

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Klasifikasi Udang Vanamei

Udang vanamei dikenal luas dengan nama lain udang putih dengan nama latin Lito Penaeus vannamei. Udang ini termasuk pemakan segala atau omnivore (omnivorus scavenger) pemakan detritud. Klasifikasi udang vannamei menurut (Effendie 1997., Tseng, 1987) adalah sebagai berikut :

Kingdom : Animalia

Sub Kingdom : Metazoa

Filum : Arthropoda

Subfilum : Chrustacea

Kelas : Melacostraca

Sub kelas : Eumalacostraca

Superordo : Eucarida

Ordo : Decapoda

Subordo : Dendrobrachiata

Famili : Paneidae

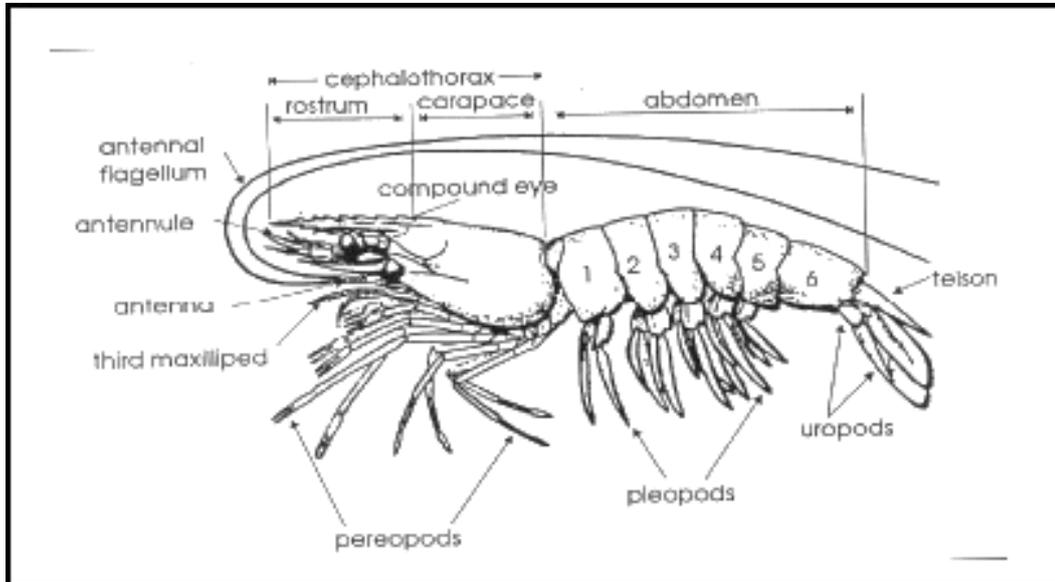
Genus : Litopenaeus

Species : *Litopenaeus vannamei*

2.1.1 Morfologi

Tubuh udang vannamei dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian kepala dan bagian badan. Bagian kepala menyatu dengan bagian dada disebut cephalothorax yang terdiri dari 13 ruas, yaitu 5 ruas di bagian kepala dan 8 ruas di bagian dada. Bagian badan dan abdomen terdiri dari 6 ruas, tiap-tiap ruas (segmen)

mempunyai sepasang anggota badan (kaki renang) yang beruas-ruas pula. Ujung ruas keenam terdapat ekor kipas 4 lembar dan satu telson yang berbentuk runcing (Wyban dan Sweeney, 1991).



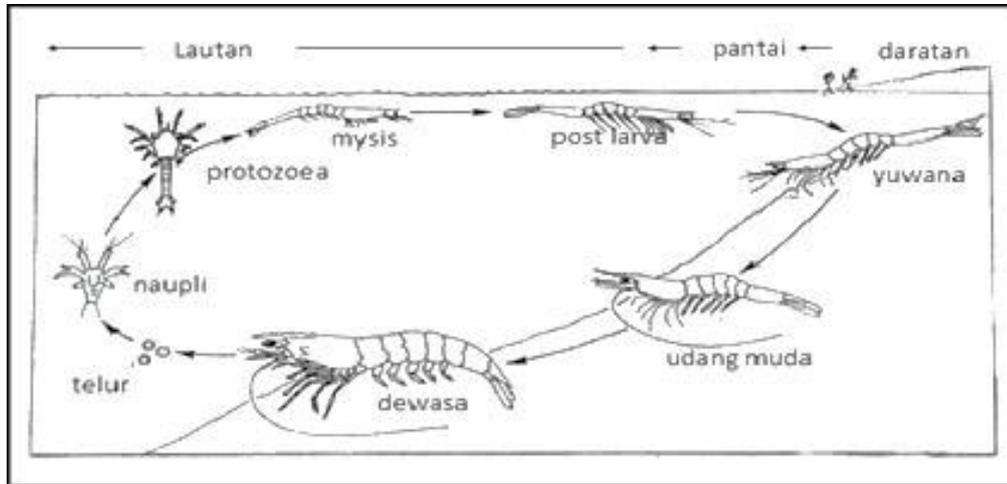
Gambar 2.1 Morfologi udang vannamei (Warsito, 2012).

Udang vannamei termasuk genus *Penaeus* dicirikan oleh adanya gigi pada rostrum bagian atas dan bawah, mempunyai dua gigi di bagian ventral dari rostrum dan gigi 8-9 di bagian dorsal serta mempunyai antena panjang (Elovaara, 2001). Menurut Kordi (2007), juga menjelaskan bahwa kepala udang vannamei terdiri dari antena, antenula, dan 3 pasang maxilliped. Kepala udang vannamei juga dilengkapi dengan 3 pasang maxilliped dan 5 pasang kaki berjalan (periopoda). Maxilliped sudah mengalami modifikasi dan berfungsi sebagai organ untuk makan. Pada ujung peripoda beruas-ruas yang berbentuk capit (dactylus). Dactylus ada pada 8 kaki ke-1, ke-2, dan ke-3. Abdomen terdiri dari 6 ruas, ada bagian abdomen terdapat 5 pasang (pleopoda) kaki renang dan sepasang uropods (ekor) yang membentuk kipas bersama-sama telson (Suyanto dan Mujiman, 2004).

