</i>) untuk akses pasar yang lebih luas.
4	Peningkatan Daya Saing	Produk kerang yang bersertifikat bebas kontaminan memiliki nilai jual dan daya saing yang jauh lebih tinggi di pasar domestik maupun global.

1. Studi Literatur Sistem Depurasi Kerang Otomatis

Kegiatan ini dilakukan dengan mencari materi penunjang dari buku, jurnal, dan sumber terpercaya lainnya. Bahan-bahan yang dicari meliputi hal-hal sebagai berikut:

(i) Studi Teknologi Depurasi Terdahulu. Studi mengenai teknologi yang menjadi acuan dalam melakukan pengembangan dan penyempurnaan, yaitu: teknologi depurasi kerang yang terdahulu menggunakan jenis kontrol konvensional (seperti perendaman air statis dan/atau penggunaan ultraviolet tanpa kontrol otomatis) serta cara penerapan teknik tersebut ke dalam sistem wadah depurasi dan sirkulasi airnya. Ini mencakup tinjauan terhadap:

- Metode depurasi *flow-through* (sekali pakai) atau resirkulasi.
- Efektivitas disinfektan tradisional (misalnya klorin) dibanding modern (misalnya ozon atau ultraviolet) dalam menghilangkan patogen (seperti *E. coli* atau *Salmonella*) dan biotoksin.

(ii) Pengumpulan Data tentang Metode Otomatisasi dan Sistem Kontrol. Hal ini dilakukan dengan studi literatur terhadap beberapa sumber yang berkaitan dengan penerapan sensor dan sistem kontrol otomatis pada parameter kualitas air. Data yang dikumpulkan meliputi:

- Penggunaan sensor digital (misalnya sensor oksigen terlarut (DO), derajat keasaman (pH) dan suhu) yang terintegrasi pada perangkat mikrokontroler (misalnya Arduino atau Raspberry Pi).
- Metode *closed-loop control* untuk menjaga stabilitas parameter air agar kerang dapat melakukan depurasi secara optimal.

(iii) Proses dan Standar Keamanan Pangan Kerang. Proses ini dilakukan dengan cara studi literatur dan tinjauan terhadap kondisi industri perikanan. Studi literatur yang ada berasal dari Standar Nasional Indonesia (SNI), Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), hingga dari data-data pada jurnal ilmiah yang menyampaikan tentang hal-hal yang berhubungan dengan Standar Keamanan Pangan (termasuk batas maksimum cemaran mikroba dan logam berat) dan metode kontrol kualitas dari sistem pasca panen kerang.

2. Identifikasi dan Pemodelan Sistem Depurasi Kerang Otomatis

Identifikasi dan pemodelan sistem dilakukan untuk mendapatkan model matematika dan diagram blok kontrol dari sistem depurasi kerang. Dalam hal ini, sistem depurasi otomatis merupakan gabungan dari wadah depurasi (dimana kerang ditempatkan), sistem resirkulasi air dan unit desinfeksi (ultraviolet atau ozon). Namun, pada bagian kontrol sistem, akan ditanamkan komponen sensor kualitas air (oksigen terlarut (DO), suhu dan pH), mikrokontroler, serta aktuator (pompa dan katup solenoid) yang berfungsi mendukung kerja dari sistem depurasi yang akan secara otomatis menjaga lingkungan air optimal bagi kerang.

(i) Identifikasi Sistem (Variabel Kunci). Identifikasi bertujuan menentukan variabel masukan (Input), variabel proses dan variabel keluaran (Output) sistem yang meliputi:

- Variabel Input (Kontrol): Daya pompa air (laju sirkulasi), intensitas lampu UV atau Ozon (dosis desinfeksi) dan sistem aerasi (kadar O_2).
- Variabel Proses (Terukur): misal kadar oksigen terlarut (DO), suhu air dan derajat keasaman (pH). Parameter-parameter ini harus dijaga dalam kisaran ideal agar kerang aktif menyaring air guna mengoptimalkan proses depurasi.
- Variabel Output (Tujuan): Tingkat penurunan cemaran (misalnya jumlah kontaminan bakteri, konsentrasi logam berat dan toksin) dalam daging kerang.

(ii) Pemodelan Sistem (Model Matematika Sederhana). Pemodelan sistem dilakukan untuk menggambarkan hubungan antara variabel masukan dan keluaran, biasanya

berfokus pada dinamika kualitas air atau laju eliminasi kontaminan. Model matematika yang dapat digunakan adalah model keseimbangan massa untuk Oksigen Terlarut (DO) pada proses depurasi kerang, dengan mempertimbangkan:

$$\frac{dC_{DO}}{dt} = K_L a (C_{sat} - C_{DO}) - R$$

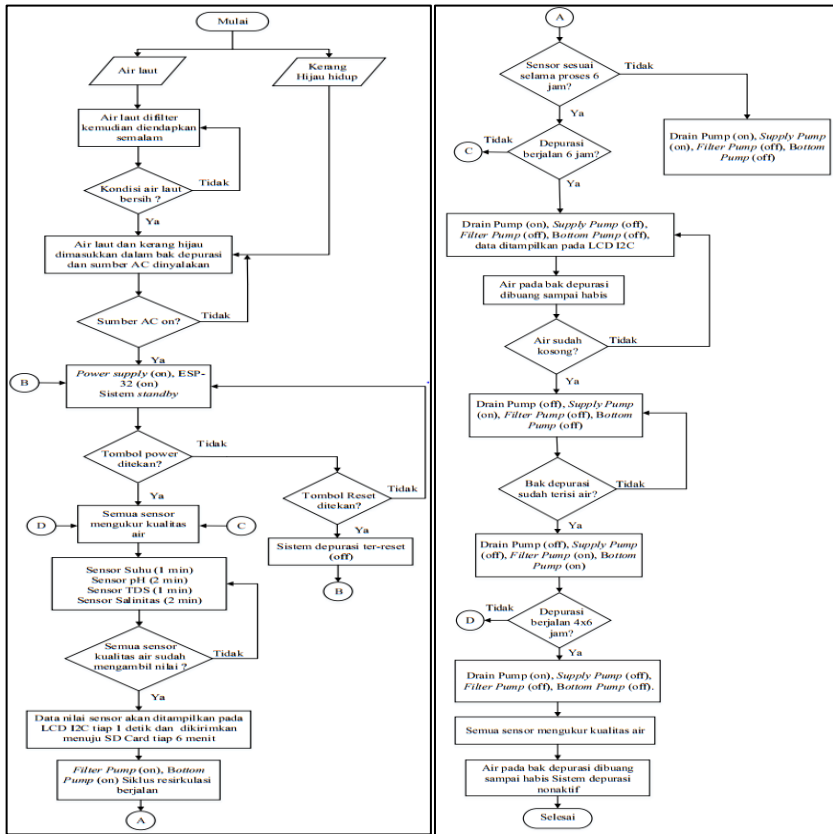
Keterangan:

C_{DO} : Konsentrasi oksigen terlarut (DO) dalam air.

$K_L a (C_{sat} - C_{DO})$: laju transfer oksigen dari aerasi.

R : laju konsumsi oksigen oleh kerang dan aktivitas biologis.

Model tersebut menjadi acuan bagi mikrokontroler untuk mengaktifkan atau mematikan aerator dan pompa air secara otomatis, memastikan kerang berada dalam kondisi optimal untuk melakukan depurasi.



Gambar 5. 1. Contoh *Flowchart* Sistem Depurasi Kerang Otomatis Resirkulasi

Sumber: Aziz dan Suryo (2025)

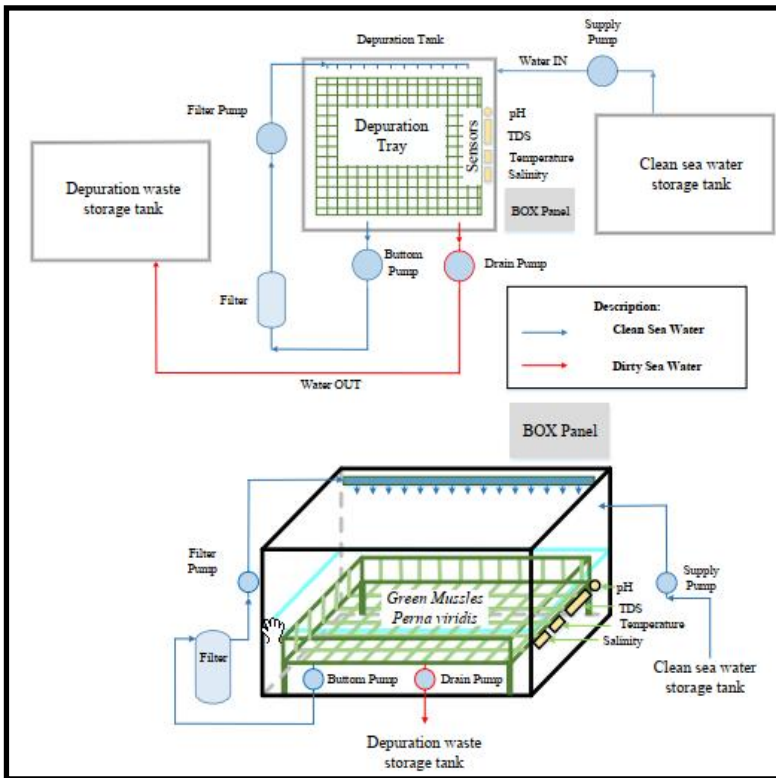
3. Perancangan Hardware Sistem Depurasi Kerang Otomatis

Perancangan *hardware* yang akan digunakan dalam implementasi alat depurasi kerang otomatis ini bertujuan untuk menciptakan kondisi lingkungan air yang stabil, steril, dan optimal bagi aktivitas penyaringan kerang, serta untuk memantau dan mengendalikan parameter kunci secara

nirkabel. Perancangan *hardware* meliputi komponen utama sebagai berikut:

- **Minimum Sistem Mikrokontroler (Arduino/ESP32):** Bertindak sebagai otak pengendali utama yang memproses input dari berbagai sensor, menjalankan logika kontrol, dan mengirimkan perintah ke aktuator (pompa, katup, lampu ultraviolet). ESP32 sering dipilih karena memiliki modul Wi-Fi dan *Bluetooth* bawaan, memudahkan integrasi dengan pemantauan nirkabel.
- **Modul Nirkabel (Wi-Fi/Bluetooth):** Digunakan untuk mengirimkan data hasil pembacaan sensor kualitas air secara *real-time* ke antarmuka pengguna (aplikasi *smartphone* atau *web server*) dan menerima perintah kontrol (misalnya, menghidupkan/mematikan pompa, mengatur jadwal depurasi) dari jarak jauh.
- **Sistem Kontrol Rangkaian Motor DC/AC:** Diperlukan untuk mengontrol aktuator berdaya tinggi:
 - Kontrol Pompa Air Laut: Mengatur laju aliran untuk sistem *flow-through* maupun sistem resirkulasi.
 - Kontrol Pompa Udara (*Aerator*): Mengatur suplai oksigen terlarut (DO) ke dalam bak depurasi.
- **Sistem Sterilisasi (Lampu Ultraviolet):** Perancangan penempatan lampu ultraviolet harus berada pada saluran sirkulasi air (sebelum air kembali ke wadah/bak kerang) untuk membunuh bakteri patogen tanpa menimbulkan stres langsung pada kerang. Sistem ini dikontrol secara otomatis oleh mikrokontroler.
- **Perangkat Sensor Kualitas Air:** Bagian paling krusial. Sensor-sensor ini harus tahan air laut (terbuat dari material yang tidak korosif) dan terhubung ke mikrokontroler untuk:

- Sensor Suhu (DS18B20/Termokopel): Memantau dan menjaga suhu air dalam rentang optimal.
- Sensor Oksigen Terlarut (DO): Memastikan DO tetap tinggi untuk kerang aktif.
- Sensor pH dan Salinitas: Memverifikasi kondisi air berada dalam toleransi fisiologis kerang.
- **Mekanisme Katup Otomatis (*Solenoid Valve*):** Digunakan untuk melakukan *water exchange* (pergantian air) secara otomatis pada jadwal yang telah diprogram atau ketika parameter air (seperti Amonia atau *Total Suspended Solid*) terdeteksi melampaui batas, terutama pada sistem resirkulasi.
- **Power Supply (Catu Daya):** Dirancang untuk memasok daya yang stabil dan aman (misalnya, adaptor DC 12 V) ke mikrokontroler, sensor dan modul kontrol motor/aktuator. Harus dipertimbangkan fitur perlindungan air (*water-resistant enclosure*) untuk keamanan operasional di lingkungan basah.
- **Struktur Wadah dan Rak Depurasi Kerang:** Perancangan bentuk bak depurasi (misalnya bak fiber) dan rak penempatan kerang harus memfasilitasi distribusi aliran air dan oksigen yang merata ke seluruh tumpukan kerang. Rak biasanya dibuat dari bahan non-korosif seperti plastik atau *stainless steel*.



Gambar 5. 2. Contoh Desain *Layout* Sistem Depurasi Otomatis (Aziz dan Suryo, 2025)

4. Perancangan Software Mikrokontroler dan Aplikasi *Monitoring*

Perancangan *software* pada sistem depurasi otomatis melibatkan dua komponen utama: pemrograman pada mikrokontroler (misalnya Arduino, terutama varian Mega atau Uno) dan pemrograman antarmuka pengguna pada perangkat *mobile* (misalnya, Android atau berbasis website). Kedua *software* ini dirancang agar dapat saling terintegrasi dan berkomunikasi melalui media transmisi Wi-Fi atau

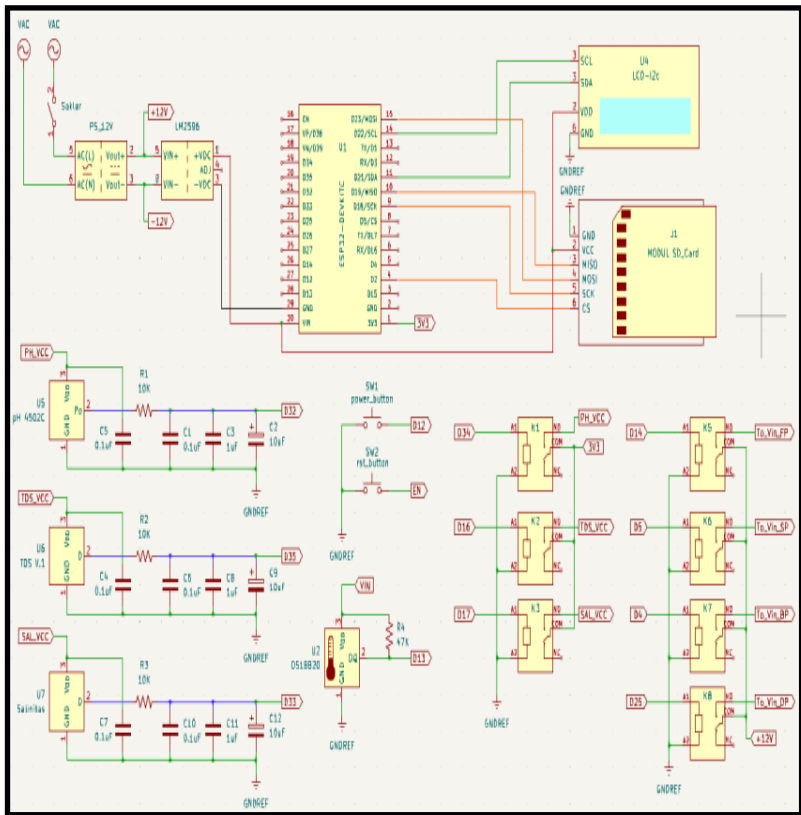
Bluetooth (atau kombinasi keduanya, terutama jika menggunakan modul ESP32).

(i) Perancangan Software pada Mikrokontroler. Perangkat lunak ini adalah *firmware* utama yang ditanamkan pada mikrokontroler (seperti Arduino atau ESP32). Fungsinya adalah menjalankan seluruh logika kontrol otomatis, termasuk:

- Akuisisi Data Sensor: Program harus secara berkala membaca data dari semua sensor kualitas air (misal: Suhu, DO, pH dan Salinitas).
- Logika Kontrol Otomatis: Program menjalankan logika *If-Then* untuk mengendalikan aktuatur berdasarkan data sensor:
 - Jika DO dibawah batas optimal, maka aktifkan Pompa Udara (Aerator).
 - Jika Suhu melebihi batas, maka aktifkan sistem pendingin (jika ada) atau matikan sementara lampu ultraviolet.
 - Jika Waktu Depurasi telah berakhir, maka matikan seluruh sistem sirkulasi dan berikan notifikasi.
- Pengendalian Sterilisasi: Program mengatur jadwal atau durasi aktivasi lampu ultraviolet pada saluran sirkulasi air untuk membunuh mikroorganisme tanpa mengganggu kerang.
- Manajemen Komunikasi: Mengatur *port* serial atau koneksi Wi-Fi/Bluetooth agar data dari sensor dapat dikirim ke aplikasi *monitoring* dan perintah kontrol dapat diterima.

(ii) Perancangan Software Aplikasi *Monitoring* (Android/Web). Aplikasi ini berfungsi sebagai dasbor bagi operator untuk memantau dan mengontrol sistem secara jarak jauh.

