

**PERFORMA PERTUMBUHAN DAN FISILOGI OSMOREGULASI
UDANG VANAME *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931) PADA MEDIA
AIR TAWAR DENGAN KONSENTRASI MAKROMINERAL KALIUM
YANG BERBEDA**

(DISERTASI)

OLEH:

EULIS MARLINA

NPM 2034171002



**PROGRAM DOKTOR ILMU PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**PERFORMA PERTUMBUHAN DAN FISILOGI OSMOREGULASI
UDANG VANAME *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931) PADA MEDIA
AIR TAWAR DENGAN KONSENTRASI MAKROMINERAL KALIUM
YANG BERBEDA**

OLEH:

**EULIS MARLINA
NPM 2034171002**

Disertasi

**Sebagai Salah Satu Syarat Mencapai Gelar
DOKTOR**

Pada

**Program Doktor Ilmu Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**PROGRAM DOKTOR ILMU PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

Performa Pertumbuhan dan Fisiologi Osmoregulasi Udang Vaname *Litopenaeus vannamei* (Bonne, 1931) pada Media Air Tawar dengan Konsentrasi Makromineral Kalium yang Berbeda

Oleh:

Eulis Marlina

Pemanfaatan perairan tawar untuk budi daya udang belum dilakukan secara maksimal. Tingkat pemanfaatan budi daya udang pada umumnya masih jauh lebih rendah dibandingkan dengan potensi produksi lestari, sehingga peluang peningkatan produksi dan produktivitas budi daya udang masih terbuka lebar.

Permasalahan utama dalam pemeliharaan udang vaname *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) di media air tawar yang miskin mineral adalah sering terjadinya kram dan kegagalan molting, yang menyebabkan pertumbuhan lambat, stres, dan mortalitas tinggi. Kondisi tersebut disebabkan oleh meningkatnya kebutuhan energi untuk proses osmoregulasi akibat pertukaran ion, sehingga energi yang tersedia untuk pertumbuhan menjadi terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi kalium optimal pada media air tawar terhadap performa pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vaname, mengevaluasi pengaruh penambahan kalium terhadap tingkat kerja osmotik, serta respon fisiologis udang vaname. Penelitian dilaksanakan selama enam bulan di Laboratorium Budi Daya Perikanan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Politeknik Negeri Lampung.

Bahan uji yang digunakan adalah benur udang vaname PL-21 dengan panjang rata-rata $2,1 \pm 0,01$ cm dan bobot rata-rata $0,05 \pm 0,05$ g/ekor. Makromineral yang digunakan meliputi NaCl, MgCl₂, CaCO₃, dan KCl. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan empat perlakuan dan tiga ulangan. Perlakuan berupa rekayasa air tawar yang disetarakan dengan salinitas 2 ppt menggunakan pengayaan makromineral Na, Mg, Ca, dan K. Konsentrasi kalium yang diuji adalah 22,02; 44,04; 66,06; dan 88,08 mg/L.

Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) yang terdiri dari 4 perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan tersebut adalah rekayasa air tawar yang disetarakan dengan salinitas 2 ppt menggunakan pengayaan makromineral; Na (natrium), Mg (magnesium), Ca (kalsium) dan K (kalium) yang setara dengan salinitas 2000 ppm yaitu; Na (608,7 mg/L), Mg (78,26 mg/L), Ca (23,18 mg/L). Adapun kalium merupakan perlakuan yang dibedakan dengan peningkatan

konsentrasi K yang berbeda yaitu; perlakuan A (22,02 mg/L) perlakuan B (44,04 mg/L), perlakuan C (66,06 mg/L) dan perlakuan D (88,08 mg/L).

Hasil penelitian menunjukkan penambahan makromineral K⁺ dalam rekayasa media air tawar berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap pertumbuhan, efisiensi pemanfaatan pakan, kelangsungan hidup, dan tingkat kanibalisme udang vaname. Konsentrasi kalium 66,06 mg/L menghasilkan bobot rata-rata tertinggi ($5,394 \pm 0,346$ g), laju pertumbuhan harian ($5,69 \pm 0,41\%/hari$), kelangsungan hidup ($68,67 \pm 4,16\%$), dan efisiensi pakan ($72,69 \pm 1,85\%$).

Konsentrasi Kalium 66,06 mg/L mampu meningkatkan rata-rata bobot udang vaname ($5,39 \pm 0,35g$), persentase pertumbuhan harian ($5,69 \pm 0,41\%/hari$), kelangsungan hidup ($68,67 \pm 4,163\%$) dan efisiensi pakan ($72,69 \pm 1,85\%$). Penambahan kalium juga berpengaruh nyata terhadap respon fisiologis udang vaname, ditunjukkan dengan penurunan tingkat kanibalisme ($2,31 \pm 1,25\%$), kadar glukosa hemolimfa ($233,92 \pm 39,97$ $\mu g/g$), serta tingkat konsumsi oksigen ($0,587 \pm 0,256$ mg O₂ g⁻¹ jam⁻¹).

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan konsentrasi kalium 66,06 mg/L merupakan konsentrasi ideal untuk mendukung kehidupan dan performa udang vaname pada media air tawar.

Kata kunci: *Litopenaeus vannamei*, makromineral, osmoregulasi, kanibalisme, fisiologi.

ABSTRACT

Growth Performance and Osmoregulation Physiology of Vaname Shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in Freshwater Media with Different Concentrations of Potassium Macrominerals

By:

Eulis Marlina

The utilization of freshwater for shrimp farming has not been maximized. The level of shrimp farming utilization is generally much lower than the potential for sustainable production. This indicates that there is still considerable room for improvement and productivity in shrimp farming.

Problems that arise in the maintenance of vaname shrimp in mineral-deficient freshwater are that shrimp are often found to be cramped and fail to molt, resulting in slow growth, stress, and high mortality. This is because shrimp undergo osmoregulation, which requires a large amount of energy for ion exchange, leaving no energy available for growth.

The purpose of this study was to determine the optimal potassium concentration in freshwater media for the growth performance and survival of vaname shrimp; to evaluate the addition of potassium concentration on the osmotic work rate of vaname shrimp; and the physiological response of vaname shrimp. The study was conducted for 6 months at the Aquaculture Laboratory, Department of Fisheries and Marine Sciences, Lampung State Polytechnic.

The test specimens used were *L. vannamei* post-larvae (PL 21) with an average length of 2.1 ± 0.01 cm and an average weight of 0.05 ± 0.05 g per individual. The macrominerals used in this study included NaCl, MgCl, CaCO₃, and KCl. The experimental setup consisted of 12 aquariums (each with a 50-liter water capacity) equipped with aeration and covered with black plastic.

The study employed a completely randomized design (CRD) with four treatments and three replications. This treatment is freshwater engineering that is equalized to a salinity of 2 ppt using macromineral enrichment; Na (sodium), Mg (magnesium), Ca (calcium) and K (potassium) equivalent to a salinity of 2000 ppm, namely; Na (608.7 mg/L), Mg (78.26 mg/L), Ca (23.18 mg/L). Potassium is treated differently with varying concentrations of K, namely: treatment A (22.02 mg/L), treatment B (44.04 mg/L), treatment C (66.06 mg/L), and treatment D (88.08 mg/L).

Based on the results of the study, it can be seen that the addition of K⁺ macromineral concentration in freshwater media engineering has a significant

effect on growth response, feed utilization efficiency, survival, and cannibalism rates in vaname shrimp (*Litopenaeus vannamei*, Boone, 1931) $p < 0,05$.

Potassium concentration of 66.06 mg/L was able to increase the average weight of vaname shrimp (5.394 ± 0.346 g), daily growth rate ($5.69 \pm 0.41\%/day$), survival rate ($68.67 \pm 4.163\%$), and feed efficiency ($72.69 \pm 1.85\%$). Similarly, the addition of potassium concentration in freshwater engineering has a significant effect on the physiological system of vaname shrimp $p < 0,05$.

A potassium concentration of 66.06 mg/L was able to reduce the percentage of cannibalism by ($2.31 \pm 1.25\%$), blood glucose levels (233.92 ± 39.97 $\mu g/g$), and oxygen consumption rates (0.587 ± 0.256 $mg\ O_2\ g^{-1}\ jam^{-1}$). Based on the research results, it can be concluded that the addition of a potassium concentration of 66.06 mg/L is the ideal concentration for the life of vaname shrimp in freshwater media. A potassium concentration of 66.06 mg/L was able to reduce the percentage of cannibalism by ($2.31 \pm 1.25\%$), blood glucose levels (233.92 ± 39.97 $\mu g/g$), and oxygen consumption rates (0.587 ± 0.256 $mg\ O_2\ g^{-1}\ h^{-1}$).

Based on the results of the study, it can be concluded that adding a potassium concentration of 66.06 mg/L is the ideal concentration for vaname shrimp to live in freshwater media.

Vaname shrimp farming in freshwater media can be used as a basis for the application of water resource utilization in the concept of shrimp farming for food security with an urban farming system.

Keywords: *Litopenaeus vannamei*, macrominerals, osmolarity, cannibalism, physiology

Judul Disertasi : Performa Pertumbuhan dan Fisiologi Osmoregulasi
Udang Vaname *Litopenaeus vannamei* (Boone,
1931) pada Media Air Tawar dengan Konsentrasi
Kalium Yang Berbeda

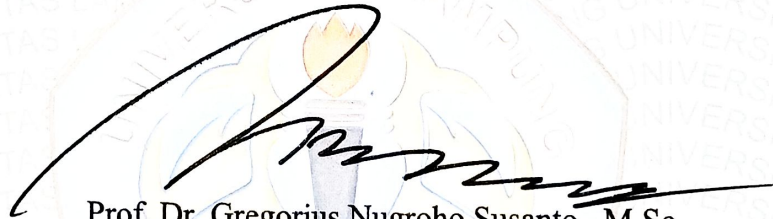
Nama Mahasiswa : **Eulis Marlina**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2034171002

Program Studi : Doktor Ilmu Pertanian

Fakultas : Pertanian

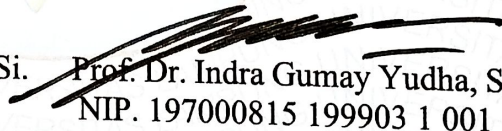
**MENYETUJUI
TIM PROMOTOR**



Prof. Dr. Gregorius Nugroho Susanto., M.Sc.
NIP. 19610311 198803 1 001

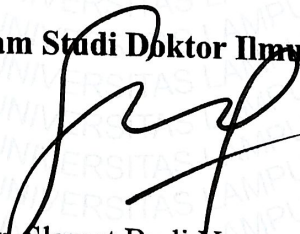


Dr. Ir. Abdullah Aman Damai., M.Si.
NIP. 19650501 198902 1 001



Prof. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si.
NIP. 197000815 199903 1 001

Ketua Program Studi Doktor Ilmu Pertanian



Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S.
NIP. 19641223 199403 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr. Gregorius Nugroho Susanto., M.Sc.

Anggota I : Dr.Ir. Abdullah Aman Damai., M.Si.

Anggota II : Prof. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si.

Penguji Luar : Dr. Qadar Hasani, S.Pi., M.Si.

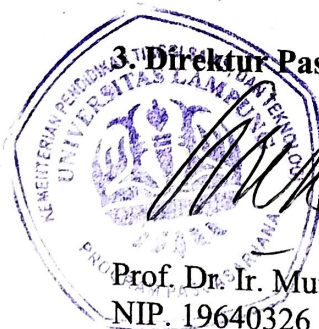
Pembimbing

2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Kuswanta Futas Hidayat., M.P.
NIP. 19641118 1989 02 1 002

3. Direktur Pascasarjana Universitas Lampung



Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP. 19640326 1989 02 1 001

Tanggal Lulus Ujian Disertasi : 18 Desember 2025

PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya di dalam disertasi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Bandar Lampung, Desember, 2025
Yang menyatakan



Eulis Marlina

NPM 00234171002

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Garut, Jawa Barat 23 Agustus 1974, merupakan anak ke-5 dari 6 bersaudara pasangan Bapak Abdul Ghaffar (Alm) dan Ibu Imas Hadidjah (Almh).

Pendidikan penulis menempuh Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SDN Talagasari II Kadungora Garut tahun 1987, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN Kadungora 1, Kadungora, Garut pada tahun 1990, melanjutkan ke sekolah Menengah Atas (SMAN) 2 Garut, dan diselesaikan tahun 1993.

Pada tahun 1993 penulis diterima sebagai mahasiswa di Program Studi Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro (UNDIP) melalui jalur Penerimaan Siswa-Siswi Berprestasi (PSSB), Lulus tahun 1998 dengan gelar Sarjana Perikanan (S.Pi). Pada tahun 2009 penulis mendapatkan beasiswa dari Beasiswa Pendidikan Pascasarjan (BPPS) (S2) di IPB University di Sekolah Pascasarjana Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK) Program Studi Ilmu Akuakultur, dan lulus tahun 2011 dengan gelar Magister Sains (M.Si). Selanjutnya pada tahun 2020 penulis melanjutkan Pendidikan S3 pada Program Doktor Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

SANWACANA

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena berkat rahmat serta hidayah-Nya penyusunan laporan disertasi yang berjudul “**Performa Pertumbuhan dan Fisiologi Osmoregulasi Udang Vaname *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) pada Media Air Tawar dengan Konsentrasi Kalium yang Berbeda**”. Salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Doktor pada Program Studi Doktor Ilmu Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

Penulisan disertasi ini tidak terlepas dari bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini dengan segala kerendahan hati saya ucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung;
4. Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S., selaku Ketua Program Studi Doktor Ilmu Pertanian Universitas Pertanian;
5. Dr. Supono, S.Pi., M.Si., (alm) selaku pembimbing atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik mulai dari penyelesaian proposal hingga laporan disertasi;
6. Prof. Dr. Gregorius Nugroho Susanto, M.Sc., selaku Promotor atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran, dan kritik dalam menyelesaikan disertasi ini;
7. Dr. Ir. Abdullah Aman Damai, M.Si., selaku Co. Promotor I atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran, dan kritik dalam menyelesaikan disertasi ini;

8. Prof. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si., selaku Co. Promotor II atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran, dan kritik dalam penyelesaian disertasi ini;
9. Dr. Qadar Hasani, S.Pi., M.Si. selaku penguji internal atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran, dan kritik dalam menyelesaikan disertasi ini.