2.1.2 Habitat dan Siklus Hidup

Udang vanammei adalah jenis udang laut yang habitat aslinya di daerah dasar dengan kedalaman 72 meter. Udang vannamei dapat ditemukan di perairan atau lautan Pasifik mulai dari Mexico, Amerika Tengah dan Selatan. Habitat udang vannamei berbeda-beda tergantung dari jenis dan persyaratan hidup dari tingkatan-tingkatan dalam daur hidupnya. Umumnya udang vannamei bersifat bentis dan hidup pada permukaan dasar laut. Adapun habitat yang disukai oleh udang vannamei adalah dasar laut yang lumer (soft) yang biasanya campuran lumpur dan pasir (Haliman dan Adijaya, 2006). Menurut Haliman dan Adijaya (2006), bahwa induk udang vannamei ditemukan diperairan lepas pantai dengan kedalaman berkisar antara 70-72 meter (235 kaki). Udang ini menyukai daerah yang dasar perairannya berlumpur. Sifat hidup dari udang vannamei adalah catadromous atau dua lingkungan, dimana udang dewasa akan memijah di laut terbuka. Setelah menetas, larva dan yuwana udang vannamei akan bermigrasi ke daerah pesisir pantai atau mangrove yang biasa disebut daerah estuarine tempat nurseri groundnya, dan setelah dewasa akan bermigrasi kembali ke laut untuk melakukan kegiatan pemijahan seperti pematangan gonad (maturasi) dan perkawinan (Wyban dan Sweeney, 1991). Menurut Haliman dan Adijaya (2006), perkembangan Siklus hidup udang vannamei adalah dari pembuahan telur berkembang menjadi naupli, mysis, post larva, juvenil, dan terakhir berkembang menjadi udang dewasa. Udang dewasa 9 memijah secara seksual di air laut dalam. Masuk ke stadia larva dari stadia nauplii sampai pada stadia juvenil berpindah ke perairan yang lebih dangkal dimana terdapat banyak vegetasi yang dapat berfungsi sebagai tempat pemeliharaan. Setelah mencapai remaja, mereka kembali ke laut lepas menjadi dewasa dan siklus

hidup berlanjut kembali. Habitat dan siklus hidup udang vannamei dapat dilihat pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2. Siklus hidup udangvannamei (Wyban and Sweeney, 1991).

Hendrajat dan Mangampa (2007), menyatakan bahwa udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) semula digolongkan kedalam hewan pemakan segala macam bangkai (omnivorusscavenger) atau pemakan detritus. Usus udang menunjukkan bahwa udang ini adalah merupakan omnivora, namun cenderung karnivora yang memakan crustacea kecil dan polychaeta. Adapun sifat yang dimiliki udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*), menurut (Fegan, 2003) adalah sebagai berikut:

1. Nocturnal Secara alami udang merupakan hewan nocturnal yang aktif pada malam hari untuk mencari makan, sedangkan pada siang hari sebagian dari mereka bersembunyi di dalam substrat atau lumpur.
2. Kanibalisme: Udang vannamei suka menyerang sesamanya, udang sehat akan menyerang udang yang lemah terutama pada saat *moulting* atau udang sakit. Sifat kanibal akan muncul terutama bila udang tersebut dalam keadaan kekurangan pakan pada padat tebar tinggi.

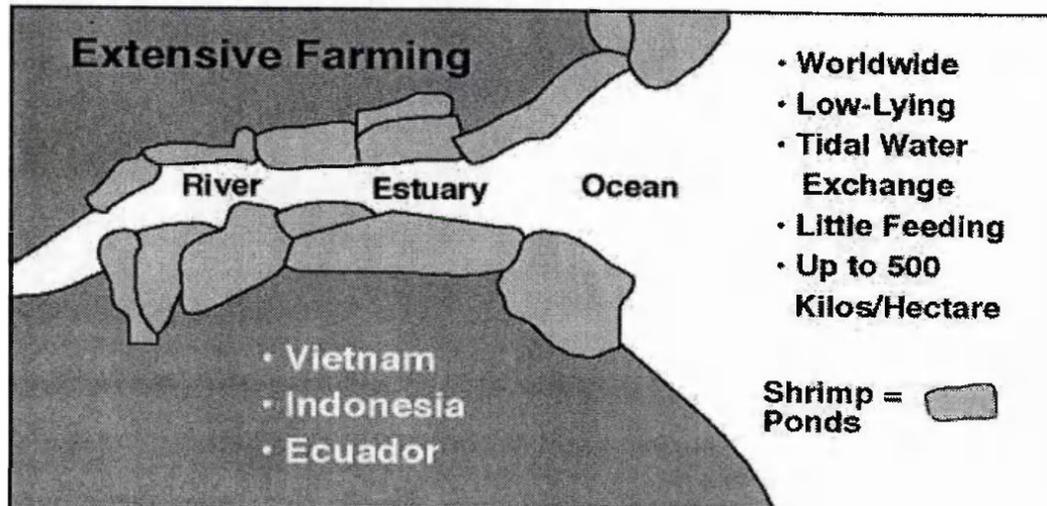
3. Omnivora: Udang vannamei termasuk jenis hewan pemakan segala, baik dari jenis tumbuhan maupun hewan (*omnivora*), sehingga kandungan protein pakan yang diberikan lebih rendah dibandingkan dengan pakan untuk udang windu yang bersifat cenderung karnivora, sehingga biaya pakan relatif lebih murah.

2.2 Budidaya Udang Vanamei

Indonesia adalah salah satu produsen udang terbesar di Asia Tenggara diawali dengan industri udang windu di era tahun 1980 dengan udang windu dan kemudian berubah udang vanamei pada tahun 2000 an. Adanya serangan virus di tahun 1992 menyebabkan kolapnya industri udang windu di kala itu sehingga banyak petambak yang mencoba dengan membudidayakan spesies lain yaitu udang vanamei. Udang vanamei pertama kali di introduksi di Indonesia pada tahun 2002 di Jawa Timur. Budidaya udang vanamei sekarang telah menyebar ke seluruh Indonesia dari Sumbawa, Sumatra, Maluku dan Kalimantan. Teknologi budidaya udang vanamei di Indonesia sangat bervariasi tergantung kondisi lingkungan serta kondisi permodalan yang ada sehingga udang ini bisa dibudidayakan oleh petambak tradisional maupun petambak besar dengan menyesuaikan tingkatan teknologi yang digunakan. (Taw, 2005).