- Antarmuka Pengguna (UI/UX): Dirancang agar mudah digunakan, menampilkan data parameter air secara *real-time* (dalam bentuk angka dan grafik), serta status aktuatur (*ON/OFF*).
- Penerimaan dan Visualisasi Data: Aplikasi menerima data kualitas air dari mikrokontroler melalui Wi-Fi/Bluetooth dan menampilkannya secara visual, memungkinkan operator melihat tren dan status air depurasi.
- Pengiriman Perintah Kontrol: Aplikasi memungkinkan operator untuk:
 - Mengatur batas aman (*Set Point*) untuk parameter kualitas air (misal oksigen terlarut (DO), suhu dan salinitas).
 - Memulai (*Start*) atau Menghentikan (*Stop*) proses depurasi.
 - Mengaktifkan mode pergantian air (*Water Exchange*).
- Sistem Peringatan (*Alert System*): Aplikasi memberikan notifikasi segera kepada operator (*Push Notification*) jika salah satu parameter air (misal pH, DO atau suhu) terdeteksi berada di luar rentang optimal atau jika terjadi kegagalan sistem (misalnya pompa macet).



Gambar 5. 3. Contoh Skema Rangkaian Elektronika Sistem Depurasi Otomatis

Sumber: Aziz dan Suryo (2025)

5. Peralatan Sistem Depurasi Kerang Otomatis

Peralatan ini berfungsi untuk mengoptimalkan proses depurasi kerang dengan menjamin kondisi kualitas air yang stabil dan steril secara otomatis, sehingga memastikan kerang bebas kontaminan dan memenuhi standar mutu keamanan pangan. Kontrol utama dilakukan melalui perintah nirkabel dari operator, mirip dengan pengenalan suara pada contoh Anda, tetapi di sini berupa pengaturan parameter dan

monitoring jarak jauh menggunakan aplikasi *smartphone* yang terintegrasi.

(i) Komponen dan Fungsi Utama. Pembuatan peralatan meliputi perakitan komponen *hardware* dan integrasi *software* yang telah dirancang sebelumnya, sebagai berikut:

- Wadah/Bak Depurasi (Tank): Struktur utama tempat kerang direndam. Harus terbuat dari bahan yang non-korosif (misalnya, *fiberglass* atau plastik *food-grade*) dan memiliki ukuran yang memadai sesuai kapasitas kerang.
- Sistem Sirkulasi dan Filtrasi:
 - Pompa Sirkulasi: Untuk memindahkan air dari bak, melewati filter, dan kembali ke bak.
 - Unit Filter: Berisi media filter (mekanis dan biologis) untuk membersihkan partikel tersuspensi dan menguraikan senyawa nitrogen.
- Unit Sterilisasi: lampu ultraviolet ditempatkan dalam wadah kedap air pada saluran sirkulasi untuk membunuh bakteri dan virus yang dikeluarkan oleh kerang sebelum air didaur ulang.
- Panel Kontrol dan Mikrokontroler: Mikrokontroler (misalnya ESP32) ditempatkan dalam panel yang terlindungi dari air (*water-resistant enclosure*). Panel ini menampung *power supply*, modul kontrol motor (relay/driver), dan terminal sensor.
- Perangkat Sensor: Sensor Suhu, DO, pH dan Salinitas dipasang pada lokasi strategis di dalam bak atau saluran air untuk pengambilan data *real-time*.
- Aktuator: Meliputi Pompa Udara (Aerator) untuk menjaga DO tetap tinggi, dan Katup Solenoid untuk proses pengosongan atau penggantian air otomatis.

(ii) Cara Penggunaan dan Perintah Kontrol. Pengoperasian sistem depurasi otomatis dilakukan secara nirkabel melalui

aplikasi *smartphone* Android yang terhubung langsung dengan modul Wi-Fi/Bluetooth pada mikrokontroler. Operator hanya perlu memberikan perintah melalui aplikasi. Berikut adalah perintah-perintah yang dapat dieksekusi melalui aplikasi *monitoring* pada *smartphone* (Tabel 5.3):

Tabel 5. 3. Perintah (Mode Operasi) melalui Aplikasi *monitoring* pada *smartphone*

No.	Perintah (Mode Operasi)	Eksekusi Kontrol Otomatis
1.	Mulai Depurasi (<i>Start Depuration</i>)	Mikrokontroler mengaktifkan: pompa sirkulasi, pompa udara dan memulai pencatatan waktu depurasi, sambil mempertahankan parameter air sesuai batas aman (<i>set-point</i>).
2.	Ubah Parameter Kritis (<i>Set Parameter</i>)	Operator memasukkan: nilai optimal DO (mg/L) dan suhu (°C). Mikrokontroler secara otomatis menyesuaikan aktivasi Pompa Udara dan Sistem Pendingin (jika ada).
3.	Matikan Sterilisasi UV (<i>UV Off</i>)	Mikrokontroler menonaktifkan lampu ultraviolet (misalnya saat pengujian sampel air), atau jika diperlukan mode istirahat.
4.	Lakukan Pengujian Air (<i>Test Mode</i>)	Mikrokontroler: mengambil data sensor secara intensif dan menahan proses otomatis tertentu sementara operator mengambil sampel untuk uji laboratorium.
5.	Stop dan Notifikasi (<i>Stop/Finish</i>)	Mikrokontroler menonaktifkan: seluruh aktuator (pompa sirkulasi, aerator dan ultraviolet), dan mengirimkan notifikasi ke <i>smartphone</i> bahwa proses depurasi telah selesai.

6. Pengujian Peralatan Sistem Depurasi Kerang Otomatis

Pengujian alat dilakukan secara sistematis untuk menentukan keandalan dan efektivitas dari sistem depurasi kerang otomatis yang telah dirancang. Dalam tahap ini, diuji untuk mengetahui akurasi kontrol parameter air, waktu kerja optimal, ketahanan maksimal komponen, serta kecepatan respons sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan dan perintah *monitoring* nirkabel.

(i) Pengujian Fungsionalitas Sistem Kontrol. Pengujian ini berfokus pada kemampuan *hardware* dan *software* dalam menjalankan perintah dan merespons kondisi lingkungan yang terdeteksi oleh sensor (Tabel 5.4).

