

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Udang Vanname (*Litopenaeus vannamei*)

Udang vanname merupakan udang introduksi. Habitat asli udang ini adalah di perairan pantai laut Amerika Latin. Kemudian diimpor oleh negara pembudidaya udang di Asia seperti Cina, India dan Thailand (Nuhman, 2009).

2.1.1. Klasifikasi

Penggolongan dan bentuk tubuh (Gambar 1.) udang vanname menurut Susylowatia (2012) adalah sebagai berikut:

Filum	: Arthropoda
Kelas	: Crustacea
Sub kelas	: Malacostraca
Seri	: Eumalacostraca
Super ordo	: Eucarida
Ordo	: Decapoda
Sub ordo	: Dendrobranchiata
Infra ordo	: Penaeidea
Keluarga	: Penaeidae
Genus	: Penaeus
Sub genus	: Litopenaeus
Spesies	: <i>Litopenaeus vannamei</i>

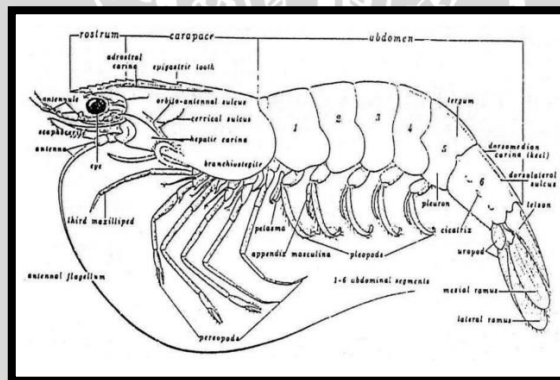


Gambar 1. Udang vanname (Sumber: Erwinda, 2008)

Udang vanname merupakan Krustasea yang tergolong dalam ordo Decapoda. Kata Decapoda berasal dari kata deca = 10 dan poda = kaki. Sehingga udang vanname tergabung dalam ordo ini karena memiliki 10 kaki (Sutrisno *et al.*, 2010).

2.1.2. Ciri morfologi

Seluruh tubuh udang vanname tertutup kerangka luar (eksoskeleton) yang terbuat dari kitin. Kerangka tersebut mengeras kecuali pada sambungan-sambungan antara dua ruas tubuh yang berdekatan. Bagian kepala dan dada tertutup oleh sebuah kelopak kepala atau cangkang kepala yang disebut karapas dan di bagian depan kelopak kepala terdapat rostrum yang memanjang dan bergerigi (Mujiman dan Suyanto, 1999 *dalam* Angelica, 2004) (Gambar 2.).



Gambar 2. Struktur morfologi udang vanname (Sumber: Wyban dan Sweeney, 1991 *dalam* Susylowati, 2012)

Pada kelas Krustasea terdapat istilah “metamere” dan “body segment” yang digunakan untuk menyatakan pembentukan tubuh. Krustasea memiliki kulit (cangkang) yang keras disebabkan adanya endapan kalsium karbonat (CaCO_3) pada kutikula (Destralina, 2004). Bagian tubuh udang vanname terdiri dari kepala (thorax) dan perut (abdomen) (Yuniasari, 2009). Kepala terdiri dari antenula, antena, mandibula dan 2 pasang maxilla. Kepala udang vanname juga dilengkapi

dengan 3 pasang maxilliped dan 5 pasang kaki berjalan (peripoda) atau kaki sepuluh (dekapoda). Abdomen (perut) terdiri dari 6 ruas, terdapat 5 pasang kaki renang dan sepasang uropod (mirip ekor) yang membentuk kipas bersama-sama ekor (telson) (Pradikta, 2010).

2.1.3. Ciri fisiologi

2.1.3.1. Sistem imun

Imunitas adalah resistensi terhadap penyakit terutama penyakit infeksi. Sedangkan sistem imun merupakan gabungan sel, molekul dan jaringan yang berperan dalam resistensi terhadap infeksi (Baratawidjaja, 2006 *dalam* Jasmanindar, 2008). Sistem imun udang vanname sama seperti sistem imun pada Krustasea (Avertebrata) (Ratcliffe, 1985 *dalam* Jasmanindar, 2008). Sistem kekebalan tubuh udang terdiri dari 2 komponen utama yaitu mekanisme kekebalan non-spesifik dan spesifik. Sistem imun non-spesifik merupakan sistem imun yang bertanggung jawab terhadap kekebalan alami yang dimiliki hewan terhadap sebagian mikroorganisme yang berasal dari lingkungan (Hobart and Mc Connell, 1975 *dalam* Wahjuningrum *et al.*, 2006).

Lapisan kutikula merupakan organ pertahanan pertama dalam melawan patogen dan kerusakan fisik. Kutikula terdiri dari lipid, protein dan kalsium yang menutupi insang, esofagus, abdomen dan midgut, kecuali pada bagian midgut tidak memiliki lapisan pelindung kutikula (Alday-Sanz, 1995 *dalam* Depita, 2004).

Udang mempunyai sistem kekebalan yang primitif dibandingkan dengan Vertebrata. Mereka tidak mempunyai imunoglobulin dan T-limfosit yang dapat mendeteksi respon (Alday-Sanz, 1995 *dalam* Rahmawati, 2002) benda asing yang masuk, tetapi udang memiliki suatu respon imunitas yang merupakan upaya proteksi terhadap infeksi maupun preservasi fisiologi homeostasis.

Karenanya, memori spesifik dan pengenalan zat asing merupakan dasar mekanisme respon imunitas pada udang (Mori, 1990 *dalam* Priatni, 2003).

Respon imunitas dibentuk oleh jaringan limfoid yang menyatu dengan jaringan mieloid, sehingga dikenal sebagai jaringan limfomioid (Corbel, 1975 dan Itami, 1994 *dalam* Priatni, 2003). Produk jaringan limfomioid adalah sel-sel darah dan merupakan respon imunitas seluler maupun humoral. Selain respon humoral, respon seluler juga merupakan aktivitas pertahanan pertama udang (Priatni, 2003). Hemosit (sel darah) merupakan respon imun non-spesifik yang digunakan untuk menangkap patogen sedangkan fagositosis bertugas untuk mencerna patogen yang ditangkap oleh hemosit (sel darah) (Jasmanindar, 2008). Pada tubuh udang terdapat molekul-molekul yang dapat mengaglutinasi sel-sel tertentu yang terdapat pada bakteri, menghancurkan sel-sel asing dan lain-lain (Bang, 1974 *dalam* Angelica, 2004).

Udang vanname tidak memiliki sistem pengingat kekebalan, sehingga penyakit yang sama dapat menyerang berkali-kali dan dihadapi dengan sistem kekebalan sederhana atau tidak dilawan sama sekali. Kemungkinan udang tidak bisa membuang virus sehingga memiliki sistem penampungan virus (Flegel dan Pasharawipas, 1998 *dalam* Soetrisno, 2004). Udang membersihkan penyakit bakterial dan viral di kantung pembersihan ("Lymphoid Organ Spheroid"-LOS) yang hanya akan berkembang bila udang tersebut sebelumnya sudah terpapar bakteri maupun virus (Anggraeni dan Owens, 2002 *dalam* Soetrisno, 2004).