Berbagai model budidaya udang diantaranya budidaya udang secara tradisional (*extensive shrimp farming system*) yaitu budidaya udang yang dilakukan di tambak tambak masyarakat secara umum dengan mengandalkan pasokan air dari adanya pasang dan surut air laut. Lokasi budidaya udang system tradisional berada pada wilayah pasang surut dan biasanya pada Kawasan yang masih memiliki hutan bakau yang masih alami. Bentuk tambak system tradisional cenderung tidak

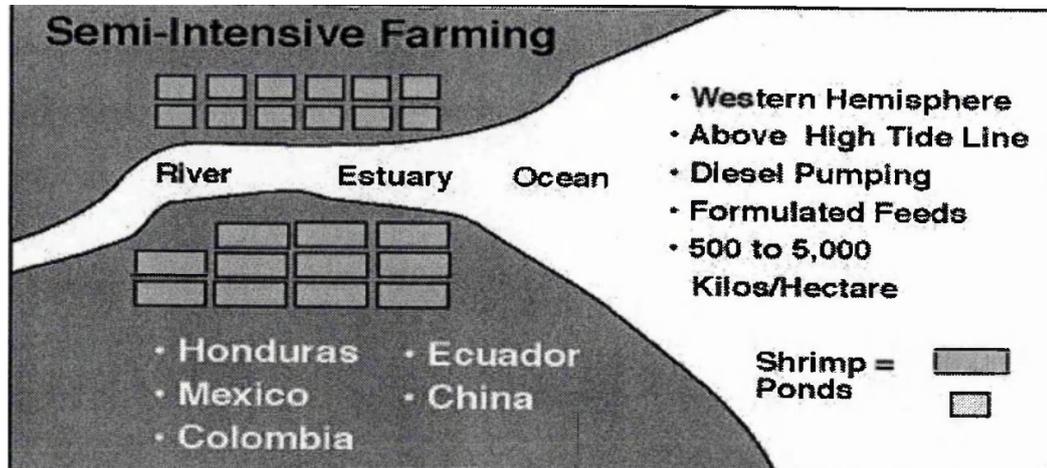
beraturan namun ukuran tambak per petak biasanya lebih luas dibanding tambak semi intensif maupun intensif. Dalam penerapannya biasanya tidak memelihara satu jenis spesies tetapi sistem campuran atau polyculture dengan ikan maupun rumput laut. Pada awal mulanya budidaya ini masih mengandalkan masuknya benih udang dari alam sehingga lokasi menentukan produktifitas dari tambak tersebut. Lokasi dimana masih banyak tanaman bakau dianggap lokasi yang strategis karena dipastikan benih udang alami masih banyak di dapati di Kawasan tersebut. Selain itu adanya bakau dan tanaman lainya mampu menjadi sumber produktifitas alami tambak tersebut dengan adanya serasah dari tanaman yang membusuk dapat dijadikan media yang bagus untuk budidaya udang system ini. Proses dekomposisi bahan organik dari daun daunan tanaman bakau menjadi sumber utama produktifitas heterothropis yang sangat baik untuk mendukung tumbuhnya pakan alami bagi udang. Budidaya system ini biasanya dilakukan tanpa menggunakan pemberian pakan, namun memanfaatkan produkstifitas alami suatu perairan maupun tanah tambak pada kawasan tersebut. Untuk meningkatkan produktifitas alami biasanya digunakan pupuk dengan kandungan utama nitrogen, phosphor dan kalium (NPK) maupun penggunaan pupuk organik. Kepadatan udang yang ditebar per meter persegi cukup rendah antara kisaran 0,5-4 ekor/meter persegi. Produktifitas dengan system ini dari tahun ke tahun mengalami penurunan yang cukup signifikan dibanding dengan beberapa decade sebelumnya. Pada awal budidaya udang di Indonesia, system tradisional bisa mencapai produktifitas 500-1000 kg/ hektar, namun secara terus menerus menurun hingga sekarang hanya mencapai 100-300 kg/ hektar. Gambar skema budidaya system tradisional digambarkan pada gambar 2.3



Gambar 2.3. Skema system budidaya tradisional (Rosenberry 1999).

Sistem budidaya berikutnya adalah system semi intensif yaitu sebuah system budidaya yang menerapkan tambahan bahan maupun alat untuk menaikkan daya dukung tambak untuk bisa memelihara udang dengan densitas antara 10-30 ekor/meter persegi. Konstruksi tambak dibangun dengan menggali maupun membuat tanggul keliling berbentuk persegi untuk menampung air media budidaya udang (lihat gambar 2.4). Teknologi ini tidak lagi mengandalkan air pasang surut seperti sistim tradisional, melainkan menggunakan pompa baik bertenaga listrik maupun poma diesel yang digunakan untuk mengisi air ke dalam petak tambak. Densitas udang berkisar antara 10-30 meter per ekor, sehingga produksi yang dihasilkan bisa lebih tinggi dibanding teknologi tradisional. Penambahan densitas pada system budidaya ini diikuti dengan penambahan kebutuhan energi untuk memenuhi kebutuhan oksigen yang mendukung pertumbuhan udang. Disamping itu, penambahan pakan juga dilakukan untuk mencukupi kebutuhan pertumbuhan udang. Teknologi ini banyak diterapkan secara luas di Indonesia oleh para pembudidaya bermodal kecil dan bersifat perorangan. Pakan udang dibutuhkan untuk mendukung pertumbuhan udang secara maksimal apabila menerapkan

