

**PEMODELAN PARAMETER KUALITAS AIR TERHADAP KEPADATAN
PROTOZOA GREGARINE DI DALAM TUBUH UDANG VANAME (*Litopenaeus
vannamei*) PADA TAMBAK YANG TERINFEKSI WHITE FECES SYNDROME
(WFS) MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK STELLA (SYSTEMS
THINKING, EXPERIMENTAL LEARNING LABORATORY WITH ANIMATION)**

SKRIPSI

Oleh:

**ARDIAN DIO BUDI SETYAWAN
NIM. 165080507113001**



**PROGRAM STUDI BUDIDAYA PERAIRAN
JURUSAN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2020**

**PEMODELAN PARAMETER KUALITAS AIR TERHADAP KEPADATAN
PROTOZOA GREGARINE DI DALAM TUBUH UDANG VANAME (*Litopenaeus
vannamei*) PADA TAMBAK YANG TERINFEKSI WHITE FECES SYNDROME
(WFS) MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK STELLA (SYSTEMS
THINKING, EXPERIMENTAL LEARNING LABORATORY WITH ANIMATION)**

SKRIPSI

Oleh:

**ARDIAN DIO BUDI SETYAWAN
NIM. 165080507113001**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**PROGRAM STUDI BUDIDAYA PERAIRAN
JURUSAN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

2020

SKRIPSI

PEMODELAN PARAMETER KUALITAS AIR TERHADAP KEPADATAN PROTOZOA GREGARINE DI DALAM TUBUH UDANG VANAME (*Litopenaeus vannamei*) PADA TAMBAK YANG TERINFEKSI WHITE FECES SYNDROME (WFS) MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK STELLA (SYSTEMS THINKING, EXPERIMENTAL LEARNING LABORATORY WITH ANIMATION)

Oleh:
ARDIAN DIO BUDI SETYAWAN
NIM. 165080507113001

telah dipertahankan didepan penguji
pada tanggal 30 Juni 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Mengetahui,
Ketua Jurusan
Manajemen Sumberdaya Perairan

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



(Dr. Ir. Muhamad Firdaus, MP)
NIP. 196809192005011001
Tanggal: 7/5/2020

(Dr. Ir. Mohamad Fadiar, M.Sc)
NIP. 196210141987011001
Tanggal: 7/5/2020



LEMBAR IDENTITAS TIM PENGUJI

Judul : Pemodelan Parameter Kualitas Air Terhadap Kepadatan Protozoa Gregarine di Dalam Tubuh Udang (*Litopenaeus Vannamei*) pada Tambak Yang Terinfeksi *White Feces Syndrome* (WFS) Menggunakan Perangkat Lunak Stella (*Systems Thinking, Experimental Learning Laboratory With Animation*)

Nama Mahasiswa : Ardian Dio Budi Setyawan

NIM : 165080507113001

Program Studi : Budidaya Perairan

PENGUJI PEMBIMBING:

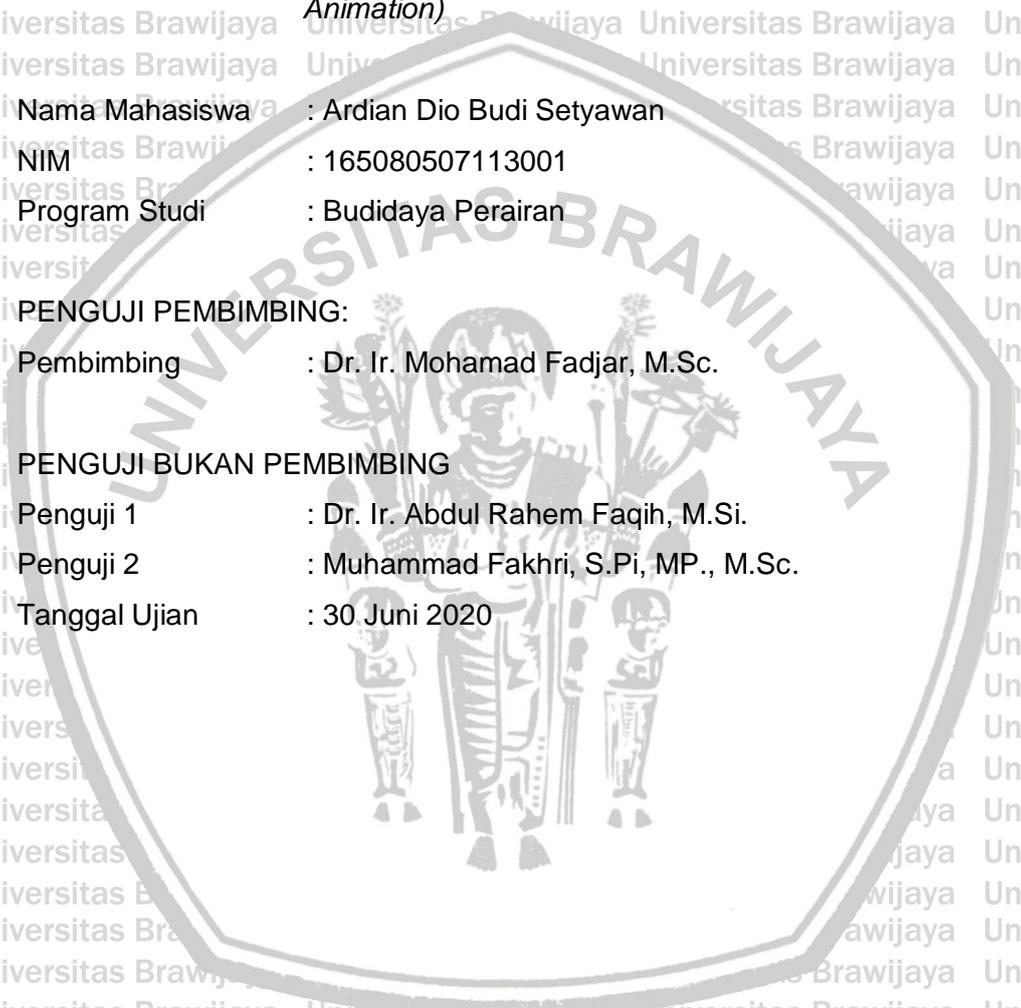
Pembimbing : Dr. Ir. Mohamad Fadjar, M.Sc.

PENGUJI BUKAN PEMBIMBING

Penguji 1 : Dr. Ir. Abdul Rahem Faqih, M.Si.

Penguji 2 : Muhammad Fakhri, S.Pi, MP., M.Sc.

Tanggal Ujian : 30 Juni 2020



RINGKASAN

ARDIAN DIO BUDI SETYAWAN. Skripsi tentang pemodelan parameter kualitas air terhadap kepadatan protozoa gregarine di dalam tubuh udang (*Litopenaeus vannamei*) pada tambak yang terinfeksi *white feces syndrome* (WFS) menggunakan perangkat lunak stella (*systems thinking, experimental learning laboratory with animation*) (dibawah bimbingan **Dr. Ir. M. Fadjar, Msc**).

Budidaya mengalami perkembangan yang pesat di Indonesia. Salah satu komoditas yang memiliki permintaan yang tinggi adalah udang vaname. Permintaan ekspor tergolong tinggi hingga 36.200 ton per tahun 2018. Namun menurun sebesar 2.700 ton pada tahun selanjutnya. Permasalahan utama yang sering ditemukan dalam kegagalan produksi udang vaname adalah buruknya kualitas air selama masa pemeliharaan, terutama pada tambak intensif. Tingginya padat tebar otomatis akan menambah pemberian pakan sehingga limbah meningkat. Pengelolaan kualitas air yang tidak baik menjadi salah satu penyebab terjadinya penyakit berak putih atau dikenal dengan *White Feces Syndrome* (WFS). Diduga kuat bahwa WFS disebabkan oleh gabungan serangan parasit gregarine dari jenis *Nematopsis* sp dengan kepadatan tertentu dan bakteri jenis *Vibrio harveyi*. Supaya mudah, pengelolaan kualitas air dapat dibentuk menjadi model agar tidak terjadi hal - hal seperti itu. Salah satu cara yang sudah dilakukan untuk memecahkan masalah adalah dengan menerapkan suatu pemodelan.

Tujuan dilakukannya penelitian adalah untuk mengetahui pemodelan sistem dapat menentukan kepadatan gregarine berdasarkan kualitas air tambak udang vaname. Selain itu, untuk mengetahui konsentrasi tiap parameter kualitas air yang dapat menghadirkan gregarine dengan kepadatan yang berbahaya sehingga dapat menyebabkan WFS. Dan untuk mengetahui jumlah gregarine dalam tambak yang dapat menurunkan total produksi.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode deskriptif. Pengambilan data kualitas air yang akan digunakan pada penelitian ini dilakukan pada penelitian terdahulu dengan kasus tambak budidaya udang vaname yang terinfeksi WFS. Penelitian dilakukan dengan merancang skenario, menyusun diagram simpal kausal, lalu menyusun *stocks* dan *flows* (pemodelan) untuk tiap variabel yang akan ditarik hubungan sebab akibatnya. Pemodelan dibuat menggunakan perangkat lunak STELLA. Perangkat tersebut digunakan karena penggunaan yang mudah dalam membuat simulasi model. Parameter kualitas air dihubungkan dengan jumlah gregarine dalam tubuh udang. Kemudian, tingkat kematian udang vaname yang diakibat oleh protozoa gregarine dihubungkan dengan jumlah produksi yang seharusnya.

Berdasarkan pemodelan, terdapat sebanyak 116 gregarine menginfeksi ke dalam tubuh udang. Kepadatan gregarine lebih dari 100 individu dalam tubuh udang (usus) akan menyebabkan penginfeksian penyakit WFS. Sehingga terjadi kematian sebesar 40% atau 7.5735 ton/ha. Total produksi yang dihasilkan adalah sebesar 11,3603 ton/ha. Optimalnya, produksi yang dapat dihasilkan pada pemodelan tanpa adanya penginfeksian gregarine dengan kepadatan yang berbahaya adalah sebesar hingga 18,9338 ton/ha. Hal ini menginisiasikan bahwa terjadi penurunan produksi sebesar 40% akibat adanya gregarine dengan kepadatan yang berbahaya dalam tubuh udang.

DAFTAR ISI

Halaman

RINGKASAN **vii**

KATA PENGANTAR **viii**

DAFTAR ISI **ix**

DAFTAR GAMBAR **xii**

DAFTAR TABEL **xiii**

DAFTAR LAMPIRAN **xiv**

1. PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang **1**

1.2 Perumusan Masalah **4**

1.3 Tujuan **4**

1.4 Kegunaan **5**

1.5 Tempat, Waktu/ Jadwal Pelaksanaan **5**

2. TINJAUAN PUSTAKA **6**

2.1 Udang Vaname **6**

2.1.1 Klasifikasi **6**

2.1.2 Morfologi **6**

2.1.3 Habitat **7**

2.1.4 Penyebaran **9**

2.1.5 Siklus Hidup **10**

2.1.6 Sistem Kekebalan Tubuh **12**

2.2 Protozoa Gregarine **13**

2.2.1 Morfologi Gregarine **13**

2.2.2 Siklus Hidup **15**

2.2.3 Kepadatan Populasi **16**

2.2.4 Dampak Negatif **18**

2.3 Kualitas Air **18**

2.3.1 Suhu **19**

2.3.2 Oksigen Terlarut **19**

2.3.3 pH **21**

2.3.4 Salinitas **21**

2.3.5 Amonia **22**

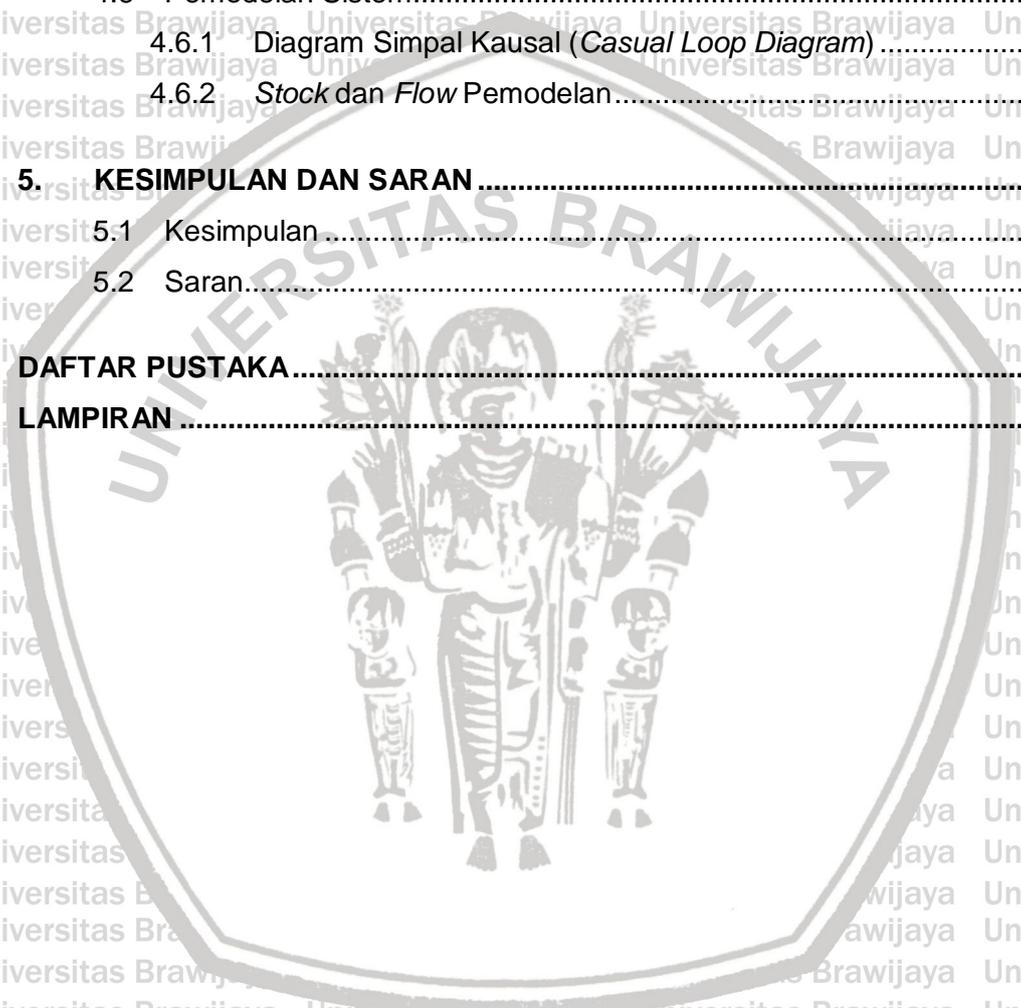
2.3.6 Nitrit **23**





2.3.7	Nitrat.....	24
2.4	Produktivitas Budidaya Udang Vaname.....	24
2.4.1	Biomassa.....	24
2.4.2	Kematian.....	29
2.4.3	Total Produksi.....	30
2.5	Sistem Dinamis.....	31
2.5.1	Struktur dan Perilaku Sistem.....	31
2.5.2	Simulasi Model STELLA.....	32
2.5.3	Tahap Pemodelan.....	33
2.5.4	Bahasa Pemrograman <i>Stella Sftware</i>	34
3.	METODE PENELITIAN.....	38
3.1	Materi Penelitian.....	38
3.1.1	Alat Penelitian.....	38
3.1.2	Bahan Penelitian.....	38
3.2	Metode Penelitian.....	38
3.3	Metode Pengumpulan Data.....	38
3.4	Kegiatan Penelitian.....	39
3.3.1	Persiapan Penelitian.....	39
3.3.2	Pelaksanaan Penelitian.....	40
3.5	Pemodelan Sistem Dinamis.....	40
3.4.1	Penyusunan Diagram Simpal Kausal (<i>Casual Loop</i>).....	41
3.4.2	Penyusunan <i>Stock</i> dan <i>Flows</i>	42
3.4.3	Pembuatan Skenario Model.....	43
3.4.4	Validasi Model.....	44
3.6	Analisa Data.....	44
4.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1	Kualitas Air.....	45
4.1.1	Suhu.....	46
4.1.2	Oksigen Terlarut.....	47
4.1.3	pH.....	48
4.1.4	Salinitas.....	50
4.1.5	Amonia.....	51
4.1.6	Nitrit.....	52
4.1.7	Nitrat.....	53

4.1.8	Bahan Organik.....	54
4.2	Protozoa Gregarine pada Tambak.....	55
4.3	<i>White Feces Syndrome</i> pada Tambak.....	56
4.4	Analisis Sitem Pemodelan.....	57
4.4.1	Sub Sistem Dampak WFS.....	57
4.4.2	Sub Sistem Produksi.....	59
4.5	Analisis Struktur Permasalahan.....	60
4.6	Pemodelan Sistem.....	61
4.6.1	Diagram Simpal Kausal (<i>Casual Loop Diagram</i>).....	61
4.6.2	<i>Stock dan Flow</i> Pemodelan.....	63
5.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
5.1	Kesimpulan.....	67
5.2	Saran.....	67
	DAFTAR PUSTAKA.....	68
	LAMPIRAN.....	74

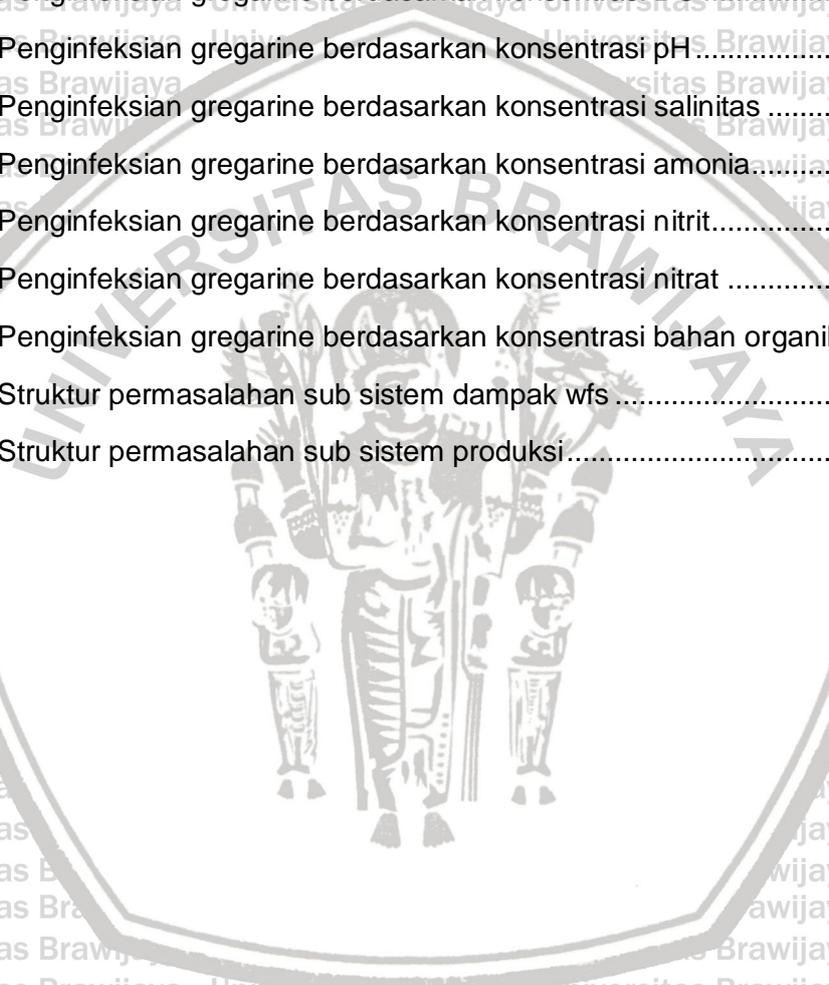


DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Morfologi udang vaname (<i>L. vannamei</i>) (Akbaider, 2013)	7
2. Siklus hidup udang vaname (Stewart, 2005)	12
3. Jenis – jenis gregarine (Fuadi, 2017)	14
4. Gregarine di dalam usus udang vanname (Lavilla-Pitogo, 2000)	15
5. Siklus hidup gregarine (Fuadi, 2017)	15
6. Blok model pada <i>Stella software</i> (Brothers and Pavlov, 1965)	33
7. <i>Stock</i> pada <i>Stella software</i> (Stella, 2019)	36
8. <i>Flow</i> pada <i>Stella software</i> (Stella, 2019)	36
9. <i>Connectors</i> pada <i>Stella software</i> (Stella, 2019)	36
10. <i>Converter</i> pada <i>Stella software</i> (Stella, 2019)	37
11. Prosedur kerja penelitian	39
12. Skenario pemodelan	43
13. Diagram sebab akibat sistem pemodelan	63
14. Model sistem <i>stock</i> dan <i>flows</i> (pemodelan)	65
15. Grafik Total Produksi	66

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komponen penelitian dan kategori pemodelan berorientasi objek.....	41
2. Kualitas Air Tambak Udang Vaname Terinfeksi WFS.....	45
3. Penginfeksian gregarine berdasarkan konsentrasi suhu.....	47
4. Penginfeksian gregarine berdasarkan konsentrasi DO.....	48
5. Penginfeksian gregarine berdasarkan konsentrasi pH.....	49
6. Penginfeksian gregarine berdasarkan konsentrasi salinitas.....	50
7. Penginfeksian gregarine berdasarkan konsentrasi amonia.....	51
8. Penginfeksian gregarine berdasarkan konsentrasi nitrit.....	52
9. Penginfeksian gregarine berdasarkan konsentrasi nitrat.....	54
10. Penginfeksian gregarine berdasarkan konsentrasi bahan organik.....	55
11. Struktur permasalahan sub sistem dampak wfs.....	60
12. Struktur permasalahan sub sistem produksi.....	61



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Persamaan Pada STELLA Software.....	74



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Volume produksi perikanan harus terus meningkat seiring dengan meningkatnya peminatan masyarakat untuk mengkonsumsi ikan. Berdasarkan penelitian Arthatiani, *et al.* (2018), rata – rata konsumsi ikan pada tahun 2018 mencapai angka 13,16 kg/kapita/tahun. Konsumsi ikan di Indonesia dikelompokkan menjadi konsumsi ikan air laut segar sebesar 22.10 kg/kapita/tahun, ikan air tawar/payau segar sebesar 16.75 kg/kapita/tahun, udang segar sebesar 9.58 kg/kapita/tahun dan ikan olahan sebesar 4.22 kg/kapita/tahun. Jumlah tersebut tergolong dalam konsumsi tinggi. Hal ini menjadi peluang bagi perusahaan perikanan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan ketersediaan ikan konsumsi, khususnya ikan laut dan ikan air tawar/payau serta udang. Semua jenis ikan diminati oleh masyarakat, namun salah satu jenis ikan yang memiliki prospek yang tinggi adalah udang.