Penulis menyadari bahwa disertasi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan untuk kesempurnaan laporan ini.

Bandar Lampung, Desember 2025

Eulis Marlina

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

RINGKASAN

BAB I. PENDAHULUAN.....	2
1.1. Latar Belakang	2
1.2. Kerangka Berpikir	8
1.3. Rumusan Masalah.....	9
1.4. Tujuan Penelitian.....	10
1.5. Manfaat Penelitian.....	10
1.6. Hipotesis	10
1.7. Nilai Kebaruan.....	11
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	14
2.1. Biologi Udang Vaname <i>Litopenaeus vannamei</i> (Boone, 1931).....	13
2.2. Pakan dan Kebiasaan Makan (<i>Feeding Behaviour</i>).....	14
2.3. Molting	14
2.4. Ekologi Udang Vaname.....	15
2.5. Daur Hidup Udang Vaname	16
2.6. Osmoregulasi	16
2.7. Salinitas Rendah	18
2.8. Mineral Kalium Dalam Lingkungan Budi Daya	19
2.9. Kinerja Mineral Secara Fisiologis	21
BAB III. METODE PENELITIAN	24
3.1. Waktu dan Tempat.....	24
3.2. Alat dan Bahan	24
3.3. Desain Penelitian	24
3.4. Prosedur Pelaksanaan	25
3.5. Variabel Pengamatan.....	27
3.5.1. Bobot rata-rata (ABW).....	27
3.5.2. Persentase Pertumbuhan Harian (SGR)	27

3.5.3. Persentase Kelangsungan Hidup (SR)	28
3.5.4. Persentase Tingkat Kanibalisme	28
3.5.5. Efisiensi Pakan	29
3.6. Pengamatan Fisiologi Udang Vaname	29
3.6.1. Pengukuran Kadar Glukosa Hemolymph.....	29
3.6.2. Tingkat Kerja Osmotik (TKP)	29
3.6.3. Tingkat konsumsi Oksigen	30
3.7. Analisis Data.....	30
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1. Hasil Performa Pertumbuhan Udang Vaname.....	31
4.1.1. Bobot Rata-rata Udang (ABW).....	31
4.1.2. Persentase Pertumbuhan Harian (SGR)	32
4.1.3. Perentase Kelangsungan Hidup.....	32
4.1.4. Tingkat Kanibalisme Udang Selama Pemeliharaan.....	33
4.1.5. Efisiensi Pakan.....	34
4.2. Hasil Performa Fisiologi Udang Vaname.....	35
4.2.1. Kadar Glukosa Darah (Hemolymph) Udang Vaname	35
4.2.2. Tingkat Kerja Osmotik.....	36
4.2.3. Tingkat Konsumsi Oksigen.....	37
4.2.4. Kualitas Air Media Pemeliharaan	38
4.3. Pembahasan	40
4.3.1. Performa Pertumbuhan Udang Vaname.....	40
4.3.2. Performa Fisisologis Udang Vaname	44
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1. Kesimpulan.....	48
5.2. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil penelitian penggunaan mineral pada ikan dan udang	10
2. Konsentrasi mineral K pada setiap perlakuan	25
3. Parameter kualitas air media selama pemeliharaan	38
4. Rerata bobot udang vaname pada setiap perlakuan	58
5. Descriptives bobot mutlak udang vaname	58
6. Homogenitas varian bobot mutlak udang vaname	58
7. Analisis ANOVA bobot Udang Vaname	59
8. Uji Lanjut ABW Udang Pasifik Menggunakan Uji Duncan	59
9. Nilai rerata pertumbuhan udang vaname	60
10. Deskripsi rerata pertumbuhan spesifik udang vaname	60
11. Uji homogenitas varian udang vaname	60
12. Uji ANOVA udang vaname SGR	61
13. Uji lanjut SGR menggunakan uji Duncan	61
14. Nilai kelangsungan hidup udang vaname	62
15. Descriptives survival rate udang vaname	62
16. Homogenitas kelangsungan hidup udang vaname	62
17. Uji ANOVA tingkat kelangsungan hidup udang vaname	63
18. Uji lanjut SR udang vaname	63
19. Tingkat kanibalisme udang vaname	64
20. Descriptives kanibalisme udang vaname	65
21. Uji ANOVA level kanibalisme udang vaname	65
22. Uji Lanjut level kanibalisme udang vaname	66
23. Nilai efisiensi pakan udang vaname	67
24. Analisis descriptives efisiensi pakan udang vaname	67
25. Tests of Homogeneity of Variances udang vaname	67
26. Uji ANOVA efisiensi pakan pdang vaname	68
27. Uji Lanjut efisinesi pakan udang vaname	68
28. Nilai glukosa udang vaname	69

29. Analisis deskripsi glukosa udang vaname	69
30. Uji homogenitas glukosa udang vaname	69
31. Uji ANOVA nilai glukosa udang vaname	69
32. Uji lanjut nilai glukosa udang vaname	70
33. Nilai tingkat kerja osmotik udang vaname	71
34. Analisis descriptive TKO udang vaname	72
35. Uji homogenitas varian TKO udang vaname	72
36. Uji ANOVAT KO udang vaname.....	72
37. Uji lanjut Duncan tingkat konsumsi oksigen udang vaname	72
38. Nilai tingkat konsumsi oksigen udang vaname	73
39. Uji deskriptif TKO udang vaname	73
40. Uji homogenitasTKO udang vaname	73
41. Uji ANOVA tingkat konsumsi oksigen udang vaname.....	74
42. Uji lanjut tingkat konsumsi oksigen udang vaname	74
43. Komposisi air laut salinitas 34,5 ppt (Boyd, 2018)	75
44. Standar makromineral salinitas 2 ppt	75
45. Perlakuan makromineral yang digunakan	75
46. Perhitungan makronineral untuk setiap perlakuan	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Sentra produksi udang vaname di Indonesia.....	2
2. Skema kerangka berpikir.....	8
3. Morfologi udang vaname <i>Litopenaeus vannamei</i> (Boone, 1931).....	13
4. Siklus hidup udang penaeid.	16
5. Proses osmoregulasi pada crustacea.....	17
6. Bobot rata-rata udang vaname (ABW) selama pemeliharaan.....	31
7. Persentase pertumbuhan udang vaname selama pemeliharaan.....	32
8. Tingkat kelangsungan hidup udang vaname selama pemeliharaan	33
9. Persentase kanibalisme udang vaname	34
10. Efisiensi pemanfaatan pakan udang vaname.....	35
11. Nilai glukosa darah udang vaname	36
12. Tingkat kerja osmotik udang vaname	37
13. Tingkat konsumsi oksigen udang vaname	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Bobot rata-rata mutlak udang vaname selama pemeliharaan.....	57
2. Nilai rerata pertumbuhan spesifik udang vaname selama pemeliharaan	59
3. Nilai kelangsungan hidup udang vaname selama pemeliharaan.....	61
4. Tingkat kanibalisme udang vaname	63
5. Nilai efisiensi pakan udang vaname (%) setiap perlakuan selama percobaan ..	64
6. Nilai glukosa hemolymph ($\mu\text{g/ml}$) udang vaname selama pemeliharaan	66
7. Nilai tingkat kerja osmotik udang vaname.....	67
8. Nilai tingkat konsumsi oksigen udang vaname.....	69
9. Perhitungan makromineral yang digunakan.....	70
10. Metode pengambilan cairan tubuh udang	71
11. Prosedur pengukuran osmolaritas media dan cairan tubuh udang vaname.....	72
12. Prosedur pengukuran konsumsi oksigen udang vaname.....	73
13. Prosedur pengukuran kadar glukosa hemolymph udang vaname	73
14. Prosedur SOP spektrofotometer CAMSPEC SERI 2001) glukosa darah.....	74
15. Dokumentasi pengambilan hemolymph udang vaname	75

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Udang vaname *Litopenaeus vannamei* (Boone , 1931) merupakan crustacea osmoregulator eurihalin seperti pada jenis crustasea lainnya, pola hidupnya dipengaruhi oleh salinitas, dan memiliki kemampuan menyesuaikan diri terhadap perubahan salinitas. Demikian juga siklus hidupnya pada berbagai stadia dipengaruhi oleh kesesuaian antara tekanan osmotik cairan intraseluler dan ekstraseluler (Anggoro *et al.* 2018). Lebih lanjut Li *et al.* (2011) menyatakan udang vaname adalah spesies tropis yang sudah banyak dibudi dayakan di berbagai negara dan menjadi komoditas perikanan yang berperan secara ekonomi.

Produksi budi daya udang di dunia dilaporkan sampai bulan Agustus 2025 secara keseluruhan mencapai 414,500 ton, meningkat 15% dibandingkan tahun 2024. Hingga tahun 2025 Indonesia menduduki peringkat ke-4 sebagai eksportir udang dunia (Ecuador +18,27%, India +6,77%, Viet Nam -2,22%, Indonesia +13,21% dan China +26,4%) (FAO, 2025). Total produksi udang di Indonesia sampai dengan tahun 2024 adalah 1,13 juta ton (Portal Data KKP, 2025). Provinsi Lampung merupakan provinsi dengan urutan ke-5 sebagai sentra produksi udang di Indonesia (Gambar 1). Produksi udang vaname di Provinsi Lampung tahun 2024 mencapai urutan kedua sebesar 40,234 ton. Adapun urutan pertama adalah produksi ikan lele (41,269 ton) dan yang ketiga adalah ikan nila (24,782 ton) (Portal Data KKP, 2025).

Provinsi Lampung memiliki luas daratan 33,575,41 km² (58% dari total luas Provinsi Lampung), luas lautan 24,820 km² dan panjang pantai 1.105 km dengan potensi komoditas perikanan air payau 47,45%. Hal ini menunjukkan pengembangan budi daya udang merupakan komoditas yang berpotensi memberikan kontribusi cukup tinggi secara ekonomi (BPS Provinsi Lampung, 2023). Produksi budi daya di Provinsi Lampung hingga tahun 2021 di bidang air payau yang terbagi menjadi tambak intensif 23,50%, tambak sederhana 14,40% dan

tambak semi intensif 35,16% dan pada tahun 2023 mencapai 59,613 ton dan Provinsi Lampung menempati urutan ke-5 sebagai provinsi penghasil udang dari sektor budi daya (KKP, 2023).



Gambar 1. Sentra produksi udang vaname di Indonesia
Sumber: Portal data KKP (2025)

Ekologi udang vaname di alam menempati daerah laut hingga perairan estuaria dengan pola hidup eurihalin, sehingga mampu hidup pada rentang salinitas yang luas yaitu 0,5 – 40 ppt (Bray *et al.* 1994; Anggoro *et al.* 2018; Marlina *et al.*, 2018). Selanjutnya menurut Scraba *et al.* (2021), selama kehidupannya udang vaname menempati wilayah perairan mulai dari laut hingga estuaria dan perairan dangkal. Fase kehidupan udang vaname masa dewasa (*adult*) hingga memijah di laut, telur, mysis, zoea, post larva, sedangkan menjelang juvenil hingga besar di perairan estuarin (Gambar 4).

Salah satu keunggulan sifat biologis udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) adalah sifat eurihalinnya, yaitu kemampuan untuk hidup dan tumbuh pada rentang salinitas yang luas. Sifat ini memberikan peluang besar bagi pengembangan budi daya udang vaname secara luas dan berkelanjutan, baik di perairan payau, pesisir, maupun perairan bersalinitas rendah bahkan air tawar. Pemanfaatan keunggulan tersebut berpotensi memperluas wilayah budi daya, meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya, serta mendukung peningkatan produksi udang nasional.

Seiring dengan meningkatnya tekanan terhadap lahan pesisir akibat alih fungsi lahan, urbanisasi serta degradasi lingkungan, menyebabkan ketersediaan lahan untuk air payau menjadi faktor pembatas. Lebih lanjut kondisi ini menjadi sebuah tantangan untuk pemenuhan target produksi udang vaname secara

berkelanjutan. Oleh karena itu perlunya dilakukan inovasi budi daya alternatif yang dapat mengatasi keterbatasan lahan tambak, salah satunya adalah dengan melakukan budi daya udang di air tawar yang menjadi peluang usaha bagi para petani di wilayah non-pesisir baik itu daerah pedalaman yang memiliki sumber daya air tawar yang melimpah (Mahmudin *et al.*, 2022).

Keunggulan pemeliharaan udang vaname pada media salinitas rendah adalah mengurangi resiko atau terjangkitnya penyakit akibat virus dan bakteri yang menginfeksi melalui media air payau dan air laut. Selanjutnya Febriani *et al.* (2018); Raza *et al.* (2024); Heriyati *et al.* (2024) menyatakan udang vaname yang dipelihara pada salinitas rendah memiliki ketahanan lebih baik terhadap infeksi MSSV. Keunggulan lain secara ekologi sebagai bentuk implementasi dari *blue economy* adalah pemanfaatan lahan daratan sebagai sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan dengan tetap menjaga kelestarian dan keberlanjutan di masa yang akan datang. Adapun secara sosial, budi daya udang di perairan tawar membuka peluang bagi para pekerja dan pembudi daya pada tingkat menengah, secara tidak langsung menciptakan lapangan pekerjaan dan meningkatkan ketahanan pangan ekonomi masyarakat secara mandiri.