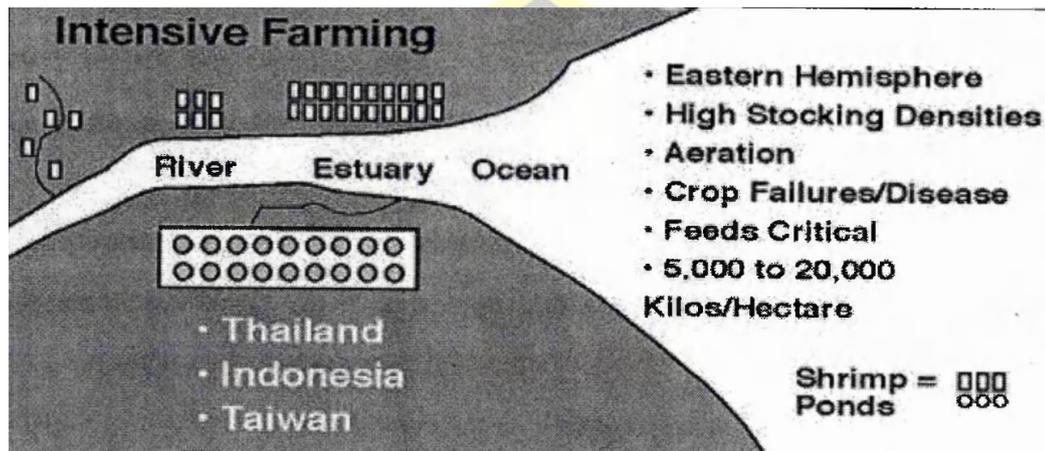
system ini. Selain pakan juga dibutuhkan energi listrik untuk mendukung kenaikan daya dukung per meter persegi tambak. Pergantian air sebanyak 5-30 persen juga dilakukan dalam jumlah tertentu dengan menggunakan pompa.



Gambar 2.4 Skema Kawasan budidaya system semi intensif (Rosenberry, 1999)

Teknologi berikutnya adalah teknologi intensif dan super intensif. Budidaya system intensif biasanya dilakukan oleh pembudidaya bermodal besar dan dalam skala usaha yang lebih besar. Konstruksi biasanya hamper sama pada system semi intensif, namun ada juga yang terbuat dari beton full maupun tambak yang dilapisi plastic HDPE untuk menahan air media dari kebocoran. Tambak intensif dalam unitnya memiliki petakan untuk treatment air sebelum digunakan untuk budidaya, yang disebut tandon air. Tandon air berfungsi ganda yaitu sebagai tempat penampungan air dan biasanya dipakai untuk petak sterilisasi air media. Densitas udang yang dipelihara untuk udang vanamei berkisar antara 60-150 ekor per meter persegi. Tambahan alat dan bahan pendukung cukup banyak untuk menerapkan teknologi ini, salah satu yang paling utama adalah penggunaan aerator baik berupa kincir maupun blower untuk mensuplai oksigen. Penggunaan pakan dan energi listrik pada system intensif ini yang dianggap berdampak secara langsung pada pencemaran maupun kerusakan lingkungan apabila tidak dikendalikan secara benar

dalam pengembangannya. Kebutuhan pakan udang yang cukup tinggi untuk memproduksi setiap 1 ton udang menjadi perhatian penting dalam pengelolaan system budidaya udang. Efisiensi dalam menkonversi pakan udang menjadi daging udang sangat menentukan tingkat keuntungan maupun tingkat dampak lingkungan yang ditimbulkan.



Gambar 2.5 Skema Kawasan Budidaya Udang System Intensif

Kurun waktu beberapa tahun belakangan berkembang teknologi super intensif dalam memproduksi udang. Sistem ini udang dipelihara dalam densitas yang cukup tinggi kisaran 150-500 ekor per meter persegi sehingga produksi udang dapat mencapai 40-100 ton per ha per tahun. Sistem super intensif dianggap mampu meningkatkan efisiensi penggunaan lahan karena dalam lahan yang lebih kecil mampu memproduksi udang lebih banyak.

SEKOLAH PASCASARJANA

2.3 Millennial Shrimp Farming

Budidaya udang sistem MSF di inisiasi oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan pada tahun 2020. MSF identik dengan tambak udang ukuran kecil berbentuk bundar dengan diameter 15-30 m yang dibangun dengan konstruksi sederhana baik dari kerangka bambu maupun besi. Program pemerintah ini

sebenarnya untuk mencetak petambak petambak baru dari generasi millennial dalam rangka mendukung program peningkatan produksi 250 persen di tahun 2024 nanti. Pemerintah berharap bahwa model MSF ini dianggap mampu dikerjakan oleh petambak pemula dengan permodalan yang relative sedikit jika dibandingkan dengan model konvensional yang memerlukan banyak modal. Teknologi budidaya udang system MSF bisa diterapkan oleh petambak skala rumah tangga dengan lokasi lahan kurang dari 1000 m² dan mampu menghasilkan pendapatan cukup besar bagi para petambak. Satu kolam dengan ukuran 314 m² mampu menghasilkan udang 1,8-2,2 ton per siklus dengan profit 40-60 juta.

2.4 Persyaratan Teknis Budidaya Udang Vannamei

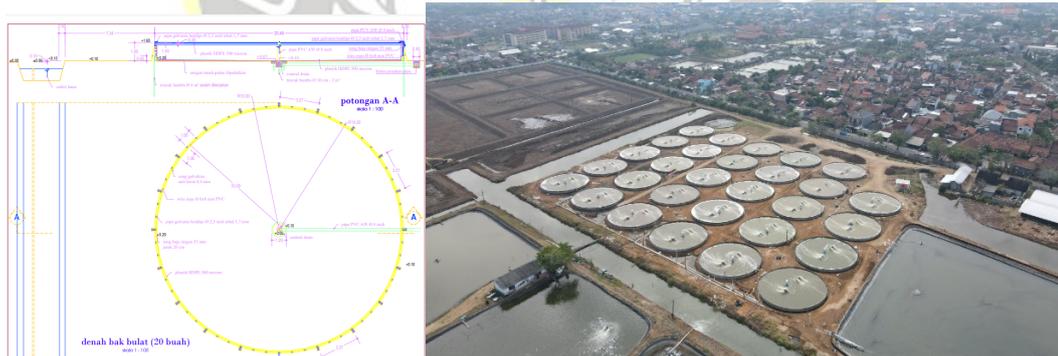
2.4.1 Lokasi dan tempat budidaya

Penentuan lokasi budidaya udang vanamei harus sesuai dengan habitat aslinya sehingga udang mampu hidup dengan baik. Lokasi harus memiliki akses terhadap air laut serta memenuhi dan sesuai zonasi wilayah masing masing. Sesuai SNI 01-7246-2006, tempat budidaya udang vanamei bisa berupa tambak, bak namun dipersyaratkan juga memiliki tandon, petak pemeliharaan serta pengolahan air buangan budidaya. Konstruksi diharapkan kedap air sehingga dalam berbudidaya lebih efisien dalam penggunaan air serta tranfer penyakit dapat diminimalisir. Petak pemeliharaan biasanya memiliki luasan kisaran 0,1 ha-0,5 ha dengan kedalaman air 1-2 m dengan system pembuangan central drain. Petak tandon atau penampungan air biasanya 20-40 persen dari total luasan yang digunakan untuk pemeliharaan. Petak pengelolaan air buangan budidaya biasanya terdiri dari petakan yang didesain menjadi petak pengendapan, petak oksidasi dan petakan absorpsi yang memiliki

total luasan 20 persen dari total petak pemeliharaan. Dalam perkembangannya kolam udang vanamei bervariasi sesuai perkembangan teknologi baik ukuran maupun material yang digunakan.