Berdasarkan FAO (2016), Negara Indonesia masuk ke dalam sepuluh negara penghasil udang utama di dunia. Produksi udang di Indonesia menempati posisi keempat terbesar di dunia. Indonesia tidak bergantung pada pasar ekspor namun, memiliki pasar domestik yang besar untuk produk udang. Ditahun 2014 volume produksi udang untuk ekspor diketahui sebanyak 34.213 ton. Di tahun selanjutnya, yaitu 2015 sebesar 34.043 ton (KKP, 2016). Menurun lagi pada tahun 2016 sebesar 31.500 ton. Lalu, pada tahun 2017 sebesar 31.494 ton. Pada tahun 2018 volume produksi udang untuk ekspor diketahui sebanyak 36.200 ton. Tetapi, ditahun selanjutnya, pada 2019 terjadi penurunan produksi yang cukup signifikan yaitu sebesar 33.500 ton (BPS, 2019).

Menurut Purnamasari, *et al.*, (2019), sampai saat ini petambak udang memilih komoditas udang vaname sebagai pilihan utama untuk dibudidayakan.

Hal ini dikarenakan secara ekonomi keberhasilan panen udang vaname ukuran konsumsi memberikan keuntungan yang tertinggi per satuan waktu dibandingkan dengan komoditas ikan lainnya. Selain itu, udang vaname mempunyai harga pasar yang baik dan relatif stabil. Permasalahan utama yang sering ditemukan dalam kegagalan produksi udang vaname adalah buruknya kualitas air selama masa pemeliharaan, terutama pada tambak intensif. Padat tebar yang tinggi dan pemberian pakan yang banyak dapat menurunkan kondisi kualitas air (Yuniasari, 2009).

Berdasarkan penelitian Wulandari, *et al.*, (2015), tingginya padat tebar akan meningkatkan limbah metabolik. Limbah ini disebabkan oleh jumlah pakan yang berlebih. Pakan yang sisa akan mengendap menjadi kotoran di dasar tambak dan berubah menjadi senyawa toksik bagi udang karena penurunan kualitas air. Hal ini menjadi alasan terhadap terjadinya peningkatan bahan organik dan senyawa toksik yang dihasilkan yaitu nitrit (NO_2) dan amonia (NH_3). Keberadaan bahan organik dan senyawa toksis yang tinggi pada tambak secara perlahan – lahan akan membuat udang mati sehingga produksi menurun.

Kualitas air yang buruk mengakibatkan udang vaname berpotensi terserang penyakit. Menurut Prakoso, *et al.*, (2016), tingginya kandungan bahan organik seperti amonia, nitrit, nitrat, dan fosfat diduga menjadi salah satu penyebab terjadinya penyakit berak putih atau dikenal dengan *White Feces Syndrome* (WFS). Gejala khas penyakit ini ditandai dengan kotoran udang berwarna putih yang mengambang di tambak. Menurut Febrianti, *et al.*, (2019), jika udang vaname terjangkit WFS maka nafsu makan akan menurun sehingga berdampak pada pertumbuhan udang vaname yang lamban. Penyakit ini tidak langsung menyebabkan kematian massal pada udang vaname. Namun, apabila dibiarkan penyakit ini dapat menyebabkan kematian setiap hari. Sehingga, akan menurunkan produksi udang vaname.

Diduga kuat bahwa WFS disebabkan oleh kombinasi serangan parasit gregarine dari jenis nematopsis dan bakteri jenis *Vibrio harveyi*. Pada tambak dengan kualitas air yang buruk, yaitu bahan organiknya tinggi akan menimbulkan adanya bakteri *Vibrio harveyi* dan protozoa gregarine. Interaksi antara keduanya dapat menyerang bagian usus dan hepatopankreas udang jika mengonsumsi invertebrata yang memiliki gregarine di dalamnya (Chaweepack, *et al.*, 2015).

Dalam upaya pencegahan penyakit WFS, pengelolaan kualitas air adalah hal penting yang harus dipertimbangkan sebagai suatu kesatuan sistem dari dinamika interaksi antara habitat parasit dan kondisi tambak budidaya.

Penurunan kualitas air berarti meningkatkan resiko patogenitas oleh berbagai parasit salah satunya protozoa gregarine. Kehadiran protozoa tersebut menyebabkan terjadinya WFS yang akan berdampak pada penurunan produksi udang vaname di tambak budidaya. Supaya lebih mudah, pengelolaan kualitas air dapat dibentuk menjadi model agar tidak terjadi hal - hal seperti itu. Model tersebut kemudian diaplikasikan ke dalam sistem agar dapat terlihat kejadian nyatanya dan prospektif yang akan terjadi dalam sistem kualitas air (Ismail, 2019).

Salah satu cara yang sudah banyak dilakukan untuk memecahkan masalah adalah dengan menerapkan suatu pemodelan. Pengaplikasian model dilakukan ke dalam suatu resolusi konflik atau pemecahan masalah dalam upaya pengelolaan berkelanjutan (Grasso, 1998). Penerapan model digunakan untuk tujuan mengambil keputusan dari suatu permasalahan yang kompleks dan dinamis. Pada studi Kurniawan (2014), pengaplikasian model menggunakan perangkat lunak STELLA untuk mengetahui optimalisasi pemakaian kincir pada tambak budidaya udang vaname. Oleh karena itu, dilakukan penerapan model untuk menghubungkan kaitan antara parameter kualitas air tambak budidaya udang vaname terhadap kepadatan atau jumlah protozoa gregarine yang menyebabkan penyakit WFS.

Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dilakukan penelitian mengenai pemodelan parameter kualitas air untuk mengetahui jumlah gregarine dalam tubuh udang dengan kepadatan populasi yang membahayakan sehingga menyebabkan penyakit WFS dan merugikan bagi produksi udang vaname di tambak budidaya. Hasil penelitian ini dapat menjadi standar penentuan untuk kualitas air budidaya udang vaname agar kepadatan gregarine dalam tambak tidak menjadi penyebab penginfeksi penyakit WFS sehingga produksi tidak menurun.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka terdapat masalah yang dirumuskan sebagai berikut:

- Apakah pemodelan sistem dapat menentukan kepadatan protozoa gregarine berdasarkan kualitas air pada tambak budidaya udang vaname?
- Berapa kadar tiap parameter kualitas air yang dapat menghadirkan gregarine dengan kepadatan yang berbahaya sehingga dapat menyebabkan WFS?
- Berapa jumlah gregarine dalam tambak yang dapat menurunkan total produksi?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu diantaranya:

- Mengetahui bahwa pemodelan sistem dapat menentukan kepadatan protozoa gregarine dalam tubuh udang vaname berdasarkan kualitas air pada tambak.

- Mengetahui kadar tiap parameter kualitas air yang dapat menghadirkan gregarine dengan kepadatan yang berbahaya sehingga dapat menyebabkan WFS.
- Mengetahui jumlah gregarine dalam tambak yang dapat menurunkan total produksi.

1.4 Kegunaan

Penelitian ini memiliki kegunaan di masa mendatang. Permasalahan saat ini adalah masih banyak pembudidaya yang sulit mengetahui kualitas air yang optimal agar tidak menghadirkan gregarine dengan kepadatan yang berbahaya.

Hasil pada penelitian ini adalah mampu membuat model untuk mengetahui kualitas air yang optimal agar tidak menghadirkan protozoa gregarine dalam tubuh udang pada kepadatan tertentu yang dapat menimbulkan penyakit WFS.

Sehingga tidak terjadi penurunan produksi udang vaname yang dibudidayakan di tambak.

1.5 Tempat, Waktu/ Jadwal Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan berdasarkan data penelitian tentang tambak budidaya udang vaname yang terserang WFS dan dilakukan di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang, dan Kampus III Kediri pada bulan Oktober 2019.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Udang Vaname

2.1.1. Klasifikasi

Klasifikasi udang vaname dijelaskan menurut Wyban dan Sweeney (2000), sebagai berikut:

Kingdom : Animalia
Filum : Anthropoda
Kelas : Crustacea
Ordo : Decapoda
Famili : Penaidae
Genus : Penaeus
Subgenus : *Litopenaeus*
Spesies : *Litopenaeus vannamei*

2.1.2 Morfologi

Udang vaname memiliki tubuh yang berwarna putih transparan (white shrimp). Namun, adapula yang berwarna kebiruan (kromatofor dominan biru).

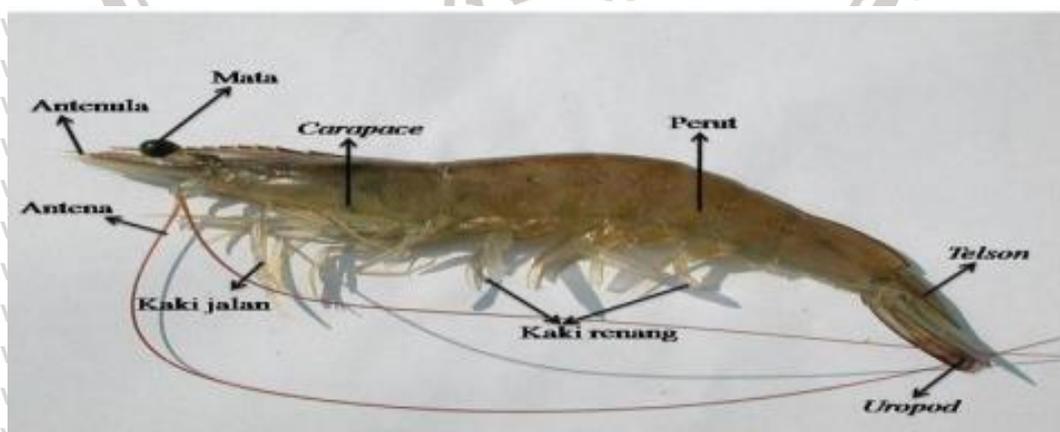
Udang vaname dapat tumbuh hingga panjang tubuhnya mencapai 23 cm. Tubuh udang vaname. Bagian tubuh udang vaname terbagi menjadi dua, yaitu kepala (thorax) dan perut (abdomen). Bagian thorax sendiri terdiri dari antenula, antena, mandibula, dan dua pasang maxillae. Pada bagian kepala juga dilengkapi dengan tiga pasang maxilliped dan lima pasang kaki berjalan (periopoda). Bagian perut (abdomen) juga dilengkapi dengan lima pasang kaki renang. Pada bagian abdomen terdiri dari ruas - ruas berjumlah enam dan memiliki sepasang uropods seperti ekor (Ikhsan, 2019).

Morfologi udang vaname juga dijelaskan menurut Kordi (2007), bahwa tubuh udang vaname terbagi menjadi dua, yaitu kepala dan abdomen. Pada bagian kepala udang vaname terdiri dari antena, antenula, dan tiga pasang maxiliped. Pada bagian kepala ini dilengkapi dengan lima pasang kaki berjalan

(periopoda). Organ yang berfungsi untuk makan adalah maxiliped karena sudah mengalami modifikasi. Ujung dari periopoda beruas - ruas berbentuk capit (dactylus). Namun, dactylus ini hanya ada pada kaki ke-1, ke-2, dan ke-3. Sedangkan pada abdomen terdiri dari enam ruas yang memiliki lima pasang (pleopoda) kaki renang dan sepasang uropods (ekor).

Menurut Wyban dan Sweeney (1991), rostum pada udang vaname memiliki bentuk langsing memanjang dan berbentuk segitiga pada pangkal. Uropoda berwarna merah kecoklatan, pada ujungnya berwarna kekuningan, transparan, dan kulit tipis. Tubuhnya memiliki warna putih kekuningan dengan bintik - bintik coklat dan hijau pada ekor. Tekstur punggung yang keras dan uropod berwarna kebiru - biruan ditemukan pada udang betina yang sudah dewasa. Sedangkan pada jantan memiliki ptasma yang simetris. Panjang tubuh udang vaname dapat tumbuh hingga mencapai 23 cm.

Udang vaname termasuk ke dalam genus *Penaeus*. tergolong ke dalam *penaeus* karena dicirikan oleh adanya gigi pada rostrum bagian atas dan bawah, memiliki dua gigi di bagian ventral dari rostrum dan gigi delapan sampai sembilan di bagian dorsal serta mempunyai antena panjang (Elovaara, 2001). Morfologi udang vaname dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Morfologi udang vaname (*L. vannamei*) (Akbaidar, 2013)

2.1.3 Habitat

Udang vaname hidup di habitat laut tropis dengan suhu air sepanjang tahun lebih dari 20°C. Hidup pada permukaan dasar laut atau biasa disebut dengan sifat hidup yang bentis. Udang vaname sangat suka hidup di daerah dsar laut dengan tekstur substrat yang lembut dan bercampur lumpur serta pasir. Di alam, udang vaname hidup dibawah garis pantai dengan kedalaman 72 m dengan suhu 26 - 28°C dengan salinitas 35 ppt (Elovaara, 2001).

Berdasarkan penelitian Haliman dan Adijaya (2005), dijelaskan bahwa sifat-sifat penting kehidupan yang dimiliki udang vaname adalah aktif pada kondisi gelap atau dengan kata lain yaitu nocturnal. Udang vaname memiliki sifat euryhaline, yaitu dapat hidup pada kisaran salinitas yang luas. Namun, dapat hidup dan tumbuh secara optimal pada kisaran salinitas 15 - 30 ppt. Karena sifatnya yang nocturnal, maka pada siang hari udang vaname akan menyelubungi tubuhnya ke dalam lumpur. Hal ini dilakukan untuk menjaga suhu badannya agar tidak terlalu tinggi.

Hal ini juga didukung oleh pernyataan Rusmiyati (2014), bahwa pada kondisi budidaya, udang vaname mendiami kehidupan di seluruh kolom air. Jika di alam, udang vaname dapat ditemukan di daerah yang memiliki substrat lumpur berpasir, muara, dan laut dengan kedalaman mencapai 70 meter.

Menurut Arifin (2009), habitat udang vaname berbeda - beda tergantung dari jenis dan persyaratan hidup dari tiap fase berdasarkan siklus hidupnya.

Secara umum, udang vaname hidup dengan sifat bentis yaitu hidup pada permukaan dasar laut. Dasar laut yang disukai udang vaname untuk hidupnya adalah substrat dengan tekstur yang lembut dengan campuran lumpur dan pasir.

Untuk kehidupannya, udang vaname sangat menyukai daerah dasar dengan kedalaman 72 m (235 kaki). Pada saat fase post larva, umumnya ditemukan disepanjang pantai dan banyak ditemukan di daerah hutan mangrove. Di

ekosistem mangrove ini terdapat tempat untuk berlindung dan kaya akan nutrisi atau makanan yang disukai udang vaname.

Sifat hidup dari udang vaname adalah katadromus. Udang vaname hidup bermigrasi dari satu lingkungan ke lingkungan lain. Udang dewasa akan memijah di laut terbuka. Kemudian setelah menetas, larva udang vaname akan bermigrasi ke daerah pesisir pantai atau mangrove. Daerah ini tergolong ke dalam daerah perairan estuari. Pada daerah ini merupakan tempat nursery ground udang vaname. Setelah dewasa akan bermigrasi kembali ke laut untuk melakukan kegiatan pemijahan seperti pematangan gonad dan perkawinan (Wyban dan Sweeney, 1991).

2.1.4 Penyebaran

Pada awalnya, udang vaname bukan merupakan udang lokal atau komoditas asli Indonesia. Spesies ini berasal dari Meksiko yang kemudian mengalami kemajuan pesat dalam pembudidayaannya. Seiring berjalannya waktu, udang vaname menyebar ke Hawaii hingga Asia. Udang vaname pertama kali dibudidayakan di Asia pertama kali di Taiwan pada akhir 1990. Kemudian komoditas ini merambah ke berbagai Negara di Asia, salah satunya Indonesia dan mulai marak pada tahun 2001 dan 2002 (Fegan, 2003).

Menurut Rusmiyati (2014), udang vaname saat ini sudah menyebar ke seluruh dunia. Salah satu penyebarannya adalah ke Indonesia. Dari Indo-Pasifik barat, spesies ini masuk dari laut merah, Afrika ke Korea, Jepang dan Kepulauan Melayu.

Menurut Wyban dan Sweeney (1991), udang vaname berasal dari pantai Timur Laut, Pasifik Sonora, Meksiko Utara, dan Amerika Selatan dan Tengah. Di perairan tersebut, suhu air laut sepanjang tahun secara umum berada di atas 20oC. Udang vaname disebut juga udang puth. Populasi ini dikenal sebagai

populasi yang domestikasi, yaitu populasi yang dapat dibudidayakan sepanjang tahun di wilayah tertentu. Jenis udang ini relatif mudah dibudidayakan dan persediannya juga telah tersebar di seluruh penjuru dunia.

2.1.5 Siklus Hidup

Siklus hidup udang vaname berawal dari pembuahan telur yang setelah menetas akan menjadi naupli, mysis, post larva, juvenil, dan terakhir, dan menjadi udang dewasa. Pada saat udang dewasa memijah secara seksual di air laut dalam. Setelah menetas dan masuk ke fase naupli sampai juvenil berpindah ke perairan yang lebih dangkal. Pada perairan itu terdapat banyak vegetasi yang dijadikan sebagai tempat pemeliharaan (*nursery ground*). Setelah terus berkembang hingga remaja, udang vaname mulai kembali ke laut lepas menjadi dewasa dan siklus hidup berulang kembali (Haliman dan Adijaya, 2006).

Menurut Wyban dan Sweeney (1991), setelah telur mengalami fertilisasi dan menetas, larva udang vaname akan lepas dari induk betinanya. Fase perkembangan tubuh udang vaname mengalami berbagai macam tahap. Seperti diantaranya nauplius, zoea, mysis, dan post larva

- *Nauplius*

Pada stadia *nauplius* berlangsung sekitar 46 - 50 jam. Pada stadia ini tubuh berukuran antara 0,32 - 0,58 mm. Sistem pencernaan masih belum sempurna. Namun, *naupli* masih memiliki cadangan makanan berupa kuning telur. Sehingga tidak memerlukan makanan yang berasal dari luar.

- *Zoea*

Pada stadia *zoea* berlangsung sekitar 4 hari. Pada stadia ini terjadi moulting sebanyak 3 kali, yaitu saat stadia *zoea* 1, *zoea* 2, dan *zoea* 3. Tubuh mulai bertumbuh hingga berukuran 1,05 - 3,30 mm. *Zoea* sangat peka terhadap adanya perubahan lingkungan. Terutama perubahan pada kadar salinitas dan

suhu air. Pada fase ini mulai dibutuhkan fitoplankton dan zooplankton untuk sumber makanannya. Biasanya, stadia zoea ini diberi makan berupa artemia.

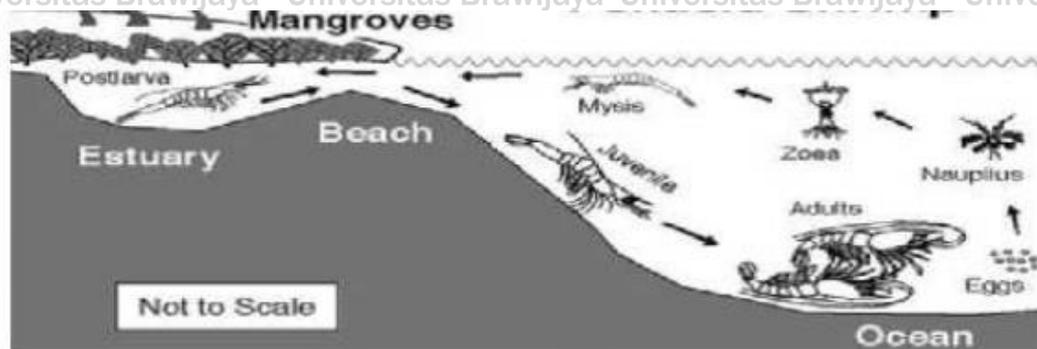
- *Mysis*

Pada stadia *mysis* terjadi *moulting* sebanyak 3 kali yang berlangsung selama 4 - 5 hari. Pada stadia ini tubuh berukuran 3,50 - 4,80 mm. Bentuk tubuh sudah menyerupai bentuk udang sebenarnya berdasarkan ekor kipas (*uropoda*) dan ekor (*telson*). *Mysis* bersifat planktonis dan bergerak mundur dengan cara membengkokkan badannya. Pada fase *mysis* ini mulai sangat menggemari zooplankton yaitu jenis *Artemia salina*.

- *Post larva*

Pada stadia *post larva* sudah terlihat seperti udang dewasa. Organ-organnya mulai tampak lebih jelas. Umur stadia ini dihitung berdasarkan hitungan hari. Misalnya PL1 (*post larva* 1) yang mengartikan post larva berumur satu hari. Tahap post larva merupakan tahapan saat udang sudah memiliki karakteristik seperti udang dewasa. Sejak naupli hingga postlarva, dibutuhkan waktu pemeliharaan sekitar 12 hari. *Mysis* mulai masuk stadia post larva ditandai dengan tumbuhnya pleopoda yang berambut (*setae*) untuk renang. Stadia larva bersifat bentik, yaitu organisme yang sebagian hidupnya mendiami dasar perairan. Makanan yang disukai pada fase *post larva* ini berupa zooplankton.

Bentuk tubuh udang vaname setiap fasenya berbeda – beda. Seiring perkembangannya, tubuh menjadi berkembang menjadi lebih sempurna seperti udang dewasa. Habitat hidup juga berbeda setiap perkembangan stadia. Siklus hidup udang vaname dapat dilihat dari Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Siklus hidup udang vaname (Stewart, 2005)

2.1.6 Sistem Kekebalan Tubuh

Sistem kekebalan tubuh atau biasa disebut sistem imun adalah sel - sel yang bertanggung jawab untuk melindungi tubuh dari pengaruh luar dengan mengenali dan membunuh patogen. Imunitas ada dua macam yakni imunitas spesifik dan nonspesifik. Imunitas bersifat umum, permanen, meliputi proses kimiawi, mekanik, dan seluler (Affandi dan Tang, 2002). Pada udang yang merupakan invertebrata, imunitasnya merupakan kekebalan nonspesifik (innate) yang dapat mengenal dan menghancurkan benda asing yang masuk ke dalam tubuh. Udang tidak memiliki kekebalan spesifik (adaptive). Sehingga sistem kekebalan non spesifik adalah satu - satunya imunitas yang bertanggung jawab menjaga daya tahan tubuh udang (Saha, 2011).

Sistem imun non spesifik terbagi menjadi dua macam, yaitu sistem imun humoral dan sistem imun selular. Sistem imun humoral dipegang perannya oleh limfosit B atau sel B. Sel ini jika dirangsang oleh benda asing akan berkembang menjadi plasma yang membentuk antibodi dan dilepas sehingga ditemukan dalam darah. Antibodi sel B ini berfungsi sebagai pertahanan terhadap infeksi virus, bakteri yang bersifat ekstraseluler dan menetralkan racunnya (Bratawidjaja, 1991).