Tabel 5. 4. Jenis Pengujian Fungsionalitas Sistem Kontrol

No.	Jenis Pengujian	Tujuan Pengujian	Parameter yang Diuji
1	Akurasi Sensor	Membandingkan pembacaan sensor (misal Suhu, DO dan pH) dengan alat ukur standar laboratorium untuk memastikan data yang digunakan sistem akurat.	Tingkat Error (RMSE) sensor
2	Respons Aktuator	Menguji kecepatan sistem dalam merespons perintah otomatis/manual.	Waktu respons (<i>latency</i>) aerator, pompa air, ultraviolet dan katup kolenoid saat parameter melebihi <i>set-point</i> .
3	Konektivitas Nirkabel	Mengukur stabilitas komunikasi antara mikrokontroler dengan	Kecepatan transmisi data dan jangkauan

No.	Jenis Pengujian	Tujuan Pengujian	Parameter yang Diuji
		aplikasi <i>monitoring</i> (Android/Web).	koneksi Wi-Fi/Bluetooth.

(ii) Pengujian Kinerja Depurasi (Efektivitas). Pengujian ini berfokus pada hasil akhir dari proses depurasi, yaitu penurunan kontaminan dalam tubuh kerang setelah melewati siklus otomatis (Tabel 5.5).

Tabel 5. 5. Jenis Pengujian Kinerja Depurasi

No.	Jenis Pengujian	Tujuan Pengujian	Parameter yang Diuji
1	Waktu Kerja Optimal	Menentukan durasi depurasi minimum yang efektif untuk mencapai standar keamanan pangan.	Persentase penurunan kontaminan (misal Angka Lempeng Total (ALT) dan <i>coliform</i>) dalam daging kerang pada interval waktu tertentu (misalnya, 24, 48 dan 72 jam).
2	Stabilitas Kualitas Air	Menguji kemampuan sistem menjaga stabilitas air dalam rentang optimal selama proses depurasi penuh.	Misal fluktuasi DO dan suhu air dalam wadah/bak depurasi selama satu siklus 48 jam.
3	Efektivitas Sterilisasi	Mengukur kemampuan unit lampu ultraviolet dalam membunuh mikroba yang diekskresikan kerang dalam air sirkulasi.	Misal koonsentrasi mikroba pada air media sebelum dan sesudah melewati unit lampu ultraviolet.

(iii) Pengujian Ketahanan dan Keandalan. Pengujian ini menilai daya tahan komponen sistem terhadap lingkungan air laut yang korosif, berupa:

- Uji Ketahanan Maksimal (*Endurance Test*): Menjalankan sistem secara terus-menerus selama periode waktu yang lama (misalnya, 7 hari) untuk mengidentifikasi potensi kegagalan komponen (misalnya, pompa, sensor, atau sambungan).
- Keandalan Sistem: Memastikan sistem dapat beroperasi tanpa *bug* atau *crash* pada *firmware* dan bahwa *hardware* terlindungi dari lingkungan lembap dan korosif.

7. Analisis Sistem Depurasi Kerang Otomatis

Analisis dilakukan terhadap hasil dari pengujian (fungsionalitas sistem kontrol dan kinerja depurasi) untuk menentukan karakteristik, efektivitas, dan keandalan dari sistem depurasi kerang otomatis yang telah dirancang. Tujuan akhir analisis adalah mengidentifikasi kekurangan sistem dan menyarankan penyempurnaan agar alat depurasi dapat berfungsi optimal dalam menjamin mutu dan keamanan pangan hasil perikanan kerang.

(i) Analisis Kinerja Kontrol Hardware. Analisis ini berfokus pada seberapa baik sistem otomatis mempertahankan kondisi air yang ideal.

- Analisis Akurasi dan Presisi Sensor: Membandingkan data sensor dengan data standar untuk menghitung persentase error. Jika error tinggi, perlu dilakukan kalibrasi ulang atau penggantian sensor.
- Analisis Respons Sistem: Mengukur waktu yang dibutuhkan aktuator (misalnya pompa air, *aerator* dan ultraviolet) untuk merespons perubahan kondisi air.

Respon yang lambat (misalnya, suplai oksigen terlambat) akan meningkatkan risiko stres pada kerang.

- **Analisis Stabilitas Parameter:** Menganalisis grafik fluktuasi parameter kualitas air (misal suhu dan DO) sepanjang siklus depurasi. Stabilitas yang buruk menunjukkan perlunya penyesuaian pada logika kontrol mikrokontroler atau peningkatan kapasitas aktuator.

(ii) **Analisis Efektivitas Depurasi.** Analisis ini adalah inti dari keberhasilan sistem, yaitu penurunan tingkat kontaminan.

- **Analisis Penurunan Kontaminan pada Kerang:** Menganalisis data pengujian kontaminan (misal Angka Lempeng Total (ALT) dan E. coli) pada daging kerang pada jangka waktu yang berbeda (misalnya, jam ke-0, 24, 48).
- **Karakteristik yang Ditetapkan:** penentuan kemampuan sistem depurasi yang dirancang mampu menurunkan cemaran hingga dibawah ambang batas yang disyaratkan oleh SNI atau standar keamanan pangan lain dalam waktu yang efisien (misalnya, 48 jam).

(iii) Analisis Efisiensi Waktu Depurasi: Menghitung durasi proses depurasi yang paling ekonomis yang dapat mencapai target keamanan (misal jika penurunan koliform signifikan terjadi pada 48 jam, maka 72 jam dianggap tidak efisien).

(iv) Analisis Kualitas Air Pasca-Siklus: Menganalisis kandungan cemaran perairan (misal amonia atau *total suspended solid*) dalam sistem depurasi kerang otomatis. Peningkatan tajam menunjukkan adanya kegagalan pada sistem filtrasi, yang memerlukan penyempurnaan pada media filter atau laju *water exchange*.

(v) Analisis Keandalan dan Kenyamanan Operasional, berupa:

- Analisis Keandalan Jangka Panjang: Menganalisis hasil *endurance test* untuk mengidentifikasi komponen mana yang rentan terhadap korosi atau kerusakan akibat kelelahan material (*fatigue*), dan merekomendasikan penggantian material yang lebih tahan air laut.
- Analisis *User Experience* (UX) Aplikasi: Mengevaluasi kemudahan pengguna dalam memonitor parameter dan mengirim perintah kontrol melalui aplikasi *smartphone*. Hal ini memastikan sistem dapat dioperasikan secara nyaman dan intuitif oleh operator tanpa memerlukan pelatihan teknis mendalam.