2.4.2 Desain Konstruksi Tambak MSF

Konstruksi tambak milenial adalah bak bulat dengan rangka besi galvanis dan dinding terbuat dari plat galvanis dan dilapisi dengan plastic HDPE ketebalan 0,5 milimeter. Ketinggian bak kisaran 1,5 m dan mampu menampung volume air sebesar 314 m³. Sistem pembuangan berupa central drain menggunakan pipa pvc 8 inci yang terkoneksi dengan unit pengolahan limbah. Desain detail bisa dilihat pada dilihat pada gambar 2.6 berikut dibawah ini,



Gambar 2.6. Gambar konstruksi tambak MSF

2.4.3 Kualitas Air Media

Kualitas air budidaya pada umumnya dipengaruhi oleh dinamika parameter fisika, biologi dan kimia tanah dasar. Hal ini terjadi pada budidaya udang vanamei system tradisional maupun semi intensif biasanya dilakukan pengelolaan tanah dasar sebelum melakukan proses budidaya. Tujuan pengelolaan tanah dasar adalah untuk mengoksidasi tanah dasar yang dalam siklus pemeliharaan sebelumnya terdapat sisa bahan organik yang belum teroksidasi sehingga mengurangi beban oksidasi pada tahap siklus budidaya berikutnya. Oksidasi tanah bertujuan

mengembalikan kesuburan tanah sehingga selain udang mengandalkan pemberian pakan dari pellet namun juga mampu mengkonversi kesuburan tanah menjadi daging udang. Teknologi terkini telah berhasil membudidayakan udang vanamei tanpa media tanah sehingga dalam perkembangannya sekarang ini banyak berkembang tambak tambak yang melapisi dasarnya dengan menggunakan HDPE untuk menahan kekedapan tambak.

2.5 Sistem Budidaya Udang teknologi MSF

Teknologi budidaya system MSF didesain untuk bisa diterapkan baik skala kecil maupun skala besar. Kolam budidaya berbentuk bulat dengan diameter 20 m dan konstruksi terbuat dari rangka besi galvalume yang kemudian dilapisi dengan menggunakan plastic HDPE dengan ketebalan 5,5 mm. Unit produksi yang digunakan dalam penelitian ini berlokasi di Jepara dengan jumlah kolam sebanyak 29 unit dan dilengkapi kincir air masing-masing 2 unit (dengan daya satu unitnya 1 HP) dan ditambah menggunakan blower masing masing kolam sebesar 0,5 HP. Petakan tandon disediakan sebesar 3500 m² dan instalasi pengolahan air buangan sebesar 1500 m². Penyiapan air media dilakukan 7 hari sebelumnya yang meliputi sterilisasi dan fertilisasi atau pemupukan untuk penumbuhan plankton. Benih yang digunakan adalah hasil produksi dari hatchery BBPBAP jepara yang telah tersertifikasi kualitasnya. Jumlah benih udang yang digunakan untuk 29 kolam adalah sebanyak 3000000 ekor sehingga kepadatan per meter kubik sebanyak 380 ekor udang. Pemeliharaan dilakukan selama 110-120 hari sampai ukuran konsumsi kisaran yaitu berat per ekor mulai dari 10 gram sampai 40 gram. Budidaya ini menggunakan system panen parsial dimana jumlah udang yang ditebar harus sesuai

dengan carrying capacity kolam bulat tersebut. Carrying capacity yang dimiliki kolam dengan energi listrik sebesar 2,5 hp ditetapkan mampu menyangkang biomassa udang sebesar 1200-1500 kg. Panen dilakukan secara bertahap atau parsial untuk memaksimalkan carrying capacity kolam. Panen dilakukan sebanyak 4-5 kali sesuai target pertumbuhan udang selama pemeliharaan. Panen pertama dilakukan apabila carrying capacity dianggap sudah tercapai yaitu setiap kolam sudah menampung udang sebanyak 1200-1500 kg. Seiring pertumbuhan udang maka biomassa udang akan tumbuh dan kemudian mencapai carrying capacity lagi, dan seterusnya dilakukan demikian sampai posisi berat udang kisaran 38-40 gram.

2.6 Life Cycle Assesment

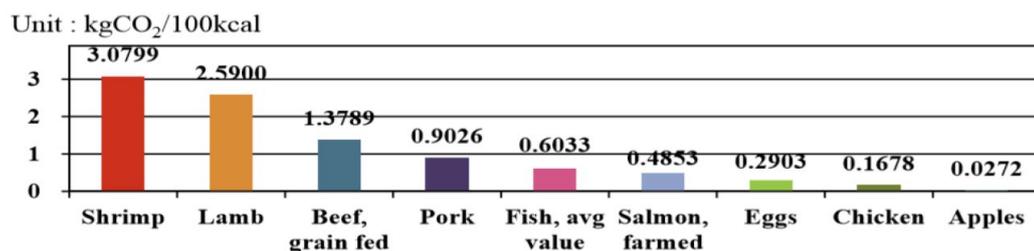
Banyak perangkat analisa telah dikembangkan baru-baru ini untuk mengevaluasi dampak lingkungan untuk menilai sebuah proses dan produk makanan, termasuk analisis risiko, jejak ekologis, analisis energi dan penilaian siklus hidup (LCA) (Bartley dkk. 2007). Penilaian siklus hidup memungkinkan penilaian yang komprehensif dari dampak lingkungan yang relevan di sepanjang seluruh siklus hidup suatu produk. Ini memungkinkan seseorang untuk mengkompilasi seluruh input dan output dalam keseluruhan proses dan untuk menghitung potensi dampak terkait berdasarkan unit fungsional. Dampak yang tidak dapat diukur langsung dihitung oleh model. Pemodelan siklus hidup terdiri dari empat langkah: definisi dan ruang lingkup tujuan, inventaris, analisis dan interpretasi dampak (ISO 1998). Di fase tujuan dan ruang lingkup, seseorang harus mendefinisikan Batasan sistem dan unit fungsional untuk sistem yang dianalisa. Fase inventarisasi mencakup pada input dan output untuk setiap siklus hidup tahap