2.1.3.2. Tingkah laku

Menurut Haliman dan Adijaya (2005) *dalam* Pradikta (2010), sifat-sifat penting udang vanname yaitu, aktif pada kondisi gelap (*nokturnal*), dapat hidup pada kisaran salinitas lebar (*euryhaline*), suka memangsa sesama jenis (*kanibal*), tipe pemakan lambat tetapi terus-menerus (*continous feeder*), menyukai hidup di

dasar tambak (*bentik*) dan mencari makan lewat organ sensor (*kemoreseptor*). Darmono (1993) dalam Nuhman (2009) menambahkan udang vanname juga mempunyai sifat mencari makan pada siang hari (*diurnal*) dan sangat rakus. Udang vanname digolongkan kedalam hewan pemakan segala macam bangkai (*omnivorous scavenger*) atau pemakan detritus. Penaeid di alam adalah karnivora yang memakan Krustasea kecil, Amfipoda dan Polychaeta.

2.2. “White Spot Syndrome Virus” (WSSV)

Penyakit bercak putih (Wang *et al.*, 1998 dalam Angelica, 2004) adalah salah satu jenis penyakit yang menyerang spesies udang (Kilawati dan Win, 2009). Virus ini biasanya disebut “White Spot Syndrome Virus” (WSSV) atau “White Spot Syndrome” (Purand *et al.*, 1996 dalam Firmansyah, 2002). Diantara beberapa jenis penyakit, yang paling banyak membawa kerugian karena menyebabkan kematian adalah WSSV, baik pada teknologi budidaya intensif, semi-intensif dan sederhana (Arifin *et al.*, 2007).

Sejak pertama kali ditemukan pada tahun 1992 (Wang *et al.*, 1998 dalam Angelica, 2004) WSSV telah menyebar cepat ke daerah-daerah pertambakan udang di Asia Selatan dan Amerika Tengah Latin (Priatni, 2003). Patogen ini menyebabkan berbagai macam penyakit dan mengakibatkan kematian di tambak udang sampai 80 s/d 100% selama tahun 1992 s/d 1993 (Lightner, 1996 dalam Firmansyah, 2002). WSSV ini juga menyebar cepat di Indonesia sejak mulai mengimpor udang putih (Sunarto *et al.*, 2003 dalam Destralina, 2004).

2.2.1. Klasifikasi

“White Spot Syndrome Virus” (WSSV) ini disebut juga dengan nama “Systemic Eciodermal and Mesodermal Baculovirus” (SEMBV) (Wang *et al.*, 1995 dalam Firmansyah, 2002). Dari empat keluarga virus yang bersampul (Poxviridae, Herpesviridae, Baculoviridae dan Plasmaviridae), hanya

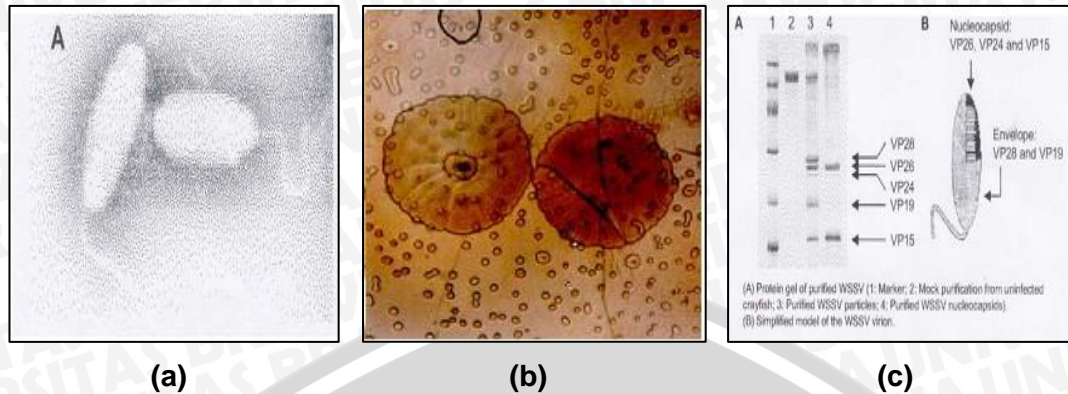
Baculoviridae yang menginfeksi Krustasea (Mathews, 1979 dalam Pulungan, 2002). WSSV termasuk dalam keluarga Baculoviridae dan virus DNA beruntai ganda, terbagi dalam tiga subgroup yaitu virus polihedral, virus granulosis dan virus yang tidak mengandung badan inklusi (Lightner, 1996 dalam Depita, 2004).

Subgroup A, merupakan virus polihedral yang berkembang biak di dalam inti sel dan membentuk badan inklusi, yang di dalamnya banyak mengandung partikel virus. Subgroup B mengandung satu partikel virus pada tiap-tiap badan inklusinya sedangkan subgroup C tidak mengandung badan inklusi. Berdasarkan morfologi, ukuran, perkembangbiakan dan patologi, WSSV digolongkan di dalam genus Baculovirus subgroup C (Wang *et al.*, 1995 dalam Angelica, 2004).

2.2.2. Ciri morfologi

WSSV termasuk virus berbahan genetik DNA dan non-occluded virus (Arifin *et al.*, 2007) yang berbentuk batang besar (Desrina *et al.*, 2011) bulat (Priatni, 2003), menyerupai elips (Rod-shapes) (Wang *et al.*, 1995 dalam Pulungan, 2002), terbungkus dalam satu sampul dan berkembang biak dalam inti sel target (Wang *et al.*, 1995 dalam Depita, 2004).

Memiliki badan inklusi (Wang *et al.*, 1995 dalam Pulungan, 2002) dan merupakan virus DNA berserat rangkap dengan partikel virus mengandung polypeptida. Satu atau lebih nukleokapsid (Depita, 2004) berbentuk silindris yang memiliki cincin-cincin melingkar pada suatu poros (Wang *et al.*, 1995 dalam Pulungan, 2002) dan berbadan inklusi yang. Kapsid virus ini terdiri dari sub unit cincin yang tersusun bertumpuk, cincin tegak lurus dan membujur pada bagian kapsid (Wang *et al.*, 1995 dalam Firmansyah, 2002), akhir dari lingkaran sub unit kapsid dilingkari oleh segmen dan bagian terakhir pembungkus kapsid berbentuk persegi empat (Durand *et al.*, 1997 dalam Firmansyah, 2002) (Gambar 3).



Gambar 3. Virus penyebab penyakit bercak putih (a) ciri morfologis virus pemotretan dengan scanning mikroskopi, (b) gambar mikroskopi bercak dan (c) kanan komponen virus. (Sumber : Arifin *et al.*, 2007)

Komponen penyusun WSSV terdiri dari 3 jenis protein yang mempunyai berat molekul masing-masing 19 kDA, 23,5 kDA dan 27,5 kDA (Cesar *et al.*, 1998 *dalam* Firmansyah, 2002). WSSV berukuran 100 nm x 300 nm (Sunarto *et al.*, 2003 *dalam* Destralina, 2004). Partikel utuh dari virion dapat mencapai panjang 275 nm dan lebar mencapai 120 nm (Vlak *et al.*, 2002 *dalam* Angelica, 2004). Terdiri dari minimal 5 polipeptida dan mempunyai tiga lapis selaput (envelope) yang melindungi inti (nucleocapsid) (Sunarto *et al.*, 2003 *dalam* Destralina, 2004). Berbentuk seperti tongkat dengan kapsid yang diselubungi oleh sampul (Vlak *et al.*, 2002 *dalam* Angelica, 2004) Trilaminar (Priatni, 2003). Karena virus ini memiliki tiga selaput maka virus ini mampu bertahan selama enam hari di dalam tubuh udang dan mampu bertahan dua hari di luar tubuh inangnya, misalnya di air tambak (Sunarto *et al.*, 2003 *dalam* Destralina, 2004).