Pada sistem imun selular, yang memegang peranan penting adalah limfosit T atau sel T. Sel ini berperan dalam melawan mikroorganisme intraselular, seperti makrofag yang sulit dijangkau oleh antibodi (Kresno, 1996). Jika udang terserang penyakit, maka akan terjadi peningkatan aktifitas sel - sel fagosit dari hemosit. Benda asing yang masuk ke dalam tubuh udang akan difagositosisikan oleh sel - sel fagosit. Hemosit dikenal sebagai faktor yang sangat penting dalam sistem imun selular yang bersifat non spesifik. rendahnya hemosit sangat mempengaruhi kerentanan udang terhadap serangan patogen, serta jika hemosit terus menurun dapat mengakibatkan infeksi akut yang berujung kematian (Rodriguez dan Le Moullac, 2000).

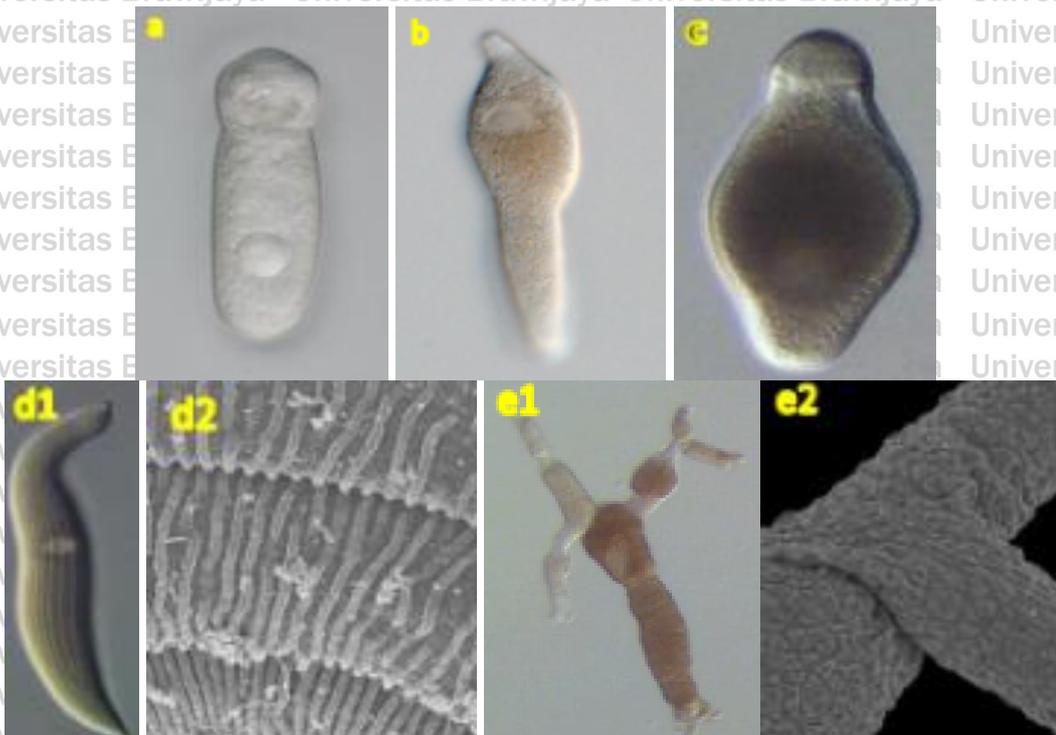
2.2 Protozoa Gregarine

2.2.1 Morfologi Gregarine

Protozoa gregarine merupakan invertebrata bersel tunggal yang masuk ke dalam golongan parasit. Umumnya ditemukan di kelompok arthropoda seperti udang baik yang hidup di alam maupun dibudidayakan. Golongan *Cephalobus kruse* dan *Nematopsis schneider* banyak terdistribusi pada udang budidaya. Infeksi gregarine diduga akan menyebabkan kerugian ekonomi karena meninggikan angka mortalitas. Selain itu gregarine akan berdampak pada penurunan pertumbuhan udang di tambak (Lightner, 1993).

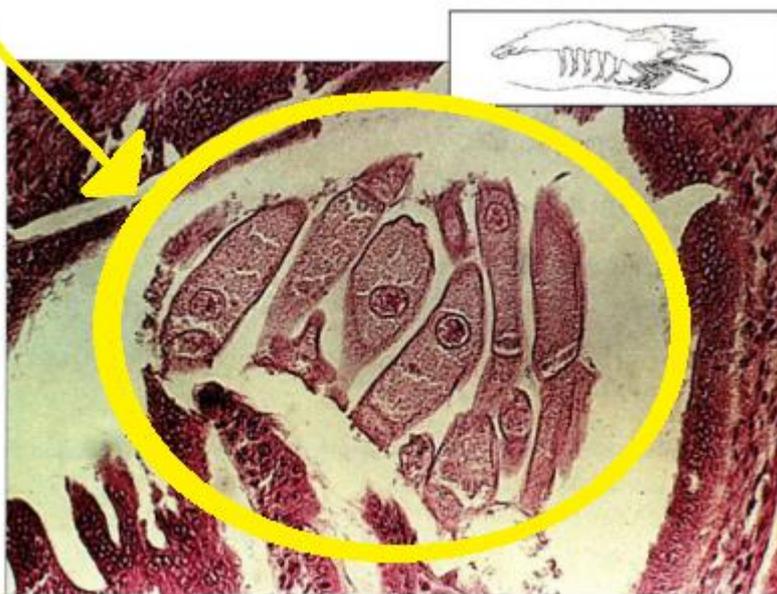
Berdasarkan ciri - ciri yang ditemukan pada gregarine, protozoa ini dikenal sebagai organisme primitive karena sel nya yang sederhana. Gregarine memiliki tahapan makan ekstraseluler dan siklus hidup hanya pada satu inang. Gregarine umumnya berasal dari turunan parasit dengan ultrastruktur dan adaptasi perilaku yang berbeda (Leander, 2008). Beberapa jenis gregarine dapat dilihat pada

Gambar 3 berikut



Gambar 3. *Septate eugregarines* (a), *Lankesteria cystodytae* (b), *Lecudina* sp. (c), *Selenidium sepuluae* (d1), *Selenidium sepuluae* dibawah pengamatan mikroskop elektron (d2), *Pterospora schizosoma* (e1), *Pterospora schizosoma* dibawah pengamatan mikroskop (e2) (Fuadi, 2017).

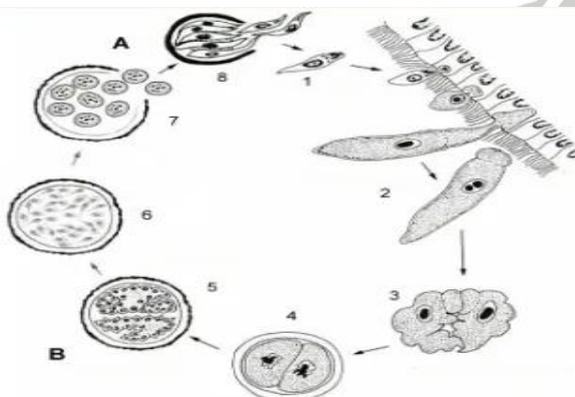
Protozoa ini berbentuk kumparan atau gelendongan yang memiliki panjang lebih dari 850 μm . Gregarine masuk ke dalam filum Apicomplexa. Kemudian masuk ke dalam sub kelas Gregarinasina (Dufour, 1828). Protozoa ini jarang menyerang udang saat fase benih post larva. Namun, berpotensi menyerang saat post larva usia 50 - 60 hari (Jones, 1994). Gregarine ditemukan merusak organ pencernaan udang. Keberadaan gregarine di dalam usus udang dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Gregarine di dalam usus udang vanname (Lavilla-Pitogo, 2000)

2.2.2 Siklus Hidup

Keberadaan gregarine di dalam inang biasanya terjadi melalui proses termakannya oosit yang berada di lingkungan perairan. Beberapa oosit gregarine juga dapat bertransmisi pada gamet inang walaupun selama proses pemijahan terjadi. Hal ini terjadi seperti pada *Monocystis*. Pada tahapan ini, empat atau lebih sporozoit dilengkapi dengan kompleks apikal keluar dengan cepat dari oosit (Gambar 5, no. 8 dan no.1) menuju ke rongga perut inang dan menemukan jalan menembus sel inang. Siklus hidup gregarine secara umum dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Siklus hidup gregarine (Fuadi, 2017).

Di dalam sel inang, sporozoit berkembang dengan sifat parasit. Nutrisi inang diserap dan bertumbuh menjadi trophozoit yang besar (Gambar 5, no. 2).

Beberapa gregarine memiliki sporozoit dan trophozoit yang mampu membelah secara aseksual. Kejadian pembelahan ini disebut dengan proses schizogony atau merogoni.

Saat sudah menjadi dewasa, terjadi perpasangan antara dua trophozoit dalam proses yang disebut syzygy dan berkembang menjadi gamonts (Gambar 5, no.3). Setiap spesies memiliki proses syzygy yang berbeda dalam pembentukan gamonts. Pada sekitaran gamonts yang berpasangan terbentuk dinding gametosit (Gambar 5, no.4). Setelah itu mulai terbagi menjadi ratusan gamet (Gambar 3, no.5). Proses ini disebut gametogeni (Gambar 5, B).

Setelah pasangan gamet menyatu maka akan membentuk zigot (Gambar) dan terlindungi oleh dinding oosit (Gambar). Ratusan oosit terakumulasi dengan masing - masing gametosit dan biasanya lepas melalui feses inang atau saat inang mati. Spesies gregarine yang diduga menjadi penyebab penyakit berak putih atau *White Feces Syndrome (WFS)* adalah *Nematopsis* sp., *Paraophiodina scolecoides*, dan *Cephalolobus* sp.

2.2.3 Kepadatan Populasi

Gregarine adalah parasit dari usus atau rongga tubuh yang ditemukan di invertebrata. Protozoa ini menyerang saluran pencernaan udang. Paling sering ditemui, menyerang pada fase trophozoit bahkan kadang – kadang gametocyst. Penyumbatan usus atau penyerapan makanan di usus oleh protozoa berpotensi merugikan. Namun, hal ini bukan merupakan sesuatu yang dianggap penting jika keberadaannya tidak banyak. Penelitian terbaru menyimpulkan bahwa saat keberadaan trophozoit berjumlah besar atau banyak, maka *Nematopsis* sp. Dapat

merusak gametocyst di lapisan usus. Kerusakan tersebut juga menjadi fasilitator untuk bakteri lain menginfeksi usus udang vaname (Johnson, 1995).

Penginfeksian gregarine terjadi karena dengan tidak sengaja terkonsumsi oleh udang. Pada kasus WFS, sebanyak lebih dari 100 gregarine dalam midgut usus diketahui dapat menyebabkan kerusakan pada mukosa usus. Kerusakan berkurang seiring dengan berkurangnya jumlah gregarine. Lapisan usus tersebut adalah lapisan yang berperan untuk menyerap nutrisi (Kaemudin, *et al.*, 2016).

Musim hujan merupakan kondisi yang optimal bagi gregarine menginfeksi udang di tambak. Meskipun, pada musim kemarau penginfeksian juga dapat terjadi, namun pada musim hujan penginfeksian jauh lebih tinggi. Penginfeksian tinggi terjadi pada salinitas 12,4 ppt, suhu 29,3°C, DO 3,9, pH 7,1, amonia 0,1, dan nitrit 0,02. Tingginya kadar amonia akan semakin menurunkan jumlah penginfeksian (Zakariah, *et al.*, 2019).

Gregarine dapat hadir saat kualitas air sedang buruk. Chakraborti dan Bandyapadhyay (2011), melaporkan bahwa sebanyak 38 individu gregarine menginfeksi udang budidaya saat suhu pada perairan ditingkat 35°C. Gregarine menginfeksi pada kisaran suhu 30 - 36°C. Namun, tidak ada infeksi pada kisaran suhu 21,1 - 29°C. Selain itu, gregarine juga menginfeksi udang budidaya saat pH perairan sebesar 5 - 7,5. Infeksi gregarine tertinggi pada saat pH sebesar 7,5 dengan jumlah gregarine yang menginfeksi sebanyak 40. Namun, gregarine tidak menginfeksi saat pH perairan berkisar 8 - 8,5.

Menurut Anjaini., *et al.* (2018), penyebab utama penyakit *White Feces Syndrome* (WFS) adalah interaksi antara gregarine dengan vibrio di perairan tambak budidaya udang. Penyakit ini menyerang udang vaname pada kualitas air tertentu, diantaranya suhu dengan kisaran 27,3 - 30,7°C; pH 6,6 - 7,1; oksigen terlarut sebesar 5,8 - 7,2 ppm; salinitas 27,6 - 29,3 ppt; amonia sebesar 0,154 - 0,188; nitrat 0,118 - 0,16; dan nitrit sebesar 0,003 - 0,007.

2.2.4 Dampak Negatif

Keberadaan protozoa gregarine di dalam organ pencernaan udang vaname, yaitu usus dianggap dapat menimbulkan kekhawatiran akan adanya infeksi berat. Adanya gregarine di tambak budidaya udang vaname terhitung dapat menimbulkan infeksi mencapai angka sebesar 94% dari satu populasi. Gregarine juga berpotensi merugikan dalam aspek ekonomi karena terjadinya kematian udang vaname di tambak. Kemudian, pertumbuhan udang juga akan melambat karena adanya gangguan di organ pencernaan oleh protozoa ini (Jones., *et al*, 1994).

Ha, *et al.*, (2010), menyatakan bahwa gregarine merupakan protozoa berukuran besar sekitar 850 μm , berada dalam kelas gregarinidea atau gregarinea. Protozoa ini terdapat di dalam pencernaan hewan tidak bertulang belakang. Keberadaan gregarine di dalam tubuh udang merusak intestinum. Organ midgut juga ikut rusak setelah diikuti dengan masuknya bakteri *Vibrio sp.* ke dalam hemolimfa. Jenis gregarine yang biasa menyerang udang dan mengakibatkan infeksi WFS adalah genus *Nematopsis*.

2.3 Kualitas Air

Kualitas air adalah salah satu faktor utama yang sering ditemukan menjadi penyebab kegagalan produksi udang vaname, terutama pada tambak intensif.

Padat tebar yang tinggi beriringan dengan pemberian pakan yang banyak. Pakan yang banyak diberikan ke udang dapat berpotensi menurunkan kondisi kualitas air. Hal ini terjadi karena akumulasi bahan organik. Penurunan kualitas air akan mengundang pathogen untuk hadir menyerang udang budidaya. Menurut Hari., *et al.*, (2004), udang meretensi protein pakan sekitar 16,3 - 40,87% dan sisanya dibuang dalam bentuk ekskresi residu pakan serta feses. Karena itu, pengelolaan kualitas air harus diperhatikan setiap hari. Beberapa parameter kualitas air yang

harus diperhatikan agar patogen tidak menyerang adalah oksigen terlarut, suhu, pH, salinitas, amonia, nitrit, nitrat, dan fosfat (Arsad, 2017).

2.3.1 Suhu

Suhu merupakan parameter kualitas air yang utama untuk menunjang kehidupan dan pertumbuhan biota air. Secara umum, jika terjadi kenaikan suhu maka akan terjadi peningkatan pada pertumbuhan. Namun, jika terjadi peningkatan suhu secara drastis dapat mengancam kehidupan hewan budidaya bahkan dapat menyebabkan kematian (Ghufran dan Tancung, 2005).

Secara umum, udang vaname dapat hidup pada kisaran suhu 12 - 37°C.

Namun, kisaran suhu tersebut belum tentu dapat memberikan dampak terbaik untuk pertumbuhan udang. Kisaran suhu tersebut hanya dapat menunjang kehidupan udang vaname. Namun, dapat tumbuh dengan baik pada suhu 24 - 34°C. Pertumbuhan dan perkembangan yang ideal untuk udang vaname adalah jika dibudidayakan pada suhu 28 - 31°C. (Ghufran dan Kordi, 2006). Sedangkan jika merujuk ke dalam Badan Standarisasi Nasional (2006) no 01-7246-2006, suhu yang direkomendasikan untuk budidaya udang adalah kisaran 28,5 - 31,5°C.

Suhu air secara tidak langsung dapat berpengaruh terhadap udang. Dalam air, laju reaksi kimia akan berlipat dua untuk setiap kenaikan 10°C. Suhu tinggi akan menyebabkan pH yang tinggi. Kenaikan suhu juga akan mempengaruhi laju keseimbangan amoniak menjadi lebih cepat sehingga cenderung terjadi peningkatan NH₃ sampai pada konsentrasi yang mempengaruhi pertumbuhan udang. Jika suhu lebih dari angka optimum maka metabolisme dalam tubuh udang akan berlangsung cepat (Haliman dan Adijaya, 2005)

2.3.2 Oksigen Terlarut

Oksigen terlarut atau biasa disebut DO (*dissolved oxygen*) merupakan parameter kimia perairan yang menunjukkan banyaknya kadar oksigen yang terlarut dalam suatu lingkungan perairan (Arfiati, 2001). DO adalah salah satu penunjang utama kehidupan di laut. Selain itu, DO juga merupakan indikator kesuburan perairan. Perubahan konsentrasi oksigen terlarut dapat menimbulkan efek langsung yang berakibat pada kematian organisme perairan. Pengaruh yang tidak langsung adalah meningkatkan toksisitas bahan pencemar yang pada akhirnya dapat membahayakan organisme itu sendiri. Sumber utama oksigen dalam air laut adalah udara melalui proses difusi dan dari proses fotosintesis fitoplankton. Kadar oksigen maksimum terjadi pada sore hari, sedangkan kadar minimum terjadi pada pagi hari. Kondisi oksigen terlarut di permukaan perairan jauh lebih tinggi dibandingkan dengan dilapisan tengah perairan (Simanjuntak, 2012).

Menurut Poernomo (1989), kadar oksigen terlarut yang baik untuk budidaya udang vaname di tambak adalah 3 - 7 mg/l. Sedangkan jika merujuk ke dalam Badan Standarisasi Nasional (2006) no 01-7246-2006, oksigen terlarut yang direkomendasikan untuk budidaya udang adalah kisaran lebih dari 3,5ppm. Tingkat oksigen terlarut (DO) minimum yang dapat ditolerir ikan dengan aman bergantung pada suhu hingga batas – batas tertentu untuk tiap spesies.

Sebagian besar spesies biota air budidaya untuk hidup dengan baik adalah 5 mg/l. Pada perairan dengan konsentrasi oksigen dibawah 4 mg/l, beberapa jenis ikan mampu bertahan hidup akan tetapi nafsu makannya menurun, untuk itu konsentrasi oksigen yang baik dalam budidaya antara 5 – 7 ppm. Hanya ikan ikan yang memiliki pernafasan tambahan yang mampu hidup di perairan yang kandungan oksigen rendah, seperti lele, gurami seperti betok dan gabus (Kordi dan Tancung, 2007).

2.3.3 pH

Derajat keasaman atau biasa disebut pH adalah suatu konsentrasi dari ion hidrogen. Keberadaannya di perairan menunjukkan kualitas air tersebut bersifat asam atau basa. Tergolong asam jika nilainya kurang dari 7, netral jika nilainya 7, dan basa saat nilainya lebih dari 7. Secara alamiah, pH perairan dipengaruhi oleh konsentrasi karbon dioksida (CO_2) dan senyawa yang bersifat asam (Tirtawati, 2019)

Nilai pH air dapat berpengaruh terhadap meningkat tidaknya daya racun ammonia. Semakin meningkatnya nilai pH pada kadar tertentu akan menyebabkan daya racun ammonia akan semakin meningkat. Pada kegiatan budidaya udang, terdapat nilai kisaran pH yang aman untuk kehidupan udang vaname. Menurut Van Wyk dan Scarpa (1999), nilai derajat keasaman atau pH optimal untuk pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vaname adalah sebesar 6,9 – 9. Sedangkan jika merujuk ke dalam Badan Standarisasi Nasional (2006) no 01-7246-2006, pH yang direkomendasikan untuk budidaya udang adalah kisaran 7,5 - 8,5.

2.3.4 Salinitas

Salinitas merupakan total konsentrasi ion - ion terlarut dalam air yang dinyatakan dalam satuan per mil atau ppt (part per thousand) atau gram/liter.

Menurut Ambardhy (2004) Salinitas tersusun dari tujuh ion utama, yaitu sodium, potasium, kalium, magnesium, klorida, sulfat, bikarbonat.

Menurut Haliman dan Adijaya (2005), salinitas memiliki peran pada proses osmoregulasi udang dan dalam proses moulting. Perbedaan salinitas tidak akan mempengaruhi kelengkapan udang vaname. Salinitas yang terlampau tinggi akan menghambat pertumbuhan karena dapat mengganggu proses

osmoregulasi. Energi pada tubuh udang akan lebih banyak dimanfaatkan untuk proses osmoregulasi daripada untuk pertumbuhan.

Fardiansyah (2011) melaporkan bahwa, pada perairan tawar memiliki salinitas berkisar antara 0 - 5 ppt, perairan payau sebesar 6 - 29 ppt, sedangkan untuk perairan laut berkisar antara 30 - 40 ppt. Udang vaname memiliki sifat euryhaline laut, yaitu nilai toleransi yang luas terhadap salinitas yang ada di suatu lingkungan. Di alam, udang vaname dapat hidup pada kisaran salinitas 2 - 40 ppt (Wyban, *et al.*, 1991). Namun, nilai salinitas yang optimal untuk budidaya udang vaname adalah sebesar 5 - 50 ppt (Hurtado, *et al.*, 2006). Sedangkan jika merujuk ke dalam Badan Standarisasi Nasional (2006) no 01-7246-2006, salinitas yang direkomendasikan untuk budidaya udang adalah kisaran dari 15 - 25 ppt.

2.3.5 Amonia

Menurut Effendi (2003), terdapat dua macam nitrogen di perairan, yaitu nitrogen anorganik dan organik. Amonia masuk ke dalam nitrogen anorganik. Di dalam perairan, amonia-nitrogen dibagi menjadi dua bentuk, yaitu amonia bebas (NH_3) dan amonium (NH_4) (Boyd, 1991). Amonia merupakan hasil akhir yang utama dari proses katabolisme protein yang dilakukan krustase dengan jumlah 40 - 90 % dari ekskresi nitrogen (Chien, 1992). Pada tambak budidaya, amonia berasal dari sisa metabolisme hewan akuatik dan dekomposisi bahan organik dari bakteri.

Konsentrasi NH_3 yang mengakibatkan LC_{50} pada pemeliharaan post larva udang adalah sebesar 0,2 ppm. Sedangkan 0,95 ppm pada pemeliharaan udang dengan ukuran yang sudah mencapai 4,87 gram. Hal ini juga sejalan dengan pendapat Tsai (1989), bahwa kandungan amonia yang aman bagi pemeliharaan udang adalah kurang dari 0,1 ppm. Hal ini sesuai dengan Badan Standarisasi

Nasional (2006) no 01-7246-2006, bahwa konsentrasi amonia yang direkomendasikan untuk budidaya udang adalah kisaran tidak boleh melebihi 0,1 mg/L.