5.3 Evaluasi Mandiri

Indikator Penilaian BAB V: Potensi Kota Sorong dan Pengembangan Sistem Depurasi Kerang Otomatis

Petunjuk: Soal pilihan ganda; Pilihlah satu jawaban yang paling tepat (A, B, C atau D).

1. Langkah awal perancangan sistem depurasi kerang otomatis yang dilakukan untuk mencari materi penunjang dari buku dan jurnal adalah.....

- A. Pemodelan Sistem
- B. Pengujian Kinerja Depurasi
- C. Studi Literatur Sistem Depurasi
- D. Perancangan Hardware

2. Metode kontrol yang digunakan dalam sistem depurasi otomatis untuk menjaga stabilitas parameter air agar kerang dapat melakukan depurasi secara optimal adalah.....

- A. *Open-loop control*
- B. *Batch processing*
- C. *Closed-loop control*
- D. *Manual operation*

3. Dalam tahap identifikasi sistem depurasi otomatis, yang termasuk Variabel Proses (Terukur) adalah.....

- A. Daya pompa air dan intensitas lampu UV
- B. Tingkat penurunan cemaran dalam daging kerang
- C. Kadar Oksigen Terlarut (DO), Suhu air dan pH
- D. Frekuensi pergantian air

4. Tujuan utama (Output) dari sistem depurasi kerang otomatis adalah.....

- A. Pengaturan suhu air yang ideal
- B. Tingkat penurunan cemaran (bakteri, logam berat, toksin) dalam daging kerang
- C. Laju sirkulasi air yang tinggi
- D. Otomatisasi proses pencucian kerang

5. Komponen hardware yang sering dipilih sebagai otak pengendali utama (Mikrokontroler) dalam sistem depurasi karena memiliki modul Wi-Fi dan Bluetooth bawaan adalah.....

- A. Arduino Uno
- B. ESP32
- C. Raspberry Pi (tanpa modul nirkabel)
- D. Modul Relay

6. Dalam sistem depurasi otomatis, penempatan Lampu Ultraviolet (UV) harus berada pada.....
- A. Wadah/bak kerang secara langsung
 - B. Saluran sirkulasi air (sebelum air kembali ke bak kerang)
 - C. Panel kontrol
 - D. Bagian dasar wadah depurasi
7. Perangkat yang digunakan untuk melakukan *water exchange* (pergantian air) secara otomatis pada jadwal yang telah diprogram adalah.....
- A. Pompa Sirkulasi
 - B. Sensor Suhu
 - C. Pompa Udara (*Aerator*)
 - D. Mekanisme Katup Otomatis (*Solenoid Valve*)
8. Sensor yang berfungsi untuk memastikan DO tetap tinggi dan memverifikasi kondisi air berada dalam toleransi fisiologis kerang adalah.....
- A. Sensor Suhu (DS18B20)
 - B. Sensor Amonia
 - C. Sensor Oksigen Terlarut (DO)
 - D. Sensor *Total Suspended Solid* (TSS)
9. Dalam perancangan hardware, wadah/bak dan rak depurasi kerang harus dibuat dari bahan non-korosif seperti.....
- A. Besi
 - B. Tembaga
 - C. *Fiberglass* atau *stainless steel*
 - D. Kayu

10. Program pada mikrokontroler menjalankan logika If-Then untuk mengendalikan aktuator. Contoh logika If-Then yang tepat adalah.....
- A. Jika Suhu optimal, maka matikan Pompa Udara.
 - B. Jika DO di bawah batas optimal, maka aktifkan Pompa Udara (Aerator).
 - C. Jika Waktu Depurasi telah berakhir, maka aktifkan seluruh sistem.
 - D. Jika Salinitas ideal, maka matikan Pompa Air Laut.
11. Dalam perancangan Software Aplikasi Monitoring, fungsi Sistem Peringatan (*Alert System*) utamanya adalah.....
- A. Memvisualisasikan data historis kualitas air.
 - B. Mengatur jadwal Depurasi mingguan.
 - C. Memberikan notifikasi (*Push Notification*) jika parameter air di luar rentang optimal.
 - D. Merekam perintah kontrol manual oleh operator.
12. Perintah "Stop dan Notifikasi (Stop/Finish)" pada aplikasi monitoring akan mengakibatkan.....
- A. Mikrokontroler hanya menonaktifkan Pompa Sirkulasi.
 - B. Mikrokontroler hanya mengirimkan notifikasi tanpa mematikan aktuator.
 - C. Mikrokontroler menonaktifkan seluruh aktuator dan mengirimkan notifikasi selesai.
 - D. Mikrokontroler memulai proses *Water Exchange*.

13. Tahap Pengujian Peralatan yang berfokus pada membandingkan pembacaan sensor dengan alat ukur standar laboratorium untuk memastikan data akurat disebut....

- A. Pengujian Respons Aktuator
- B. Pengujian Konektivitas Nirkabel
- C. Pengujian Akurasi Sensor
- D. Pengujian Kinerja Depurasi

14. Jenis pengujian yang bertujuan mengukur kemampuan sistem dalam membunuh mikroba yang dikeluarkan kerang dalam air sirkulasi adalah.....

- A. Pengujian Waktu Kerja Optimal
- B. Pengujian Stabilitas Kualitas Air
- C. Pengujian Efektivitas Sterilisasi
- D. Pengujian Respons Aktuator

15. Untuk mengukur keandalan jangka panjang sistem depurasi otomatis, dilakukan.....

- A. Pengujian Stabilitas Kualitas Air
- B. Pengujian Akurasi Sensor
- C. Uji Ketahanan Maksimal (*Endurance Test*)
- D. Pengujian Kinerja Depurasi

16. Analisis yang bertujuan menghitung durasi proses depurasi yang paling ekonomis namun tetap mencapai target keamanan pangan disebut.....