2.2.3. Patogenitas

WSSV adalah penyakit viral yang sangat virulen dengan menyerang berbagai jenis udang (Lightner, 1996 *dalam* Haliman, 2004) dan dapat dengan mudah menular dari sebuah tambak ke tambak lain yang bersisian, berbatasan pematang dan memiliki saluran pembuangan atau pemasukan yang sama (Arifin *et al.*, 2007). WSSV menyerang udang yang besar lebih dahulu sedangkan yang

kecil atau sedang lebih tahan (Hendrajat *et al.*, 2010). Kematian akibat WSSV hampir selalu terjadi setelah udang dipelihara 30 hari, hal ini diakibatkan oleh penyakit yang semakin banyak, kekebalan udang menurun dengan membesarnya ukuran, kanibalisme yang semakin tinggi serta stress abiotik dan biotik yang semakin kerap atau intensif. Semakin bertambahnya usia pemeliharaan akan semakin banyak sisa pakan dan akan semakin memperburuk kualitas air dan membuat stress udang yang dipelihara (Soetrisno, 2004).

Virus bereplikasi untuk memperbanyak dirinya di dalam nukleus (inti sel) (Lightner, 1996 *dalam* Priatni, 2003). Langkah-langkah infeksi virus yaitu pertama virus melakukan pelekatan atau adsorpsi, kemudian virus berpenetrasi untuk melepaskan selubung protein, setelah itu virus melakukan replikasi asam nukleat dan sintesis protein dalam inti sel inang, terakhir pembebasan virion dari suatu sel inang dan pada beberapa infeksi virus sel-sel inangnya melisis (Pelczar dan Chan, 1986 *dalam* Pulungan, 2002).

Mekanisme penyerangan WSSV ke tubuh udang awalnya bersifat intrasitoplasmik, yaitu masuk ke dalam sel inang kemudian pada tingkat serangan yang lebih tinggi DNA virus masuk ke dalam DNA inang dan mengambil alih proses transkripsi dan translasi sesuai proses dalam DNA virus serta bisa terjadi pada beberapa bagian sel (Wang *et al.*, 2000 *dalam* Kilawati dan Win, 2009). Pertumbuhan dan kematangan partikel-partikel virus, berada di dalam sitoplasma dari folikel sel (Lo *et al.*, 1997 *dalam* Kilawati dan Win, 2009).

Organ target utama WSSV adalah epitel kulit (kutikula) dan jaringan ikat. Virus paling berat menginfeksi perut, insang, sel epitel subkutikula, organ limfoid, kelenjar antenna dan hemosit. Cenderung menginfeksi dengan frekuensi yang kecil pada hepatopankreas, kelenjar epitel antenna, sel organ limfoid, syaraf, sel hematopoitik dan fagosit pada hati (Lightner, 1996 *dalam* Priatni, 2003). Organ yang juga diserang oleh virus "white spot" ini adalah sel-sel epidermal dan

mesodermal seperti sel usus (pencernaan), sel epitel insang, sel mata udang, sel epidermis pada alat gerak (kaki), sel epidermis kulit atau kutikula dan sel hepatopankreas (Madeali *et al.*, 1998 *dalam* Angelica, 2004). Selain itu, WSSV juga menyerang hemolim (sel darah) (Techner, 1995 *dalam* Angelica, 2004) serta menyerang bagian dalam nukleus sel (Bower, 1996 *dalam* Angelica, 2004).

WSSV dapat menginfeksi insang yang mengakibatkan pembengkakan inti sel epitel insang sehingga fungsinya terganggu dan mengalami kesulitan dalam penyerapan oksigen (Kang, 1995 *dalam* Angelica, 2004). Pada inti sel epitel terlihat jajaran WSSV berwarna hitam (Priatni, 2003) dan inti sel akan membengkak sehingga menekan cairan sel sampai melebihi elastisitas dinding sel yang akhirnya sel pecah. Udag yang terinfeksi, terjadi perubahan seluler sehingga terjadi pembengkakan inti sel (hipertropi) yang disebabkan oleh perkembangan dan penumpukan virion WSSV dalam inti sel (Moore and Poss, 1999 *dalam* Angelica, 2004).

2.2.4. Penyebaran dan agensia

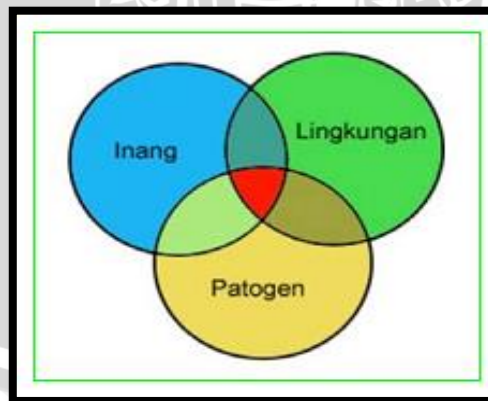
WSSV dapat menjangkit di kolam pembenihan maupun di tambak pembesaran (Arifin *et al.*, 2007). Penularan secara vertikal (Arifin *et al.*, 2007) melalui induk menularkan ke larvanya (Kasornchandra *et al.*, 2002 *dalam* Nurhidayah *et al.*, 2013). Transmisi secara horizontal terjadi apabila udang terinfeksi virus bukan disebabkan oleh faktor keturunan melainkan pengaruh lingkungan (Sukenda, 2009). Organisme penular (*carrier*) secara horizontal dapat berupa rebon ("Mysid shrimp"), udang putih, kepiting, wideng, udang windu (Arifin *et al.*, 2007). Selain itu, dapat pula melalui air yang tidak disucihamakan ("waterborne transmission"), kotoran udang yang terinfeksi, pemangsa udang terinfeksi dan makanan alami atau segar jenis Krustasea. Kanibalisme mempercepat penularan penyakit ini karena udang yang lemah dan sakit akan

dimangsa udang lain, udang tersebut kemudian akan terinfeksi WSSV, akhirnya terjadi kontaminasi virus secara beruntun (Techner, 1995 dalam Priatni, 2003).

Krustasea benthik serta fauna lainnya dapat mentransmisikan virus melalui jalan pakan yang berbeda seperti melalui "filter feeding", "detritus feeding" dan pemangsaan. Virus-virus juga dapat melalui saluran pencernaan dari Invertebrata lainnya dan menetap di saluran alimentari, yang secara potensial membuat hewan tersebut menjadi *carrier* pasif atau vektor dari virus. Ketika *carrier* pasif ini dikonsumsi oleh udang, maka mereka secara potensial dapat menginfeksi udang, karenanya jalan masuk dari patogen WSSV menuju ke induk udang di hatchery melalui pemberian pakan (Prastowo *et al.*, 2009).

2.2.5. Habitat dan lingkungan hidup

Munculnya penyakit pada udang umumnya merupakan hasil interaksi yang kompleks antara 3 (tiga) komponen dalam ekosistem perairan yaitu inang (udang) yang lemah, patogen yang ganas dan kualitas lingkungan yang memburuk. Ketiga komponen tersebut diilustrasikan dalam bentuk lingkaran pada Gambar 4. berikut ini.