Faktor lingkungan yang memengaruhi proses pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang adalah keseimbangan makromineral di lingkungan tempat hidupnya (Boyd, 2018; Supono *et al.* 2023). Makromineral yang mendominasi di air laut dan payau adalah Na, Mg, Ca dan K (Supono *et al.* 2023). Peranan makromineral bagi kehidupan udang adalah untuk proses osmoregulasi, molting, dan pasca molting. Kebutuhan mineral dalam tubuh udang berkisar 1-2% (FAO, 2015). Meskipun tidak diperlukan dalam jumlah yang banyak, namun makromineral ini memiliki peranan penting secara fisiologis. Budi daya udang di perairan tawar membutuhkan keseimbangan mineral yang cukup untuk mendukung proses fisiologis, kehidupan, dan pertumbuhan udang vaname.

Air tawar secara alamiah memiliki konsentrasi mineral terlarut yang jauh lebih rendah dibandingkan air laut atau payau, sehingga kandungan ion penting seperti kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), kalium (K^{+}), dan natrium (Na^{+}) yang mendukung fungsi fisiologis organisme akuatik berada pada tingkat minimal dalam media air tawar (Molina *et al.* 2019 dan Suguna T, 2020). Kandungan mineral yang

rendah berdampak pada kemampuan udang untuk memperoleh ion-ion esensial yang digunakan dalam proses osmoregulasi, metabolisme, pembentukan eksoskeleton, dan pertumbuhan secara keseluruhan. Tingkat mineral yang tidak mencukupi di lingkungan air tawar menuntut penambahan mineral melalui pakan atau modifikasi media budidaya untuk memenuhi kebutuhan fisiologis udang vaname *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) yang secara biologis memerlukan mineral tersebut untuk menunjang fungsi hidupnya. Hal ini karena mineral seperti Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , dan Ca^{2+} berperan penting dalam mempertahankan keseimbangan ion tubuh dan proses metabolik pada udang, serta berkontribusi terhadap performa pertumbuhan dan kelangsungan hidup dalam sistem budidaya dengan salinitas rendah atau air tawar.

Kekurangan makromineral Mg^+ pada udang dilaporkan oleh Arachchige *et al.* (2020) dapat menyebabkan disfungsi osmoregulasi, sehingga udang mengalami kondisi stres. Akibatnya udang memanfaatkan Mg^+ yang terdapat pada karapas, yang tercermin dari penurunan kinerja pertumbuhan pada akhir pemeliharaan (berat akhir) udang dan peningkatan FCR. Kekurangan ion kalium (K^+) dapat berdampak negatif terhadap kemampuan osmoregulasi dan keseimbangan fisiologis udang. Kalium merupakan kation utama yang terlibat dalam fungsi Na^+/K^+ -ATPase, enzim yang berperan dalam proses osmoregulasi yang memungkinkan udang mempertahankan konsentrasi ion internal yang stabil di tengah perubahan salinitas lingkungan. Kekurangan K^+ di media pemeliharaan terutama pada media salinitas rendah atau air tawar yang secara alami miskin mineral, dapat menyebabkan gangguan aktivitas Na^+/K^+ -ATPase, sehingga menurunkan kemampuan udang untuk menyesuaikan tekanan osmotik tubuh terhadap lingkungan. Kondisi ini berpotensi meningkatkan stres fisiologis, menurunkan laju pertumbuhan, mengurangi efisiensi metabolisme, dan menurunkan tingkat kelangsungan hidup udang, jika mineral tersebut tidak ditambahkan melalui suplementasi mineral atau ke dalam media pemeliharaan. Oleh karena itu, penambahan mineral kalium dalam media budidaya air tawar menjadi strategi penting untuk mendukung performa osmoregulasi, mengurangi beban stres, serta meningkatkan sintasan dan pertumbuhan udang vaname di luar kondisi salinitas optimal laut (Boyd, 2018; Supono *et al.* 2022).

Mineral yang berperan di dalam pengerasan karapas adalah kalsium. Nurfaidah dan Agustono (2021) menyatakan kebutuhan kalsium yang diperlihara pada air salinitas rendah (*inland water*) akan lebih besar jika dibandingkan dengan udang pada salinitas tinggi. Kekurangan kalsium (Ca^{2+}) pada budi daya udang akan menyebabkan terhambatnya pengerasan *skeleton* (karapas), sehingga udang akan mengalami pembentukan cangkang yang lunak dan mudah diserang, terutama pasca pergantian kulit (*post molting*).

Kebutuhan keseimbangan mineral bagi udang sudah banyak dilakukan penelitian sebelumnya, namun keseimbangan makromineral yang merupakan *essential mineral elements* yang dibutuhkan oleh udang belum banyak dilakukan. Selain magnesium dan kalsium yang tidak kalah penting adalah kalium yang merupakan kation utama cairan intraseluler, pengatur tekanan osmotik intraseluler, dan pengatur keseimbangan asam basa. Kalium memiliki efek stimulasi pada kontraksi otot dan sistem syaraf, juga diperlukan untuk sintesis glikogen dan protein, serta pemecahan metabolisme glukosa (Hongyu *et al*, 2013).

Keseimbangan asam-basa ditentukan oleh perbedaan antara total asupan dan pengeluaran anion dan kation. Mineral natrium (Na), kalium (K), kedua mineral ini merupakan elektrolit dan membantu dalam menciptakan keseimbangan ionik serta menjaga kelangsungan hidup sel. Elektrolit memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan asam-basa (pemeliharaan pH dalam darah dan jaringan), transduksi sinyal membran sel Cherian (2019).

Lebih lanjut Morillo *et al.* (2017) menyatakan kalium merupakan mineral penting dalam membentuk struktur rangka, mempertahankan keseimbangan osmotik dan berpartisipasi dalam beragam proses metabolisme untuk komponen protein struktural dan fungsional, seperti enzim, hormon, dan pengangkut oksigen. Kalium merupakan kation intraseluler primer dan juga penting dalam aktivasi Na^+/K^+ -ATPase (Kaligis, 2016). Kalium merupakan komponen penting dalam pengaturan cairan ekstraseluler. Kurangnya mineral K^+ yang memadai dapat berpotensi udang terhambat dalam kemampuan osmoregulasi secara efektif, karena aktivitas enzim dapat berhubungan langsung dengan konsentrasi K^+ (Roy *et al.* 2007).

Penelitian mengenai penambahan (K^+) terhadap ikan atau udang di dalam media air tawar dapat meningkatkan pertumbuhan sebagai bentuk dari penghematan pemanfaatan energi melalui proses osmoregulasi. Hal ini sejalan dengan pendapat Ibnu *et al.* (2020) yang mengemukakan pemberian kalium menghasilkan tingkat kelangsungan hidup tertinggi dan ketahanan tubuh yang baik. Selanjutnya Kaligis *et al.* (2016) mengemukakan penambahan kalium pada juvenil udang vaname memengaruhi pertumbuhan dan tingkat konsumsi oksigen. Lebih lanjut Roy *et al.* (2007) menyatakan penambahan K^+ pada larva udang vaname menghasilkan pertumbuhan lebih tinggi jika dibandingkan tanpa penambahan K^+ , sedangkan pada juvenil diketahui mampu meningkatkan pertumbuhan dan kelangsungan hidup jika dengan perlakuan tanpa penambahan K^+ pada media.

Pengaruh penambahan K^+ 50 mg/L pada media air tawar berbeda nyata terhadap tingkat kerja osmotik udang vaname, dengan beban kerja osmotik yang rendah maka energi yang diperoleh udang dari makanan yang akan digunakan pada proses osmoregulasi akan lebih banyak digunakan untuk pertumbuhan dan mempertahankan sintasan (Widodo *et al.*, 2011). Selanjutnya proses fisiologis ketidakseimbangan cairan elektrolit akibat lingkungan kekurangan kalium, akan memacu transportasi aktif ion melalui insang dan ginjal (*antennal gland*) sehingga akan menggunakan energi berlebih, akibatnya proses pertumbuhan, respon daya tahan tubuh akan terganggu dan menyebabkan mortalitas tinggi dan pertumbuhan yang rendah (Khademzadeh dan Haghi, 2017).

Penambahan K^+ pada berbagai jenis udang dengan konsentrasi yang berbeda menghasilkan pertumbuhan yang berbeda pula. Di sisi lain, air tawar sangat miskin akan mineral yang dibutuhkan untuk kehidupan udang vaname, meskipun udang vaname merupakan udang yang bersifat osmoregulator eurihalin, sehingga proses perform fisiologis yang tercermin dari pertumbuhan dan kelangsungan hidupnya dipengaruhi oleh keseimbangan cairan tubuh dan media pemeliharaan (Anggoro *et al.*, 2018). Peranan organ yang terkait osmoregulasi pada proses pertukaran ion untuk menjaga keseimbangan cairan elektrolit tubuh dengan elektrolit media masih kurang diamati, sehingga informasi fisiologi udang vaname pada media air tawar sangat dibutuhkan. Berdasarkan hal tersebut kajian optimalisasi penambahan Na^+-K^+ pada media air tawar sebagai mineral yang

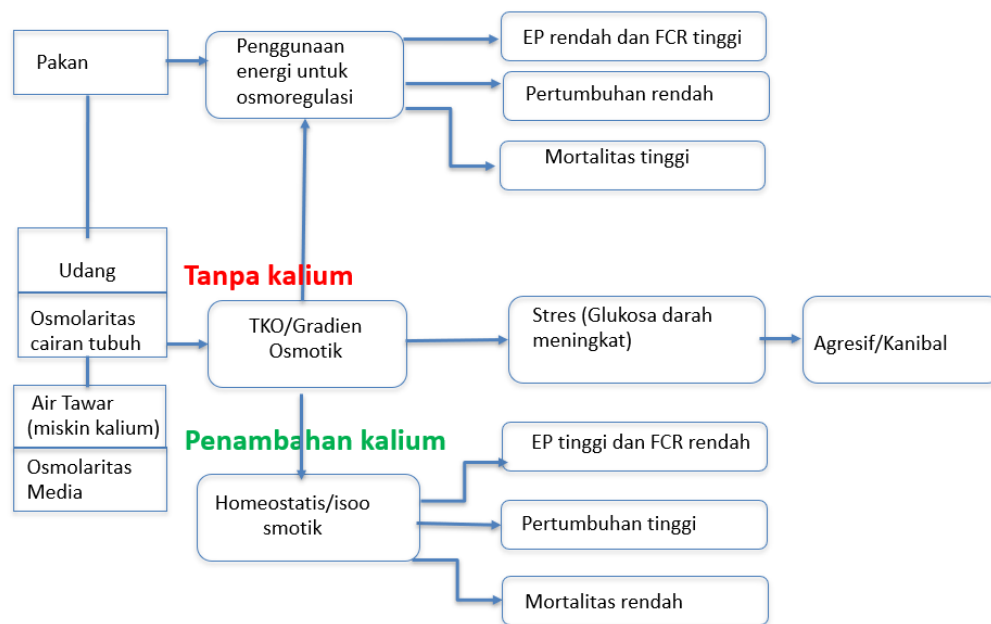
memiliki peranan bagi kehidupan dan proses fisiologi udang vaname sangat penting untuk dilakukan.

1.2. Kerangka Berpikir

Udang vaname *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) secara alami pada masa dewasa hidup di perairan laut dan saat juvenile hidup di air payau (*estuarine*), sehingga mekanisme osmoregulasi dirancang untuk melakukan adaptasi dengan lingkungan (Gambar 4). Pada saat di pelihara di air tawar udang akan mengalami perubahan tekanan osmotik yang menyebabkan perubahan drastis akibatnya mengalami stres osmotik. Mineral kalium sebagai salah satu ion utama yang penting dalam menjaga tekanan osmotik internal udang vaname. Penambahan kalium dengan konsentrasi yang tepat, menyebabkan terjadinya keseimbangan osmotik secara intraseluler yang dapat dipertahankan, sehingga hal ini akan mendukung terjadinya pertumbuhan, efisiensi pakan dan sistem metabolisme fisiologi yang baik. Konsentrasi kalium yang tepat akan mengakibatkan perbaikan fungsi sistem osmoregulasi untuk menjaga keseimbangan ion dalam tubuh, jika efisiensi metabolisme meningkat menyebabkan energi tidak dihabiskan untuk kompensasi osmotik, dan pada akhirnya terjadi pertumbuhan yang meningkat serta peningkatan bobot tubuh dan kelangsungan hidup udang vaname (Susanto *et al.*, 2020).

Kalium merupakan ion utama dalam cairan intraseluler yang sangat penting di dalam fungsi sistem syaraf dan otot, sehingga jika terjadi ketidakseimbangan di dalam tubuh akan menyebabkan hipereksitabilitas berlebihan terhadap sistem syaraf (stimulus), keadaan ini dapat menyebabkan gangguan koordinasi gerak sehingga udang udang mengalami stres akut, udang akan berperilaku agresif meningkat akibatnya muncul sifat kanibalisme. Ketersediaan kalium yang cukup dalam media air tawar akan mengakibatkan stabilitas tekanan osmotik (isoosmotik), stres osmotik akan menurun, nafsu makan meningkat, sehingga metabolisme berjalan dengan baik oleh enzim Na^+/K^+ -ATPase mampu menghemat energi untuk pertumbuhan.

Secara fisiologi jika terjadi ketidakseimbangan cairan ion di dalam tubuh dengan di dalam lingkungan, udang akan merespon secara fisiologis dengan mengaktifkan hormon crustakin dan katekolamin, akibatnya terjadi glukoneogenesis dan glikogenolisis yaitu glukosa dilepaskan di dalam sirkulasi hemolymph untuk dirubah menjadi energi sehingga kadar glukosa di dalam hemolymph menjadi tinggi.



Gambar 2. Skema kerangka berpikir.

1.3. Rumusan Masalah

Rumusan permasalahan berdasarkan uraian di atas adalah:

1. Berapa konsentrasi makromineral kalium optimal untuk pertumbuhan, kelangsungan hidup, efisiensi pakan, dan tipe kanibalisme?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi makromineral kalium terhadap tingkat kerja osmotik?
3. Bagaimana pengaruh konsentrasi makromineral terhadap respon fisiologis udang vaname dalam media air tawar?