Jika konsentrasi amonia tinggi maka akan dapat menyebabkan pertumbuhan udang terhambat. Selain itu, peningkatan kadar amonia di perairan dapat juga meningkatkan kandungan nitrit yang bersifat toksik di perairan.

Amonia dengan konsentrasi yang tinggi akan mempengaruhi konsumsi oksigen, merusak insang, dan penurunan kemampuan darah dalam mentransportasikan oksigen ke seluruh tubuh (Boyd, 1982).

2.3.6 Nitrit

Nitrit merupakan senyawa yang bersifat toksik jika kadarnya berlebih di perairan. Nitrit secara umum ditemukan dalam konsentrasi yang tidak banyak di perairan secara alami. Konsentrasinya di perairan lebih tinggi daripada nitrat. Hal ini dikarenakan nitrit bersifat lebih tidak stabil daripada nitrat. Nitrit merupakan senyawa turunan dari amonia. Hasil dekomposisi amonia akan diubah menjadi nitrit dan nitrat melalui proses nitrifikasi yang dibantu oleh bakteri nitrifikasi (Goldman dan Horne, 1995).

Daya racun nitrit lebih rendah daripada amonia (NH_3). Nitrit juga merupakan senyawa yang lebih beracun bagi ikan daripada udang. Hal yang mempengaruhi akibat dari keberadaan nitrit adalah proses metamoglobin. Udang lebih tahan daripada ikan karena pigmen pernapasan udang (hemosianin) masih lebih mampu mengikat oksigen walaupun terganggu oleh keberadaan nitrit di dalam darah udang. Maka dari itu, konsentrasi nitrit di tambak budidaya udang yang optimal tidak boleh lebih dari 1,0 mg/l. Pada perairan tambak dengan salinitas di atas 20 ppt, batas aman konsentrasi nitrit adalah kurang dari 0,2 ppm (Budiardi, 2008). Hal ini sejalan dengan laporan Boyd (1998), bahwa konsentrasi

nitrit yang optimal adalah dengan kisaran nilai 0,1 - 1,0 ppm. Sedangkan jika merujuk ke dalam Badan Standarisasi Nasional (2006) no 01-7246-2006, konsentrasi nitrit yang direkomendasikan untuk budidaya udang adalah kisaran tidak boleh melebihi 0,01 mg/L.

2.3.7 Nitrat

Nitrat (NO_3) merupakan bentuk utama dari senyawa nitrogen. Di perairan, nitrat muncul keberadaannya secara alami. Selain itu, nitrat juga merupakan nutrisi utama bagi tanaman dan algae untuk proses pertumbuhan (Tangguda, 2018). Nitrat sangat mudah larut dalam air dan memiliki sifat yang stabil. Nitrat berasal dari proses oksidasi senyawa nitrogen di perairan. Proses ini biasa disebut dengan nitrifikasi, yaitu pengoksidasian amonia menjadi nitrit dan nitrat yang menjadi hasil akhirnya.

Menurut Effendi (2003), nitrat bukan merupakan senyawa yang bersifat toksik terhadap organisme perairan. Namun, nitrat dapat menjadi bersifat toksik apabila konsentrasinya di perairan terlalu tinggi. Konsentrasi nitrat yang optimal untuk budidaya udang vaname adalah kurang dari 100 ppm. Pada perairan dengan kondisi konsentrasi nitrat sebesar 200 ppm akan menyebabkan pelambatan pertumbuhan dan memunculkan patogen yang akan menyerang daya tahan udang sehingga udang akan terserang penyakit. Nitrat akan bersifat toksik jika konsentrasinya di perairan mencapai 300 ppm (Handoyo, 1994).

Sedangkan jika merujuk ke dalam Badan Standarisasi Nasional (2006) no 01-7246-2006, konsentrasi nitrat yang direkomendasikan untuk budidaya udang adalah kisaran tidak boleh melebihi 5 ppm.

2.4 Produktivitas Budidaya Udang Vaname

2.4.1 Biomassa

Beberapa parameter yang mempengaruhi produksi biomassa udang diantaranya adalah, laju pertumbuhan harian, tingkat kelulus hidupan, rasio konversi pakan, jumlah padat tebar, masa budidaya, serta pakan (Haris, 1988).

2.4.1.1 Padat Tebar

Udang vaname merupakan komoditas yang dapat dipelihara dalam jumlah kepadatan yang tinggi. Namun perlu adanya pembatasan populasi udang pada satu tambak. Keberhasilan budidaya salah satunya dipengaruhi oleh padat tebar.

Jumlah kepadatan mempengaruhi pengaturan pemberian pakan, kualitas air, hingga memancing penyakit untuk menyerang udang vaname (Adiwijaya, *et al.*, 2008).

Menurut Tahe, *et al.*, (2014), pada budidaya udang vaname intensif, umumnya jumlah padat tebar mencapai 100 hingga 500 ekor/m². Pada padat tebar udang 150 ekor/m², dapat menghasilkan produktivitas sebesar 18,9 ton/ha selama 110 hari masa pemeliharaan. Padat tebar merupakan faktor yang mempengaruhi produktivitas, selain masa pemeliharaan, tonase panen, dan berat rata - rata akhir udang.

2.4.1.2 Pakan

Pakan pada budidaya udang vaname super intensif merupakan faktor terbesar dalam pembiayaan operasional. Persentasenya mencapai 60 - 70% dari total biaya operasional. Udang akan memanfaatkan sebagian besar pakan yang diberikan. Pakan yang termakan akan dicerna melalui proses pencernaan.

Sehingga pakan tersebut akan mengalami perubahan bentuk menjadi energi dan nutrisi untuk udang (Suwardi, *et al.*, 2014).

Sisa dari pakan yang tidak tercerna akan terbuang menjadi feses. Pakan yang diberikan namun tidak termakan oleh udang akan terlarut di dasar tambak.

Feses dan sisa pakan ini lah yang merupakan sumber bahan organik, N, dan P

yang mempengaruhi kondisi kualitas air, serta tingkat kesuburan tambak (Suwardi, *et al.*, 2014). Pakan yang banyak diberikan ke udang dapat berpotensi menurunkan kondisi kualitas air. Hal ini terjadi karena akumulasi bahan organik. Penurunan kualitas air akan mengundang pathogen untuk hadir menyerang udang budidaya.

Menurut Mansyur, *et al.*, (2011) akumulasi pakan yang diberikan selama masa pemeliharaan akan menyumbang sebesar 0,55% untuk menjadi bahan organik. Berdasarkan hal tersebut, pakan yang diberikan terkonversi menjadi limbah atau bahan organik. Sebesar 48% berasal dari metabolisme yang dipengaruhi juga oleh pakan. Sisanya langsung terbuang menjadi limbah. Sebanyak 85% pakan dimakan oleh udang tapi tidak 100% dikonversikan menjadi daging, melainkan sebagian besar terbuang menjadi limbah. Dari pakan yang dikonsumsi, sebanyak 17% diubah bentuknya menjadi daging (Paena, *et al.*, 2017).

2.4.1.3 Masa Pemeliharaan

Masa pemeliharaan merupakan salah satu dari beberapa keunggulan komoditas udang vaname. Rata-rata masa pemeliharaan tergolong lebih pendek, yaitu berkisar antara 90 - 100 hari per siklus (Haliman dan Adijaya, 2005).

Berdasarkan SOP Kep.75/Men/2016, pada budidaya udang vaname super intensif dilakukan masa pemeliharaan selama 100 - 120 hari.

Berdasarkan Lailiyah, *et al.*, (2018), pembudidaya udang vaname secara super intensif menargetkan masa pemeliharaan selama 100 hari. Akan tetapi pada pemeliharaan di hari ke 70, beberapa udang mengalami kematian. Hal ini disebabkan setelah dilakukan panen parsial. Kegiatan tersebut menyebabkan udang menjadi stres. Kejadian ini disebut sebagai stress pasca panen parsial.

Dalam keadaan stress, udang mudah terserang penyakit. Salah satunya adalah penyakit berak putih atau WFS. Jika pada satu petak terserang penyakit, maka

petakan lain akan mengalami hal yang sama. Karena hal tersebut, udang dipanen dini pada hari ke 72 - 88. Masa pemeliharaan yang seharusnya dilakukan selama 100 hari menjadi tidak tercapai. Hal ini mengakibatkan berat rata - rata udang masih di bawah target sehingga mempengaruhi total produksi.

2.4.1.4 Tingkat Kelulus Hidupan

Perhitungan kelulus hidupan (*survival rate/ SR*) bertujuan untuk mengetahui presentase akhir dari jumlah udang yang masih hidup. Nilai kelulus hidupan dinyatakan dengan persentase. Parameter ini penting untuk diketahui untuk mencegah terjadinya kerugian. Tingkat kelulus hidupan dipengaruhi jumlah akhir dan jumlah awal. Jika banyak udang yang mati, maka akan menurunkan total biomassa. Menurut Ihsanudin, *et al.* (2014), perhitungan kelulus hidupan (*survival rate*), yaitu:

$$SR \text{ (tingkat kelulus hidupan)} = \frac{N_t}{N_o} \times 100\%$$

Keterangan:

- SR : Kelulus hidupan (%)
 N_t : Jumlah ikan saat akhir pemeliharaan
 N_o : Jumlah ikan pada saat awal tebar

Berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (2006), melalui SNI nomor 01.7246-2006, tingkat kelulus hidupan udang vaname yang mengindikasikan bahwa produktivitas budidaya tercapai adalah sebesar lebih dari 75%. Menurut Diansari, *et al.* (2013), produksi menjadi tinggi karena kelulus hidupan cukup tinggi. Akan tetapi faktor lain yang menyebabkan kelulus hidupan tinggi yaitu padat tebar. Apabila padat tebar yang digunakan terlalu tinggi maka ikan akan mengalami kematian saat proses budidaya.

2.4.1.5 Rasio Konversi Pakan

Menurut Iskandar dan Elrifadah (2015), rasio konversi pakan (*food conversion ratio/ FCR*) merupakan perbandingan antara pakan yang diberikan dan berat daging yang dihasilkan. Rumus perhitungan FCR adalah sebagai berikut:

$$\text{FCR (Rasio Konversi Pakan)} = \frac{\Sigma \text{Pakan yang diberikan}}{\Delta \text{Bobot yang dihasilkan}}$$

Rasio konversi pakan dipengaruhi jumlah pakan, biomassa akhir, biomassa awal, bobot udang padat tebar. Pada budidaya udang vaname super intensif, nilai konversi pakan antara 1,3 - 1,6 (Suwardi, *et al.*, 2014). Menurut Gunadi, *et al.* (2016), FCR terlalu tinggi menandakan adanya pemberian pakan yang terlalu berlebih sehingga ada pakan yang tidak termakan oleh udang.

Menurut Cholifah, *et al.* (2012), tingginya nilai FCR juga disebabkan karena kurang efisien kinerja tubuh ikan dalam mencerna pakan yang diberikan. FCR yang tinggi akan meningkatkan biaya pakan sehingga akan meningkatkan jumlah pengeluaran.

2.4.1.6 Pertumbuhan Harian

Kesuksesan kegiatan budidaya udang dianggap baik apabila udang memiliki pertambahan berat setiap harinya dalam masa pemeliharannya.

Pertumbuhan harian atau *Average Daily Growth (ADG)* merupakan penambahan bobot harian rata - rata udang dalam satu waktu tertentu. Berdasarkan ADG, pembudidaya dapat mengetahui kecepatan pertumbuhan udang. ADG dipengaruhi oleh *Mean Body Weight (MBW)* atau berat rata - rata hasil sampling.

Serta dipengaruhi juga oleh waktu. MBW dapat dihitung melalui persamaan berikut (Hermawan, 2012):

$$\text{MBW} = \frac{\text{Berat total sampel}}{\text{Jumlah sampel}}$$

Keterangan :

MBW : *Mean body weight* (gr)

Berdasarkan MBW yang ada, maka ADG dapat dihitung melalui

persamaan berikut (Haliman dan Adijaya, 2005):

$$ADG = \frac{MBW \text{ sampling sebelumnya} - MBW \text{ sampling saat ini}}{\text{interval waktu sampling}}$$

Keterangan :

ADG : *Average daily growth* (gr/hari)

MBW : *Mean body weight* (gr)

Berdasarkan Tahe, *et al.*, (2014), penambahan berat rata - rata udang vaname yaitu sebesar 0,135 gr/hari/ekor. Tingginya nilai SGR dipengaruhi oleh kualitas air tambak budidaya serta manajemen pakan yang baik. Namun apabila udang terserang penyakit, dapat mengalami pertumbuhan yang lebih rendah dibandingkan udang yang sehat.

2.4.2 Kematian

Kematian pada kegiatan budidaya bukanlah hal yang dapat dihindari. Menurut Tahe, *et al.*, (2014), jika budidaya dilakukan dengan cara yang tepat maka akan menghasilkan angka kelulus hidupan sebesar 85%. Hal ini menunjukkan bahwa ada 25% populasi udang yang mati pada saat dipelihara.

Angka kematian tersebut bisa semakin besar jika budidaya tidak dikontrol dengan baik, salah satunya adalah mengenai kualitas air.

Kondisi perairan yang buruk pada tambak akan mengancam udang melalui infeksi penyakit, salah satunya adalah WFS. Mastan, *et al.*, (2015), menyimpulkan bahwa ketika udang terinfeksi WFS maka akan terjadi penurunan nafsu makan, hepatopankreas berubah warna menjadi lebih gelap serta menyebabkan gangguan penyerapan nutrisi pada pencernaan yang disebabkan oleh protozoa gregarine.

Tentunya, kematian yang disebabkan oleh penyakit adalah hal lain diluar 25% kematian pada studi Tahe, *et al.*, (2014). Helda, *et al.*, (2018), menyatakan

bahwa udang yang terserang WFS dan tidak diberikan perlakuan apapun akan menghasilkan angka kematian sebesar 40% selama 15 hari pemeliharaan.

Taslihan (2017) juga menyebutkan bahwa pada skala budidaya, WFS menyebabkan kematian sebesar 40%. Bahkan Marbun, *et al.*, (2019), mengatakan bahwa WFS dapat mengakibatkan kematian massal udang dalam tempo 1-3 hari pada skala budidaya. Untuk skala studi, selama 15 hari angka kematian udang yang terinfeksi WFS sebesar 50%.

Kematian bisa sangat cepat terjadi jika padat tebar tinggi. Hal ini disebutkan pada studi Prajitno (2005), bahwa penyebaran penyakit sangat cepat terjadi, terutama pada organisme yang dipelihara pada kepadatan tinggi. WFS sangat cepat menyebar karena penularannya terjadi melalui media air atau kontak secara langsung antar udang.

2.4.3 Total Produksi

Total produksi merupakan jumlah bobot udang yang dihasilkan setiap satu siklus. Produksi biasanya dihitung per petak dan perusahaan tambak udang selalu menargetkan pada capaian tertentu. Menurut Tahe, *et al.*, (2014), pada tambak super intensif yang dipelihara selama 110 hari dengan padat tebar sejumlah 150 ekor/m², optimalnya akan mencapai produktivitas sebesar 18,9 ton/ha. Keberhasilan mencapai jumlah produksi tertentu dipengaruhi oleh faktor padat tebar, umur pemeliharaan, tonase panen, dan berat rata - rata akhir udang.

Namun, secara garis besar total produksi dipengaruhi oleh total biomassa dikurangi dengan mortalitas atau kematian.

Kematian terjadi pada tambak disebabkan karena udang mengalami stress pasca panen parsial. Sehingga pada kondisi ini, dengan kualitas air yang tidak baik pula akan terjadi penginfeksian penyakit WFS. Infeksi pada satu petak akan menyebar secara cepat pada petakan lain. Akibatnya, akan terjadi panen dini,

yaitu pemanenan yang dilakukan sebelum mencapai target masa pemeliharaan.

Sehingga, total produksi tidak akan mencapai target karena berat rata - rata udang masih dibawah target (Lailiyah, *et al.*, 2017).

2.5 Sistem Dinamis

Sistem dinamis merupakan sistem yang dapat berubah – ubah tergantung dengan keinginan pemakai atau pengguna. Pada kasus ini, sistem dinyatakan sebagai objek dan dilakukan pendekatan dengan berpikir sistemik (Odum, 1983).

2.5.1 Struktur dan Perilaku Sistem

Sistem merupakan interaksi secara menyeluruh antar unsur dari tiap objek yang dibatasi dengan lingkungan tertentu untuk bekerja mencapai tujuan. Berdasarkan katanya, struktur adalah mekanisme atau interaksi. Maka, setiap segala kegiatan baik fisik maupun non fisik dapat dibuat menjadi sederhana yang hasilnya berupa struktur dasar, termasuk input, proses, output, dan umpan balik (Muhamadi, *et al.*, 2001).

Menurut Muhamadi, *et al.*, (2001), hubungan sebab akibat dapat diungkapkan ke dalam bahasa tertentu. Hal ini disebut dengan diagram simpal kausal. Pada pemodelan suatu sistem perlu dilakukan tahapan – tahapan sebagai berikut:

- Identifikasi masalah, tujuan dan batasan.
- Konseptualisasi model dengan menggunakan ragam metode seperti diagram kotak, panah, diagram sebab akibat, diagram stock, diagram flow, dan atau diagram sekuens.
- Formulasi model, yaitu merumuskan makna diagram, kuantifikasi dan atau kualifikasi komponen model jika diperlukan.

- Evaluasi model, yaitu mengamati kelogisan model dan membandingkan dengan dunia nyata atau model andal yang serupa.
- Penggunaan model, yaitu membuat skenario – skenario ke depan atau alternative kebijakan, mengevaluasi ragam skenario atau kebijakan tersebut dan pengembangan perencanaan dan agenda bersama.

2.5.2 Simulasi Model STELLA

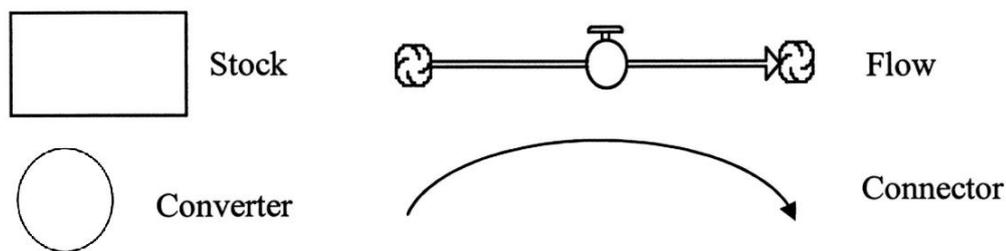
Simulasi model merupakan suatu representasi sistem nyata ke dalam sebuah sistem simulasi (Kurniawan, 2014). Sistem model merupakan gambaran atau berarti juga hubungan konsep dasar diantara sistem konsen yang saling berbeda (Bulgao., *et al*, 2013). Menurut Muhamadi., *et al*, (2001), simulasi model adalah peniruan suatu perlakuan kegiatan atau proses yang bertujuan untuk memahami segala kejadian tersebut. Simulasi dilakukan melalui tahapan penyusunan konsep, pembuatan model, simulasi, dan validasi hasil model.

Perlu adanya perangkat lunak (*software*) untuk melakukan suatu simulasi dari suatu model. Perangkat lunak ini harus bersifat cepat dan tepat untuk melihat perilaku dari model yang dibuat. *Stella* sebagai perangkat lunak yang diperuntukan pada simulasi lingkungan akan dirasa ideal untuk model sistem dinamis (Bulagao., *et al*, 2013). *Stella* merupakan *software* yang dibuat pada Agustus 1985 oleh perusahaan *High Performance System, Inc.* yang terletak di Hannover (Jianguo, 1991).

Stella software adalah suatu sistem dinamis perangkat lunak yang dapat menginteraksikan setiap gambaran atau hubungan ke tiap konsep yang dibuat.

Stella software dapat dengan mudah membuat model berdasarkan konsep yang sudah seseorang buat. Pada penyusunannya, dibuat bagian dari setiap variabel yang saling berhubungan untuk mengetahui hubungan sebab akibat yang akan ditampilkan oleh *Stella software* (Kurniawan, 2014).

Ada dua tipe variabel dalam sistem dinamis model antara lain *stock* atau *level* dan *flows* atau *rate*. Blok variabel dalam bangunan model yang digunakan dalam *Stella* software adalah *stock* dan *flows* yang dapat dilihat pada Gambar 6 berikut



Gambar 6. Blok model pada *Stella* software (Brothers and Pavlov, 1965)

2.5.3 Tahap Pemodelan

Pemodelan sistem dinamik dibuat secara terstruktur melalui langkah - langkah yang berurutan. Model sistem dibangun berdasarkan pemikiran yang terstruktur yang diterapkan ke dalam diagram casual loop dan diagram stocks dan flows (Richmond, 2001). Menurut Soesilo., *et al*, (2014), langkah - langkah yang harus dilakukan untuk menyusun struktur masalah berdasarkan pemodelan sistem dinamik yaitu sebagai berikut:

Langkah 1 yaitu pengamatan sistem aktual. Pengamatan dilakukan dengan memahami sistem sebenarnya atau aktual yang menjadi objek di dunia nyata.

Fokus pengamatan adalah pada unsur - unsur yang dimiliki sistem dan hubungan sebab - akibatnya, kemudian diuraikan menjadi sebuah deskripsi sistem.

Langkah 2 adalah penyusunan struktur permasalahan. Pada pemodelan sistem, struktur permasalahan sistem disusun untuk mengetahui selisih antara kondisi saat ini dan kondisi kinerja sistem yang diinginkan. Struktur permasalahan sistem kemudian dijabarkan menjadi sebuah deskripsi permasalahan sistem.



Langkah 3 yaitu pembuatan model. Pemodelan sistem dibuat berdasarkan casual loop diagram (CLD) yaitu diagram yang menggambarkan struktur permasalahan sistem dan hubungan sebab akibat antara variabel kemudian penyusunan stock flow diagram (SFD).

Langkah 4 adalah validasi model. Model berarti adalah tiruan dalam bentuk yang lebih sederhana dari objek sistem yang sebenarnya. Validitas model dilakukan untuk menjamin bahwa model benar - benar mewakili sistem yang dipelajari. Validasi model diketahui dengan melakukan uji validitas. Model yang valid dapat ditirukan dengan melakukan simulasi model.

Langkah 5 yaitu simulasi model. Pada langkah ini dilakukan apa adanya (business as usual) yaitu simulasi kinerja sistem tanpa ada intervensi terhadap sistem.

Langkah 6 adalah simulasi model skenario intervensi. Simulasi model dengan skenario intervensi dilakukan dengan beberapa alternatif skenario yang disusun. Hasil simulasi akan menghasilkan prediksi kinerja sistem. Pemilihan skenario intervensi terbaik dilakukan untuk tujuan kondisi optimal kinerja sistem yang diharapkan.

Langkah 7 yaitu interpretasi. Pada langkah ini dilakukan kinerja sistem dan perilaku sistem yang terbentuk, baik melalui skenario apa adanya dan perilaku hasil intervensi serta selisih kinerja sistem yang terjadi di antara keduanya.