Gambar 4. Interaksi antara inang, patogen dan lingkungan yang menghasilkan penyakit (areal berwarna merah) (Sumber: Kamiso *et al.*, 2005)

Flegel dan Fegan (1995) dalam Priatni (2003), timbulnya penyakit pada organisme perairan akibat interaksi yang tidak sesuai antara organisme, kondisi lingkungan (abiotik) dan patogen. Interaksi yang tidak serasi ini menyebabkan stress pada organisme sehingga mekanisme pertahanan dirinya menjadi lemah dan akhirnya mudah terserang penyakit. Jika kesehatan udang menurun atau kondisi lingkungan kurang mendukung, maka udang mengalami stress, sehingga patogen dapat menginfeksi udang tersebut. WSSV menginfeksi udang yang dipelihara pada berbagai tingkat budidaya. Biasanya virus ini menginfeksi post larva yang menjadi target utamanya (Chanratchakool, 1998 dalam Priatni, 2003).

2.2.6. Gejala klinis

Udang yang terserang WSSV menunjukkan tanda bercak putih di seluruh tubuhnya, dari karapas hingga pangkal ekor. Terlihat lemah, berenang ke tepi, mati dan udang juga berlumut (Arifin *et al.*, 2007). Nafsu makan kurang, bagian abdomen berwarna kemerahan (akibat dari perkembangan kromatofor pada kutikula), warna hepatopankreas berubah dari warna merah muda menjadi merah kecoklatan dan lepasnya kutikula dari tubuh. Bintik putih mulai terlihat di bagian dalam karapas pada akhir fase infeksi dengan diameter 0,5 s/d 2 nm yang disebabkan oleh tidak normalnya deposit garam kalsium oleh kutikula. Bila dilihat dengan mikroskop, sel pada lapisan epidermis kulit udang membengkak (Lightner, 1996 dalam Angelica, 2004), terlihat titik-titik berwarna hitam pekat.

Pada gejala yang lebih parah akan membengkak dan menekan cairan inti sel. Karena kelebihan muatan dalam inti sel maka toleransi elastisitas dinding inti sel akan hilang dan pecah. Selain terlihat di dalam kulit dapat pula menginfeksi insang, usus, mata dan bagian tubuh lainnya (Kang, 1995 dalam Pulungan, 2002). Gejala klinis udang yang terserang WSSV dapat dilihat pada Gambar 5.



(a)

(b)

(c)

Gambar 5. Morfologi udang yang terinfeksi “White Spot Syndrome Virus” (WSSV) (sumber: Lightner, 1996 dalam Soetrismo, 2004)

Terdapat kerusakan pada antena dan antenula (organ pendeteksi makanan) (Jory, 1999 dalam Angelica, 2004), terlihat perubahan warna menjadi agak kemerahan pada uropod, telson, pereopod dan pleopod (Bower, 1996 dalam Angelica, 2004). Soetrismo (2004) menambahkan udang akan berwarna merah sakit dan bertubuh lunak namun ada beberapa yang tubuhnya masih keras. Pada hari-hari terakhir banyak bintik putih pada bagian dalam kulit dengan permukaan kulit yang tetap halus.

2.3. “Polymerase Chain Reaction” (PCR)

Metode pendeteksian virus yang paling akurat adalah dengan menggunakan metode “Polymerase Chain Reaction” (PCR) (Kusumaningrum *et al.*, 2012). PCR dapat digunakan untuk mendeteksi virus pada udang menginfeksi dalam jumlah sedikit dan belum menimbulkan gejala penyakit. Keberadaan virus dapat dilacak sejak dini karena DNA/RNA virus yang jumlahnya sedikit dapat digandakan dengan PCR sehingga keberadaannya dapat segera terlacak (Sukenda *et al.*, 2009).

Metode PCR ini merupakan suatu metode amplifikasi atau penggandaan DNA yang spesifik dengan melakukan pemanjangan nukleotida dari primer yang merupakan pasangan komplemen dari untaian DNA dengan menggunakan

mesin PCR. Pendeteksian dengan menggunakan metode PCR sangat sensitif, cepat dan hasilnya akurat (Maharani *et al.*, 2005). Diagnosis penyakit yang paling mudah adalah apabila telah terjadi infeksi akut WSSV, terlihat dengan timbulnya bercak putih pada bagian cephalothorax (Arifin *et al.*, 2007). Salah satu primer yang digunakan untuk mendeteksi WSSV adalah *ICP11*, berupa protein nonstruktural yang diekspresikan oleh gen WSSV dan diduga kuat sangat berperan pada infeksi WSSV yang ditemukan oleh Wang, *et al.* (2008) (Kilawati dan Win, 2009).

2.4. Kualitas Air

Air merupakan media hidup udang, yang di dalamnya terdapat kandungan untuk kebutuhan pernafasan, makanan dan sumber beberapa mineral bagi udang. Oleh karena itu, air yang akan digunakan untuk budidaya udang harus disiapkan agar memenuhi standar kebutuhan tersebut. Kualitas lingkungan dan beberapa penunjang kebutuhan hidup udang vanname yang lainnya, akan diuraikan sebagai berikut.

2.4.1. Suhu

Menurut Kordi dan Tancung (2007), ciri khas perairan tambak yaitu suhu perairan dapat dengan cepat meningkat dan menurun karena permukaan perairan yang luas dengan volume air yang sedikit. Oleh karena itu, Septiana (2013), menghimbau agar distribusi suhu secara vertikal perlu diketahui karena akan mempengaruhi distribusi mineral dalam air sehingga kemungkinan terjadi pembalikan lapisan air dapat terjadi. Welch (1952) dalam Suherman, *et al.* (2002), suhu air sangat dipengaruhi oleh jumlah sinar matahari yang jatuh ke permukaan air yang sebagian dipantulkan kembali ke atmosfer dan sebagian lagi diserap dalam bentuk energi panas.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) No.7310 (2009), suhu optimal kualitas air pembesaran udang vanname adalah 28°C s/d 32°C. Selain itu, ada pula yang berpendapat bahwa suhu yang cocok pada pertumbuhan udang vanname adalah 23°C s/d 30°C (Amri dan Kanna, 2008). Menurut Ahmad (1991) dalam Adiwidjaya (2008), nilai suhu optimal bagi pertumbuhan dan perkembangan udang secara umum berkisar antara 28,0°C s/d 31,5°C. Pada suhu dibawah 25°C nafsu maka udang berkurang. Menurut Cholik (1988) dalam Mansyur, *et al.* (2010), pada 18°C s/d 36°C udang masih dapat hidup, suhu air 36°C udang sudah tidak aktif, udang akan mati pada suhu dibawah 15°C atau diatas 33°C selama 24 jam atau lebih. Arifin, *et al.* (2007) mengemukakan meskipun suhu mencapai 34°C pada siang hari, udang hidup dan tumbuh normal pada suhu 26°C nafsu makan turun hingga 50%. Menurut Hemmingsen (1960) dalam Batara (2004), organisme berukuran kecil mengkonsumsi oksigen (O₂) lebih tinggi daripada yang berukuran besar. Hal ini disebabkan pada udang yang berukuran kecil lebih banyak memerlukan energi untuk pertumbuhan.

2.4.2. pH

pH didefinisikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen [H⁺] (Van Wyk dan Scarpa, 1999 dalam Yuniasari, 2009). Derajat keasaman dapat mempengaruhi proses dan kecepatan reaksi kimiawi dan biokimiawi dalam tubuh udang (Wardoyo dan Setyanto, 1988 dalam Batara, 2004). Air berdisosiasi menghasilkan ion hidrogen [H⁺] sebesar 10⁻⁷ mol per liter. Reaksi disosiasi menurut Said dan Ruliasih (2010) adalah sebagai berikut:



Menurut Elfinurfajri (2009), molekul air murni terdisosiasi menjadi ion hidrogen [H⁺] dan ion hidroksil [OH⁻]. Konsentrasi dari hidrogen [H⁺] dan hidroksil [OH⁻] akan selalu 10⁻¹⁴ atau dapat ditulis sebagai berikut:

$$(\text{H}^+) (\text{OH}^-) = 10^{-14}$$

$$\text{pH} = -\log 1/(\text{H}^+)$$

Menurut Said dan Ruliasih (2010), pH mempunyai skala antara 0 sampai 14. Kadar pH mengindikasikan apakah air tersebut bersifat netral, basa atau asam. Air dengan pH dibawah 7 termasuk asam dan diatas 7 termasuk basa. Abditya (2010), apabila terdapat kelebihan ion hidrogen $[\text{H}^+]$, maka air tersebut menjadi asam, begitu pula sebaliknya kekurangan ion hidrogen $[\text{H}^+]$ menyebabkan air mengandung alkali (basa).