- A. Analisis Kinerja Kontrol Hardware
- B. Analisis Keandalan Jangka Panjang
- C. Analisis Kualitas Air Pasca-Siklus
- D. Analisis Efisiensi Waktu Depurasi

17. Model matematika yang dianjurkan untuk memodelkan dinamika kualitas air, khususnya untuk Oksigen Terlarut (DO) pada proses depurasi, adalah.....
- A. Model Keseimbangan Energi
 - B. Model Regresi Linier
 - C. Model Keseimbangan Massa
 - D. Model Persamaan Navier-Stokes
18. Jika analisis menunjukkan adanya peningkatan tajam Amonia atau *Total Suspended Solid* (TSS) pada air pasca-siklus depurasi, hal ini mengindikasikan adanya kegagalan pada.....
- A. Sistem Aerasi
 - B. Sistem Filtrasi
 - C. Unit Sterilisasi Ultraviolet
 - D. Sensor pH
19. Analisis *User Experience* (UX) Aplikasi bertujuan untuk mengevaluasi.....
- A. Kecepatan respons aktuator terhadap perintah.
 - B. Kemudahan pengguna dalam memonitor dan mengirim perintah kontrol melalui smartphone.
 - C. Tingkat error sensor suhu dan DO.
 - D. Persentase penurunan bakteri *Coliform*.
20. Model matematika yang digunakan dalam Pemodelan Sistem menjadi acuan bagi mikrokontroler untuk.....
- A. Memilih bahan *water-resistant* untuk *enclosure*.
 - B. Mengukur stabilitas koneksi Wi-Fi.
 - C. Mengaktifkan atau mematikan aerator dan pompa air secara otomatis.
 - D. Merancang Antarmuka Pengguna (UI/UX) aplikasi.

Indikator Penilaian BAB V: Potensi Kota Sorong dan Pengembangan Sistem Depurasi Kerang Otomatis

Petunjuk: Kriteria Target Penguasaan (Target $\geq 80\%$; 16 Soal)

1. Jawaban: C
2. Jawaban: C
3. Jawaban: C
4. Jawaban: B
5. Jawaban: B
6. Jawaban: B
7. Jawaban: D
8. Jawaban: C
9. Jawaban: C
10. Jawaban: B
11. Jawaban: C
12. Jawaban: C
13. Jawaban: C
14. Jawaban: C
15. Jawaban: C
16. Jawaban: D
17. Jawaban: C
18. Jawaban: B
19. Jawaban: B
20. Jawaban: C

DAFTAR PUSTAKA

- Aminin, A. R. Rahim dan N. M. Safitri. 2020. Respons Teknologi Depurasi terhadap Kadar Timbal (Pb) dalam Kerang Hijau Hasil Pembudidayaan Di Pantai Banyuurip Kecamatan Ujung Pangkah Kabupaten Gresik. Jurnal Perikanan Pantura (JPP) Volume 3 , Nomor 2, September. pp. 23-35.
- Arapov, J., D. Ezgeta-Balić, M. Peharda, Ž. Ninčević Gladan. 2010. Bivalve Feeding-How and What They Eat?. Ribarstvo, 68 (3). ISSN 1330-061X. pp. 105-116.
- Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia Perwakilan Provinsi Papua Barat (BPK RI-Papua Barat). 2025. Profil Entitas Kota Sorong. Manokrawi-Papua Barat. <https://papuabarat.bpk.go.id/kota-sorong/>
- Badan Pengendalian dan Pengawasan Mutu Hasil Kelautan dan Perikanan (BPPMHKP). 2025. Keputusan Kepala Badan Pengendalian dan Pengawasan Mutu Hasil Kelautan dan Perikanan Nomor 30 Tahun 2025 tentang Penetapan Laboratorium Acuan dan Penguji dalam Rangka *Official Control* Sistem Jaminan Mutu Hasil Kelautan dan Perikanan. Kementerian Kelautan dan Perikanan. Jakarta. 90 hal.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM). 2025. Formalin. Jakarta. <https://www.pom.go.id/berita/formalin>

- Campbell, V. M., A. Chouljenko and S. G. Hall. 2022. Depuration of live oysters to reduce *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus*: A review of ecology and processing parameters. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* (21). 3480–3506.
- Dewan Pertimbangan Presiden (Wantimpres). 2017. Potensi Perikanan Indonesia. Kementerian Sekretariat Negara Republik Indonesia. Jakarta.
<https://wantimpres.go.id/id/2017/04/potensi-perikanan-indonesia/>
- Firdaus, A. R., A. S. Mubarak and W. Tjahjaningsih. 2020. The effect of depuration on lead levels of the cockles *Anadara* sp. by using activated carbon as a filter. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 441. doi:10.1088/1755-1315/441/1/012036.
- Gerssen, A., I. E. Pol-Hofstad, M. Poelman, P. P. J. Mulder, H. J. van den Top and J. de Boer. 2010. Marine toxins: chemistry, toxicity, occurrence and detection, with special reference to the Dutch situation. *Toxins* (Basel). Apr; 2(4): doi: 10.3390/toxins2040878. pp. 878-904.
- Guimarães-Filho, C. E. F, F. A. A. Calixto, M. C. Kasnowski and E. F. M. Mesquita. 2022. Depuration of bivalve molluscs: a literature review. *Food Sci. Technol*, Campinas, 42, e06622. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.06622>. pp. 1-5.