1.4. Tujuan Penelitian

1. Menentukan konsentrasi makromineral kalium yang optimal pada media air tawar terhadap performa pertumbuhan dan kelangsungan hidup, efisiensi pakan, serta kanibalisme udang vaname.
2. Mengevaluasi penambahan makromineral kalium terhadap tingkat kerja osmotik udang vaname.
3. Mengevaluasi penambahan makromineral kalium terhadap respon fisiologi udang vaname.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Menambah pengetahuan tentang konsentrasi makromineral optimal yang bisa digunakan untuk pertumbuhan, kelangsungan hidup, efisiensi pakan, dan kanibalisme udang vaname.
2. Menambah pengetahuan tentang penambahan makromineral memberikan pengaruh terhadap kinerja osmoregulasi, dan respon fisiologis udang vaname.
3. Memberikan rekomendasi bahwa kalium optimal untuk mendukung budi daya udang vaname di air tawar secara efisien.

1.6. Hipotesis

Hipotesis yang diajukan di dalam penelitian ini adalah:

- H0: Tidak terdapat perbedaan yang nyata dalam performa pertumbuhan dan fisiologi osmoregulasi udang vaname *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) pada berbagai konsentrasi kalium berbeda di air tawar.
- H1: Terdapat perbedaan yang nyata dalam performa pertumbuhan dan fisiologi osmoregulasi udang vaname *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) pada berbagai konsentrasi kalium berbeda di air tawar.

1.7. Nilai Kebaruan

Berbagai hasil penelitian penggunaan makromineral pada udang vaname dan ikan pada umumnya sudah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu diantaranya; Supono *et al.* (2022) mengemukakan dengan rasio $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ yang berbeda pada pemeliharaan udang vaname menunjukkan hasil penambahan rasio $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 1:27 udang vaname mengalami pertumbuhan tertinggi. Penambahan mineral kompleks dengan konsentrasi 1-5 ppm menghasilkan kelimpahan plankton dan pertumbuhan udang vaname lebih baik (Kurniawan *et al.* 2021). Menurut Aruna dan Felix (2017) penggunaan kombinasi ion Ca, Mg, K di dalam media salinitas rendah memberikan tingkat kelangsungan hidup yang lebih baik untuk udang vaname. Sedangkan menurut Widigdo *et al.* (2019) komposisi mineral Ca-Mg berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan dan $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ berpengaruh terhadap kelangsungan hidup udang vaname.

Hasil berbagai penelitian peranan makromineral untuk kehidupan dan pertumbuhan udang vaname, dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini;

Tabel 1. Hasil penelitian penggunaan mineral pada berbagai ikan dan udang pada salinitas rendah.

No	Penulis	Hasil Utama Penelitian
1.	Hermades <i>et al.</i> , (2013)	Penambahan Mg di dalam media budi daya udang salinitas rendah memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vaname <i>Litopenaeus vannamei</i> (Boone, 1931).
2.	Liu Hongyu <i>at al.</i> , (2015)	Pakan yang mengandung 1,48g K^+ per 100g, Mampu meningkatkan pertumbuhan <i>L. vannamei</i> dalam salinitas rendah, dan meningkatkan aklimatisasi fisiologis udang vanamei.
3.	Aruna and Felix (2017).	Penambahan K^+ dalam media 2 ppt memengaruhi pertumbuhan mutlak, osmolaritas hemolymph, tingkat konsumsi oksigen dan energi basal dari pascalarva udang vaname.
4.	Anggoro <i>et al.</i> , (2018)	- Aktivitas Na^+/K^+-ATPase secara langsung memengaruhi serapan aktif natrium. - Menurunkan kerja osmotik dan meningkatkan energi potensial untuk proses moulting dan pertumbuhan. - Transpor aktif Na^+ dan aktivitas Na^+/K^+-ATPase dalam cairan tubuh Udang Pasifik konstan setelah udang dipelihara dan media isosmotik (± 30 g L-1875,40 mOsm L/LH₂O)

No	Penulis	Hasil Utama Penelitian
5.	Febriani <i>et al.</i> , (2018)	Udang vaname (<i>Litopenaeus vannamei</i>) yang dipelihara pada salinitas 10 ppt berpengaruh terhadap pertumbuhan, dan serangan penyakit AHNDP
6.	Marlina <i>et al.</i> , (2018)	Padat tebar 100 ekor/m ² merupakan padat tebar terbaik untuk pemeliharaan udang vaname di salinitas rendah.
7.	Dwiono <i>et al.</i> , (2018)	Secara fisiologi dan histopatologi keseimbangan mineral di media berpengaruh terhadap kerusakan hepatopancreas dan kadar glukosa hemolymph udang vaname menjadi meningkat
8.	Kurniawan <i>et al.</i> (2019)	Pemberian mineral pada budi daya udang dalam berbagai konsentrasi berpengaruh nyata pada kelimpahan plankton dan pertumbuhan udang vaname. Perlakuan terbaik 5 ppm mineral.
9.	Li <i>et al.</i> , (2019)	Metabolisme glukosa akibat osmoregulasi memberikan pengaruh terhadap kelangsungan hidup udang <i>Fenneropenaeus chinensis</i> .
10.	Widigdo <i>et al.</i> , (2019)	Komposisi mineral Ca dan Mg memengaruhi pertumbuhan, Na ⁺ -K ⁺ memengaruhi kelangsungan hidup udang vaname (<i>Litopenaeus vannamei</i>)
11.	Rakhmawati <i>et al.</i> , (2020)	Mineral kalium 5% dapat menurunkan tingkat kanibalisme pada udang galah (<i>Macrobrachium rosenbergii</i>).
12.	Supono <i>et al.</i> , (2022).	Penambahan kalium pada media budidaya salinitas rendah berpengaruh terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup. Konsentrasi terbaik 100 mg/L.
13.	Zhang <i>et al.</i> , (2022)	Metabolisme glukosa pada crustacea berperan di dalam sintesa insulin dan mampu menurunkan tingkat stres pada udang yang terpapar salinitas rendah.
14.	Cahyanurani and Edy (2022)	Budi daya udang vaname pada salinitas rendah berpotensi untuk dikembangkan.
15.	Supono <i>et al.</i> , (2023)	Rasio penambahan Na ⁺ -K ⁺ memberikan perbedaan terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vaname
16.	Sharma <i>et al.</i> , (2023)	Penambahan ion pada salinitas 0-10 ppt memberikan pengaruh efektif terhadap kelangsungan hidup udang vaname (<i>Litopenaeus vannamei</i>).
17.	Scabra <i>et al.</i> , (2023)	Penambahan rasio Ca-Mg 40:60 ppm memberikan hasil terbaik pada pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vaname (<i>Litopenaeus vannamei</i>)

Beberapa penelitian penggunaan makromineral di dalam budi daya udang vaname di media salinitas rendah sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Walaupun demikian penggunaan makromineral melalui rekayasa di

dalam media air tawar dan melakukan kajian terhadap efek fisiologis pada udang penting dilakukan penelitian lebih lanjut.

Nilai kebaruan dalam penelitian ini adalah penambahan konsentrasi makromineral **Kalium pada media air tawar untuk budi daya udang vaname merupakan inovasi yang bisa aplikasikan di dalam budidaya udang vaname sebagai upaya menurunkan tingkat agresifitas udang vaname (kanibalisme).**

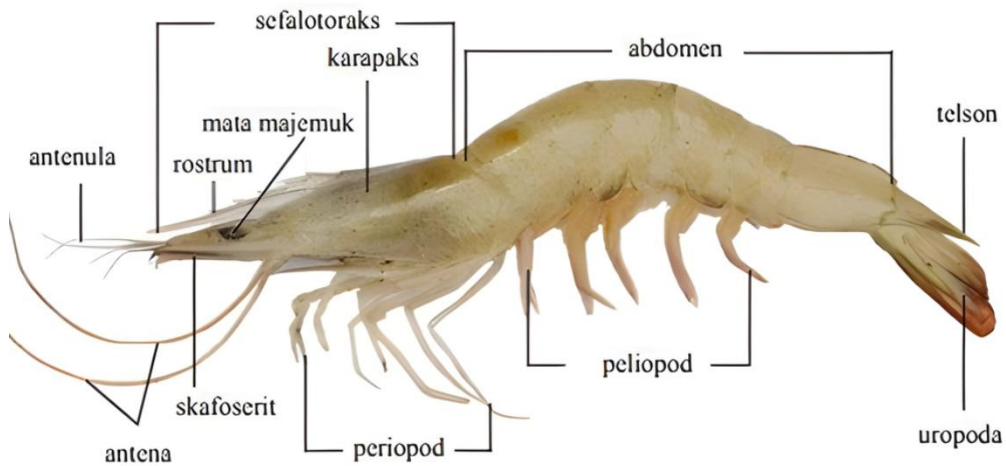
Diharapkan penelitian ini memberikan kontribusi positif bagi pembudi daya udang vaname di kawasan yang jauh dari jangkauan air laut, ataupun masyarakat yang berada di daerah dengan memanfaatkan sumber air tawar untuk melakukan budi daya udang vaname. Lebih lanjut dapat memberikan ruang bagi para pembudi daya udang di daerah perkotaan bahkan *urban farming* yang tidak membutuhkan lahan atau biaya yang besar, namun tetap bisa melakukan budi daya udang untuk ketahanan pangan secara mandiri.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biologi Udang Vaname *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931).

Klasifikasi udang vaname *Litopenaeus vannamei* (Boone,1931) menurut Wyban dan Sweeney, (1991) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Arthropoda
Kelas	: Malacostraca
Ordo	: Decapoda
Famili	: Penaeidae
Genus	: Penaeus
Sub Genus	; <i>Litopenaeus</i>
Spesies	: <i>Litopenaeus vannamei</i> Boone, 1931



Gambar 3. Morfologi udang vaname *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)
Sumber: Ramdani *et al.* (2023).

Udang vaname termasuk ke dalam genus *Penaeus* dan subgenus *Litopenaeus* dengan dua bagian utama tubuhnya yaitu kepala (*thorax*) dan perut

(*abdomen*) (WWF-Indonesia, 2015). Pada bagian kepala terdiri dari *antenula*, *antena*, *mandibula*, dan sepasang *maxillae*, dan dilengkapi dengan 5 pasang kaki jalan (*periopod*), dilengkapi dari 2 pasang *maxillae* dan 3 pasang *maxilliped*. Pada bagian perut (*abdomen*) terdapat terdapat 5 pasang kaki renang (*pleopod*) serta sepasang *uropods* yang membentuk kipas bersama-sama *telson*. Udang vaname bersifat kanibal (menyerang sesama jenisnya), aktif mencari makan di malam hari (nokturnal), bersifat eurihalin tipe pemakan lambat tapi terus-menerus (*continuous feeder*), serta mencari makan lewat organ sensor (kemoreseptor) (Anggoro, 2018).

2.2. Pakan dan Kebiasaan Makan (*Feeding behaviour*)

Udang vaname hidup dan mencari makan di dasar perairan (*benthic*). Udang vaname merupakan hewan pemakan lambat dan terus-menerus dan digolongkan ke dalam hewan pemakan segala macam bangkai (*omnivor scavenger*) atau pemakan detritus dan karnivora yang memakan krustacea kecil, *amphipoda*, dan *polychaeta*.

Kebutuhan nutrisi pada udang meliputi protein, karbohidrat, dan lemak. Kandungan nutrisi yang tidak tepat dapat memengaruhi pertumbuhan, kurangnya protein akan menyebabkan udang hanya menggunakan sumber protein untuk kebutuhan dasar dan tidak untuk pertumbuhan. Kandungan protein yang berlebihan akan menyebabkan limbah pada media perairan. Kekurangan maupun kelebihan nutrisi yang diberikan pada udang bisa mengganggu performa. Hasil pengamatan histologi hepatopankreas dari udang yang kekurangan dan kelebihan nutrisi n-3 HUFA. Pada udang yang kekurangan nutrisi, sel di dalam hepatopankreas terlihat tidak beraturan. Sementara pada hepatopankreas yang kelebihan nutrisi n-3 HUFA, jajaran sel terlihat rusak karena ada proses oksidasi yang terlalu berat (Suwendi, 2020).

2.3. *Molting*

Molting merupakan pergantian kulit/*eksoskeleton*/cangkang yang terjadi pada krustasea secara umum, pada fase tersebut akan terjadi perubahan ukuran daging, namun tidak pada ukuran cangkang sehingga untuk penyesuaian tersebut *cutacea* akan melepaskan cangkang lama dan membentuk cangkang yang baru (Astifa *et al.* 2022). Tahapan *molting* pada udang terdiri dari beberapa tahapan,

yaitu *postmolting* awal, *postmolting* lanjutan, *intermolt*, persiapan *molting* (*premolt*), dan *molting* (*ecdysis*) (Anggoro; 1992 dan Astifa *et al.*, 2022). Proses *molting* diakhiri dengan pelepasan kulit luar dari tubuh udang. Proses *molting* sangat menentukan waktu ablasi (pemotongan tungkai mata) induk udang di *hatchery* dan waktu panen yang tepat, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan *molting* bergantung pada jenis dan umur udang. Saat udang masih kecil (fase tebar atau PL 12), proses *molting* terjadi setiap hari. Dengan bertambahnya umur, siklus *molting* semakin lama, antara 7 – 20 hari sekali. Nafsu makan udang mulai menurun pada 1 – 2 hari sebelum *molting* dan aktivitas makannya berhenti total sesaat akan *molting*. Persiapan yang dilakukan udang vaname sebelum mengalami *molting* yaitu dengan menyimpan cadangan makanan berupa lemak di dalam kelenjar pencernaan (*hepatopankreas*).