2.5.4 Bahasa Pemrograman *Stella Software*

Stella software adalah suatu sistem dinamis perangkat lunak yang dapat menginteraksikan setiap gambaran atau hubungan ke tiap konsep yang dibuat.

Stella software dapat dengan mudah membuat model berdasarkan konsep yang sudah seseorang buat. Pada penyusunannya, dibuat bagian dari setiap variabel

yang saling berhubungan untuk mengetahui hubungan sebab akibat yang akan ditampilkan oleh *Stella software* (Kurniawan, 2014).

Menurut Pohan (2018), *Stella* merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk pemodelan berbasis flow chart. Bahasa pemrograman *Stella software* termasuk ke dalam pemrograman interpreter dengan pendekatan lingkungan multi level hirarkis. Bahasa ini biasa digunakan untuk menyusun model dan berinteraksi dengan model. Dalam mempermudah pengelolaan model pada program *Stella software* terdapat tiga lapis atau jenjang, yaitu:

- *High-level Mapping Layer*. Pada jenjang ini merupakan antar-muka bagi pengguna atau biasa disebut dengan user interface. Pengguna model dapat bekerja pada jenjang ini dengan mengisi parameter model dan melihat tampilan yang muncul.
- *Model Construction Layer*, yaitu merupakan tempat model berbasis flow chart. Pada jenjang ini, pengguna dapat memodifikasi struktur model jika dibutuhkan
- *Equation Layer*. Jenjang ini merupakan persamaan - persamaan matematika yang digunakan dalam pembuatan simulasi model.

Perangkat lunak ini dapat digunakan oleh semua disiplin ilmu untuk merancang model dan simulasi. Beberapa alat penyusun model yang umum digunakan diantara adalah sebagai berikut:

- *Stock*. Alat ini merupakan hasil suatu penjumlahan dari berbagai parameter. Pada alat penyusun ini digunakan untuk menyimpan informasi berupa nilai suatu parameter yang terakumulasi oleh parameter lain. *Stock* pada *Stella software* dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.

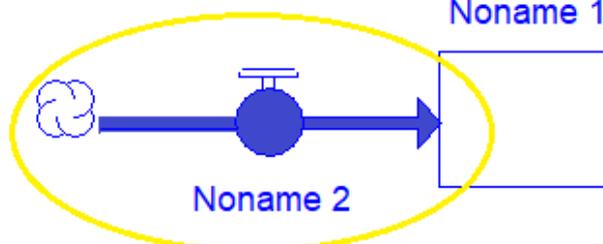
Noname 1



Gambar 7. Stock pada Stella software (Stella, 2019)

- *Flow*. Alat ini merupakan komponen yang berfungsi seperti sebuah aliran, yaitu menambah atau mengurangi *stock*. Pada alat ini terdapat anak panah yang menunjukkan arah aliran tersebut. *Flow* pada *Stella software* dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.

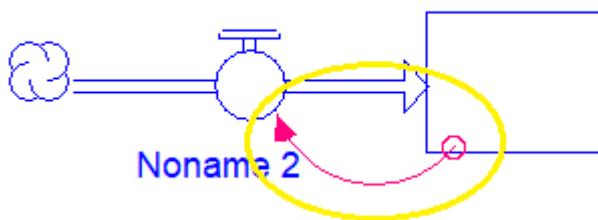
Noname 1



Gambar 8. Flow pada Stella software (Stella, 2019)

- *Connectors*. Pada alat ini memiliki fungsi yang sederhana yaitu menghubungkan komponen - komponen dalam satu model. *Connectors* pada *Stella software* dapat dilihat pada Gambar 9 berikut.

Noname 1

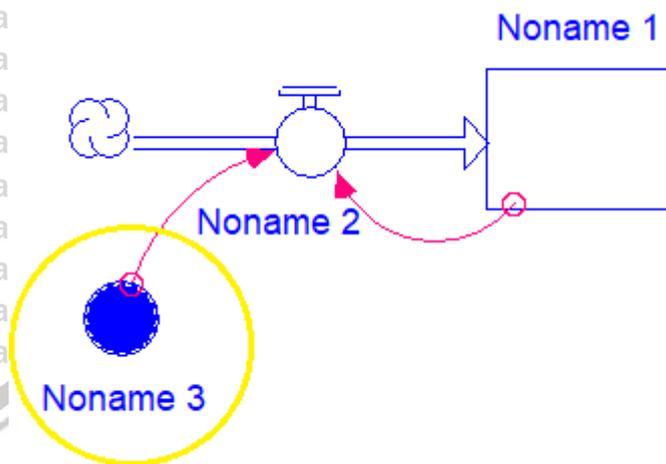


Gambar 9. Connectors pada Stella software (Stella, 2019)

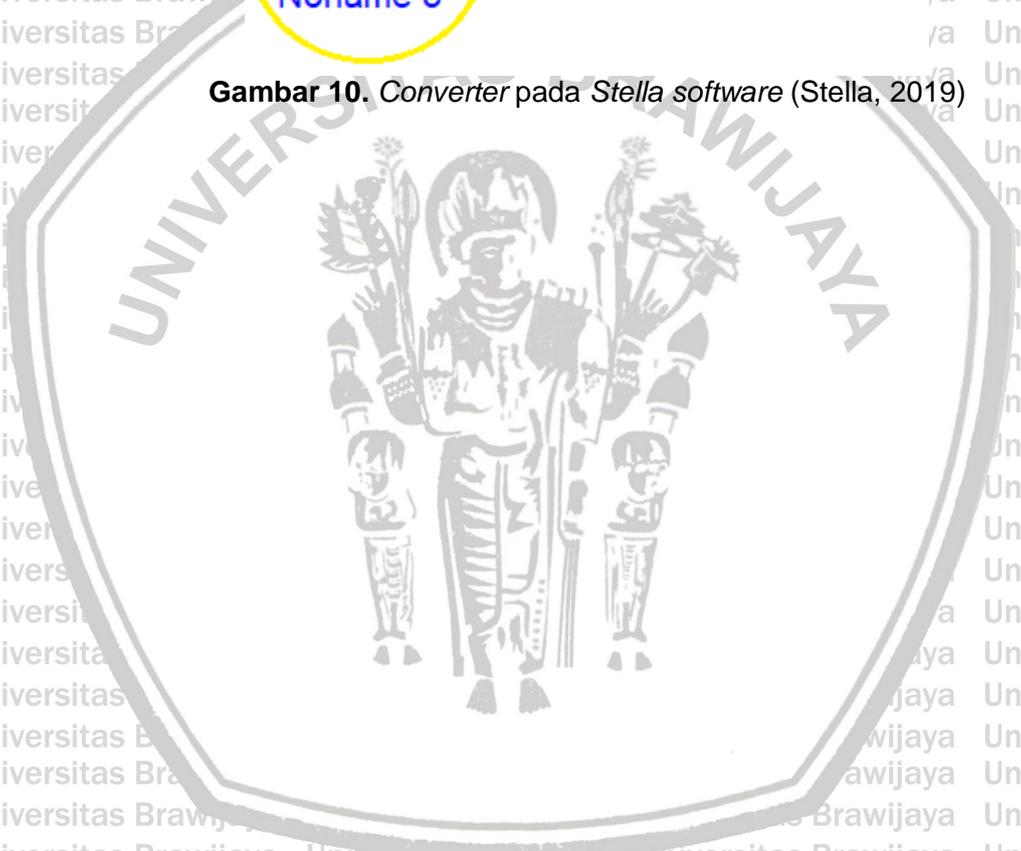
- *Converter*. Alat ini merupakan alat penyusun yang memiliki fungsi paling luas di *Stella software*. Converter dapat digunakan untuk menyimpan konstanta, input bagi suatu parameter, komponen kalkulasi dari input parameter lain, serta menyimpan data dalam bentuk grafis x dan y . Hasil



akhir utama converter adalah mengubah input menjadi output. Converter pada Stella software dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10. Converter pada Stella software (Stella, 2019)



3. METODE PENELITIAN

3.1 Materi Penelitian

3.1.1 Alat Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa alat – alat yang digunakan, diantaranya adalah komputer dengan spesifikasi *windows* 10 atau sebelumnya, 64-bit sistem operasi, dan RAM 4GB, program perangkat lunak STELLA, dan alat tulis.

3.1.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan – bahan yang digunakan pada penelitian ini. Diantaranya adalah data kualitas air tambak budidaya udang vaname yang terinfeksi *White Feces Syndrome* (WFS).

3.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode deskriptif. Metode deskriptif adalah metode yang digunakan untuk mencari ciri – ciri, sifat – sifat, unsur – unsur atau fenomena. Metode ini dimulai dengan mengumpulkan data, menganalisis data, dan menginterpretasikan data tersebut. Penelitian ini biasanya dilakukan tanpa merumuskan suatu hipotesis dengan ketat (Suryana, 2010).

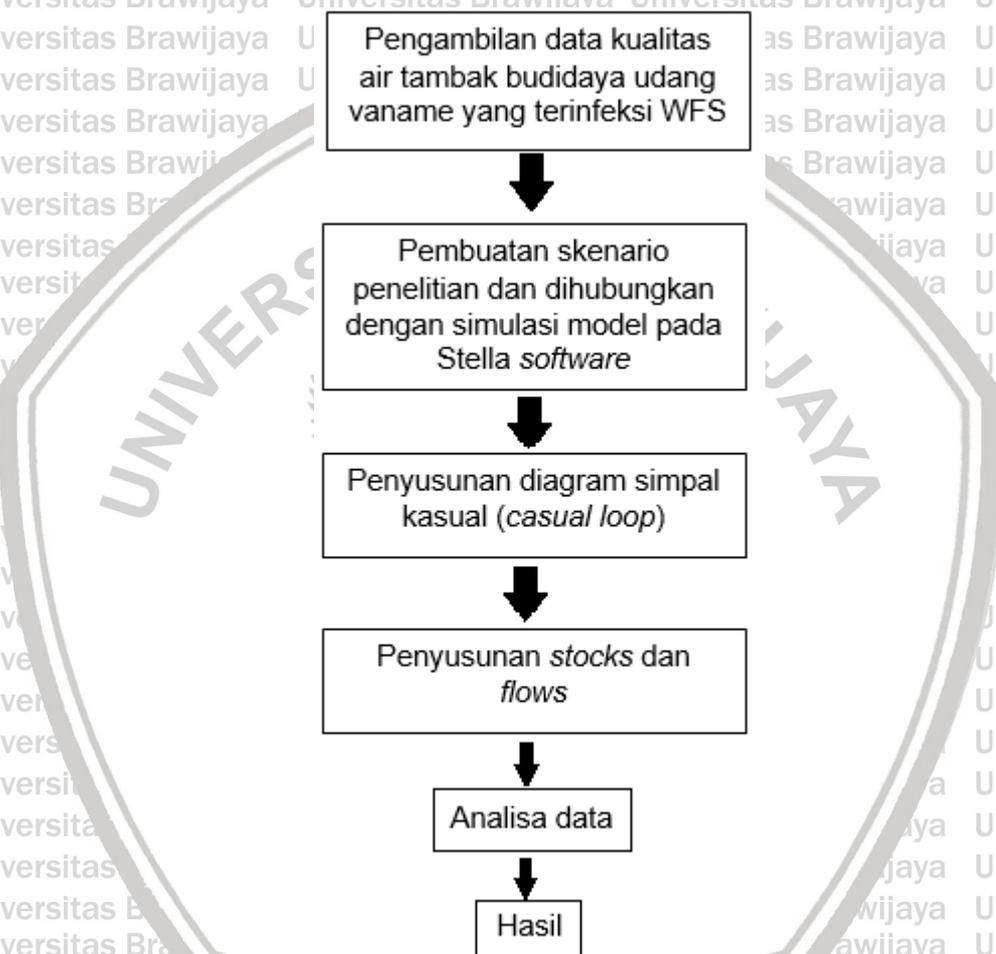
3.3 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini mengumpulkan data secara sekunder. Data ini adalah data yang berasal dari penelitian yang sudah terlaksana dan sudah teruji maupun terpublikasi. Data penelitian terdahulu dikutip untuk kepentingan penelitian. Pada penelitian ini, data sekunder yang dikutip berasal dari penelitian pada pustaka, instansi, ataupun lembaga pemerintahan yang mempunyai kaitannya dengan

protozoa gregarine penyebab penyakit *white feces syndrome*. Serta data mengenai optimasi kegiatan produksi budidaya udang vaname.

3.4 Kegiatan Penelitian

Kegiatan pada penelitian ini dibagi menjadi tahap persiapan dan tahap penelitian. Prosedur kerja pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 11 berikut.



Gambar 11. Prosedur kerja penelitian

3.3.1 Persiapan Penelitian

Tahap persiapan pada penelitian ini diawali dengan persiapan alat dan bahan serta pengambilan data kualitas air. Pengambilan data kualitas air yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Anjaini, *et al.*, (2018) dengan kasus tambak budidaya udang vaname yang terinfeksi WFS. Kualitas air yang diambil data untuk penelitian ini adalah suhu, oksigen terlarut, derajat keasaman (pH),

salinitas, amonia, nitrit, nitrat dan ortofosfat. Data optimasi kegiatan produksi yang digunakan berasal dari Tahe, *et al.*, (2014). Data dimasukkan menjadi variabel pada pemodelan, meliputi padat tebar, masa pemeliharaan, produktivitas, penambahan berat harian, serta tingkat kelulus hidupan.

3.3.2 Pelaksanaan Penelitian

Tahap pelaksanaan penelitian yang pertama kali dilakukan adalah penyusunan skenario pemodelan. Penyusunan tersebut memerlukan variabel untuk menjalankan pemodelan. Variabel atau parameter kualitas air yang diperlukan meliputi pengukuran suhu, oksigen terlarut (DO), pH, salinitas, amonia, nitrit, nitrat, dan bahan organik. Kualitas air tersebut kemudian digunakan sebagai bahan penyusunan selanjutnya.

Kemudian dilakukan penyusunan diagram simpal kausal, yaitu penarikan hubungan antara tiap variabel. Pada diagram digambarkan dengan arah panah yang menunjukkan arah dari hubungan. Diagram dibagi menjadi dua yaitu sub sistem dampak WFS, yaitu hubungan dari kualitas air kepada jumlah gregarine dalam tubuh udang dan dikaitkan dengan WFS. Sub sistem selanjutnya adalah total produksi, yaitu penarikan hubungan dari variabel dasar kegiatan produksi menjadi hasil produksi.

Pemodelan dilakukan menggunakan *Stella software* 9.1.4. Parameter kualitas air dihubungkan dengan jumlah gregarine dan dampak WFS. Pada pembuatan model diperlukan formulasi matematis yang dapat mengetahui hubungan sebab akibat antara variabel. Kemudian, tingkat kematian udang akibat WFS dihubungkan dengan jumlah produksi yang seharusnya. Setelah itu, akan didapatkan hasil jumlah produksi udang vaname pada kondisi perairan yang terinfeksi WFS akibat dari kepadatan gregarine yang berbahaya.

3.5 Pemodelan Sistem Dinamis

Pada penelitian ini terdapat kegiatan berupa pembuatan model sistem dinamis. Data kualitas air yang sudah didapat, seperti oksigen terlarut, suhu, pH, salinitas, ammonia, nitrit, nitrat, dan ortofosfat akan dimasukkan ke dalam model.

Pemodelan sistem dinamis dilakukan menggunakan perangkat lunak.

Menurut Siergiev (2009), perangkat lunak berpotensi dapat menyusun sistem yang mensimulasikan secara dinamik dengan bergantung pada waktu dan dengan jumlah variabel dan fungsi yang berbeda. Setiap variabel dihubungkan dengan suatu satuan yang nyata atau dibuat sendiri. Variabel yang ada memiliki nilai numerik yang merupakan bagian dari variabel tersebut. Pada sistem, setiap variabel digambarkan dalam beberapa simbol (Muhammadi., et al, 2001). Penggunaan simbol - simbol untuk aplikasi dan analisis model dinamis pada *Stella software* tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen penelitian dan kategori pemodelan berorientasi objek

No.	Komponen penelitian	Kategori pemodelan berorientasi objek
1	WFS, total produksi Suhu, pH, salinitas, DO, amonia, nitrit, nitrat, pakan, metabolisme, bahan	Stock
2	organik, SR, ADG, masa pemeliharaan, padat tebar, populasi, penambahan berat	Converter
3	Gregarine, kematian, biomassa	Flow
4	Hubungan fungsional dan korelasi	Connector

Dalam melakukan pemodelan parameter kualitas air adalah dengan menggunakan pendekatan sistem dinamis. Pada penelitian ini dibantu dengan program *Stella software*.

3.4.1 Penyusunan Diagram Simpal Kausal (*Casual Loop*)

Menurut Muhammadi., et al, (2001), diagram simpal kausal adalah pengungkapan tentang kejadian hubungan sebab akibat ke dalam bahasa pemrograman tertentu. Bahasa pemrograman pada sistem pemodelan biasanya



diorientasikan dalam bentuk gambar atau simbol. Diagram simpal kausal dibuat berdasarkan hubungan sebab akibat pendekatan. Pendekatan pada penelitian ini dilihat dari segi akuakultur. Pada penelitian, *output* dari pendekatan ini adalah diketahuinya kualitas air yang optimal agar tidak mengundang kehadiran protozoa gregarine, sehingga tambak budidaya udang vaname terbebas dari penyakit WFS.

Menurut Christina (2004), penyusunan diagram simpal kausal dimulai dengan mengembangkan *diagram casual loop* (diagram sebab akibat). Setelah itu, dilakukan analisis gejala sebab akibat terhadap waktu. Kemudian diidentifikasi jalur sistem yang dibuat. Sistem yang dibuat juga diidentifikasi nilai tambah ke dalamnya. Kemudian, mengembangkan strategi intervensi. Lalu, identifikasi variabel utama yaitu dengan mempersiapkan grafik yang memperlihatkan gejala perlakuan terhadap waktu.

3.4.2 Penyusunan *Stock* dan *Flows*

Penyusunan *stock* dan *flows* dibuat berdasarkan diagram simpal kasual yang sudah terlebih dahulu disusun. *Stock* dan *flows* pada penelitian ini berupa model ekologi. Pada penyusunan model dibutuhkan untuk melakukan formulasi matematis. Formulasi ini digunakan untuk menunjukkan hubungan antara setiap variabel yang saling berinteraksi. Model ekologi pada penelitian merupakan gambaran dari kondisi *existing* perairan tambak selama kejadian (Kurniawan, 2014). Dalam model ekologi, kepadatan gregarine dan produksi panen merupakan *stock* dengan pendekatan yang mengacu pada kuantitas bahan organik yang mampu dioptimalisasikan. Adapun variabel – variabel yang menjadi *flow*, yaitu adalah bahan organik, WFS, kematian, total biomassa.

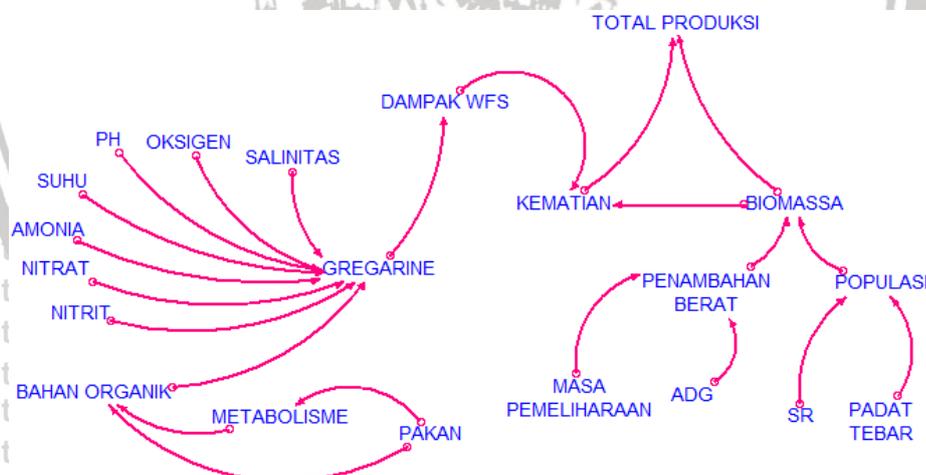
Menurut Christina (2004), penyusunan *stock* dan *flows* dimulai dengan mengembangkan gambaran sistem secara menyeluruh. Setelah itu dilakukan

penentuan jenis variabel dan membuat diagram *stock-flow*. Informasi dan data yang sudah dikumpulkan secara detail dimasukkan ke dalam diagram *stock-flow*.

Kemudian, simulasi model dapat dikembangkan dengan menghubungkan sebab akibat dan memasukan formulasi matematis. Lalu, melalui model dapat ditentukan nilai awal, selang waktu simulasi, dan rentang waktu.

3.4.3 Pembuatan Skenario Model

Analisa simulasi model adalah menemukan skenario optimal yang sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai atau skenario (Ismail, 2019). Pada penelitian, skenario yang dibuat adalah mendapatkan kepadatan gregarine berdasarkan konsentrasi parameter kualitas air yang diinput ke dalam pemodelan. Skenario akhir pada penelitian ini adalah tercapainya total produksi yang dipengaruhi oleh WFS akibat dari kepadatan gregarine yang berbahaya. Simulasi pemodelan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Skenario pemodelan

Menurut Christina (2004), skenario pemodelan direncanakan secara umum. Kemudian dilakukan identifikasi faktor kunci yang mempengaruhi perubahan dan data hal yang diragukan. Skenario mulai dibangun dengan pembelajaran pada sistem dan intervensi. Model yang sudah dibuat mulai

disimulasikan dan dihubungkan dengan skenario yang sudah dibuat. Setelah itu, evaluasi masalah yang berkaitan dengan skenario dan strategi.

3.4.4 Validasi Model

Validasi merupakan upaya penyimpulan mengenai pengesahan dari model sistem yang dibuat terhadap kenyataan yang dikaji. Tahapan ini dilakukan terhadap model sistem yang dibuat agar menghasilkan kesimpulan yang meyakinkan (Eriyatno, 2003). Validasi dilakukan terhadap struktur model sistem yang dibuat serta hasil dari model tersebut. Validasi struktur model dilakukan melalui studi pustaka dalam suatu kerangka pikir yang logis dan terstruktur.

Validasi model juga dapat dilakukan dengan cara berdiskusi bersama pakar ahli. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa model yang telah dibuat benar dan sesuai dengan kenyataan. Jika kelayakan model telah diketahui, maka model yang telah dibuat akan dianggap layak untuk digunakan (Kurniawan, 2014).