dikuantifikasi dan hasil inventaris digunakan untuk mengkarakterisasi penurunan sumber daya alam dan lingkungan serta dampak kesehatan manusia. Penilaian siklus hidup telah menjadi alat utama untuk mengidentifikasi dan membandingkan dampak lingkungan sistem produksi pangan yang berbeda (Pelletier & Tyedmers 2008).

2.7 Dampak Lingkungan dari Budidaya Udang

Peningkatan produksi udang memberikan konsekuensi yang dapat menyebabkan dampak negative terhadap lingkungan. Produksi udang dari secara intensif berdampak terhadap lingkungan pada beberapa fase tahapan budidaya udang itu sendiri antara lain: Produksi pakan dan prosesing, pemeliharaan larva (produksi benih), aktivitas budidaya itu sendiri, prosesing dan pangemasan produk, transportasi pada konsumen terakhir. Produksi pakan dan system budidayanya merupakan fase penyebab munculnya gangguan lingkungan. Pada tahap produksi pakan faktor yang cukup berkontribusi secara signifikan adalah bahan baku pakan yang masih didominasi oleh penggunaan tepung ikan yang bahan bakunya berasal dari hasil tangkapan ikan-ikan di laut. Hasil tangkapan ikan di laut makin hari mengalami penurunan dan kemungkinan di masa mendatang sudah tidak mampu lagi mencukupi kebutuhan manusia yang makin hari makin meningkat. Eksploitasi sumber daya lautan yang terus menerus akan menyebabkan beberapa dampak yang sulit dikendalikan di kemudian hari. Pemanasan global (global warming), acidifikasi (acidification), penyuburan perairan (eutrophication), yang berasal dari penggunaan energi yang cukup besar maupun penggunaan bahan-bahan kimia yang nantinya tertimbun di lingkungan apabila tidak terkelola dengan baik (Badiola et al

2019). Budidaya udang baik semi intensif maupun intensif dapat memberikan dampak buruk terhadap lingkungan sekitar terutama dari limbah bahan organik yang cukup besar yang berasal dari aktifitas budidaya. Budidaya udang juga dianggap memberikan emisi karbon cukup besar jika dibanding produksi system produksi makanan yang lain. Berdasarkan analisa aliran energi, sistem memproduksi udang memiliki jejak karbon paling tinggi dibanding yang lainnya.



Gambar 2.7 Emisi Karbon Pada Proses Produksi Udang Dibanding Proses Produksi Yang Lain.

Peningkatan kesadaran terhadap lingkungan menyebabkan beberapa sektor bisnis dan industri mengevaluasi aktifitas produksi yang mereka lakukan agar tidak berdampak negative terhadap lingkungan dan mengadopsi strategi produksi yang lebih ramah lingkungan. Evaluasi terhadap produk komersial, proses ataupun layanan sangatlah penting dalam menjamin keberlanjutan. (Finnveden dan Moberg, 2005). Analisa lingkungan secara konvensional biasanya mengacu pada satu dampak lingkungan seperti menganalisa penggunaan energi maupun limbah nutrient yang terbuang. Hampir dua decade ini muncul beberapa metode yang dikembangkan untuk bisa menganalisa dampak lingkungan dengan lebih kompleks salah satunya adalah menggunakan metode life cycle assessment (LCA). Life cycle assessment adalah pendekatan scientist untuk mengukur potensi dampak lingkungan dari sebuah proses proses maupun proses. LCA adalah pendekatan berbasis sains untuk menilai konsekuensi lingkungan dan menunjukkan titik poin untuk

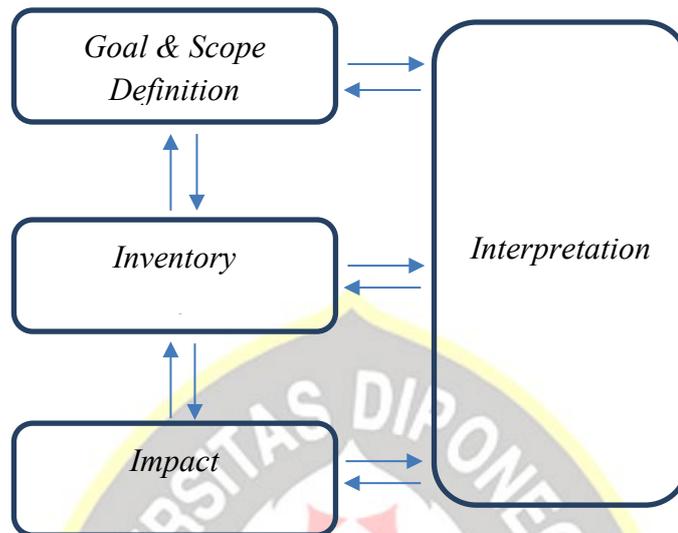
menentukan prioritas tindakan (Buyle, Braet & Audenaert, 2012). Istilah "siklus hidup" berdasarkan pada aktivitas penting daur hidup suatu produk, proses, atau layanan mulai dari ekstraksi dan pemrosesan bahan mentah (cradle), melalui proses produksi, distribusi dan penggunaan, hingga daur ulang atau pembuangan akhir (grave) (EPA, 2006). Selain menghitung potensi dampak lingkungan, LCA merupakan alat penting untuk membantu pihak pengguna, peneliti ilmu lingkungan, industri, dan pembuat kebijakan (1) membandingkan produk, proses, atau layanan alternatif; (2) membandingkan antara siklus hidup alternatif produk atau jasa tertentu; (3) menunjukkan bagian mana dari siklus hidup yang dapat ditingkatkan; (4) mendokumentasikan profil lingkungan keseluruhan dari suatu produk, proses, atau layanan (EPA, 2006; Roy et al., 2009). LCA memiliki empat fase: definisi tujuan dan ruang lingkup, analisis inventaris, penilaian dampak, dan interpretasi, yang distandarisi oleh Organisasi Internasional untuk Standardisasi (ISO) dan khususnya termasuk dalam ISO 14040 (2006).