Umumnya, *molting* berlangsung pada malam hari. Bila akan *molting*, udang vaname sering muncul ke permukaan air sambil meloncat-loncat. Gerakan ini bertujuan membantu melonggarkan kulit luar udang dari tubuhnya. Pada saat *molting* berlangsung, otot perut melentur, kepala membengkak, dan kulit luar bagian perut melunak. Dengan sekali hentakan, kulit luar udang terlepas.

Udang vaname akan tampak lemas dan berbaring di dasar perairan selama 3 – 4 jam setelah proses *molting* selesai. *Molting* akan terjadi secara teratur pada udang yang sehat.

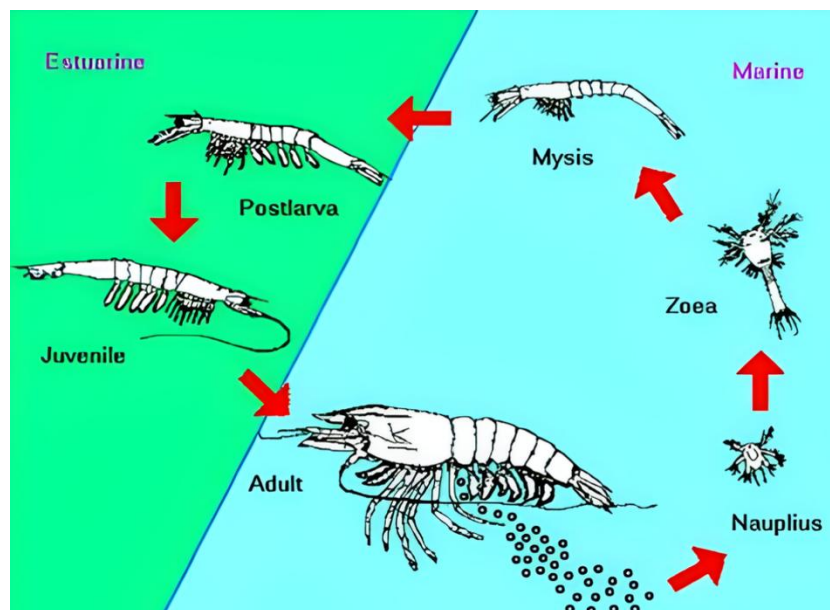
2.4. Ekologi Udang Vaname

Menurut Pratiwi *et al.* (2022) ekologi udang vaname selama kehidupannya menyebar mulai dari daerah Laut Pasifik bagian barat Meksiko, Amerika Tengah dan Amerika Selatan, seiring perkembangannya penyebaran udang vaname sudah meluas hingga Asia dan Indonesia.

Di habitat aslinya udang vaname merupakan hewan akuatik bersifat demersal dan menyukai dasar air yang berlumpur dan hingga daerah pantai, muara dan hutan mangrove, garis pantai sampai sekitar 72 m. Udang vaname dapat beradaptasi dengan perubahan temperatur dan tekanan di alam, Udang vaname mampu hidup di rentang salinitas yang luas (Erlangga, 2012; Pratiwi, 2015; Anggoro *et al.*, 2018; Supono, 2022).

2.5. Daur Hidup Udang Vaname

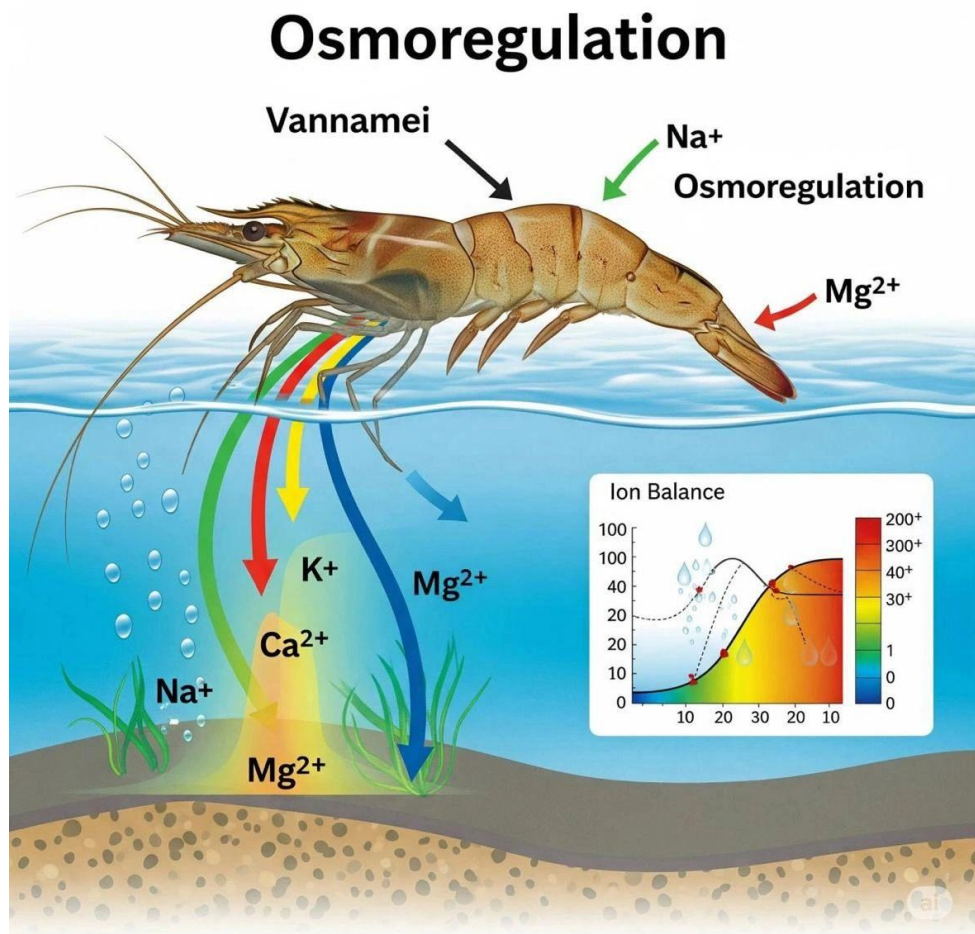
Hidup udang penaeid sejak telur mengalami fertilisasi dan lepas dari tubuh induk betina bersifat *eurihalin* (0-42 ppt). Menurut Martosudarmo dan Ranoemihardjo (1983) udang vaname akan mengalami berbagai macam tahapan di dalam siklus daur hidupnya, lebih rinci dapat dilihat seperti pada Gambar 4 berikut ini :



Gambar. 4. Siklus hidup udang penaeid.
Sumber: Dugassa dan Gaetan. (2018).

2.6. Osmoregulasi

Osmoregulasi merupakan proses fisiologis organisme akuatik sebagai upaya untuk menjaga keseimbangan tekanan osmotik cairan tubuh dengan lingkungannya (Anggoro *et al.* 2018). Pada udang, osmoregulasi terjadi melalui insang dan antenna gland dengan mekanisme transportasi aktif ion-ion natrium (Na^+), kalium (K^+), clorida (Cl^-). Osmoregulasi pada krustasea merupakan fungsi fisiologis yang penting dalam adaptasi terhadap perubahan lingkungan. Kapasitas osmoregulasi ditentukan oleh perbedaan antara osmolaritas cairan hemolimf dan osmolaritas media (lingkungan) (Molina *et al.* 2019).



Gambar 5. Proses osmoregulasi pada crustacea (Elabad .
<https://www.linkedin.com/in/dr-youssef-elabd-08860543/recent-activity/images/>, 2025)

Mekanisme osmoregulasi yang terjadi adalah pada kondisi hipoosmotik (air tawar) dimana konsentrasi ion pada lingkungan lebih rendah dari ion di dalam tubuh udang. Akibatnya air akan masuk secara osmosis melalui membrane semipermeabel yang terdapat di dalam insang dan antenna gland, untuk menjaga keseimbangan cairan tubuh udang akan mengeluarkan cairan yang berlebih melalui urin dan mengambil ion Na⁺, K⁺, Cl⁻ dari dalam lingkungan. Sedangkan pada kondisi hiperosmotik dimana konsentrasi ion di dalam lingkungan lebih pekat daripada ion di dalam tubuh udang, akibatnya udang akan kehilangan cairan dari dalam tubuhnya dan secara biomekanik udang akan melakukan transpor aktif melalui kulit dan insang serta mengeluarkan ion melalui kelenjar antenna gland dengan sistem

ekskresi agar cairan tubuh tidak terlalu pekat, sehingga keseimbangan akan tetap stabil (Cuenca *et al.* 2021).

Keseimbangan ion merupakan rasio kation (ion bermuatan positif) dan anion (ion bermuatan negatif) yang terlarut dalam air. Air mempertahankan netralitas listrik karena udang secara langsung bergantung pada ion di dalam air untuk mengatur proses fisiologis dasarnya, mekanisme yang dikenal sebagai osmoregulasi. Udang menghabiskan lebih sedikit energi untuk menjaga keseimbangan antara lingkungan internalnya (hemolymph). Ketidakseimbangan ionik dalam air memaksa udang untuk terus-menerus menghabiskan energi untuk mengimbanginya, sehingga menyebabkan udang stres, menurunkan pertumbuhan dan meningkatnya kerentanan terhadap penyakit.

Proses utama yang terjadi di dalam osmoregulasi adalah udang menyerap dan mengeluarkan ion aktif melalui insangnya untuk mempertahankan konsentrasi garam internal tubuhnya. Ini dimungkinkan oleh "pompa" khusus dalam sel, seperti enzim $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$. Jika di dalam media terjadi ketidakseimbangan (kekurangan kalium (K^+) atau magnesium (Mg^{2+}) relatif terhadap natrium (Na^+), maka pompa ini tidak dapat beroperasi secara efisien. Udang mengalami stres osmotik yang parah, yang dapat menyebabkan kematian (Elabad, 2025).

Ion seperti kalium (K^+) dan magnesium (Mg^{2+}) adalah kofaktor enzimatik penting dan terlibat dalam transmisi impuls saraf dan kontraksi otot. Ketidakseimbangan memengaruhi mobilitas, makan, dan metabolisme udang secara keseluruhan.

2.7. Salinitas Rendah

Penelitian pemeliharaan udang di salinitas rendah sudah banyak dilakukan, Roy *et al.* (2010); Nyoman *et al.* (2015); Szuster dan Flaherty (2015); Fitriani (2018); Marlina *et al.* (2018) melaporkan budi daya udang di salinitas rendah masih menghasilkan pertumbuhan dan kelangsungan hidup lebih dari 80%. Udang vaname dengan salinitas 10 ppt mampu mencapai MBW (*mean body weight*) 10,5 g pada DOC (*day of culture*) 59 hari dengan kelangsungan hidup 91,39 % (Marlina *et al.* 2018).

Cahyanurani dan Edy (2022) mengungkapkan pemeliharaan udang vaname secara intensif dengan salinitas rendah mampu menghasilkan tingkat kelangsungan hidup udang vaname 61%-98% dan nilai konversi pakan (FCR) 1,01-1,62. Secara ekologi dan ekonomi, budi daya udang vaname di salinitas rendah sangat layak dilakukan dengan melihat nilai analisis indeks kualitas air sebesar 110 yang artinya media salinitas rendah sangat layak digunakan untuk budi daya udang. Begitu juga secara ekonomi dihasilkan *profitability index* 25,43%, IRR 27,55%, yang artinya budi daya udang di salinitas rendah memenuhi persyaratan baik secara ekonomi ataupun secara ekologi, sebagai alternatif budi daya bagi masyarakat yang jauh dari pantai atau sumber air laut (Ariadi *et al.* 2019).

2.8. Mineral Kalium dalam Lingkungan Budi Daya.

Mineral merupakan bahan anorganik yang memiliki fungsi penting di dalam metabolisme makhluk hidup, komponen yang penting di dalam pembentukan enzim, vitamin, dan hormon (Truong *et al.* 2022). Selanjutnya berdasarkan fungsinya mineral berguna dalam mengatur tekanan osmotik, bahan penyusun skeleton, mengatur pH di dalam darah (*hemolymph*), urin dan cairan tubuh lainnya (elektrolit darah).

Berdasarkan pengelompokannya mineral terbagi menjadi makromineral kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), phosphorus (P), sodium (Na), sedangkan mikromineral adalah: tembaga (Cu), besi (Fe), kobalt (Co), kromium (Cr), yodium (I), mangan (Mn), molibdenum (Mo) dan zink (Zn) (FAO, 2015).

Menurut Boyd (2018), terjadi kematian yang tinggi ketika kekurangan kalium di media budi daya, selanjutnya Anggoro *et al.* (2018) menyatakan terjadinya kegagalan molting akibat kekurangan kalium dan kanibalisme yang tinggi. Menurut Watanabe *et al.* (1998) terjadinya *soft cell* (kulit lunak) akibat kekurangan kalsium dan pertumbuhan yang terlambat, sedangkan terjadinya perubahan skeleton pada udang akibat kekurangan fosfor. Makromineral yang berperan penting di dalam cairan elektrolit udang adalah natrium (Na) dan kalium (K). Menurut Yusuf (2020), natrium merupakan ion kation yang mendominasi cairan ekstraseluler hingga 40-50%. Fungsi natrium adalah mengatur tekanan osmosis yang menjaga cairan tidak keluar dari darah dan masuk ke dalam sel, mengatur

keseimbangan asam dan basa dalam tubuh dengan mengimbangi zat-zat yang membentuk asam, berperan dalam transmisi saraf dan kontraksi otot, berperan dalam absorpsi glukosa, dan sebagai alat angkut zat gizi lain melalui membran, terutama melalui dinding usus sebagai pompa natrium.