3.6 Analisa Data

Analisa data merupakan tahap yang dilakukan setelah data dari hasil penelitian didapatkan. Data tersebut selanjutnya dianalisis dan dilakukan studi literatur. Analisa data yang digunakan adalah analisis deskriptif untuk menjabarkan data hasil penelitian. Lebih lanjut lagi dapat menentukan sebab akibat berdasarkan data terhadap tujuan penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kualitas Air

Kualitas air menjadi faktor utama dalam penyebab terjadinya penyakit *white feces syndrome*. Salah satu agen yang bertanggung jawab pada WFS adalah gregarine. Protozoa ini hadir di tambak karena buruknya kualitas air dalam masa pemeliharaan. Sehingga tidak terpungkiri akan terjadinya kematian udang vaname. Beberapa yang selamat akan mengalami pertumbuhan yang melambat karena adanya gangguan di organ pencernaan oleh protozoa ini (Jones., *et al*, 1994).

Berikut merupakan hasil pengukuran kualitas air tambak budidaya udang vaname pada pemodelan ini berdasarkan studi Anjaini, *et al.*, (2018), di Desa Peleyan, Kecamatan panarukan, Kabupaten Situbondo. Pengukuran kualitas air yang dilakukan di Laboratorium Hidrobiologi Divisi Lingkungan dan Bioteknologi Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang. Serta standar kualitas air untuk budidaya udang vaname yang telah distandarisasikan oleh Badan Standarisasi Nasional (2006), ditampilkan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Kualitas Air Tambak Udang Vaname Terinfeksi WFS

No.	Parameter Kualitas Air	Nilai	Standarisasi Optimal
1	Suhu (°C)	27,3	28,5 - 31,5 (SNI, 2006)
2	pH	6,6	7,5 - 8,5 (SNI, 2006)
3	DO (mg/L)	7,2	>3,5 (SNI, 2006)
4	Salinitas (ppt)	29,3	15 - 25 (SNI, 2006)
5	Amonia (mg/L)	0,188	<0,1 (Effendi, 2003)
6	Nitrit (mg/L)	0,006	<0,01 (SNI, 2006)
7	Nitrat (mg/L)	0,16	0,11 – 0,54 (SNI, 2006)

Sumber: Anjaini, *et al.*, (2018)

Data kualitas air tersebut dimasukan sebagai variabel yang diinput ke dalam pemodelan. Data tersebut diinput sebagai data kualitas air yang dihubungkan dengan jumlah individu gregarine.

4.1.1 Suhu

Berdasarkan studi Anjaini, *et al.*, (2018), WFS dapat hadir saat konsentrasi suhu perairan sekitar 27,3°C – 30,7°C. Sedangkan menurut Standar Nasional Indonesia (2006), konsentrasi suhu yang optimal untuk kehidupan udang pada tambak budidaya berkisar antara 28,5°C - 31,5°C. Dapat diketahui, bahwa konsentrasi suhu pada studi Anjaini, *et al.*, (2018), berada di bawah batas wajar yang ditetapkan oleh SNI (2006).

Hadikusumah (2008), menyatakan bahwa keseimbangan suhu dipengaruhi beberapa faktor. Diantaranya adalah curah hujan, kelembaban, suhu udara, penguapan, kecepatan angin serta penyinaran matahari. Umumnya, tambak terinfeksi WFS setelah mengalami penurunan suhu. Penurunan suhu dipengaruhi karena turun hujan. Gregarine dapat menginfeksi udang budidaya saat kualitas perairan sedang buruk.

Chakraborti dan Bandyapadhyay (2011), melaporkan bahwa gregarine menginfeksi udang budidaya saat suhu perairan pada kisaran 29°C - 36°C. Penginfeksian paling tinggi terjadi pada konsentrasi suhu sebesar 35°C, yaitu sebanyak 40 individu. Hal ini mengisyaratkan bahwa konsentrasi suhu di tambak Desa Pelayan tidak menjadi faktor adanya penginfeksian gregarine. Tidak ditemukan adanya keberadaan gregarine pada suhu 27,3°C. Artinya, kondisi suhu perairan masih dalam keadaan yang optimal sehingga tidak mengundang keberadaan gregarine. Pada Tabel 3 berikut adalah penginfeksian gregarine pada konsentrasi suhu tertentu yang dijadikan sebagai acuan dalam pembuatan model.

Tabel 3. Penginfeksi gregarine berdasarkan konsentrasi suhu

No.	Nilai (°C)	Gregarine dalam tubuh udang (individu)	Keterangan
1	<29	0	
2	30	10	
3	31	20	
4	32,5	30	menginfeksi di suhu 29 - 36°C
5	35	40	
6	36	35	
7	>37	0	

Sumber: Chakraborti dan Bandyapadhyay (2011).

Berdasarkan hal tersebut, menginisiasikan bahwa gregarine berpotensi menginfeksi tambak saat musim panas, atau saat konsentrasi suhu perairan berada diatas 29°C. Jika keadaan tersebut tidak dicegah maka akan menyebabkan dampak yang serius bagi kehidupan udang di tambak. Jayasree, *et al.*, (2001), menjelaskan bahwa selama bulan bulan saat musim panas, udang memiih untuk melakukan proses moulting. Hal ini dikarenakan karena intensitas cahaya matahari yang tinggi. Namun, pada saat moulting, udang menjadi rentan terserang oleh protozoa.

4.1.2 Oksigen Terlarut (DO)

Berdasarkan studi Anjaini, *et al.*, (2018), WFS dapat hadir saat kadar oksigen terlarut sekitar 5,8 – 7,2 mg/L. Sedangkan menurut Standar Nasional Indonesia (2006), konsentrasi minimal oksigen terlarut dalam tambak adalah 3,5 mg/L. Dapat diketahui, bahwa kadar oksigen terlarut pada studi Anjaini, *et al.*, (2018), masih pada konsentrasi yang optimal pada batas wajar yang ditetapkan oleh SNI (2006).

Kegiatan budidaya udang diwajibkan untuk menyuplai konsentrasi oksigen terlarut yang tinggi di dalam perairan tambak. Hal ini dibutuhkan karena budidaya udang dilakukan secara super intensif, dimana kepadatan udang yang ditebar termasuk sangat tinggi. Selain itu, dengan jumlah udang yang banyak maka

dibutuhkan pula suplai pakan yang banyak. Pakan yang tidak termakan akan menjadi sisa dan dapat menjadi toksik untuk perairan jika kadar oksigen tidak terlalu tinggi.

Zakariah, *et al.*, (2019), melaporkan bahwa gregarine menginfeksi pada konsentrasi oksigen terlarut perairan pada kisaran 0 – 14 mg/L. Chakraborti dan Bandyapadhyay (2011), melaporkan bahwa, gregarine menginfeksi udang saat kadar oksigen terlarut pada kisaran 4 – 8. Kadar oksigen terlarut didasarkan pada konsentrasi pH perairan. Pada konsentrasi oksigen terlarut diatas 8 mg/L tidak ditemukan adanya penginfeksian gregarine. Pada Tabel 4 berikut adalah penginfeksian gregarine pada konsentrasi DO tertentu yang dijadikan sebagai acuan dalam pembuatan model.

Tabel 4. Penginfeksian gregarine berdasarkan konsentrasi DO

No.	Nilai (mg/L)	Gregarine dalam tubuh udang (individu)	Keterangan
1	<5	0	
2	5	16	
3	6	24	menginfeksi pada kisaran DO 5 – 8 mg/L
4	7	38	
5	>8	0	

Sumber: Chakraborti dan Bandyapadhyay (2011).

Konsentrasi oksigen terlarut yang optimal bukan menjadi jaminan bahwa tidak adanya protozoa gregarine di dalam perairan. Hal ini dikarenakan terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi hal tersebut. Selain itu, konsentrasi oksigen terlarut dalam tambak akan selalu tercukupi dan tergolong tinggi karena keberadaan kincir sebagai suplai oksigen. Hal itu menjadi pengecualian disaat terjadi masalah teknis pada sistem kerja kincir (Kurniawan, 2014).

4.1.3 pH

Berdasarkan studi Anjaini, *et al.*, (2018), WFS dapat hadir saat konsentrasi pH perairan sekitar 6,6 – 7,1. Sedangkan, berdasarkan Badan Standarisasi

Nasional (2006), menyebutkan bahwa konsentrasi pH yang menjadi standar adalah pada kisaran 7,5 – 8,5 mg/L. Dapat diketahui, bahwa konsentrasi pH pada studi Anjaini, *et al.*, (2018), berada di bawah batas wajar pada konsentrasi yang ditetapkan oleh SNI (2006).

Derajat keasaman mempengaruhi daya racun suatu senyawa, kelangsungan hidup dan pertumbuhan udang budidaya. Menurut Effendi (2003),

Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan, misalnya proses nitrifikasi tidak akan terjadi jika konsentrasi pH rendah. Menurut Wirjodihardjo (1952), derajat keasaman sangat mempengaruhi pembongkaran bahan organik.

Hal ini dikarenakan pada konsentrasi pH dibawah 4 akan hadir beberapa fungi yang menghambat proses dekomposisi sehingga memungkinkan bahan organik tertimbun.

Chakraborti dan Bandyapadhyay (2011), melaporkan bahwa, gregarine menginfeksi udang saat pH perairan sebesar 5 – 7,5. Pada konsentrasi pH 6,5 ditemukan sebanyak 30 gregarine yang menginfeksi udang di tambak. Semakin tinggi konsentrasi pH maka akan semakin memicu kehadiran gregarine. Penginfeksian paling tinggi terjadi pada saat konsentrasi pH sebesar 7,5, yaitu sebanyak 40 individu. Pada Tabel 5 berikut adalah penginfeksian gregarine pada konsentrasi pH tertentu yang dijadikan sebagai acuan dalam pembuatan model.

Tabel 5. Penginfeksian gregarine berdasarkan konsentrasi pH

No.	Nilai	Gregarine dalam tubuh udang (individu)	Keterangan
1	<5	0	
2	5	20	
3	5,5	10	
4	6,5	30	menginfeksi pada kisaran pH 5 – 8
5	7	35	
6	7,5	40	
7	>8	0	

Sumber: Chakraborti dan Bandyapadhyay (2011).

Berdasarkan hal tersebut, menginisiasikan bahwa gregarine dapat menginfeksi pada perairan dengan kondisi asam hingga cenderung basa.

Namun, gregarine tidak dapat menginfeksi pada kondisi perairan yang basa, atau pada pH diatas 7,5. Hal ini disebabkan karena pada kondisi basa, banyak terdapat oksigen terlarut di dalam perairan. Sehingga gregarine tidak dapat menginfeksi.

4.1.4 Salinitas

Berdasarkan studi Anjaini, *et al.*, (2018), WFS dapat hadir saat konsentrasi salinitas perairan sekitar 27,6 – 29,3 ppt. Sedangkan, berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (2006), menyebutkan bahwa konsentrasi salinitas yang optimal adalah sebesar 15 – 25 ppt. Dapat diketahui, bahwa konsentrasi salinitas pada studi Anjaini, *et al.*, (2018), melebihi batas wajar pada konsentrasi yang ditetapkan oleh SNI (2006).

Zakariah, *et al.*, (2019), melaporkan bahwa standar konsentrasi salinitas untuk kehidupan gregarine adalah 0,5 – 30 ppt. Uddin, *et al.*, (2011) menyatakan bahwa gregarine dengan jenis nematopsis menyerang perairan pada kisaran salinitas 25,2 - 31,8 ppt. Pada salinitas 29 terdapat sebanyak 26 gregarine menginfeksi udang di perairan. Gregarine menyukai kehidupan di kondisi salinitas tinggi. Pada kondisi ini gregarine berpotensi menginfeksi udang. Pada Tabel 6 berikut adalah penginfeksian gregarine pada konsentrasi salinitas tertentu yang dijadikan sebagai acuan dalam pembuatan model.

Tabel 6. Penginfeksian gregarine berdasarkan konsentrasi salinitas

No.	Nilai (ppt)	Gregarine dalam tubuh udang (individu)	Keterangan
1	< 25,2	0	
2	27	16	
3	28	21	menginfeksi pada kisaran salinitas 25,2 – 31,8 ppt
4	29	26	
5	> 31,8	0	

Sumber: Uddin, *et al.*, (2011).

Menurut Haliman dan Adijaya (2005), salinitas memiliki peran pada proses osmoregulasi udang dan dalam proses moulting. Perbedaan salinitas tidak akan mempengaruhi kelengkapan udang vaname. Salinitas yang terlampau tinggi akan menghambat pertumbuhan karena dapat mengganggu proses osmoregulasi. Energi pada tubuh udang akan lebih banyak dimanfaatkan untuk proses osmoregulasi daripada untuk pertumbuhan. Sehingga keberadaan gregarine di tambak tidak bisa dihindari untuk tidak menginfeksi udang.

4.1.5 Amonia

Berdasarkan studi Anjaini, *et al.*, (2018), WFS dapat hadir saat konsentrasi amonia perairan sekitar 0,154 – 0,188 mg/L. Sedangkan, berdasarkan Effendi (2003), menyebutkan bahwa konsentrasi amonia yang optimal adalah sebesar kurang dari 0,1 mg/L. Dapat diketahui, bahwa konsentrasi amonia pada studi Anjaini, *et al.*, (2018), melebihi dari batas wajar yang ditetapkan oleh Effendi (2003).

Zakariah, *et al.*, (2019), melaporkan bahwa standar konsentrasi amonia untuk kehidupan gregarine adalah sebesar 0,1 mg/L. Menurut Chithambaran, *et al.*, (2017), pada konsentrasi ammonia perairan diatas 0,1 akan mengundang kehadiran gregarine sebanyak 10 individu untuk menginfeksi udang. Pada Tabel 7 berikut adalah penginfeksian gregarine pada konsentrasi amonia tertentu yang dijadikan sebagai acuan dalam pembuatan model.

Tabel 7. Penginfeksian gregarine berdasarkan konsentrasi amonia

No.	Nilai (mg/L)	Gregarine dalam tubuh udang (individu)	Keterangan
1	< 0,1	0	menginfeksi pada amonia
2	> 0,1	10	diatas 0,1 mg/L

Sumber: Chithambaran, *et al.*, (2017).

Pada kondisi ammonia yang tinggi, gregarine dapat menginfeksi udang.

Selain itu, konsentrasi amonia yang tinggi meski belum mematkan secara

langsung namun dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan insang.

Lembaran insang akan terjadi hiperplasia atau pembengkakan. Akibatnya, insang yang semestinya berfungsi sebagai alat pernafasan akan terganggu karena tidak dapat mengikat oksigen dengan baik. Amonia yang tinggi di tambak juga akan meningkatkan konsentrasi amonia di dalam darah. Sehingga hemocyanin tidak optimal dalam mengikat oksigen (Mangampa, 2010).

4.1.6 Nitrit

Berdasarkan studi Anjaini, *et al.*, (2018), WFS dapat hadir saat konsentrasi nitrit perairan sekitar 0,003 – 0,007 mg/L. Sedangkan, berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (2006), menyebutkan bahwa konsentrasi nitrit yang optimal adalah sebesar kurang dari 0,001 mg/L. Dapat diketahui, bahwa konsentrasi nitrit pada studi Anjaini, *et al.*, (2018), melebihi dari batas wajar yang ditetapkan oleh SNI (2006).

Zakariah, *et al.*, (2019), melaporkan bahwa standar konsentrasi nitrit untuk kehidupan gregarine adalah di bawah 0,02 mg/L. Chithambaran, *et al.*, (2017), menyatakan bahwa pada konsentrasi nitrit sebesar 0,006 terdapat 6 gregarine menginfeksi udang di tambak. Semakin rendah konsentrasi nitrit juga akan semakin mengurangi potensi penginfeksian gregarine. Pada Tabel 8 berikut adalah penginfeksian gregarine pada konsentrasi nitrit tertentu yang dijadikan sebagai acuan dalam pembuatan model.

Tabel 8. Penginfeksian gregarine berdasarkan konsentrasi nitrit

No.	Nilai (mg/L)	Gregarine dalam tubuh udang (individu)	Keterangan
1	< 0,001	0	menginfeksi pada kisaran nitrit 0,001 – 0,02 mg/L
2	0,004	2	
3	0,005	4	
4	0,006	6	
5	> 0,02	0	

Sumber: Chitambar, *et al.*, (2017).



Berdasarkan hal tersebut, kondisi nitrit di tambak perlu diperhatikan.

Karena terdapat korelasi antara kondisi nitrit dengan keberadaan gregarine.

Namun, konsentrasi nitrit yang terlampau tinggi juga dapat menyebabkan kematian pada gregarine. Protozoa ini memiliki batas toleransi kehidupan sampai konsentrasi nitrit sebesar 0,02 mg/L.

Konsentrasi nitrit menjadi tinggi dikarenakan jumlah padat tebar yang tinggi. Populasi yang banyak ini menyebabkan banyak adanya kotoran (feses), bahkan sisa pakan yang mengendap di dasar tambak. Pengendapan ini jika dibiarkan akan terjadi pembusukan. Konsentrasi nitrit harus dijaga pada kisaran normal agar tidak terjadi kematian karena keracunan nitrit (Darti dan Iwan, 2006).

Konsentrasi tinggi pada nitrit bersifat toksik terhadap udang karena dapat membentuk methemoglobin. Yaitu adalah bentuk ikatan dari nitrit dengan hemocyanin. Ikatan ini menyebabkan hemocyanin tidak dapat mengikat oksigen dengan baik. Sehingga udang menjadi kekurangan suplai oksigen. Peningkatan konsentrasi nitrit juga dipengaruhi oleh masa pemeliharaan (Zulfikar, 2019).

4.1.7 Nitrat

Berdasarkan studi Anjaini, *et al.*, (2018), WFS dapat hadir saat konsentrasi nitrat perairan sekitar 0,158 – 0,160 mg/L. Sedangkan, berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (2006), menyebutkan bahwa konsentrasi amonia yang optimal adalah pada kisaran 0,11 – 0,54 mg/L. Dapat diketahui, jika konsentrasi nitrat pada studi Anjaini, *et al.*, (2018), masih berada pada batas wajar yang ditetapkan oleh SNI (2006).

Oksigen terlarut merupakan faktor yang paling penting terhadap konsentrasi nitrat di tambak. DO berperan dalam mengkonversi amonia menjadi nitrat. Proses ini terjadi melalui bantuan bakteri *Nitrosomonas sp.* dan *Nitrobacter sp.* Jika pada tambak konsentrasi DO cukup rendah, bukan tidak mungkin pada

perairan tersebut memiliki konsentrasi nitrat yang rendah. Pada kondisi tersebut, amonia justru terkonversi menjadi nitrit (Schuler, 2008).

Cankaya, *et al.*, (2017), menyatakan bahwa pada konsentrasi pada konsentrasi nitrat diatas 0,1 mg/L tidak ditemukan penginfeksi gregarine. Hal ini juga didukung oleh pernyataan Zakariah, *et al.*, (2019) bahwa tidak ada ditemukan hubungan antara konsentrasi nitrat dengan gregarine dalam perairan.

Pada Tabel 9 berikut adalah penginfeksi gregarine pada konsentrasi nitrat tertentu yang dijadikan sebagai acuan dalam pembuatan model.

Tabel 9. Penginfeksi gregarine berdasarkan konsentrasi nitrat

No.	Nilai (mg/L)	Gregarine dalam tubuh udang (individu)	Keterangan
1	< 0,1	6	menginfeksi pada nitrat
2	> 0,1	0	dibawah 0,1

Sumber: Cankaya, *et al.*, (2017).

Penginfeksi diatas konsentrasi tersebut diduga karena menurut Johnson (1995), gregarine tidak dapat menginfeksi dalam keadaan oksigen terlarut yang tinggi. Nitrat berbanding lurus hubungannya dengan oksigen terlarut. Sehingga dalam keadaan nitrat yang masih diatas batas wajar maka gregarine tidak dapat menginfeksi.

4.1.8 Bahan Organik

Konsentrasi bahan organik pada tambak berdasarkan pemodelan adalah sebesar 151,667 mg/L. Hasil tersebut didapatkan dari perhitungan pada pemodelan. Konsentrasi bahan organik pada penelitian ini tergolong tinggi atau melebihi batas maksimal. Berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (2006), menyebutkan bahwa konsentrasi bahan organik tidak boleh melebihi 55 mg/L.

Chithambaran, *et al.*, (2017), menyatakan bahwa pada konsentrasi pada konsentrasi total bahan organik diatas 50 mg/L ditemukan penginfeksi gregarine sebanyak 6 individu. Pada Tabel 10 berikut adalah penginfeksi



gregarine pada konsentrasi bahan organik yang dijadikan sebagai acuan dalam pembuatan model.

Tabel 10. Penginfeksi gregarine berdasarkan konsentrasi bahan organik

No.	Nilai (mg/L)	Gregarine dalam tubuh udang (individu)	Keterangan
1	< 50	0	menginfeksi pada bahan organik diatas 50 mg/L
2	> 50	6	

Sumber: Cankaya, *et al.*, (2017).

Tidak ditemukan lebih mendalam mengenai hubungan fluktuasi bahan organik terhadap gregarine. Hal ini dikarenakan gregarine juga memiliki batas toleransi konsentrasi bahan organik untuk kehidupan. Kondisi perairan yang optimal dengan tidak menghadirkan gregarine adalah pada konsentrasi bahan organik dibawah 50 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa penting sifatnya untuk menjaga konsentrasi bahan organik agar tetap pada kondisi yang optimal.

4.2 Protozoa Gregarine pada Tambak

Keberadaan protozoa gregarine tidak dapat diamati secara langsung di dalam tambak. Melainkan dengan cara pengamatan histopatologi. Gregarine berada pada organ pencernaan. Hal ini dicirikan dengan terdapatnya organel sel seperti nukleus, mitokondria, ribosom dan organel lainnya. Pada pemodelan di penelitian ini, keberadaan gregarine ditentukan berdasarkan studi terdahulu dengan konsentrasi tiap parameter kualitas air tertentu.

Amri (2006) menjelaskan bahwa gregarine dapat hadir di perairan karena beberapa faktor. Diantaranya seperti salinitas, kandungan O₂, kadar ammonia, dan faktor kurangnya makanan sehingga udang menjadi stress. Prakoso *et al.*, (2016) menyampaikan bahwa tingginya bahan organik seperti ammonia dan nitrit, juga mempengaruhi hal tersebut.

Pada penelitian ini, beberapa parameter diatas menjadi faktor keberadaan gregarine kecuali nitrat. Parameter kualitas air merupakan variabel yang menjadi

stock pada pemodelan penelitian ini. Gregarine pada tiap parameter kualitas air dijumlahkan sehingga pemodelan dapat mengetahui akumulasi jumlah gregarine di dalam tubuh udang. Akumulasi jumlah gregarine kemudian ditarik hubungannya dengan penyakit WFS. Sehingga pemodelan dapat mengetahui apabila tambak berpotensi menghadirkan gregarine dengan kepadatan yang dapat menyebabkan WFS.

4.3 *White Feces Syndrome* pada Tambak

Pada penelitian ini, tambak ditentukan terserang penyakit WFS apabila terdapat gregarine dalam jumlah tertentu. Semakin banyak gregarine di tambak maka akan semakin tinggi potensi terjadinya WFS. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa parameter kualitas air yang tidak dijaga.