2.8 Tahapan Penilaian Siklus Kehidupan (LCA)

Pada dasarnya, setiap studi LCA terdiri dari empat fase yang berbeda, tetapi saling terkait. Tahapannya adalah (ISO 14040, 2006):

1. Menentukan tujuan dan ruang lingkup studi
2. Membuat analisis inventaris semua parameter emisi dan konsumsi sumber daya
3. Menerapkan metode penilaian dampak pada hasil
4. Menafsirkan hasilnya.

Berikut gambar 2.8 merupakan kerangka LCA menurut ISO 14040.



Gambar 2.8. Kerangka LCA menurut ISO 14040: 2006

2.9 Goal and Scope Definition

Pada fase goal and scope artinya tujuan dan ruang lingkup merupakan tahapan paling penting dari LCA karena mendiskripsikan tujuan studi, aplikasi dan audiens yang dituju, batasan sistem, dan unit fungsional, dan asumsi terkait (EPA, 2006; Roy et al., 2009). Batas sistem mencakup semua unit proses yang berhubungan dengan siklus hidup target dengan input dan output umum dari sistem yang dipelajari diidentifikasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 (Roy et al., 2009). Unit fungsional (FU) memberikan referensi di mana semua input dan output terkait, mendefinisikan FU yang tepat penting untuk memastikan keakuratan hasil LCA (ISO 14040, 2006). Sasaran dan ruang lingkup dari LCA adalah panduan yang memberikan arahan dan bantuan untuk memastikan konsistensi LCA yang dilakukan (ISO 14040, 2006).

1. Alasan untuk melaksanakan LCA dan pertanyaan-pertanyaan yang perlu dijawab.

2. Definisi yang tepat tentang produk, siklus hidupnya dan fungsi yang terpenuhi.
3. Definisi dasar perbandingan (*unit fungsional*) ketika produk harus dibandingkan.
4. Deskripsi *system boundary*.
5. Penjelasan tentang cara penanganan masalah alokasi.
6. Persyaratan kualitas data.
7. Asumsi dan batasan.
8. Persyaratan terkait prosedur LCIA (*life cycle impact assessment*)

2.10 Inventory Analysis

Fase analisis inventaris adalah proses kuantifikasi input yang diperlukan (air, energi, bahan baku, dll.) dan output (emisi udara, pembuangan limbah padat, debit air, dll.) yang dihasilkan sepanjang siklus hidup target (PSU.edu, 2018). Karena pengumpulan data terkait, termasuk data primer dan sekunder, menyusun inventaris siklus hidup (LCI) adalah langkah yang paling memakan waktu dalam studi LCA (Roy et al., 2009). Tahap analisis inventori melibatkan alokasi aliran dan rilis, pengumpulan data dan prosedur perhitungan untuk mengukur input dan output terkait dari sistem produk. Pengumpulan data dapat dicapai melalui penggunaan data yang relevan dalam perangkat lunak LCA dan/atau penggunaan data spesifik yang dihasilkan dari sistem (Debalina and Ralph, 2013).

2.11 Impact Assessment

Fase ini membahas masalah lingkungan yang didefinisikan dalam fase tujuan dan ruang lingkup (ISO 14040, 2006). Berdasarkan LCI, penilaian dampak siklus hidup (LCIA) adalah untuk menghitung potensi dampak penggunaan sumber daya (energi, air, dan bahan) dan emisi ke lingkungan sepanjang siklus hidup target (EPA, 2006). Dampak lingkungan yang dapat dikarakterisasi mulai dari skala global (pemanasan global, penipisan ozon), skala regional (pengasaman, eutrofikasi), hingga skala lokal (limbah berbahaya, limbah padat) (Roy et al., 2009). Tahap penilaian dampak dari LCA didefinisikan sebagai fase yang ditujukan untuk memahami dan mengevaluasi besarnya dan signifikansi dampak lingkungan potensial dari suatu produk atau sistem, menggunakan hasil *life cycle inventory* (LCI) dan memberikan informasi untuk siklus hidup fase interpretasi, yang melibatkan (ISO 14040, 2006):

1. Seleksi dan definisi kategori dampak (wajib): mengidentifikasi kategori dampak lingkungan yang relevan (misalnya pemanasan global, pengasaman, toksisitas terestrial).
2. Klasifikasi (wajib): menetapkan hasil LCI ke kategori dampak (misalnya mengklasifikasikan emisi karbon dioksida ke pemanasan global).
3. Karakterisasi (wajib): memodelkan dampak LCI dalam kategori dampak menggunakan faktor konversi berbasis sains (misalnya pemodelan potensi dampak karbon dioksida dan metana pada pemanasan global).
4. Skor tunggal (opsional): menekankan dampak potensial yang paling penting.

2.12 Interpretation

Interpretasi adalah mengevaluasi studi LCA yang mempertimbangkan kelengkapan, konsistensi dan sensitivitasnya. Fase ini juga menganalisis dan membandingkan hasil LCI dan LCIA (Roy et al., 2009), dan memberikan kesimpulan dan rekomendasi bagi pengambil keputusan untuk mengidentifikasi masalah signifikan atau memilih produk, proses, atau sistem terbaik (ISO 14040, 2006). Interpretasi adalah fase LCA dimana temuan dari analisis inventaris dan penilaian dampak. Fase ini juga memberikan hasil yang konsisten dengan tujuan dan ruang lingkup yang ditetapkan dan mencapai kesimpulan menjelaskan batasan dan menyediakan rekomendasi (ISO 14040, 2006).