Kalium merupakan makromineral yang bermuatan positif (kation). Fungsi secara umum kalium berperan penting di dalam penyusunan kerangka (tulang) dan gigi, proses osmoregulasi (mengatur keseimbangan cairan elektrolit tubuh dengan cairan media), sebagai penyusun jaringan lunak, transmisi impuls syaraf dan kontraksi otot, mempertahankan keseimbangan asam dan basa (pH cairan darah), merupakan komponen penting dari enzim, vitamin dan hormon, dan sebagai kofaktor dalam metabolisme katalis dan aktivator enzim (Tacon, 1987).

Kalium di air tawar berkisar antara 0,5 - 10 mg/L dan tergantung dari sumber air tawar yang digunakan, sehingga untuk udang vaname di air tawar memerlukan keseimbangan mineral kalium yang ditambahkan ke dalam media (Boyd, 2018).

Peranan kalium di alam bagi organisme akuatik sangat diperlukan, walaupun kebutuhan akan mineral tidak terlalu besar, namun jika tidak terpenuhi akan mengganggu sistem fisiologi, kandungan mineral kalium bekerja pada jaringan otot dan saluran pencernaan cumi (*Loligo vulgaris*) pada keadaan dipuaskan terlihat bahwa yang kekurangan mineral mengalami lambatnya pertambahan bobot tubuh (Velarde *et al*, 2017). Berdasarkan hasil penelitian Widigdo *et al.*, (2019) diketahui bahwa Na dan K merupakan komponen mineral yang berperan penting terhadap performa pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vaname.

Hasil penelitian yang lain akan pentingnya kalium bagi organisme akuatik adalah kalium dapat meningkatkan kemampuan kinerja osmoregulasi udang vaname sehingga dapat menekan tingkat stres udang vaname pada media air tawar (Widodo *et al.* 2011). Penambahan kalium pada media air tawar untuk udang vaname dapat meningkatkan pertumbuhan (ICAR, 2016).

Komposisi mineral pada media budi daya berpengaruh terhadap parameter fisiologis dan histologis udang vaname. Peningkatan kadar kalium pada media dalam aklimatisasi udang vaname pada salinitas rendah dapat mengurangi tingkat

stres udang yang ditandai dengan rendahnya kadar glukosa hemolymph (Dwiono *et al.* 2018).

2.9. Kinerja Mineral secara Fisiologis.

Mineral esensial merupakan hal yang tidak bisa disintesis di dalam sistem fisiologi tubuh hewan akuatik. Mineral kalsium (Ca) berperan sebagai pembentuk cangkang dan mengatur kontraksi otot serat menjaga keseimbangan cairan elektrolit, magnesium (Mg) memiliki fungsi dalam metabolisme tubuh, kalium (K) sebagai pengatur keseimbangan elektrolit, kontraksi otot dan sebagai transmittor impuls syaraf begitu juga untuk natrium (Na) memiliki kesamaan dengan kalium (K) (Muchlisin, 2009). Sebagai mineral esensial, kebutuhan mineral di dalam tubuh udang adalah berkisar 1-2% dari bobot tubuh (FAO, 2015). Peranan kalium di dalam tubuh hewan akuatik dalam proses osmoregulasi, konsentrasi osmotik dalam darah berkisar pada 300 mosm/LH₂O, yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi osmotik air tawar, sehingga udang akan melakukan pemasukan air secara osmosis. Organ insang memiliki peranan penting, karena memiliki luas permukaan lebih besar dan relatif lebih permeabel, sedangkan permukaan kulit relatif kecil sehingga permukaan kulit kurang berperan dalam aktivitas absorpsi. Akibatnya kelebihan air akan diekskresikan oleh udang sebagai urin yang sangat encer dan dapat dihasilkan dalam jumlah sampai sepertiga dari berat badan per hari, karena insang lebih permeabel terhadap ion dan kehilangan ion harus diikuti dengan pengambilan ion (Nielsen, 1987).

Pada saluran pencernaan udang yang diadaptasi pada perairan tawar, terdapat sedikit peran Na⁺-K⁺ - ATPase untuk aktivitas transpor natrium ke dalam darah pada udang daripada di air laut. Berdasarkan hal tersebut, peranan transpor aktif pada osmoregulasi udang menurut Anggoro *et al.* (2018), transpor aktif (*active transport*) merupakan gerakan ion dan molekul melawan suatu gradien konsentrasi, karena sistem kinerja yang berlawanan menyebabkan udang menggunakan energi untuk transportasi melawan daya difusi yang pasif. Hal ini membutuhkan energi dalam bentuk ATP. Elektrolit, glukosa dan asam amino, yang akibatnya udang akan mengambil energi dari dalam tubuhnya sehingga proses pertumbuhan terganggu (Patrachotpankinkuh *et al.* 2020). Aktivitas transpor aktif di dalam tubuh membutuhkan energi berupa ATP secara metabolisme glukosa, maka prosesnya

selalu bergandengan dengan pernafasan sel, karena itu transpor aktif zat dapat terganggu jika sel pun terganggu, transpor aktif serentak dengan peristiwa memompa ion lewat membran sel ion yang dipompakan adalah Na^+ , K^+ dan ATPase (Anggoro *et al.* 2018).

Konsentrasi kalium pada tingkat tinggi di dalam sel dan kecenderungan kalium untuk berdifusi keluar gradien konsentrasi yang rendah. Bagaimanapun potensial ini meliputi sebagian besar gradien elektrokimia kalium untuk melintasi membran adalah nol dan tidak lagi terjadi kehilangan kalium (Zhang *et al.* 2020). Pada proses osmoregulasi, peranan mineral K^+ berkonsentrasi tinggi di dalam sel (intrasel) kesetimbangan ini harus tetap terjaga agar sistem seluler berjalan normal, karena Na^+ berkonsentrasi lebih tinggi di luar sel maka ion selalu mengalami difusi ke dalam, namun difusi yang terus menerus dilakukan ini mengakibatkan tertimbunnya Na^+ dalam sel, hal inilah yang menyebabkan Na dipompa keluar tubuh (Aruna dan Felix, 2017).

Transpor aktif mempunyai 3 fungsi utama dalam sel-sel dan organel-organel (Briggs *et al.* 2004), yaitu:

1. Memungkinkan pengambilan molekul-molekul bahan bakar dan nutrien-nutrien essensial lainnya dari lingkungan atau cairan sekitarnya, sekalipun apabila konsentrasi nutrien tersebut di lingkungan sangat rendah.
2. Menyediakan bermacam-macam substansi, seperti hasil-hasil buangan, bahan-bahan buangan dan juga ion-ion natrium, dilepaskan dari sel atau organel, meskipun konsentrasi di luar lebih besar dari pada di dalam.
3. Memungkinkan konsentrasi stabil, konsentrasi ion-ion organ internal optimal, terutama ion-ion natrium, kalsium dan hidrogen.

Pompa natrium-kalium ditemukan dalam kebanyakan sel hewan terdiri dari subunit α dan β . Subunit α adalah protein transmembran, dengan *binding sites* ATP pada sisi sitoplasma dan *binding sites* untuk streoid kardiotonik pada sisi lebih luar. Subunit β merupakan katalitik aktif yang memiliki *binding sites* untuk ATP dan ion-ion natrium pada sisi sitoplasma (di lapisan dalam) dan untuk ion-ion kalium pada sisi membran luar. Subunit β adalah glykosilasi dan terletak pada sisi ekstraseluler dari membran plasma (Briggs *et al.* 2004).

Satu gambaran karakteristik kebanyakan sel adalah tingkat ion kalium yang tinggi di intraseluler tingkat ion natrium yang rendah pada intraseluler. Gambaran ini penting bagi keberadaan sel, karena kalium disediakan untuk sejumlah proses vital sel (seperti fungsi ribosom dan aktivitas enzim) dan natrium sering menghambat beberapa fungsi tersebut. Gradien ion natrium dan kalium penting di dalam transmisi rangsangan syaraf dan mengendalikan transfortasi di dalam sel.

Kandungan kalium sekitar 100-150 μm di dalam sel, sedangkan di luar, tingkat kalium umumnya lebih rendah dan itu sangat berfluktuasi (kondisi hipoosmotik), sebaliknya, konsentrasi natrium di intaseluler selalu sangat rendah dari medium sekelilingnya (hiperosmotik), menyebabkan pompa kalium dan natrium keduanya merupakan proses yang memerlukan energi (Becker dan Deamer, 1993). Adapun menurut Anggoro (2000) pompa natrium dan kalium, terjadi di dalam membran plasma semua sel, hal tersebut telah menunjukkan bahwa ion natrium dan kalium hanya mengaktifkan ATPase pada sisi membran dari yang mereka transportasikan dari luar.

Pada bagian lain, Anggoro (2000) menjelaskan model sistematik dari siklus pemompaan $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ - ATPase sebagai berikut: Binding Na^+ berikutnya fosforilasi oleh ATP pada permukaan sitoplasma pada ATPase akan menyebabkan protein mengalami suatu perubahan penyesuaian yang mentransfer Na^+ melintasi membran dan melepaskannya pada bagian luar. kemudian binding K^+ pada permukaan ekstraseluler akan diikuti defosforilasi mengembalikan protein pada penyesuaian aslinya yang mentransfer K^+ melintasi membran dan melepaskannya di dalam sitosol.

Berdasarkan penjelasan di atas jelas terlihat bahwa pada udang yang dipindahkan ke lingkungan yang bersalinitas rendah atau pada lingkungan yang berfluktuasi untuk mempertahankan kondisi isoosmotik (*homeostatis*) udang akan melakukan osmoregulasi dengan menggunakan transpor aktif. Dalam mekanisme transpor aktif ini yang paling dominan adalah $\text{Na}^+ - \text{K}^+$. Aktivitas transportasi ini merupakan bagian integral dari membran yang berfungsi untuk mempertahankan gradien konsentrasi ion-ion Na^+ dan K^+ (ekstra dan intra seluller). Proses osmoregulasi ini akan menggunakan energi yang cukup besar, akibat dari pergerakan yang melawan membran gradien konsentrasi ion tersebut.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan selama 4 bulan. Pemeliharaan udang dilakukan di Laboratorium Budi daya Perikanan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Politeknik Negeri Lampung. Analisis kualitas air dilakukan di Laboratorium Terpadu Politeknik Negeri Lampung (Polinela). Uji kadar glukosa darah udang dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung (Unila), Uji osmolaritas media dan hemolymph dilakukan di Laboratorium Fisiologi Fakultas Kedokteran Hewan, Institut Pertanian Bogor (IPB).

3.2. Bahan dan Alat

Bahan uji yang digunakan adalah benur udang putih vaname *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) PL 21 yang berasal dari Marine Riset Center (MRC) Kalianda yang merupakan unit Laboratorium Shrimp PT Central Proteina Prima (PT. CPP), dengan panjang rata-rata $2,10 \pm 0,01$ cm dan bobot rata-rata 0,05 gram/ekor. Bahan makromineral adalah; NaCl, MgO, CaCO₃, dan KCl.

Alat yang digunakan adalah akuarium dengan volume air 50 L sebanyak 12 buah dilengkapi aerasi dan ditutup plastik hitam, bak fiber untuk tandon air dan benur, bak kontainer untuk stok air yang bermineral, seser, timbangan elektrik dengan ketelitian 0,01 gram, alat pengukur parameter kualitas air, alat suntik syringe ukuran 0,01 mL untuk pengambilan hemolymph udang, dan cairan antikoagulan merk Heparin yang berfungsi untuk mencegah penggumpalan darah (*hemolimp*).

3.3. Desain Penelitian

Penelitian dilaksanakan berdasarkan percobaan (*experimental*) laboratorium. Metode eksperimental adalah menggunakan variabel-variabel apa

sajakah serta bagaimana bentuk hubungan antara satu dengan yang lain dengan membuat manipulasi atas obyek yang diteliti sebagai *dependent variable* guna mengamati *independent variable*, dan membuat seberapa pengaruhnya terhadap variabel lain sebagai pengontrolnya (Hadi, 2004).

Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) yang terdiri dari 4 perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan tersebut adalah rekayasa air tawar yang disetarakan dengan salinitas 2 ppt. Rekayasa air tawar dengan pengayaan makromineral berdasarkan Boyd (2018), dengan menggunakan makromineral natrium (Na^+), magnesium (Mg^{2+}), kalsium (Ca^+) dan kalium (K^+) yang disetarakan dengan salinitas 2 ppt yaitu; Na^+ (608,7 mg/L), Mg^{2+} (78,26 mg/L), Ca^+ (23,18 mg/L) dan K^+ (22,02 mg/L). Adapun perlakuan di dalam penelitian ini adalah konsentrasi kalium yang berbeda di dalam media air tawar yang disetarakan dengan 2 ppt. Konsentrasi kalium yang berbeda dapat di lihat pada Tabel 2 berikut ini .

Tabel 2. Konsentrasi mineral K pada setiap perlakuan

Mineral (mg/L)	Perlakuan			
	A	B	C	D
Na	608,7	608,7	608,7	608,7
Mg	78,26	78,26	78,26	78,26
Ca	23,18	23,18	23,18	23,18
K	22,02	44,04	66,06	88,08

Air tawar yang digunakan dilakukan sterilisasi terlebih dahulu menggunakan klorin, kemudian di endapkan 2 hari dan dilakukan aerasi kuat sehingga bau dan rasa kaporit tidak tercium lagi. Setiap perlakuan yang dicobakan, kemudian diperkaya dengan penambahan makromineral. Bahan mineral yang digunakan antara lain NaCl , MgCl_2 , CaCO_3 , dan KCl . Perhitungan kebutuhan mineral dapat dilihat pada (Lampiran 9).