Tambak yang terserang penyakit WFS memiliki ciri yang paling mudah diamati, yaitu terdapat kotoran putih yang mengapung di permukaan tambak. Secara khusus, terdapat juga ciri - ciri morfologi pada udang vaname. Yaitu, tubuh yang lebih kecil jika dibandingkan dengan udang yang sehat. Berdasarkan Hanifah (2017), udang vaname yang terinfeksi WFS akan mengalami penurunan bobot sebesar 12,5% dari bobot yang seharusnya, selama 20 hari pemeliharaan.

Pengurangan bobot udang yang terinfeksi WFS dikarenakan energi dari pakan yang seharusnya digunakan untuk pertumbuhan, justru digunakan untuk pemulihan sebagai bentuk perlawanan terhadap adanya WFS. Namun, hal ini tidak dapat diatasi dengan memberi pakan lebih banyak dari yang seharusnya.

Karena pemberian pakan yang berlebihan dapat menyebabkan kualitas air tambak menjadi buruk. Dimana, konsentrasi bahan organik menjadi meningkat akibat adanya pakan sisa yang tidak termakan dan mengendap di kolom tambak.

Pada kondisi ini, perairan tambak sangat rentan terhadap kehadiran protozoa gregarine yang dapat menyebabkan WFS.

4.4 Analisis Sitem Pemodelan

Mengacu pada tahap pemodelan menurut Soesilo, *et al*, (2014), maka perancangan sistem pemodelan dinamis dilakukan dengan menerapkan pendekatan sistem. Pada analisis sitem, perlu mengidentifikasi serta menguraikan mengenai apa yang dibutuhkan oleh objek penelitian yang akan terlibat dalam sistem. Dalam hal ini adalah kebutuhan atau komponen yang harus ada untuk menghadirkan protozoa gregarine pada perairan tambak. Komponen akan berpengaruh terhadap sistem yang ada. Setiap komponen memiliki standar nilai yang berbeda - beda sesuai dengan kebutuhan protozoa gregarine.

Pada sistem pemodelan ini, dibagi menjadi dua sub sistem, yaitu sub sistem kualitas air terhadap jumlah gregarine dan dampak WFS, serta sub sistem dampak WFS terhadap total produksi.

4.4.1 Sub Sistem Dampak WFS

Pada sub sistem ini terdapat beberapa variabel yang memiliki dampak terhadap bagus atau buruknya kondisi perairan. Kondisi perairan akan mempengaruhi jumlah gregarine dalam tubuh udang maupun pada perairan.

Pada kepadatan tertentu, gregarine akan menyebabkan WFS. Variabel pada sub sistem ini diantaranya adalah suhu, oksigen terlarut (DO), pH, salinitas, amonia, nitrit, nitrat, pakan, metabolisme, serta bahan organik. Berdasarkan pemodelan, didapatkan korelasi antara parameter kualitas air dengan jumlah gregarine, sebagai berikut:

1. Sebanyak 0 individu atau tidak ditemukan adanya penginfeksi gregarine pada suhu 27,3°C. Persamaan pada pemodelan untuk mencapai hasil tersebut dapat dilihat pada Lampiran 1.

2. Sebanyak 16 gregarine menginfeksi pada kadar oksigen terlarut perairan sebesar 7,2 mg/L. Persamaan pada pemodelan untuk mencapai hasil tersebut dapat dilihat pada Lampiran 1.
3. Sebanyak 30 gregarine menginfeksi pada konsentrasi pH perairan sebesar 6,6. Persamaan pada pemodelan untuk mencapai hasil tersebut dapat dilihat pada Lampiran 1.
4. Sebanyak 26 gregarine menginfeksi pada konsentrasi salinitas perairan sebesar 29,3 ppt. Persamaan pada pemodelan untuk mencapai hasil tersebut dapat dilihat pada Lampiran 1.
5. Sebanyak 10 gregarine menginfeksi pada konsentrasi amonia perairan diatas 0,1 mg/L. Persamaan pada pemodelan untuk mencapai hasil tersebut dapat dilihat pada Lampiran 1.
6. Sebanyak 6 individu gregarine menginfeksi udang pada konsentrasi nitrit perairan sebesar 0,006 mg/L. Persamaan pada pemodelan untuk mencapai hasil tersebut dapat dilihat pada Lampiran 1.
7. Tidak ditemukan gregarine yang menginfeksi pada konsentrasi nitrat dibawah 5 mg/L. Persamaan pada pemodelan untuk mencapai hasil tersebut dapat dilihat pada Lampiran 1.
8. Jumlah pakan yang diberika selama masa pemeliharaan udang di tambak adalah sebanyak 27,325 ton. Pada pemodelan, pakan dihubungkan kaitannya dengan bahan organik. Berdasarkan studi Mansyur, *et al.*, (2011), sebesar 0,55% dari pakan akan terkonversi menjadi bahan organik. Persamaan pada pemodelan untuk mencapai hasil tersebut dapat dilihat pada Lampiran 1.
9. Metabolisme mempengaruhi konsentrasi bahan organik. Berdasarkan Paena, *et al.*, (2017) metabolisme yang dihasilkan adalah sebesar 48%

dari pakan yang diberikan. Persamaan pada pemodelan untuk mencapai hasil tersebut dapat dilihat pada Lampiran 1.

10. Bahan organik pada pemodelan ditentukan berdasarkan pakan dan metabolisme. Konsentrasi yang didapat sebesar 151,667 mg/L. Pada konsentrasi tersebut akan mengundang sebanyak 6 gregarine untuk menginfeksi perairan. Persamaan pada pemodelan untuk mencapai hasil tersebut dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.4.2 Sub Sistem Produksi

Pada sub sistem ini terdapat komponen - komponen yang memiliki dampak terhadap bagus atau buruknya kondisi perairan. Komponen tersebut diantaranya adalah padat tebar, masa pemeliharaan, pertumbuhan harian, kelulus hidupan, biomassa, kematian, serta total produksi. Kebutuhan masing - masing komponen terhadap jalannya sistem adalah sebagai berikut:

1. Padat tebar pada pemodelan ini menggunakan sebesar 150 ekor/m².
2. Masa pemeliharaan pada pemodelan ini didasarkan pada studi Tahe, *et al.*, (2014), yaitu selama 110 hari.
3. Pertumbuhan harian pada pemodelan ini didasarkan pada studi Tahe, *et al.*, (2014), yaitu sebesar 0,135 gr/ekor/hari.
4. Kelulus hidupan pada pemodelan ini menggunakan persentase yang dioptimalkan pada studi Tahe, *et al.*, (2014), yaitu sebesar 85%.
5. Penambahan berat pada pemodelan merupakan hasil perhitungan dari komponen pertumbuhan harian dengan masa pemeliharaan. Perhitungan dilakukan menggunakan *software* pemodelan, persamaan pada pemodelan dapat dilihat pada Lampiran 1.

6. Populasi pada pemodelan merupakan hasil perhitungan dari komponen padat tebar dengan kelulus hidupan. Perhitungan dilakukan menggunakan di dalam pemodelan, persamaannya dapat dilihat pada Lampiran 1.
7. Biomassa pada pemodelan ini merupakan hasil dari perhitungan dari komponen penambahan berat dengan populasi. Persamaan pada pemodelan dapat dilihat pada Lampiran 1.
8. Kematian pada pemodelan ini merupakan persentase WFS menyebabkan kematian pada tambak. Berdasarkan studi Taslihan (2017), persentase kematian 40% digunakan pada pemodelan ini.
9. Total produksi pada pemodelan ini merupakan hasil perhitungan dari komponen biomassa dan kematian. Perhitungan melalui pemodelan dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.5 Analisis Struktur Permasalahan

Pada pemodelan, penyusunan struktur permasalahan sistem dilakukan untuk mengetahui selisih antara kondisi saat ini dan kondisi kinerja sistem yang diinginkan. Struktur permasalahan sistem kemudian dijabarkan menjadi sebuah deskripsi permasalahan. Sub sistem dampak wfs ditampilkan pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. Struktur permasalahan sub sistem dampak wfs

No.	Variabel	Nilai	Jumlah gregarine
1.	Suhu (°C)	27,3	0
2.	Oksigen terlarut (mg/L)	7,2	38
3.	pH	6,6	30
4.	Salinitas (ppt)	29,3	26
5.	Amonia (mg/L)	0,188	10
6.	Nitrit (mg/L)	0,006	6
7.	Nitrat(mg/L)	0,160	0
8.	Bahan organik (mg/L)	151,667	6

Gregarine paling banyak menginfeksi pada pH 6,6 dan oksigen terlarut 7,2 mg/L, yaitu berturut – turut sebanyak 30 dan 38 individu. Jumlah penginfeksian gregarine tidak terus meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi pH

dan oksigen terlarut. Chakraborti dan Bandyapadhyay (2011), mengatakan bahwa apabila konsentrasi pH berada diatas angka 8 maka tidak ada gregarine yang dapat menginfeksi. Begitu juga dengan pernyataan Johnson (1995), yang mengatakan bahwa gregarine tidak dapat menginfeksi pada konsentrasi oksigen terlarut tinggi, yaitu diatas 8 mg/L.

Gregarine paling sedikit atau tidak menginfeksi sama sekali pada konsentrasi nitrat sebesar 0,16 mg/L. Hal ini disebabkan karena konsentrasi nitrat dipengaruhi oleh konsentrasi oksigen terlarut. Jika konsentrasi nitrat masih berada di batas wajar maka dapat diartikan bahwa konsentrasi oksigen terlarut cukup atau cenderung tinggi. Hal ini lah yang menyebabkan gregarine tidak mampu menginfeksi dalam keadaan tersebut. Dugaan ini didukung oleh pernyataan Cankaya, *et al.*, (2017), yang menyatakan bahwa tidak ada penginfeksian gregarine pada konsentrasi nitrat dibawah 0,05 mg/L.

Guna mendukung sub sistem dampak wfs maka diperlukan struktur permasalahan pada sub sistem produksi yang ditampilkan pada Tabel 12 berikut

Tabel 12. Struktur permasalahan sub sistem produksi

No.	Variabel	Nilai
1.	Padat tebar (ekor/m ²)	150
2.	Masa pemeliharaan (hari)	110
3.	Pertumbuhan harian / ADG (gr/ekor/hari)	0,135
4.	Tingkat kelulus hidupan / SR (%)	85
5.	Total pakan (ton)	27,325
6.	Produksi (ton/ha)	18,9338

Berdasarkan data tersebut, maka nilai pada variabel dimasukan ke dalam pemodelan untuk menarik hubungan dengan sub sistem kualitas air.

4.6 Pemodelan Sistem

4.6.1 Diagram Simpal Kausal (*Casual Loop Diagram*)

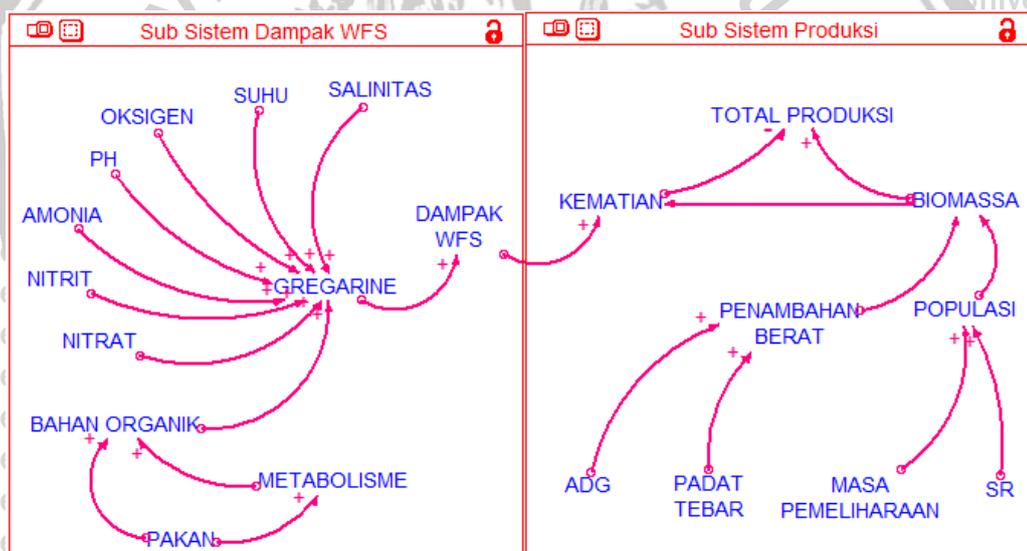
Diagram simpal kausal (*casual loop diagram*) merupakan makna lain dari diagram sebab akibat. Diagram ini menggambarkan hubungan baik maupun buruk antara komponen dengan objek penelitian. Keterkaitan ini akan mempengaruhi sistem yang dibuat (Ismail, 2019). Pada penelitian ini, terdapat dua diagram sebab – akibat. Diagram pertama yaitu pada sub sistem kualitas air ditujukan pada penjelasan mengenai hubungan kualitas air dengan kepadatan protozoa gregarine. Kemudian hasil dari diagram pertama dijadikan input untuk mengoperasikan diagram kedua yaitu sub sistem produksi. Hasil akhir yang akan ditujukan pada sistem adalah total produksi yang didapat setelah diketahui jumlah kepadatan gregarine.

Pola interaksi dalam simpal kausal diagram dinyatakan pada tanda positif (+) dan negatif (-). Pada interaksi antar komponen yang menyatakan tanda positif (+) dimaksudkan sebagai pengaruh yang bersifat menambah atau meningkatkan. Sedangkan pada tanda negatif (-) berarti interaksi yang bersifat mengurangi atau menurunkan.

Diagram sebab - akibat untuk sub sitem kualitas air dimulai dari hubungan tiap komponen terhadap gregarine yang terdapat pada tabel 11. Pada beberapa komponen seperti suhu, oksigen terlarut, pH, salinitas, amonia, nitrit, dan nitrat diinteraksikan langsung dengan jumlah gregarine. Beberapa lainnya, seperti pada komponen metabolisme dan pakan diinteraksikan dengan bahan organik terlebih dahulu. Kemudian bahan organik ditarik keterkaitannya dengan jumlah gregarine. Kemudian dijumlahkan menjadi total gregarine. Setelah itu, dibentuk interaksi antara jumlah gregarine dengan white feces syndrome. Berdasarkan (Kaemudin, *et al.*, 2016), WFS akan terjadi pada tambak saat jumlah gregarine melebihi 100 individu dalam midgut usus udang. Jika pada tambak terdapat gregarine dengan kepadatan tersebut, maka tambak tersebut terjangkit WFS.

Namun, dampak WFS menurun seiring berkurangnya jumlah gregarine.

Diagram simpal kausal untuk sub sistem produksi dimulai dari kaitan antara WFS dengan kematian. Angka kematian pada tambak yang teresrang WFS mencapai 40% (Taslihan, 2017). Untuk mengetahui biomassa kematian, diperlukan komponen pendukung, yaitu biomassa pada tambak. Biomassa dapat diketahui berdasarkan padat tebar, masa pemeliharaan, pertumbuhan harian (ADG), serta kelulus hidupan (SR). Jumlah biomassa kemudian ditarik interaksinya dengan kematian. Angka biomassa menjadi ketetapan dari persentase kematian. Angka kematian yang sudah berupa biomassa (kg) kemudian menjadi selisih terhadap total produksi yang seharusnya, yaitu biomassa saja tanpa kematian dari WFS. Maka, hasil yang didapat berupa total produksi. Diagram sebab akibat dapat dilihat pada gambar 13 berikut.



Gambar 13. Diagram sebab akibat sistem pemodelan

4.6.2 Stock dan Flow Pemodelan

Stock dan Flow adalah model yang disusun pada penelitian ini. Model yang dibuat menggambarkan kondisi yang sesuai dengan permasalahan yang diamati.

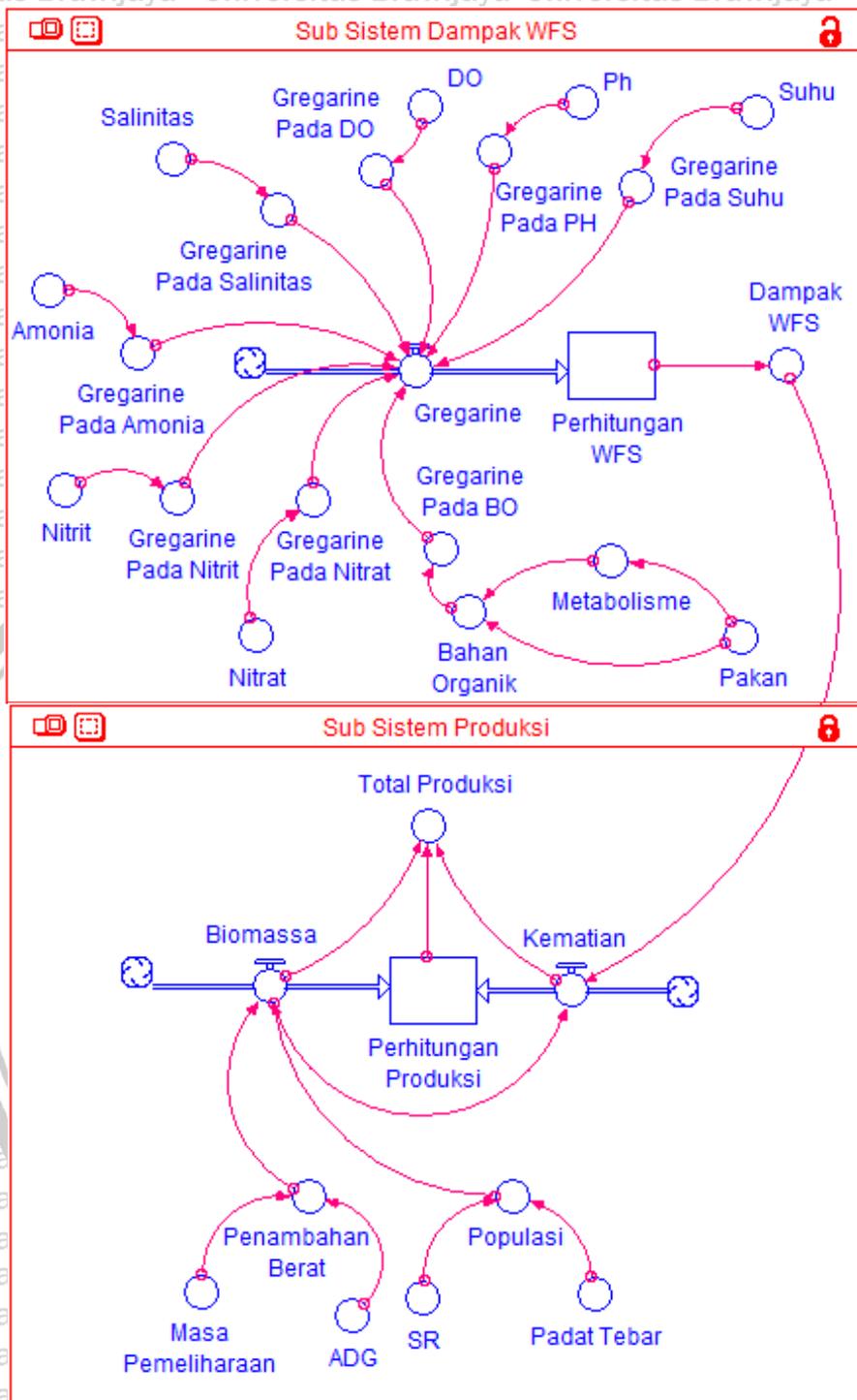
Dengan kata lain, pemodelan adalah representasi sistem pada keadaan nyata menjadi sebuah simulasi. Dalam hal ini adalah kondisi kualitas air terhadap jumlah protozoa gregarine. Pada pemodelan menjelaskan bahwa jumlah

gregarine dipengaruhi oleh berbagai parameter kualitas air dan selanjutnya berdampak pada produksi udang vaname.

Pada *stock* dan *flow* pemodelan menunjukkan bahwa jumlah gregarine dapat berubah baik bertambah maupun berkurang karena dipengaruhi kualitas air. Keberadaan gregarine dalam jumlah tertentu akan menimbulkan pertambahan kematian karena mengindikasikan bahwa tambak udang terinfeksi WFS. Berdasarkan hasil pemodelan, menunjukkan bahwa total produksi udang vaname mengalami penurunan sebagai akibat dari kualitas air yang tidak baik sehingga mengundang gregarine hadir ke dalam tambak dan menjadikan udang terinfeksi WFS. Total produksi akan menurun dari yang semestinya karena adanya kematian yang diakibatkan WFS. Sementara itu, total produksi tidak akan menurun apabila kualitas air dikontrol agar berada pada kondisi yang optimal untuk budidaya udang vaname.

Total produksi dapat ditingkatkan dengan menjaga kualitas air sehingga tidak ada kesempatan bagi gregarine menginfeksi tambak. Dengan begitu, tambak tidak akan terserang WFS. Pada akhirnya, tidak akan terjadi kematian akibat penyakit, namun tetap akan ada kematian yang berasal dari SR (kelulus hidupan).

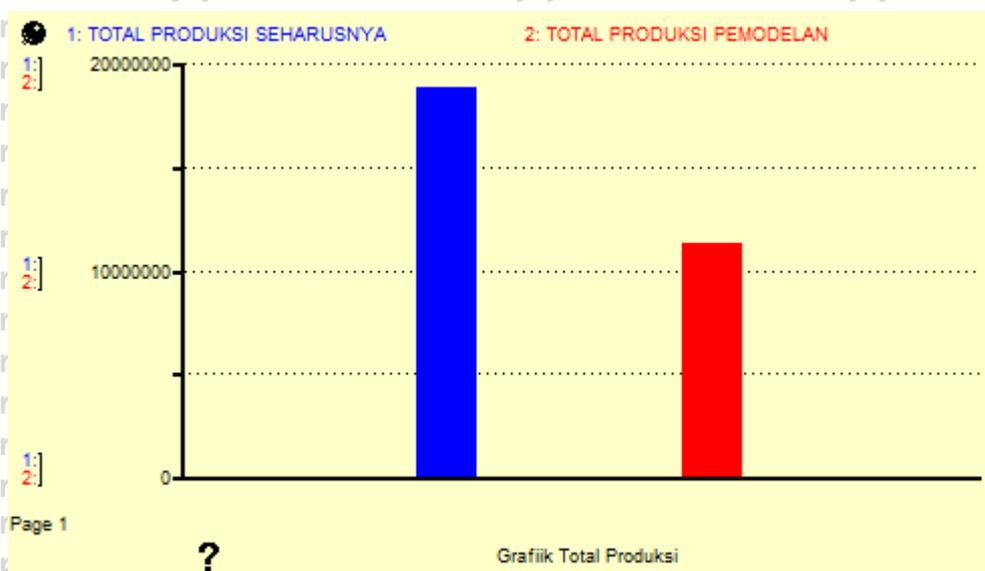
Berdasarkan pemodelan, pada kualitas perairan tambak di Desa Pelayan, Kabupaten Situbondo, diketahui sebanyak 116 gregarine menginfeksi dalam tubuh udang. Terjadi kematian akibat dari dampak WFS sebesar 40% atau sebesar 7,5735 ton/ha. Sehingga total produksi yang dihasilkan adalah sebesar 11,3603 ton/ha. *Stock* dan *Flow* pemodelan dapat dilihat pada gambar 14 berikut.