Menurut Siswanto (2006) *dalam* Priyono (2009), udang lebih suka hidup pada kisaran pH alkali yaitu antara 7 s/d 9. Nilai pH air optimal untuk pemeliharaan udang menurut Shigueno (1975) *dalam* Pulungan (2002), adalah 7,5 s/d 8,5. Wardoyo (1998) *dalam* Rajab (2006), pH air 4,5 s/d 6,0 dan 9,8 s/d 11,0 akan mengganggu metabolisme udang dan akan mengalami kematian pada pH <4,0 dan >11,0. Perubahan pH yang cepat mengakibatkan udang stress dan menyebabkan kematian (Siswanto, 2006 *dalam* Priyono, 2009).

2.4.3. Oksigen terlarut (DO-“Dissolved Oxygen”)

Oksigen terlarut (DO) adalah oksigen (O_2) berbentuk terlarut di dalam air karena udang tidak dapat mengambil oksigen (O_2) dari difusi langsung melalui udara. DO berasal dari difusi udara dan hasil fotosintesis organisme berklorofil yang hidup di perairan. Oksigen (O_2) masuk dalam air melalui beberapa proses (Setiyawati, 2004 *dalam* Anshorullah *et al.*, 2008). Transfer oksigen (O_2) dari atau ke dalam air terjadi antara lapisan permukaan atmosfer dan air (Hepher dan Pruginin, 1981 *dalam* Batara, 2004). Di dalam tambak fotosintesis berlangsung lebih cepat daripada respirasi, konsentrasi karbondioksida (CO_2) akan lebih rendah di bandingkan kandungan oksigen (O_2). Kondisi ini umumnya terjadi dimana intensitas cahaya tinggi dan adanya fitoplankton dalam jumlah yang

banyak (Boyd, 1990 *dalam* Herman, 2000). Kordi dan Tancung (2004), jasad hidup melalui proses fotosintesis dapat terlihat dalam persamaan berikut:



DO terendah umumnya terjadi saat malam hari dimana proses respirasi biota perairan membutuhkan oksigen (O_2) lebih, sedangkan DO tertinggi terjadi pada siang hari saat proses fotosintesis berlangsung (Handayani, 2009).

Pada malam hari memerlukan DO sebanyak 7,54 mg/l. Jika konsentrasi DO pada sore hari (jam 17.00) sebanyak 9 mg/l maka konsentrasi DO pada pagi hari (jam 05.00) adalah $9 \text{ s/d } 7,54 \text{ mg/l} = 1,46 \text{ mg/l}$ (Ahmad 1991 *dalam* Badjoeri *et al.*, 2008). Sedangkan konsentrasi DO terendah untuk budidaya udang adalah 3 mg/l (Poernomo, 1988 *dalam* Badjoeri *et al.*, 2008). Konsentrasi DO di tambak pada sore hari (jam 15.00 s/d 18.00) dapat mencapai 15 s/d 16 mg/l dimusim kemarau dan mencapai 8 mg/l dimusim penghujan. Pada pagi hari (jam 04.00 s/d 06.00) dimusim kemarau konsentrasi DO mencapai 4 s/d 4,5 mg/l dan dimusim hujan <4 mg/l (Boyd 1990 *dalam* Badjoeri *et al.*, 2008).

2.4.4. Salinitas

Salinitas didefinisikan sebagai jumlah rata-rata seluruh garam yang terdapat di dalam perairan (Sudradjat, 2006 *dalam* Jukri *et al.*, 2013). Salinitas air disebabkan oleh 7 ion utama, yaitu natrium, kalium, kalsium, klorida, sulfat dan bikarbonat (Effendi, 2003). Ion kalium (K) merupakan salah satu unsur pokok yang sedikit ditemukan di perairan payau dan tawar. Kalium (K) termasuk dalam logam esensial biasanya terikat dalam protein termasuk enzim yang berguna dalam proses metabolisme tubuh (Arifin, 2008 *dalam* Taqwa *et al.*, 2012).

Udang vanname merupakan salah satu komoditas udang yang mampu hidup pada kisaran salinitas yang luas, yaitu dari salintas 0 s/d 50 ppt (Adiwidjaya *et al.*, 2008), dapat hidup pada kondisi *hipo* dan *hipersaline* (Hurtado *et al.*, 2006

dalam Suwoyo dan Mangampa, 2010). Meskipun udang memiliki tingkat toleransi tinggi terhadap perubahan salinitas, tetapi salinitas optimum untuk pertumbuhan udang vanname adalah 15 s/d 25 ppt (Gunarto dan Nurbaya, 2010). Laju pertumbuhan udang yang tinggi pada kisaran salinitas 5 s/d 30 ppt (Adiwidjaya *et al.*, 2008). Pada kadar garam lebih tinggi dari 40 ppt udang tidak tumbuh lagi (Suyanto dan Mujiman, 2003). Udang dalam adaptasinya akan kehilangan air melalui difusi keluar badannya pada salinitas tinggi. Udang akan banyak minum air dan menghindari kelebihan garam dengan mekanisme tertentu. Keseluruhan mekanisme itu memerlukan energi ekstra, sehingga dapat menurunkan efisiensi pakan yang dikonsumsi (Septiana, 2013).

2.4.5. Alkalinitas

Alkalinitas adalah kumpulan seluruh anion di dalam badan air. Alkalinitas menggambarkan kapasitas *buffer* air yang dinyatakan dalam mg/l dari kalsium karbonat (CaCO_3) (Ahmad, 1991 *dalam* Adiwidjaya *et al.*, 2008). Alkalinitas air merupakan ukuran kapasitas air untuk menetralkan asam, dengan kata lain untuk menarik ion hidrogen [H^+] tanpa perubahan pH yang berarti. Umumnya pada air alam keberadaan karbonat (CO_3^{2-}), bikarbonat (HCO_3^-) dan hidroksil [OH^-] merupakan keseluruhan nilai alkalinitas. Oleh karena itu, alkalinitas didefinisikan sebagai jumlah konsentrasi molar unsur-unsur menurut Said dan Ruliasih (2010), seperti yang dirumuskan seperti dibawah ini:

$$A \text{ (eq/m}^3\text{)} = (\text{HCO}_3^-) + 2 (\text{CO}_3^{2-}) + (\text{OH}^-)$$

Semakin tinggi nilai (pH 9), semakin tinggi pula nilai alkalinitas dan semakin sedikit kadar karbon dioksida (CO_2) bebas (Kackereth *et al.*, 1989 *dalam* Jukri *et al.*, 2013). Karbonat (CO_3^{2-}), hidroksida (H_2O) dan bikarbonat (HCO_3^-) akan meningkatkan kebasaaan air (Saeni, 1989 *dalam* Elfinurfajri, 2009). Sedangkan penyusun alkalinitas perairan adalah anion bikarbonat (HCO_3^-),

karbonat (CO_3^-) dan hidroksida (OH^-). Garam dari asam lemah lain seperti; borat (H_2BO_3^-), silikat (HSiO_3^-), fosfat (HPO_4^{2-} dan H_2PO_4^-), sulfida (HS^-) dan amoniak (NH_3) juga memberikan kontribusi terhadap alkalinitas walau dalam jumlah sedikit (Limbong, 2008).