3.4. Prosedur Pelaksanaan

Percobaan dilakukan secara bertahap sebagai berikut:

Proses adaptasi benur dan pengenceran salinitas media:

Pemeliharaan benur dari *Marine Riset Center* (MRC) Suak Kalianda, Lampung Selatan, berumur PL 10, yang dipelihara di dalam bak fiber yang berisi

air laut sesuai dengan salinitas di lokasi awal (30 ppt). Sebelum ditebar, benur diaklimatisasi selama 30 menit dengan mengapungkan plastik media sampai muncul embun, kemudian benur dilepaskan ke dalam media yang sudah dilengkapi aerasi dan waring penutup. Setelah 24 jam benur diberi pakan dengan metode *blin feeding*, setelah 3 hari masa aklimatisasi untuk menghindari udang stres, kemudian dilakukan penurunan salinitas media pemeliharaan secara bertahap yaitu 2-3 ppt setiap harinya. Pengenceran salinitas menggunakan persamaan pengenceran air laut (Anggoro 1992):

$$V1.S1 = V2.S2$$

Keterangan;

V1 = Volume media sebelum pengenceran (M³)

V2 = Volume media setelah pengenceran (M³)

S1 = Salinitas sebelum pengenceran (ppt)

S2 = Salinitas setelah pengenceran (ppt)

Pemeliharaan udang dilakukan berdasarkan rancangan acak lengkap dengan 4 perlakuan konsentrasi kalium yang berbeda dan pada masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Setelah media mencapai 2 ppt (udang berumur PL 21), dilakukan penimbangan benur kemudian benur dimasukkan ke dalam wadah pemeliharaan yang sudah berisikan air sesuai perlakuan. Wadah percobaan menggunakan akuarium dengan volume 50 L. Udang uji yang telah ditimbang sebelumnya (W_0) dimasukkan ke dalam tiap akuarium percobaan sesuai dengan perlakuan yang diterapkan dengan kepadatan 50 ekor per wadah percobaan dan dipelihara selama 56 hari.
2. Selama tahap kultivasi, hewan uji diberi pakan berupa pelet dengan frekuensi 4 kali sehari dengan persentase 5% dari biomassa dan diberikan secara *at satiation*.
3. Pengelolaan terhadap kualitas media dilakukan dengan cara melakukan penyiponan kotoran udang dan sisa pakan setiap hari sebelum udang uji diberi

pakan. Penggantian air dilakukan tiap hari sebanyak 20-30% (kondisional) dari volume keseluruhan dengan tujuan untuk menjaga kualitas air. Air yang ditambahkan menggunakan air stok yang sesuai dengan salinitas media yang sudah ditambahkan makromineral dalam perlakuan.

4. Pengamatan pertumbuhan udang dilakukan setiap 7 hari, yaitu dengan mengukur berat dan panjang, sedangkan untuk pengukuran kualitas air (temperatur, pH dan salinitas media) dilakukan setiap hari, kecuali DO (*disolved oxygen*), amonia dan alkalinitas dilakukan setiap seminggu sekali.
5. Pada akhir penelitian diambil sampel *hemolymph* udang setiap perlakuan sejumlah 1 mL menggunakan alat suntik dan ditambahkan cairan antikoagulan heparin pada masing-masing wadah untuk diukur tingkat osmolaritas darah dan glukosa darah pada tiap-tiap media perlakuan.
6. Dilakukan pengukuran konsumsi oksigen basal, sampel uji dipuasakan selama 24 jam, kemudian dilakukan pengukuran konsumsi oksigen.

3.5. Variabel Pengamatan

3.5.1. *Average Body Weight (ABW)*

Average body weight (ABW) merupakan berat rata-rata udang di setiap periode waktu sampling selama pemeliharaan, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Effendi, 2002):

$$ABW = \frac{\text{bobot biomasa udang}}{\text{total populasi}}$$

Keterangan :

- ABW : berat rata-rata udang (g/ekor)
- Berat udang : bobot biomasa udang (g)
- Jumlah udang : total populasi (g)

3.5.2. *Persentase Pertumbuhan Harian (SGR)*

Specific Growth Rate (SGR) adalah persentase pertambahan berat harian rata-rata udang dalam suatu periode waktu tertentu, tujuan pengukuran untuk dapat

mengetahui percepatan tumbuh harian udang. *Specific Growth Rate (SGR)* dihitung berdasarkan persamaan Huisman (1976):

$$SGR(\%/hari) = \frac{Ln Wt - Ln W0}{T} 100\%$$

Keterangan :

- SGR : pertumbuhan rata-rata harian (% / hari)
- LnWt : bobot rata-rata udang pada waktu t (g)
- LnW0 : bobot rata-rata udang awal pemeliharaan (g)
- T : lama pemeliharaan (hari)

3.5.3. Persentase Kelangsungan Hidup (SR)

Survival rate (SR) merupakan persentase kelangsungan hidup udang pada akhir pemeliharaan. *Survival rate* (SR) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Effendi, 2002):

$$SR = \frac{Nt}{N0} \times 100\%$$

Keterangan :

- SR : Tingkat kelangsungan hidup udang (%)
- N0 : Jumlah udang pada awal pemeliharaan (ekor)
- Nt : Jumlah udang pada akhir pemeliharaan (ekor)

3.5.4. Persentase Tingkat Kanibalisme

Persentase tingkat kanibalisme udang vaname dihitung berdasarkan jumlah udang yang mati akibat kanibalisme dengan persamaan menurut (Hseu *et al.*, 2003) sebagai berikut:

$$TK = \frac{Ka - Kh - Kmbak}{Ka} \times 100\%$$

Keterangan:

- TK : tingkat kanibalisme (%)
- Ka : jumlah udang awal pemeliharaan (ekor)
- Kh : jumlah udang hidup yang tersisa (ekor)
- Kmbak : jumlah udang mati bukan kanibalisme (ekor)

3.5.5. Efisiensi Pakan

Efisiensi pakan dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan berdasarkan data hasil pengukuran pertumbuhan, udang yang mati selama proses pemeliharaan dan jumlah pakan yang diberikan selama penelitian.

Efisiensi pakan dihitung berdasarkan persamaan Tacon (1987):

$$E = \frac{(W_t + D) - W_o}{F} \times 100\%$$

Keterangan:

- E : efisiensi pakan (%)
- W_t : bobot total udang pada waktu t (g)
- W_o : bobot total udang pada awal percobaan (g)
- D : bobot total udang yang mati selama percobaan (g)
- F : bobot total pakan yang dikonsumsi (g)

3.6. Pengamatan Fisiologis Udang Vaname

3.6.1. Pengukuran kadar Glukosa Hemolymph

Pengukuran glukosa hemolymph udang menggunakan alat Spektro UVvis carry 100 dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Perhitungan konsentrasi glukosa darah udang menggunakan persamaan menurut (Wedemeyer dan Yasukate, 1977)

$$GD = \frac{AbsSp}{AbsSt} \times GSt$$

Keterangan :

- GD : Konsentrasi glukosa darah (mg/ml)
- AbsSp : Absorbansi sampel
- AbsSt : Absorbansi standar
- GSt : Konsentrasi glukosa standar (mg/ml)

3.6.2. Tingkat Kerja Osmotik (TKO)

Tingkat kerja osmotik (TKO) dihitung berdasarkan selisih nilai osmolaritas haemolymph *L. vannamei* dengan osmolaritas media. TKO dihitung dengan persamaan menurut Ferraris, *et al.* (1986); Mat (1987); Anggoro (1992): sebagai berikut:

$$TKO = [P_{osm} \text{ haemolymph} - P_{osm} \text{ Osmolaritas media}]$$

Keterangan :

- TKO : tingkat kerja osmotik (mOsm/L H₂O)
- P_{osm} hemolymph : osmolaritas cairan hemolymph (mOsm/L H₂O)
- P_{osm} media : osmolaritas media (mOsm/L H₂O)
- [] : nilai mutlak

3.6.3. Tingkat Konsumsi Oksigen (*Oxygen Consumption*)

Tingkat konsumsi oksigen dihitung menurut (Liao dan Huang, 1975) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$OC = \frac{Vx(DO_{to} - DO_{tn})}{WxT}$$

Keterangan :

- OC : tingkat konsumsi oksigen (mg O₂/g/jam)
- V : volume air dalam wadah
- DO_{to} : konsentrasi oksigen terlarut pada awal pengamatan (mg/L)
- DO_{tn} : konsentrasi oksigen terlarut pada waktu ke-n (mg/L)
- W : bobot hewan uji (g)
- T : periode pengamatan (jam)

3.7 Analisis data

Data pertumbuhan, efisiensi pakan, kelangsungan hidup, level kanibalisme, glukosa darah, tingkat kerja osmotik dan tingkat konsumsi oksigen yang diperoleh ditabulasi dan dianalisis menggunakan SPSS versi 29 dan analisis ragam pada tingkat kepercayaan 95%, dan apabila berbeda nyata dilanjutkan dengan uji Duncan (Steel dan Torrie, 1993). Data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Parameter fisika dan kimia air dianalisis secara deskriptif.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan:

1. Penambahan konsentrasi kalium 66,06 mg/L menghasilkan bobot rata-rata udang vaname sebesar $5,39 \pm 0,35$ g, pertumbuhan harian $5,69 \pm 0,41\%$, tingkat kelangsungan hidup $68,67 \pm 4,1\%$, efisiensi pakan $72,69 \pm 1,85\%$ dan tingkat kanibalisme $2,31 \pm 1,25\%$.
2. Penambahan konsentrasi kalium 66,06 mg/L menurunkan tingkat kerja osmotik sebesar 0,044 mOsm/L H₂O.
3. Penambahan konsentrasi kalium 66,06 mg/L menurunkan respon fisiologis glukosa hemolymph sebesar $233,92 \pm 39,97$ µg/g dan konsentrasi kalium 88,08 mg/L menurunkan tingkat konsumsi oksigen sebesar $0,14 \pm 0,31$ mgO₂/g/jam.

5.2. Saran.

Penambahan makromineral kalium sebesar 66,06 mg/L di dalam rekayasa media air tawar untuk budi daya udang vaname dapat dijadikan rujukan untuk pemeliharaan udang sebagai penunjang pertumbuhan dan memperbaiki sistem fisiologi udang vaname.

Budi daya udang vaname di media air tawar dengan penambahan makromineral dapat dijadikan dasar di dalam aplikasi pemanfaatan sumber daya air tawar pada konsep budi daya udang bagi ketahanan pangan dengan sistem *urban farming*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro, S. 1992. *Efek osmotik berbagai tingkat salinitas media terhadap daya tetas telur dan vitalitas larva udang windu, Penaeus monodon Fabricius* (Disertasi). Pascasarjana. IPB, Bogor. 127hlm.
- Anggoro, S dan Nakamura, K. 1996. Osmoregulation of Kuruma prawn (*Penaeus japonicus*). *Bull.Kagoshim*, 2(3): 14-19.
- Anggoro, S. 2000. Pola regulasi osmotik dan kerja enzim Na-K-ATPase udang windu (*Penaeus monodon Fab*) pada berbagai fase molting. *Aquaculture Indonesia*, 1(2): 15-21.
- Anggoro, S., Suprpto, D., dan Purwanti, F. 2018. Osmoregulation pattern of fingerling vanname shrimp (*Litopenaeus vannamei*) rearing in three molt stage iso-osmotik 152 *Journal of Marine Sciences*, 23 (3): 119-122.
- Antony, J., dan Vungurala, H. 2015. Effects of salinity and Na⁺/K⁺ ratio on osmoregulation and growth performance of black tiger prawn, *Penaeus monodon* Fabricius, 1798, juveniles reared in inland saline water. *Journal of The Worlds Aquaculture Society*, 46 (2); DOI: 10.1111/jwas.12179.
- Aruna dan Felix. 2017. The effect of ionic concentration of low saline waters on growth characteristics of *Litopenaeus vannamei*. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 5(3): 73-76.
- Astifa., Rajamuddin, L. A. M., dan Yuliadi. 2022. Akselerasi moulting larva Udang Pasifik (*Litopenaeus vannamei*) dengan pemberian kalsium hidroksida Ca (OH)₂. *Agrokompleks*. 22(2).
- Briggs M, Smith, S. F., Subasinghe R., & Phillips, M. 2004. Introductions and movement of *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris* in Asia and the Pacific. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific*. RAP Publication 2004/10, 1–12 pp.
- Boyd, C.E. 2018. Revisiting ionic imbalance in low-salinity shrimp aquaculture. *Global aquaculture advocate*. 4p.

- Badan Pusat Statistika Provinsi Lampung. 2023. Luas Wilayah Provinsi Lampung. <https://lampung.bps.go.id/id/statistics-table/2/MjI5IzI=/luas-wilayah.html>. Diakses pada 3 Januari 2025.
- Badan Pusat Statistika Kementerian Kelautan Perikanan. 2022. Data Produksi Udang. <https://portaldata.kkp.go.id/portals/data-statistik/layer1>. Diakses 3 Januari 2025.
- Cahyanurani AB and Edy MH. 2022. Performance of intensive vannamei (*Litopenaeus vannamei*) culture at low salinity. Depik Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan. DOI: 10.13170/depik.11.3.25565 . hlm 258-264.
- Chanratchakool P., Turnbull, J. F., Smith, S. F., and Limsuwan, C. 1995. *Health Management in Shrimp Ponds*. Aquat. Anim. Health Res. Inst., Thailand. ISBN 974-7604-42-6.
- Che Mat, C. R. 1987. *Kajian Ekofisiologi dan Biokimia Macrobrachium rosenbergii dan Hubungannya dengan Akuakultur. Kumpulan Laporan penyelidikan Sains Fisis Gunaan*. Publishing. Fakultas Sains dan Gunaan, Universitas Kebangsaan Malaysia. Bangi.
- Cherian G. 2019. *Principles of Animal Nutrition*. Oregon State University Corvallis.193p.
- Dugassa H and D Gaetan. 2018. Biology of White Leg Shrimp, *Penaeus vannamei* :Review. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 10 (2): 05-17.
- Dirjen PDSPKP. 2023. *Profil Pasar Udang*. Direktorat Jendral Penguatan Daya Saing Produk Kelautan dan Perikanan. Kementerian Kelautan dan Perikanan. 22 hlm.
- Dwiono A, Widigdo B, and Soewardi K. 2018. Pengaruh komposisi mineral air tanah terhadap fisiologi dan histologi udang vaname *litopenaeus vannamei*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 10 (3): 535-546. DOI: <http://dx.doi.org/10.29244/jitkt.v10i3.21049>.
- Eddy WA, Kamaludin A, M. Chaeruddin K. 2022. *Dinamika Kualitas Air di Tambak Udang*. PT. Central Proteina Prima TBK. 204 hlm.
- Effendi. 2002. *Pengantar Akuakultur*. PT Penebar Swadaya. Depok. 278 hlm
- Elabd Y. Osmoregulation in shrimp. 2025. <https://www.linkedin.com/in/dr-youssef-elabd-08860543/recent-activity/images/>.Diakses 10 Desember 2025.
- Erlangga, E. 2012. *Budidaya Udang Vannamei Secara Intensif*. Pustaka Agro Mandiri. 235 hlm.