2.13 Metode CML 2000 baseline 2000

Metode ini dikembangkan tahun 1992 oleh center of environmental science, Leiden University, The Netherlands. Metode ini menganalisis potensial dampak lingkungan menjadi beberapa kategori dampak diantaranya: Abiotic depletion yang diartikan semua penggunaan sumber daya yang berbentuk non hidup dari alam baik yang tidak dapat diperbarui seperti minyak bumi (fossil fuel), sumber daya alam yang bisa diperbarui seperti air tanah dan yang berikutnya adalah sumber daya alam yang secara terus menerus ada seperti contoh adanya angin. Abiotik Depletion Factor (ADF) menggambarkan setiap ekstraksi mineral dan bahan bakar fosil (kg setara antimon per kg mineral yang diekstraksi), berdasarkan tingkat ekstraksi sumber daya dan cadangan sumber daya tersebut. Spesies referensi secara konvensional dianggap antimon, sehingga kelangkaan dan penggunaan dihitung relatif terhadap antimon sebagai tidak terbarukan.

Global warming Potensi Pemanasan Global Potensi Pemanasan Global (GWP) adalah ukuran dari kontribusi potensial suatu zat terhadap perubahan iklim relatif terhadap GWP karbon dioksida. Karena semua gas secara bertahap dihilangkan dari atmosfer, efeknya harus dihitung untuk jangka waktu tertentu. Human toxicity potential adalah dampak zat beracun yang dilepaskan ke lingkungan terhadap kesehatan manusia dinilai dan dinyatakan sebagai Potensi HTP dihitung berdasarkan pemodelan. Untuk GML 2 Baseline 2000 menggunakan model USES-LGA (GML, 2001) yang menggambarkan ketetapan, transfer, paparan (intake) A⁻⁹ dan efek zat beracun untuk waktu yang tak terbatas. Perjalanan mengacu pada fraksi a zat yang ditransfer dari kompartemen akhir ke rute paparan manusia yaitu udara, air minum, ikan yang dikonsumsi, dll. Faktor asupan berarti asupan manusia melalui masing-masing rute paparan yang dinyatakan sebagai asupan harian udara, air minum, ikan, dll., dan faktor efek mewakili efek toksik dari asupan zat melalui paparan rute. Acceptable Daily Intake (ADI) diambil sebagai tingkat referensi untuk evaluasi risiko. Untuk setiap zat beracun, HTP dinyatakan sebagai setara 1,4-diklorobenzena per kilogram emisi zat beracun. Toksisitas Manusia Dampak zat yang terbuka untuk lingkungan pada kesehatan manusia dinilai dan dinyatakan sebagai Potensi Toksisitas Manusia (Human Toxicity Potentials/HTPs).

SEKOLAH PASCASARJANA

Ekotoksisitas yaitu kategori ini mencakup dampak zat beracun pada perairan, terestrial dan ekosistem sedimen. Potensi ekotoksisitas zat beracun pada ekosistem adalah dinilai sebagai Potensi Ekotoksisitas (ETPs). Kontribusi ekotoksisitas didasarkan pada efek dari setiap racun tertentu dan didefinisikan relatif terhadap zat referensi (1,4-diklorobenzena setara per kilogram emisi zat eko-toksik). Itu emisi

beracun ke kompartemen lingkungan yang berbeda dinyatakan sebagai air tawar ekotoksisitas perairan, perairan laut dan terestrial. Faktor karakterisasi untuk ekosistem perairan dan terestrial adalah konsentrasi air maksimum yang dapat ditoleransi dan tanah, yang didasarkan pada data ekotoksikologi dari uji multi-spesies. Beberapa rekening transportasi lingkungan dan degradasi telah dimasukkan, termasuk: efek akut dan kronis dari zat beracun. Konsentrasi Tanpa Efek yang Diprediksi (PNEC) dan Maximum Tolerable Concentration (MTC) digunakan sebagai tingkat referensi untuk mengevaluasi risiko.

Pengasaman disebabkan oleh pengasaman polutan seperti SO_2 dan NO_x . Potensi Pengasaman (AP) digunakan sebagai faktor karakterisasi untuk menilai potensi deposisi asam suatu zat, yang dinyatakan sebagai setara kilogram SO_2 per kilogram emisi gas asam. Dengan kata lain, AP mencerminkan pengasaman maksimum potensial suatu zat relatif terhadap SO_2 . Besarnya dan tingkat keparahannya dampaknya tergantung pada lokasi geografis emisi pengasaman, yaitu pada sensitivitas area di mana polutan pengasaman dipancarkan. Karena itu, sensitivitas regional telah diperhitungkan dengan menggunakan factor pembobotan. Eutrofikasi Eutrofikasi disebabkan oleh dampak yang ditimbulkan oleh tingginya unsur hara konsentrasi terutama nitrogen dan fosfor. Pengayaan nutrisi dapat menyebabkan perubahan komposisi spesies dan produksi biomassa di perairan dan terestrial ekosistem, yang menyebabkan penurunan kadar oksigen. Potensi suatu zat untuk berkontribusi pada pembentukan biomassa dinilai dalam hal Potensi Eutrofikasi (EP). Kontribusi potensial untuk eutrofikasi didasarkan pada prosedur stoikiometrik dari Heijungs (1992), dan dinyatakan sebagai kilogram setara PO_4

per kilogram emisi zat eutrofikasi. Metode ini menilai keterpaduan dampak eutrofikasi bagi ekosistem perairan dan daratan.

2.14 Greenhouse Gas Protocol

Greenhouse Gas Protocol V1.02 adalah salah satu metode penilaian dampak siklus hidup. Greenhouse Gas Protocol V1.02 memiliki hasil perhitungan kategori dampak: *fossil CO₂eq*, *biogenic CO₂eq*, *CO₂eq from land transformation* dan *CO₂ uptake*. Faktor karakterisasi per zat identik dengan metode IPCC 2007 GWP (100a) di SimaPro. Satu-satunya perbedaan adalah bahwa serapan karbon dan emisi karbon biogenik dimasukkan dalam metode ini. Berikut penjelasan 4 kategori dampak hasil kalkulasi Greenhouse Gas Protocol V1.02: 1) *CO₂ uptake* (CO₂ yang disimpan di pohon dan tanaman saat tumbuh). 2) *CO₂eq from land transformation* (dampak langsung). 3) *Biogenic CO₂eq* (karbon yang berasal dari sumber biogenik seperti pohon dan tanaman). 4) *Fossil CO₂eq* (karbon yang berasal dari bahan bakar fosil) (Soldal and Modahl, 2016).

SEKOLAH PASCASARJANA