Arifin, *et al.* (2007), dengan kisaran fluktuasi pH pagi dan sore adalah 0,2 s/d 0,5. Nilai fluktuasi pH lebih dari 0,5 menunjukkan bahwa karbonat (CO_3^{2-}) dalam air sebagai penyangga (*buffer*) kurang. Perubahan alkalinitas total dipengaruhi adanya proses biogeokimia seperti pengendapan kalsium karbonat (CaCO_3) atau adanya produksi partikel senyawa organik oleh mikroalga (Wolf-Gladrow *et al.*, 2007 dalam Suratno dan Prayudha, 2010).

Jika basa kuat ditambahkan ke dalam perairan maka basa tersebut akan bereaksi dengan asam karbonat (H_2CO_3^-) membentuk garam bikarbonat (HCO_3^-) dan akhirnya menjadi karbonat (CO_3^{2-}). Jika asam ditambahkan ke dalam perairan maka asam digunakan untuk mengkonversi karbonat (CO_3^{2-}) menjadi bikarbonat (HCO_3^-) kemudian diubah menjadi asam karbonat (H_2CO_3^-). Hal ini dapat menjadikan perairan dengan nilai alkalinitas total tinggi tidak mengalami perubahan pH secara drastis (Cole, 1988 dalam Limbong, 2008).



Menurut Adiwijaya, *et al.* (2003) dalam Hendrajat, *et al.* (2010), nilai alkalinitas untuk pertumbuhan optimal udang adalah 90 s/d 150 mg/l. Semakin sadah air, semakin baik bagi budidaya ikan maupun udang dengan nilai optimalnya 120 mg/l dan nilai maksimumnya 200 mg/l (Ahmad, 1991 dalam Adiwidjaya *et al.*, 2008). Effendi (2003) dalam Taqwa, *et al.* (2012), kisaran alkalinitas yang baik untuk kehidupan organisme air adalah 20 s/d 500 ppm.

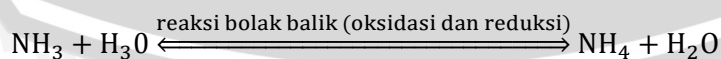
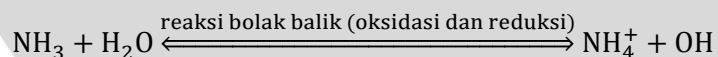
2.4.6. Amoniak (NH₃)

Amoniak (NH₃) merupakan salah satu nitrogen (N) anorganik terlarut bersama dengan nitrogen (N) anorganik terlarut lain seperti nitrat (NO₃) dan nitrit (NO₂) (Yuwono *et al.*, 2007 dalam Retnaningdya, 2008). Kadar amoniak (NH₃) yang baik untuk pertumbuhan udang vanname adalah 0,1 mg/l. Konsentrasi amoniak (NH₃) yang aman untuk budidaya udang ≤ 0,012 mg/l (Schwedler *et al.*, 1985 dalam Badjoeri *et al.*, 2008). Konsentrasi amoniak (NH₃) total di perairan yang dapat ditoleransi oleh udang berada dibawah 0,5 ppm (Forteath *et al.*, 1993 dalam Djokosetiyanto *et al.*, 2005). Faktor yang mempengaruhi hasil amoniak (NH₃) adalah suhu, ukuran udang, aktivitas, kesehatan udang, kandungan protein dalam pakan serta faktor lingkungan lain yang berhubungan dengan laju metabolik udang (Rheinheimer, 1985 dalam Badjoeri *et al.*, 2008).

Dalam proses mineralisasi urea berubah menjadi ammonia (deamination) karena sebuah gugus amino bereaksi dengan air membentuk amoniak (Spotte, 1979 dalam Mayunar, 1990) seperti yang terlihat pada reaksi di bawah ini:



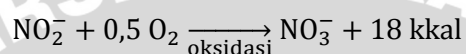
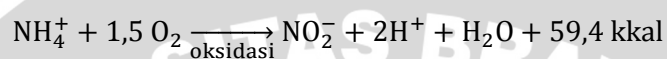
Ammonia dihasilkan oleh hewan amonolitik dan ureolitik. Laju pembentukan senyawa ammonia ini ditentukan oleh laju proses metabolik hewan-hewan tersebut. Dalam air ammonia mengalami hidrolisis dan menghasilkan ion amonium (NH₄⁺), sesuai dengan persamaan reaksi:



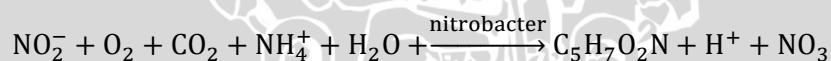
Ion amonium (NH₄⁺) yang berasal dari hewan air, bila masuk ke dalam air bisa terurai menjadi amoniak (NH₃) dan ion hidrogen [H⁺]. Reaksi penguraian ini sangat tergantung pada pH air.



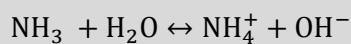
Bila pH turun, ion ammonia banyak dihasilkan dan keseimbangan reaksi bergerak ke kiri, sehingga jumlah ion amonium (NH_4^+) lebih banyak dari amoniak (NH_3). Kadar ammonia tidak hanya ditentukan oleh pH, tetapi dipengaruhi juga oleh suhu dan salinitas. Bila suhu air naik dan salinitas turun, maka kadar ammonia naik. Dalam sistem ini amonium (NH_4^+) dioksidasi menjadi nitrit (NO_2^-) kemudian menjadi nitrat (NO_3^-) oleh bakteri kemoautotrof secara aerob dalam proses nitrifikasi.



Perubahan amonium (NH_4^+) menjadi nitrit (NO_2^-) dapat dilakukan oleh berbagai bakteri yaitu *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosocystis* dan *Nitrosoglea*, sedangkan perubahan nitrit (NO_2^-) menjadi nitrat (NO_3^-) dilakukan oleh *Nitrobacter* dan *Nitrocystis* (Brock, 1970 dalam Mayunar, 1990).