Gambar 14. Model sistem *stock* dan *flows* kondisi kualitas air terhadap jumlah gregarine dan produksi udang vaname

Jika budidaya dilakukan berdasarkan secara baik dan benar, tambak udang vaname pada pemodelan tersebut dapat menghasilkan total produksi hingga 18,9338 ton/ha. Berdasarkan total produksi tersebut, maka terjadi

penurunan bobot udang sehingga menurunkan total produksi. Perbedaan jumlah produksi dapat dilihat melalui grafik pada gambar 15 berikut.



Gambar 15. Grafik Total Produksi

Pada pemodelan, terjadi penurunan produksi karena tambak terserang WFS akibat adanya infeksi gregarine. Penurunan disebabkan karena WFS mengakibatkan kematian pada udang. Hal ini didukung oleh pernyataan Taslihan (2017) yang menyebutkan bahwa WFS yang menginfeksi akan menyebabkan kematian sebesar 40% dari populasi udang di tambak.

Pada pemodelan, tiap – tiap komponen memiliki pengaruhnya masing – masing atas pencapaian produksi. Parameter kualitas air dalam konteks umum yang tidak terjaga atau melebihi ambang batas standar budidaya akan mengundang gregarine. Kehidupan gregarine di tambak ditunjang dari kondisi perairan tersebut. Selain itu, pemberian pakan secara tidak langsung juga berkaitan dengan kualitas air. Pakan yang diberikan mayoritas akan menjadi limbah atau bahan organik. Semakin banyak pakan diberikan maka akan semakin tinggi konsentrasi bahan organik. Hal tersebut akan berdampak buruk bagi kualitas air, dan lagi lagi gregarine akan terundang ke dalam tambak untuk menginfeksi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan pada penelitian ini maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Pemodelan dapat menentukan kepadatan gregarine dalam tubuh udang berdasarkan kualitas air pada tambak.
- Pada suhu 27,3°C dan nitrat 0,16 mg/L tidak diketahui adanya gregarine dalam tubuh udang. Pada oksigen terlarut 7,2 mg/L terdapat 38 gregarine. Pada pH 6,6 terdapat 30 gregarine. Pada salinitas 29,3 ppt terdapat 26 gregarine. Pada amonia 0,188 mg/L terdapat 10 gregarine. Sedangkan, pada nitrit 0,006 mg/L dan bahan organik 151,667 terdapat 6 gregarine.
- Pada tubuh udang terdapat 116 individu. Dengan kepadatan tersebut, gregarine dapat mengakibatkan WFS dan menyebabkan 40% kematian atau sebesar 7,5735 ton/ha.
- Total produksi turun sebesar 40% dari 18,9338 ton/ha menjadi 11,3603 ton/ha.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pemodelan pada penelitian ini diperoleh beberapa saran yaitu:

- Perlu dilakukan analisa secara spesifik mengenai jenis spesies gregarine yang menginfeksi udang sehingga mengakibatkan penyakit WFS.
- Selanjutnya perlu ditambahkan hubungan antara satu variabel dengan variabel lain pada pemodelan sehingga mendapatkan hasil yang lebih spesifik.

DAFTAR PUSTAKA

Adiwidjaya, D., Supito dan I., Sumantri. 2008. Penerapan teknologi budidaya udang vaname *L. vannamei* semi-intensif pada lokasi tambak salinitas tinggi. *Media Budidaya Air Payau Perekayasaan*. 5 (7): 1 – 19.

Akbaidar, G, A. 2013. *Penerapan manajemen kesehatan budidaya udang Desa Gerbang Kabupaten Pesawaran*. Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 44 hlm.

Anjaini, J., Agustin, I., dan Bayu, I. 2018. Histopathological in gills, hepatopancreas and gut of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) infected white feces disease (wfd). *Research Journal of Life Science*. 5 (3): 183-194.

Arfiati, S. 2001. Pengertian Oksigen Terlarut dalam Air Tawar. PT Penebar Swadaya. Jakarta. 32 hal.

Arsad, S., Afandy, A., Purwadhi, A.P., Saputra, D. K., dan Buwono, N.R., 2017. Studi Kegiatan Budidaya Pembesaran Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) dengan Penerapan Sistem Pemeliharaan Berbeda. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 9 (1): 1-14 hlm.

Badan Pusat Statistik. 2019. Data Ekspor - Impor. https://www.bps.go.id/all_newtemplate.php Diakses pada 1 Juli 2020

Boyd, C, E. 1982. Water quality management for pond fish culture. *Elsevier Scientific Publication Company, Inc.* Netherland.

_____. 1992. Water quality management for pond fish culture. *Elsevier Scientific Publication Company.* Amsterdam. 4th ed.

_____. 1998. Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming. *Fisheries and Allied Aquacultures Departement Series.* Auburn University, Alabama.

Bratawidjaya, K.G. 1991. *Imunologi Dasar*. Badan Penerbit Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia. Jakarta.

Budiardi, T., Widyaya, I., dan D, Wahjuningrum. 2007. Hubungan komunitas fitoplankton dengan produktivitas udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) di tambak biocrete. *Jurnal Akuakultur Indonesia*. 6 (2): 119 – 125.

Cankaya, E., Alpay, O., Ozer, A. 2017. Accounting for zero inflation of mussel parasite counts using discrete regression models. *Sakaraya University Journal of Science*. 21 (3): 378 – 384.

Chakraborti, J., Bandyapadhyay, P, K. 2011. Seasonal incidence of protozoan parasites of the black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) of Sundarbans, West Bengal, India. *Journal Parasit Dis*. 35 (1): 61 - 65.

Chaweepack, T., B. Muenthaisong., Surachart, C., dan Kaeko, K. 2015. The potential of galangal (*Alpinia galanga* Linn.) extract against the pathogens that cause white feces syndrome and acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *International Journal of Biology*. 7 (3): 8 -17

Chien, Y-H. 1992. Water quality requirements and management for marine shrimp culture. *Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming. World Aquaculture Society*. Baton Rouge. L.A. USA. 321 (1): 144 – 156.

Chithambaran, S., Harbi, M., Broom, M., Khobrani, K., Ahmad, O., Fattani, H., dan Ayaril, N. 2017. Green water technology for the production of Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* (Boone, 1931). *Indian Journal of Fisheries*. 64 (3): 43 – 49.

Christina, T. S. 2004. *System dynamics model as a decision support tool for inventory management improvement. - a case study in general electric advanced materials, plastics, lexan resin plant*. Thesis. Faculty of Technology. Policy Analysis and Management Section Energy and Industry. Delft University of Technology. Netherlands.

Darti dan Iwan, D. 2006. Penebar Swadaya. <http://terdalam.com/2009/01/penyakit-ikan-hias-akibat-lingkungan.html> Diakses pada tanggal 23 April 2020 pukul 02.16 WIB

Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air*. Yogyakarta: Kanisius. 258 hlm.

Eriyatno. 2003. *Ilmu Sistem, Meningkatkan Mutu Dan Efektivitas Manajemen*. IPB Press. Bogor.

Fajer-Avila, E, J., M, S, M, Covarrubias., S, Abad-Rosales., A, Roque., P, Meza-Bojorquez., C, Hernandez-Gonzalez. 2005. Effectiveness of oral elancoban and avimix-st against nematopsis (apicomplexa: porosporidae) gametocyts infecting the shrimp *Litopenaeus vannamei*. *J. Aquaculture*. 244 (2): 11 – 18.

FAO. 2016. Shrimp culture pond. <http://www.fao.org/3/ac210e/AC210E10.htm>. Diakses pada 12 November 2019.

Febrianti, A., A, Miftachurrochmah., A, W, Jannah., Y, Muliawan., A, A, Sabil. 2019. Water quality controller for cultivation of vannamei shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in Wedoro village, Glagah District, Lamongan Regency. *Journal of Inovation and Applied Technology*. 5 (1): 848 – 856.

Fegan, D, F. 2003. *Manajemen yang sehat dalam budidaya udang. Gold Coin Indonesia Specialities*. 87 hlm.

Fuadi, M. 2017. *White Feces Syndrome (Sindrom Feses Putih)*. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 95 hlm.

Goldman, C. R. dan A. J. Horne. 1983. *Limnology*. McGraw-Hill International Book Company. Tokyo. 464 hlm.

Grasso M. 1998. Ecological-economic model for optimal mangrove trade off between forestry and fishery production: comparing a dynamic optimization and a simulation model. *Ecological Modelling*. 112 (2): 131 – 150.

Ha, N. T., D. T. Ha, N. T. Thuy, V. T. K. Lien. 2010. Enterocytozoon hepatopenaei Parasitizing on tiger shrimp *Penaeus monodon* by white feces culture in Vietnam. *Nong Nghiep Va Phat Trien Nong Thon*.

Haliman, R. W dan D. Adijaya S. 2005. Udang Vaname. Penebar Swadaya. Jakarta. 163 hal.

Handojo, K. K. *Dinamika kandungan bahan organik total air media budidaya udang windu dengan inokulasi aquazyme*. Skripsi. Budidaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institus Pertanian Bogor. Bogor. 65 hlm.

Hari, B., B.M. Kurup., J.T. Varghese., J.W. Schrama and M.C.J. Verdegem. 2004. Effects of Carbohidrat Addition on Production in Extensive Shrimp Culture Systems. *Aquaculture*. 241 (1): 179 – 194.

Helda, Y. 2018. Efektivitas penggunaan ekstrak daun ketapang (*terminalia catappa l.*) untuk penanggulangan penyakit *white feces disease* (wfd) pada udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Sains Teknologi Akuakultur*. 2 (2): 7 – 15.

High Performance System. 2000. Stella user guide and reference manual. www.hps-inc.com. diakses pada 12 Desember 2019.

Hurtado MA, Racotta IS, Arjona O, Rodrigues MH, Goytortua E, Civera R, Palacios E. 2006. Effect of hypo-and hyper-saline conditions on osmolarity and Fatty acid composition of yuwane shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1993) fed low-and high-HUFA diets. *Aquaculture research*. 37 (1): 1316 – 1326.

Irene, T, A., L, Yohana., M, Senzia., M, Mbongo., T, S, A, Mbvette. 2014. Modelling of municipal wastewater treatment in a system consisting of waste stabilization ponds, constructed wetlands and fish ponds in Tanzania. *Development in Environmental Modelling*. 26 (1): 585 – 600.

Ismail. 2019. *Model pengelolaan habitat kepiting bakau (Scylla spp) di Segara Anakan Kabupaten Cilacap Provinsi Jawa Tengah*. Disertasi. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 116 hlm.

Jayasree, L., Janakiram, P., Madhavi, R. 2001. Epibionts and parasites of *Macrobrachium rosenbergii* and *Metapenaeus dobsoni* from Gosthani estuary. *Journal of Nat Hist*. 35 (1): 157 – 167.

Kaemudin, K., Erlina, A. dan Taslihan, A., 2016. Aplikasi ekstrak allisin untuk pengendalian penyakit kotoran putih pada udang vanamei (*Litopenaeus vanamei*) di Balai Besar Perikanan Budidaya Air Payau Jepara.

Kordi, M.G.H. dan A.B. Tancung. 2007. Pengelolaan Kualitas Air. PT Rineka Cipta. Jakarta. 132 hlm

Kurniawan, M., H. 2017. *Efektivitas pemberian bakteri Bacillus polymyxa melalui pakan terhadap imunitas non spesifik udang vanamei (Litopenaeus vannamei)*. Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 48 hlm.

Lailiyah, U.S., Rahardjo, S., Kristiany, M.G. dan Mulyono, M. 2018. Produktivitas budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) tambak superintensif di PT. dewi laut aquaculture Kabupaten Garut Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Kelautan dan Perikanan Terapan*. 1 (1): 1 – 11.

Mansyur, A., Suwoyo, H. S., dan Rachmansyah, R. 2011. Pengaruh pengurangan ransum pakan secara periodik terhadap pertumbuhan, sintasan, dan produksi udang vaname (*L. vannamei*) pola semi intensif di tambak. *Jurnal Riset Akuakultur*. 6 (1): 71 – 80.

Marbun, J., Harpeni, E. dan Wardiyanto, W., 2019. Penanganan penyakit *white feces* pada udang vaname *Litopenaeus vannamei* menggunakan aplikasi pakan yang dicampur ekstrak lengkuas merah (*Alpinia purpurata k. schum*). *DEPIK Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*. 8 (2): 76 – 86.

Muhammadi, E., Aminullah., B, Soesilo. 2001. Analisis sitem dinamis lingkungan hidup, sosial, ekonomi, manajemen. UMJ Press. Jakarta.

Nadhif, M. *Pengaruh pemberian probiotik pada pakan dalam berbagai konsentrasi terhadap pertumbuhan dan mortalitas udang vaname (Litopenaeus vannamei)*. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi. Surabaya. 97 hlm.

Panjaitan, A, S. 2012. *Pemeliharaan larva udang vaname (Litopenaeus vannamei, Boone 1931) dengan pemberian jenis fitoplankton yang berbeda*. Tesis. Sains dalam Ilmu Kelautan. Universitas Terbuka. Jakarta. 148 hlm.

Paena, M., Suhaimi, R. A., & Undu, C. M. (2017). Karakteristik sedimen perairan sekitar tambak udang intensif saat musim hujan di Teluk Punduh Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 9 (1): 221 – 234.

Poernomo, A. 1989. Pembuatan Tambak Udang di Indonesia. Departemen Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Balai Penelitian Perikanan Budidaya Pantai. Maros.

Prajitno, A., Jayadi, M., Maftuch. 2016. The identification of *Vibrio* spp. bacteria from *Litopenaeus Vannamei* infected by white feces syndrome. *International Journal of ChemTech Research*. 9: 448 – 452.

Prakoso, A, A., Elfitasari, T., Basuki, F. 2016. Studi analisa usaha dan prospek pengembangan budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) sistem intensif di Kecamatan Sluke, Kabupaten Rembang. *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Ke-V Hasil - Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan*. 21 hlm.

Priatna, H. 2004. *Hubungan parameter kualitas air terhadap produksi udang vaname (Litopenaeus vannamei) pada tambak biocrete PT. bimasena segara, Sukabumi, Jawa Barat*. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 75 hlm.

Purnamasari, I., Saad, M., Ali, M., Muntalim., Ardiansya, M, H. 2019. Upaya pengembangan usaha budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) di Desa Sidokumpul Kecamatan Lamongan Kabupaten Lamongan. *Jurnal Grouper*. 10 (1): 18 - 22.

Rakhfid, A., Baya, N., Bakri, M. dan Fendi, F. 2017. Growth and survival rate of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) at different density. *Akuatikisile: Jurnal Akuakultur, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*. 1 (2): 1 – 6.

Richmond B, Peterson S. 2001. An introduction to systems thinking. Lebanon (LH). High Performance Systems, Incorporated.

Rodriguez, J. & Le Moullac, G. 2000. *State of The Art of Immunological Tools and Health Control of Penaeid (Penaeus monodon)*. Thesis. Wageningen University. Netherland.

Rusmiyati, S. 2014. *Menjaga Rupiah Budidaya Udang Vannamei*. Pustaka Baru. Yogyakarta. 24 hlm.

Schuler, D, J. 2008. *Acute toxicity of ammonia and nitrite to white shrimp (L. vannamei) at low salinities*. Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University. 78 pp.

Siergiev, D. 2009. *Simulation of nitrogen transformation in the mine water recipient at Boliden, Sweden, using system dynamics modelling*. M.Sc Thesis. Lulea University of Technology. Sweden.

Simanjuntak, M. 2012. Kualitas air laut ditinjau dari aspek zat hara, oksigen terlarut dan pH di Perairan Banggai, Sulawesi Tengah. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 4 (2): 290 – 303.

Soesilo B, Karuniasa M. 2014. Permodelan System Dynamics untuk berbagai bidang ilmu pengetahuan kebijakan pemerintah dan bisnis. Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia. 286 hal.

Stewart, R. 2005. Invertebrates: the other food source. *Ocean World*. 6 (30): 214 – 232

Suwardi, Mangampa, M., dan Makmur. 2014. Kinerja budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) pola superintensif dan analisis biaya. *Prosiding Forum Inovasi Teknologi 2014*. (Inpress).

Tahe, S., Mangampa, M dan Makmur. 2014. Kinerja budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) pola super intensif dan analisis biaya. *Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur 2014*. 1 (1): 23 – 30.

Tangguda, S., Fadjar, M., Sanoesi, E. 2018. Pengaruh teknologi budidaya yang berbeda terhadap kualitas air pada tambak udang intensif. *Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia*. 6 (1): 12 - 27.

Taslihan, A. 2017. Petunjuk Teknis Pengendalian Penyakit Berak Putih (White Feces Disease, WFS) Pada Udang Vaname Di Tambak. Balai Besar Perikanan Budidaya Air Payau (BBPBAP) Jepara. 24 hlm.

Tirtawati, N, P, M. 2018. *Kajian pemberian Branchionus plicatilis (Villegas 1982) yang mengonsumsi fitoplankton yang berbeda terhadap kelangsungan hidup dan panjang total post larva 1 udang vaname Litopenaeus vannamei (Boone 1931)*. Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 47 hlm.

Tobing, S, W, P, L. 2019. *Pertumbuhan dan kelulushidupan udang vaname Litopenaeus vanname (Boone, 1931) pada salinitas 5 ppt dengan kepadatan berbeda*. Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 52 hlm.

Tsai C. 1989. Ambient water quality criteria for ammonia (salt water). U.S. Environmental Protection Agency office of Research and Development Research Laboratory Narragansett. Rhode Island.

Uddin, M. J., Yasin, Z., Khalil, M., dan Shau-Hwai, A. T. 2011. Parasites of blood cockle (*Anadara granosa Linnaeus, 1758*) from the Straits of Malacca. *Journal of Shellfish Research*. 30 (3): 875 – 880.

Van Wyk P, Scarpa J. 1999. Water Quality Requirements and Management. *J. Farming Marine Shrimp in Recirculating freshwater Systems*.

Wulandari, T., Widyorini, N., Wahyu, P, P. 2015. Hubungan pengelolaan kualitas air dengan kandungan bahan organik, NO₂, dan NH₃ pada budidaya udang vanamei (*Litopenaeus vannamei*) di Desa Keburuhan Purworejo. *Journal of Maquares Management of Aquatic Resources*. 4 (2): 42 - 48.

Wulansari, T, Y. 2019. *Pengaruh penambahan mineral potasio=um terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vaname Litopenaeus vannamei (Boone, 1931) pada media salinitas rendah*. Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 49 hlm.

Wyban, J. W., dan Sweeney, J, N. 1991. Intensive shrimp production technology. *The Oceanic Institute Sshrimp Manual*. Honolulu. Hawaii. USA. 158 hlm.

Zakariah, M.I., Daud, H.M., Sharma, R.S.K., Ikhwanuddin, M. dan Hassan, M. 2019. Distribution patterns of gregarine parasitism of wild marine bivalve, *Anadara cornea* (reeve, 1844) concerning seasonality and water quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 370 (1): 12 - 63.

Zulfikar, W, G. 2019. Jala Tech. https://app.jala.tech/kabar_udang/44 Diakses pada tanggal 23 April 2020 pukul 02.10 WIB

LAMPIRAN

Lampiran 1. Persamaan Pada STELLA Software

a. Converter

- Suhu = 27.3
- DO = 7.2
- PH = 6.6
- Salinitas = 29.3
- Amonia = 0.188
- Nitrit = 0.006
- Nitrat = 0.16
- ADG = 0.135
- SR = 0.85
- Masa_Pemeliharaan = 110
- Padat_Tebar = 1500000
- Pakan = 27325

b. Inflows

- Biomassa = Panambahan_Berat * Populasi
- Kematian = (Dampak_WFS/100) * Biomassa
- Gregarine = Gregarine_Pada_Amonia + Gregarine_Pada_Nitrat +
Gregarine_Pada_Nitrit + Gregarine_Pada_PH +
Gregarine_Pada_Salinitas + Gregarine_Pada_Suhu +
Gregarine_Pada_BO + Gregarine_Pada_DO

c. Stock

- Perhitungan_WFS = IF (Gregarine > 100) THEN 0.40 ELSE 0
- Perhitungan_Produksi = Biomassa - Kematian

- Gregarine_Pada_PH =
 - IF (Ph >= 5 AND Ph < 5.5) THEN 10 ELSE
 - IF (Ph >= 5.5 AND Ph < 6.5) THEN 20 ELSE
 - IF (Ph >= 6.5 AND Ph <= 6.6) THEN 30 ELSE
 - IF (Ph > 6.6 AND Ph <= 6.75) THEN 33 ELSE
 - IF (Ph > 6.75 AND Ph <= 6.9) THEN 36 ELSE
 - IF (Ph >= 7.1 AND Ph <= 7.3) THEN 38 ELSE
 - IF (Ph > 7.3 AND Ph <= 7.5) THEN 40 ELSE 0
- Gregarine_Pada_Salinitas =
 - IF (Salinitas > 25.2 AND Salinitas < 27) THEN 8 ELSE
 - IF (Salinitas >= 27 AND Salinitas <= 28) THEN 16 ELSE
 - IF (Salinitas > 28 AND Salinitas <= 29) THEN 21 ELSE
 - IF (Salinitas > 29 AND Salinitas <= 29.2) THEN 23 ELSE
 - IF (Salinitas >= 29.3 AND Salinitas <= 31.8) THEN 26 ELSE 0
- Gregarine_Pada_Suhu =
 - IF (Suhu < 29) THEN 0 ELSE
 - IF (Suhu >= 29 AND Suhu <= 29.8) THEN 8 ELSE
 - IF (Suhu > 29.8 AND Suhu <= 30) THEN 10 ELSE
 - IF (Suhu >= 30 AND Suhu <= 30.5) THEN 15 ELSE
 - IF (Suhu > 30.5 AND Suhu <= 30.7) THEN 17 ELSE
 - IF (Suhu > 30 AND Suhu <= 31) THEN 20 ELSE
 - IF (Suhu > 31 AND Suhu <= 32) THEN 25 ELSE
 - IF (Suhu > 32 AND Suhu <= 32.5) THEN 30 ELSE
 - IF (Suhu > 32.5 AND Suhu <= 33.7) THEN 35 ELSE
 - IF (Suhu > 33.7 AND Suhu <= 35) THEN 40 ELSE 0
- Metabolisme = 0.48 * Pakan

- $Penambahan_Berat = ADG * Masa_Pemeliharaan$
- $Populasi = Padat_Tebar * SR$
- $Total_Produksi = IF (Perhitungan_Produksi < 290633000) THEN (Biomassa - Kematian) ELSE IF (Perhitungan_Produksi >= 290633000) THEN 11360300 ELSE 0$