- Helm, M. M., N. Bourne And A. Lovatelli. 2004. Hatchery Culture Of Bivalves. Fao Fisheries Technical Paper 471. Food And Agriculture Organization Of The United Nations. Rome. ISBN 92-5-105224-7. ISSN 0429-9345.
- Isani, G. and E. Carpenè. 2014. Metallothioneins, Unconventional Proteins from Unconventional Animals: A Long Journey from Nematodes to Mammals. *Biomolecules*. Apr 22;4(2):435-57. doi: 10.3390/biom4020435. PMID: 24970224; PMCID: PMC4101491.
- Künili, I. E. 2024. Comparative analysis of the efficiency of different commercial depuration systems and the evaluation of species-specific depuration conditions in bivalve mollusc production. *Aquacultural Engineering* Volume 107, 102468. ISSN 0144-8609. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2024.102468>.
- Lees, D., A. Younger and B. Dore. 2010. World Health Organization (WHO). Safe Management of Shellfish and Harvest Waters. Bab 9: Depuration and Relaying. Edited by: G. Rees, K. Pond, D. Kay, J. Bartram and J. Santo Domingo. ISBN: 9781843392255. Published by IWA Publishing, London, United Kingdom. pp: 145-180.

- Mo, K., C. Wei, M. Bai, X. Long, X. Liu and H. Ding. 2024. Elimination Patterns of Dimetridazole in Egg of Laying Hens and Tissues of Broiler After Oral Administration. *Front Vet Sci*, Jul 23:11:1451904. doi: 10.3389/fvets.2024.1451904. pp. 01-09.
- Palar, H. 2004. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta. Jakarta.
- Rodrick, G. E. and K. R. Schneider. 2009. Molluscan Shellfish Depuration. University of Florida, Department of Food Science and Human Nutrition. Gainesville, Florida 32611-0370.
<https://www.researchgate.net/publication/285719402>. pp. 409-439.
- Salton, M. R. J. and K. S. Kim KS. 1996. Structure. In: Baron S, editor. *Medical Microbiology*. 4th edition. Galveston (TX): University of Texas Medical Branch at Galveston. Chapter 2. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK8477/>
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2009. SNI 3460.1:2009 Daging Kerang Beku-Bagian 1: Spesifikasi. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2017. SNI 3460:2017 Daging Kerang Masak Beku. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

- Syah, S. A. A. dan Y. A. Suryo. 2025. Sistem Depurasi Otomatis pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) untuk Menunjang Keamanan Pangan. Volume 7 Nomor 1 Januari. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*. e-ISSN: 2715-0887. p-ISSN: 2654-7813. 10 pp.
- The Geesthacht Analytical Laboratory (GALAB). 2023. Chloramphenicol and Nitrofurans. Hamburg-Bergedorf. Germany.
<https://www.galab.com/chloramphenicol-and-nitrofurans/>
- Unit Layanan Biologi. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Airlangga (ULP FST UNAIR). 2020. *Anadara granosa*. Kampus C Mulyorejo 60115, Surabaya.
- World Register of Marine Species (WoRMS). 2025. *Anadara antiquata* (Linnaeus, 1758). LifeWatch. Belgium.
<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdet&ails&id=207754>
- World Register of Marine Species (WoRMS). 2025. *Asaphis deflorata* (Linnaeus, 1758). LifeWatch. Belgium.
<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdet&ails&id=213509>
- World Register of Marine Species (WoRMS). 2025. *Geloina expansa* (Mousson, 1849). LifeWatch. Belgium.

<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=747114>

World Register of Marine Species (WoRMS). 2025. *Paratapes undulatus* (Born, 1778). LifeWatch. Belgium. <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=863082>

World Register of Marine Species (WoRMS). 2025. *Perna viridis* (Linnaeus, 1758). LifeWatch. Belgium. <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=367822>

World Register of Marine Species (WoRMS). 2025. *Placuna placenta* (Linnaeus, 1758). LifeWatch. Belgium. <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=367820>

World Register of Marine Species (WoRMS). 2025. *Trisidos tortuosa* (Linnaeus, 1758). LifeWatch. Belgium. <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=504475>

Zanette, J., J. V. Goldstone, A. C. D. Bainy and J. J. Stegeman. 2009. Identification of CYP genes in *Mytilus* (mussel) and *Crassostrea* (oyster) species: first approach to the full complement of cytochrome P450 genes in bivalves. *Mar Environ Res.* 2010;69 Suppl:S1-3. doi: 10.1016/j.marenvres.2009.10.013. Epub 2009 Nov 18. PMID: 19926125; PMCID: PMC2891413.

PROFIL PENULIS



Dra. Endang Gunaisah M.Si. Penulis menjabat sebagai Dosen Program Studi D-III Teknik Penangkapan Ikan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong. Penulis dilahirkan di Brebes, tanggal 21 September 1965. Penulis menempuh pendidikan sarjana Pendidikan Biologi di Universitas Sebelas Maret-Surakarta dan pendidikan magister Teknologi Kelautan di Institut Pertanian Bogor.



Akbar Falah Tantri, S.Pi., M.Si. Penulis menjabat sebagai Dosen Program Studi D-III Teknik Budidaya Perikanan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong. Penulis dilahirkan di Surabaya, tanggal 12 Maret 1992. Penulis menempuh pendidikan sarjana di Program Studi Budidaya Perairan Universitas Airlangga-Surabaya dan pendidikan magister di Program Studi Bioteknologi Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga-Surabaya.



Ashr Hafiizh Tantri, S.Kom., M.Kom. Penulis menjabat sebagai Dosen Program Studi S1-Informatika, Universitas Muhammadiyah Surabaya. Penulis dilahirkan di Surabaya, tanggal 02 November 1993. Penulis menempuh pendidikan sarjana di Program Studi Sistem Informasi Institut Teknologi 10 Nopember-Surabaya, pendidikan magister di Program Studi Sistem Informasi Institut Teknologi 10 Nopember-Surabaya.



Arnest Rachmawan Tantri. Penulis merupakan mahasiswa S1 Teknik Arsitektur, Universitas Muhammadiyah Surabaya. Penulis dilahirkan di Surabaya, tanggal 23 September 2001. Penulis pernah menjadi anggota di Himpunan Desainer Mebel Indonesia, Masyarakat Relawan Indonesia (MRI) dan Resilience Model United Nations. Penulis memiliki sertifikasi Training Menyusun HIRADC-JSA-Laporan Investigasi Kecelakaan dan sertifikasi Ahli K3 Muda Konstruksi.