Pada reaksi di atas terlihat bahwa oksigen diambil dari air dan dirubah menjadi energi. Selanjutnya pada reaksi ini digunakan karbon dioksida dan bikarbonat yang didapatkan dalam air dimanfaatkan sebagai sumber karbon untuk pembuatan sel dan metabolisme. Perbandingan antara amoniak (NH_3) dan amonium (NH_4^+) dapat dilihat pada persamaan berikut :



2.4.7. Nitrit (NO_2^-)

Nitrit (NO_2^-) merupakan produk awal dari proses nitrifikasi dimana ion amonium dioksidasi oleh bakteri *Nitrosomonas* menjadi nitrit (NO_2^-). Dalam lingkungan budidaya akan terjadi akumulasi nitrit (NO_2^-) apabila proses lanjutan

dari nitrifikasi yang akan mengubah nitrit (NO_2) menjadi nitrat (NO_3) tidak dapat berjalan (Van Wyk dan Scarpa, 1999 dalam Yuniasari, 2009). Nilai pH >7 menunjukkan air tambak teroksidasi dengan baik (Rheinheimer 1985 dalam Badjoeri *et al.*, 2008). Proses ammonia menjadi nitrit (NO_2) menurut Mayunar (1990) adalah sebagai berikut:



Apabila pH rendah dan temperatur tinggi, maka produksi asam nitrit (HNO_2) lebih banyak dari garam nitrit (NO_2^-). Kecepatan proses nitrifikasi semakin lambat bila pH rendah atau terlalu tinggi, air tawar adalah antara 7,1 s/d 7,8 sedangkan untuk air laut adalah 7,0 s/d 8,2. Denitrifikasi merupakan proses dimana nitrat (NO_3) dan nitrit (NO_2) direduksi menjadi gas dinitrogen (N_2), yang pada akhirnya dilepas dari kolom air. Menurut Woon (2007) dalam Yuniasari (2009), proses denitrifikasi berlangsung dalam beberapa tahap, yaitu:

Nitrat → Nitrit → Nitric oxide → Nitrous oxide → Dinitrogen gas

Salah satu produk gas pada proses denitrifikasi adalah gas N_2O (nitrous oksida). Laju denitrifikasi akan meningkat dengan meningkatnya kandungan nitrat pada sedimen (Widiyanto, 2005 dalam Yuniasari, 2009). Salah satu faktor yang mempengaruhi proses denitrifikasi adalah lingkungan. Proses denitrifikasi optimum ketika DO nol. pH optimum bagi denitrifikasi adalah 6.5 s/d 7.5 dan akan menurun hingga 70% pada pH 6 dan pH 8 (Yuniasari, 2009).

Kandungan nitrit (NO_2) yang aman ditambak pembesaran benur dan udang vanname adalah 4,5 mg/l (Boyd, 1990 dalam Mansyur *et al.*, 2010). Konsentrasi maksimum senyawa nitrit di perairan budidaya $\leq 4,4$ mg/l (Schwedler *et al.*, 1985 dalam Badjoeri *et al.*, 2008). Pada konsentrasi lebih dari 0,05 mg/l akan nitrit (NO_2) akan bersifat toksik bagi biota yang sensitif (Moore, 1991 dalam Badjoeri *et al.*, 2008). Udang memiliki toleransi yang cukup besar terhadap

keberadaan nitrit (NO_2), minimum kadar nitrit (NO_2) yang aman bagi pertumbuhan udang sebaiknya tidak lebih dari 45 ppm. Konsentrasi nitrit (NO_2) yang mematikan 50% populasi (LC_{50}) udang adalah 45 ppm dalam waktu 96 jam (Boyd, 1990 *dalam* Rajab, 2006). Menurut Schwelder, *et al.* (1985) *dalam* Rajab (2006), faktor-faktor yang dipengaruhi toksisitas nitrit (NO_2) antara lain, konsentrasi klorida (Cl) dalam air, pH, ukuran hewan, waktu pemaparan, nutrisi, infeksi dan konsentrasi DO.

2.4.8. Nitrat (NO_3)

Nitrat (NO_3) adalah produksi dari nitrit (NO_2) dalam proses nitrifikasi dan merupakan bentuk oksidasi terbanyak dari nitrogen (N) dalam air (Colt dan Armstrong, 1981 *dalam* Mayunar, 1990). Nitrat (NO_3) merupakan bahan organik yang banyak dibutuhkan diatom planktonik untuk sintesis protein (Anshorullah *et al.*, 2008). Nitrat (NO_3) adalah bentuk nitrogen (N) utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga (Hendrajat *et al.*, 2010).

Menurut Azman (2005) *dalam* Hendrajat, *et al.* (2010), nitrat sebagai faktor pembatas jika konsentrasinya $<0,1\text{mg/l}$. Berdasarkan PP No. 82 Th 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air *dalam* Retnaningdya (2008), yaitu sebesar 10 mg/l untuk nitrat (NO_3). Konsentrasi nitrat (NO_3) tanpa menyebabkan *blooming* adalah $0,9\text{ s/d }3,5\text{ mg/l}$ (Mackentum, 1969 *dalam* Warsa *et al.*, 2008). Kadar nitrat (NO_3) lebih dari $0,2\text{ mg/l}$ dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi yang selanjutnya memicu *blooming* (Effendi, 2003 *dalam* Anshorullah *et al.*, 2008).

Bakteri denitrifikasi akan mereduksi nitrat (NO_3) atau nitrit (NO_2) menjadi dinitrogen oksida (N_2O) atau gas dinitrogen (N_2). Pada kondisi oksigen (O_2) yang memadai proses ini akan berlanjut menjadi proses nitrifikasi, nitrit akan dioksidasi menjadi nitrat oleh bakteri nitrifikasi (bakteri pembentuk nitrat) (Badjoeri *et al.*,

2008). Dengan bantuan bakteri *Nitrobacter* nitrit (NO_2) akan diubah menjadi nitrat (NO_3) yang relatif tidak toksik (Masser *et al.*, 1999 dalam Yuniasari, 2009). Nitrat (NO_3) dalam lingkungan budidaya dapat dihilangkan dengan bantuan bakteri denitrifikasi yang akan mengubah nitrat (NO_3) menjadi gas dinitrogen (N_2) (Yuniasari, 2009).

2.4.9. Fosfat (PO_4^{3-})

Orthofosfat merupakan bentuk fosfor yang dimanfaatkan oleh tumbuhan air secara langsung (Warsa *et al.*, 2008). Effendi (1993) dalam Anshorullah, *et al.* (2008), kadar orthofosfat di perairan menurut WHO (1992) dalam Anshorullah, *et al.* (2008), berkisar 0,005 s/d 0,02 mg/l. Konsentrasi orthofosfat untuk pertumbuhan fitoplankton tanpa menyebabkan *blooming* adalah 0,09 s/d 1,8 mg/l (Mackentum, 1969 dalam Warsa *et al.*, 2008). Fungsi utama fosfor adalah sebagai pemberi energi dan kekuatan pada metabolisme lemak dan karbohidrat, sebagai penunjang kesehatan karapas, untuk sintesis DNA serta penyerapan dan pemakaian kalsium (Septiana, 2013).

Unsur fosfor (P) mutlak diperlukan karena unsur ini penting untuk proses transformasi energi dalam proses fotosintesis. Fosforilasi adenosine menghasilkan adenosine monofosfat, difosfat dan trifosfat (AMP, ADP dan ATP) yang kemudian digunakan oleh mikroalga sebagai sumber energi. Fungsi kalium fosfat (K_2HPO_4) adalah sebagai sumber fosfor untuk sintesis senyawa penghasil energi bagi aktivitas sel (Kuhl, 1974 dalam Dianursanti, 2012).

2.4.10. Asam sulfida (H_2S)

Konsentrasi asam sulfida (H_2S) terukur 3 mg/l cukup tinggi karena dengan 0,05 mg/l H_2S saja sudah mematikan organisme perairan. Keberadaan asam sulfida (H_2S) diharapkan tidak boleh lebih dari 0,002 mg/l (Purwanta dan Firdayati, 2002). Kadar asam sulfida (H_2S) ditambah pembesaran sebaiknya

dibawah 0,1 mg/l (Raswin, 2003). Satu molekul sulfida (SO_4^{2-}) dihasilkan setiap molekul sulfat yang direduksi dan asam sulfida (H_2S) ini akan bereaksi dengan logam larut, menghasilkan logam-logam asam sulfida (H_2S) yang mempunyai kelarutan rendah, seperti reaksi berikut:



Dengan Me^{2+} (asam sulfida- H_2S) sebagai simbol dari logam divalen (Skousen dan Ziemkiewicz, 1996 *dalam* Riwandi dan Munawar, 2013). Selain itu, proses penguraian sampah mengandung protein (hewani atau nabati) akan menghasilkan gas asam sulfida (H_2S), sehingga air tidak layak.

2.4.11. Total Bahan Organik Terlarut (TOM-“Total Organic Matter”)

Kandungan bahan organik dalam perairan dapat diukur secara langsung dengan mengukur kandungan bahan organik total (“Total Organic Matter”, TOM) (Wetzel dan Likens 1991 *dalam* Suwoyo, 2009). Bahan organik merupakan akumulasi dari berbagai macam sumber yaitu bahan organik yang berasal dari limbah biota air yang mati maupun tanaman berupa fitoplankton dan tanaman lain, atau sisa pakan (Adiwidjaya *et al.*, 2008).

TOM lebih dari 60 ppm menunjukkan kualitas air menurun (Arifin *et al.*, 2007). Kisaran optimal TOM pada air pemeliharaan udang adalah kurang dari 150 ppm (Adiwidjaya *et al.*, 2008). Sedangkan menurut Adiwijaya, *et al.* (2003) *dalam* Suwoyo (2009), kisaran optimal bahan organik pada budidaya udang vanname <55 mg/l. Tingginya akumulasi bahan organik di tambak udang menurut Widiyanto (2006) *dalam* Badjoeri, *et al.* (2008) dapat menimbulkan beberapa dampak yang merugikan yaitu; 1) memacu pertumbuhan mikroorganisme heterotrofik dan bakteri patogen, 2) eutrofikasi, 3) terbentuknya senyawa toksik (amoniak dan nitrit) dan 4) menurunnya konsentrasi oksigen terlarut (DO).

2.4.12. Total Bahan Terlarut (TSS-“Total Suspended Solid”)

Semua kontaminan atau pengotor dalam air kecuali gas terlarut merupakan bagian dari beban padatan dalam air (Said dan Ruliasih, 2010). Peningkatan nilai TSS dalam tambak dapat disebabkan oleh operasional kincir yang berlebih dan hembusan angin yang kencang sehingga mempengaruhi pengikisan dan pelarutan tanah pematang tambak, serta pengadukan dan pelarutan bahan organik dari dasar tambak juga dapat meningkatkan kekeruhan dan siltasi kualitas sedimen (Rachmansyah *et al.*, 2006). Menurut Soemardjati dan Suriawan (2007), nilai TSS untuk budidaya udang vanname berkisar 25 s/d 500 mg/l. Bahan tersuspensi tidak beracun tetapi dapat meningkatkan nilai kekeruhan yang dapat menghambat penetrasi cahaya matahari ke kolom air dan akhirnya berpengaruh pada proses fotosintesis di perairan (Suwoyo, 2009).

2.5. Kualitas Sedimen

Sedimen tambak berinteraksi dengan air di atasnya dan saling mempengaruhi satu sama lainnya (Boyd, 1990 *dalam* Suwoyo, 2009). Sedimen mengalami proses-proses yang dapat memberikan pengaruh terhadap kualitas air (Sutikno, 2003 *dalam* Suwoyo, 2009).

2.5.1. pH tanah

Derajat kesaman (pH) tanah banyak dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain bahan organik dan berbagai jenis organisme air yang mengalami pembusukan dan logam berat (besi, timah dan bauksit, dll) (Adiwidjaya *et al.*, 2008). pH tanah yang optimal untuk kegiatan budidaya berkisar antara 6,5 s/d 8,0 (Boyd, 1995 *dalam* Adiwidjaya *et al.*, 2008). Tanah untuk membuat tambak sebaiknya mempunyai pH netral atau basa, yaitu 7,0 s/d 8,5. Tanah semacam ini kaya akan garam nutrien, sehingga dapat merangsang pertumbuhan pakan bagi udang yang dibudidayakan (Afrianto dan Liviawaty, 1992 *dalam* Nurjanah, 2009).

Menurut Boyd (1992) dalam Suwoyo (2009), pH tanah mempengaruhi kecepatan penguraian bahan organik di dasar tambak. Umumnya mikroorganisme tanah melakukan penguraian bahan organik secara optimal pada pH tanah 7,5 s/d 8,5. Terjaganya kondisi pH tanah yang stabil selama masa pemeliharaan yaitu dengan dilakukan aplikasi kapur secara periodik dengan dosis antara 5 s/d 20 ppm pada setiap kondisi pH mengalami penurunan kurang dari 6,5 (Adiwidjaya *et al.*, 2008).

2.5.2. Bahan Organik Tanah (BOT)

BOT menggambarkan kandungan bahan organik total suatu perairan yang terdiri atas bahan organik terlarut, tersuspensi dan koloid (Boyd, 1995 dalam Suwoyo dan Mangampa, 2010). Limbah tambak yang terdiri dari sisa pakan ("uneaten feed"), kotoran udang (feces) dan pemupukan terakumulasi di dasar tambak (Boyd, 1999 dalam Mansyur *et al.*, 2010).

Bahan organik tanah yang optimal berkisar antara 6 s/d 9% (Boyd, 1995 dalam Suwoyo dan Mangampa, 2010). Data lain mensyaratkan bahwa kandungan bahan organik tanah maksimal 12% (Ahmad, 1991). Tanah dasar tambak yang mengandung karbon organik 15 s/d 20% atau 30 s/d 40% bahan organik tidak baik untuk budidaya perairan. Kandungan bahan organik yang baik untuk budidaya sekitar 10 atau 20% kandungan karbon organik (Boyd, 2002 dalam Supono, 2008).

2.5.3. Timbal (Pb)

Logam berat Pb digolongkan dalam logam berat esensial, artinya meskipun merupakan logam berat beracun, dibutuhkan oleh tubuh meskipun dalam jumlah sedikit (Muhajirin, *et al.* 2004 dalam Martuti, 2012). Timbal (Pb) merupakan logam utama yang digunakan dalam industri karena ketersediannya yang melimpah di alam dan titik cairnya rendah, sehingga mudah untuk

digunakan (Umami, *et al.* 2012). Logam berat terbawa arus sungai dari hulu ke muara yang didistribusikan ke perairan (Soegianto *et al.*, 1999). Selain itu, diakibatkan karena adanya kendaraan bermotor petambak yang melewati tambak setiap hari (Umami *et al.*, 2012).

Menurut Palar (2004) dalam Umami, *et al.* (2012), asap kendaraan bermotor yang berupa $Pb(CH_3)_4$ (tetrametil Pb) dan $Pb(C_2H_5)_4$ (tetraetil-Pb) akan mengalami pengkristalan di udara, sehingga pada saat hujan akan masuk ke tambak dengan bantuan air hujan. Timbal (Pb) yang masuk ke tambak baik melalui udara maupun air pada akhirnya akan ditemukan dalam tubuh ikan dan udang. Logam berat yang masuk ke dalam lingkungan perairan mengalami pengendapan. Pengendapan logam berat di suatu perairan terjadi karena adanya anion karbonat hidroksil dan klorida. Logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan berikatan dengan partikel-partikel sedimen, sehingga konsentrasi logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibanding dalam air (Erlangga, 2007 dalam Umami *et al.*, 2012). Logam berat Pb dapat terlarut dalam air, akan tetapi jika logam tersebut terlarut maka akan berpindah ke dalam sedimen jika berikatan dengan materi organik bebas atau materi organik yang melapisi permukaan sedimen (Arisandi, 2004 dalam Umami *et al.*, 2012).