- Ferraris RF, Fe D Parado-Esteba, Jocelyn M Ladja, Evelyn G de Jesus. 1986. Effect of salinity on the osmotic, chloride, total protein and calcium concentrations in the hemolymph of the prawn *Peneaus monodon* (fabricius). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*. (83):701-708.
- Febriani D., Marlina E., dan Oktaviana A. 2018. Total hemocytes of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) cultured at the salinity of 10 ppt in various stocking densities. *Journal of Aquaculture Science*. 3(1): 100 – 107.
- Fitriani N.N., Abidin Z dan Marzuki M. 2018. Pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) pada pemeliharaan dengan salinitas rendah. Thesis. Universitas Mataram. 257 hlm.
- FAO. 2015. *Climate Change and Food Security: Risks and Responses*. Feedipedia Animal Feed Resources Information Sistem. United Nation. 122 hlm.
- Gao W., Tian, L., Huang, T., Yao, M., Hiu, W., & Xu, Q. 2016. Effect of salinity on the growth performance, osmolarity and metabolism related gene expression in white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Reports* (4):125-129.
- Gilles R Jeuniaux C.H. 1979. *Osmoregulation and ecology in media of fluctuating Salinity in: gilles, R, Mechanism of Osmoregulation in Animals, Maintenance of cell* .volume. New York: John Wiley and Sons. 13: 581-604.
- Hadi F.R., Riyantini I., Subhan U., dan Ihsan Y.N. 2018. Efek cekaman salinitas rendah perairan terhadap kemampuan adaptasi udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. IX. 2: 72-79.
- Harsa S. C., Galkanda -Arachichige., Luke dan Davis. 2020. Evaluation of an alternative salt mixture to culture Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in inland aquaculture. *Aquaculture research*, (3):1-11.
- Hongyu, L., Xinjie, Z., Tan., Yingbo L, Shuyan, C., Xiaohui, D., dan Qihui, Y. 2013. Effect of dietary potassium on growth, nitrogen metabolism, osmoregulation and immunity of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared in low salinity seawater. *J. Ocean Univ. China (Oceanic and Coastal Sea Research)*, 13(2): 311-320 .
- Huisman, E.A. 1976. Food conversion efficiencies at maintenance and production levels for carp *Cyprinus carpio* Linn. and rainbow trout *Salmo gairdneri* Rich. *Aquaculture*, 9(2): 159-273.

- Hseu, J.R., Lu, F.I., Su, H.M., Wang, L.S., Tsai, C.L. dan Hwang, P.P. 2003. Effect of Exogenous Tryptophan on Canibalism, Survival and Growth in Juvenile rouper. *Aquaculture* , 3 (3): 1-12.
- Heriyati, E., Rustadi, R., dan Triyatmo, B. 2020. Uji aerasi microbubble dalam menentukan kualitas air, nilai nutrition value coefficient (NVC), faktor kondisi (k) dan performa pada budidaya nila merah (*Oreochromis sp.*). *Jurnal Pertanian Terpadu*, 8(1): 27-41.
- Ibnu B., Yustiati A., Aditya K., Suryadi K dan Iskandar 2020. Performa pertumbuhan benih ikan bawal air tawar (*Colossoma macropomum*) yang diberi pakan dengan tambahan kalium diformat. *Jurnal Akuatika Indonesia* (5). *Jurnal Akuatika Indonesia* (5). (1): 2621-7252.
- ICAR - Central Institute of Brackishwater Aquaculture (Indian Council of Agricultural Research) 2016. *Application of minerals in shrimp culture systems*. Ciba Extension Series No.52.
- Kaligis E, 2016. Respons pertumbuhan udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) di media bersalinitas rendah dengan pemberian pakan protein dan kalsium berbeda. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. (7) . (1).225-234.
- Khademzadeh, O and Haghi, M. 2017. Length-weight relationship and condition factor of white leg shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in culture systems of Choebdeh, West-South of Iran. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 5(1): 298-301.
- Kurniawan, A. M., Mas'ud, F., Muntalim, Ristyanadi, B., dan Qomariyah, N. 2021. Penggunaan konsentrasi mineral yang berbeda terhadap kelimpahan plankton dan pertumbuhan udang pasifik (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Grouper*. 12 (1): 11-15.
- Lingjun Si., Luqing Pan., Xin Zhang., Hong and Cun Wei. 2019. Evidence that dopamine is involved in neuroendocrine regulation, gill intracellular signaling pathways and ion regulation in *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Experimental Biology*. 222. DOI:10.1242/jeb.204073.
- Liao, I. C., dan Huang H. J. 1975. Studies on the respiration of economic prawns in taiwan I. oxygen og egg up to young prawns of *Pennaeus modom* fab taiwan. *Jurnal Fish Social*, 4(1): 33-50.
- Liua, F., Lia, S., Yua, Y., Zhanga dan Lia, F. 2021. Antennal gland of shrimp as an entry for WSSV infection. *Aquaculture*. (53): 735932.
- Li JT., Xiu Wen, X., XuAWentao Li., Zhang dan Xiumei. 2019. Linking energy metabolism and locomotor variation with osmoregulation in the Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B* 234.58–67.

- Martosudarmo, B dan Ranoemiharjo, B.S. 1983. Biologi Udang Penaeid dalam Pedoman Pembenihan Udang Penaeid. Direktorat Jenderal Perikanan, Jakarta.
- Maghfiroh, A., Anggoro, S., dan Purnomo, W. P. 2019. Osmoregulation patterns and factors of vaname shrimp conditions (*Litopenaeus vannamei*) cultivated in intensive mojo ulujami pemalang. *Journal Of Maquares. Management Of Aquatic Resources*: 8(3): 177-184.
- Marlina, E., Hartono, D. P., dan Panjaitan, I. 2018. Optimal stocking density of vannamei shrimp *Litopenaeus vannamei* at low salinity using spherical tarpaulin pond. Proceedings of the First International Conference on Applied Science and Technology (iCAST 2018). 298: 44-47
- Morillo, P. S., Cerezo, J., dan García, B. 2017. *Mineral contents of the muscle tissue and the digestive gland of Octopus vulgaris during short-term starvation. aquaculture nutrition*, Wileyonlinelibrary.com/journal/anu John Wiley & Sons Ltd. p 1–8.
- Molina C., Espinoza M., and Chuya N. 2019. Improving the osmoregulatory capacity of Pacific white shrimp grown in low salinity white shrimp grown in low salinity. Alliance. <https://www.globalseafood.org>. 1-8p. Diakses 10 Desember 2025.
- Muchlisin Z.A. 2009. Studi pendahuluan kualitas air untuk pengembangan budi daya perikanan di Kecamatan Sampoint, Aceh Jaya Pasca Tsunami. *Biospecies*. 2: 1. 10-15
- NRC. 1977. *Nutrient Requirement of Warm Water Fishes*. National Academic of Sciences. Washington, D.C., 71 hlm.
- Nur, A. 2011. *Manajemen Pemeliharaan Udang Vaname*. Pusat Penyuluhan Kelautan Dan Perikanan. Jakarta. 76 hlm.
- Nurfaidah E and Agustono. 2021. Technique of Increasing Calcium Carbonate (CaCO₃) in White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Feed in Kasetsart University, Bangkok. *Journal of Marine and Coastal Science*. 10. 3: 118 – 123.
- Pratama, A., Wardiyanto., dan Supono. 2017. Studi performa udang pasifik (*Litopenaeus vannamei*) yang dipelihara dengan sistem semi intensif pada kondisi air tambak dengan kelimpahan plankton yang berbeda pada saat penebaran. *E-Jurnal Rekayasa dan Teknologi Budi daya Perairan*. 5(1). e-ISSN:2597-5315
- Pratiwi, A.D., Fadhilah R., Diana, F., Rahmayanti, F., Muktaridha, M. 2022. Tingkat pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vaname

- (*Litopenaeus vannamei*) pada densitas yang berbeda di tambak cv. markisa farm. *Jurnal Akuakultura*. 6(2): 88-95.
- Purnamasari, I., Purnama, D., Anggraini, M., Utami, F. 2017. Pertumbuhan udang vanname (*Litopenaeus vannamei*) di tambak intensif. *Jurnal Enggano*. 2(1): 2527-5186.
- Porchas-Cornejo, M.A., L.R. Martinez-Cordova, L. Ramos-Trujillo, J. Hernandez-Lopez, M. Martinez-Porchas and F. Mendoza-Cano, 2011. Effect of promoted natural feed on the production, nutritional and immunological parameters of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) semi-intensively farmed. *Aquac. Nutr.*, 17: 622-628.
- Portal Data KKP. 2024. Produksi Perikanan Budi Daya Pembesaran Udang Berdasarkan Tahun produksi setiap provinsi dalam (ton). <https://portaldata.kkp.go.id/datainsight/produksi-ikan-budidaya/81/UDANG>. Diakses 10 Desember 2025.
- Rakhmawati., Marlina E., dan Warji. 2019. Efficacy dietary supplementation of banana peel meal on growth and cannibalism level of giant freshwater prawn (*Macrobranchium rosenbergii*). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 537.IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/537/1/012037.
- Rachmawati D., Hutabarat J., Fiat A.I., Elfitasari T., Windarto S., dan Dewi E.N.C.2021. Penambahan asam amino triptofan dalam pakan terhadap tingkat kanibalisme dan pertumbuhan *Litopenaeus vannamei*. *Jurnal Kelautan* (3):343-352.
- Ramdhani M.F., Salsabila S., Ratna M., Azizah S.I., Ryzkillah N.H., Syahrul A.A., dan Nurul E.P. 2023. *Teknik Budi daya Udang Vaname Skala Super Intensif*. Perpustakaan Universitas Negeri Makassar. 53 hlm.
- Romano N., and Zeng C. 2017. Cannibalism of decapod crustaceans and implications for their aquaculture: A review of its prevalence, influencing factors, and mitigating methods. *Reviews in fisheries science and aquaculture*. (25). 1: 42–69. <http://dx.doi.org/10.1080/23308249.2016.1221379>.
- Roy, L.A., Davis, D.A., Saoud, I.P., & Henry, R.P. 2010. Effects of varying levels of aqueous potassium and magnesium on survival, growth, and respiration of the pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters. *Aquaculture*, 262 (2-4). 461-469.
- Safitrah, L., D. N. A. Setyowati, dan B. H. Astriana. 2020. Efektivitas Ekstrak Kulit Pisang Kepok (*Musa balbisiana Colla*) untuk Menurunkan Kanibalisme pada Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal*

Kelautan: Indonesian *Journal of Marine Science and Technology*, 13(1): 36-44.

- Scabra A.R., Marzuki. M., dan Alhijrah M.A. 2023. Addition of Calcium Carbonate (CaCO₃) and Magnesium Sulfate (MgSO₄) to Vannamei Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Rearing Media in Fresh Water. *Jurnal Biologi Tropis*, 23 (1): 392 – 401.
- Steel, R. G. D. dan J. H. Torrie., 1993. *Prinsip dan Prosedur Statistika (Pendekatan Biometrik)*. Penerjemah B. Sumantri. Gramedia Pustaka. Utama, Jakarta. Principles and Procedures of Statistics (Biometric Approach). Translator B. Sumantri.
- Solihin, E. 2013. Udang putih (*Litopenaeus vannamei*) potensi besar, tahan penyakit, pertumbuhan cepat, peluang pasar sangat terbuka. *Antara News*, Maret 2013.
- Supono. 2017. *Teknologi Produksi Udang*. Plantaxia.Yogyakarta. 278 hlm.
- Supono., Putri I.S dan Munti S. 2022. Pengaruh penambahan mineral kalium (K) pada media kultur salinitas rendah terhadap performa udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Argoqua*. (20) :2.26-31.
- Supono., Lietha N dan Hilma P.F. 2023. Effect of different ratios of sodium and potassium on the growth and survival rate of pasific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) cultured in freshwater. *Journal AACL Bioflux*. (16): 1. 17-22.
- Syakirin M.B. 2018. Optimalisasi tingkat kerja osmotik dalam rangka Untuk meningkatkan produksi ikan kerapu cantang (*Epinephelus fuscoguttatus-lanceolatus*. (Disertasi). Universitas Doponegoro 126 hlm.
- Sharma K., Rachna G., Poonam., Sushma S. and Anju R. 2023. Effect of zinc concentration on the growth performance of white leg shrimp, *Litopenaeus vannamei* Boone,1931. *Journal of Applied Natural Science*.15(1). 289-296.
- Suguna T, 2020. Application of Minerals in Low Saline Water Culture Systems of *L. vannamei*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 9(9): 516-521.
- Tacon, A.G. 1987. *The Nutrition and Feeding of Farmed Fish and Shrimp-A Traning Mannual*. FAO of The United Nations, Brazil, 106 –109p
- Truong Ha H., Hines B.M., Emerenciano M.G., Blyth D., Berry S., Noble Tansyn H.N., Bourne A.,Wade N., Rombenso A.N., Simon C.J. 2022. Mineral

- nutrition in penaeid shrimp. Reviews in aquaculture. DOI: 10.1111/raq.12780. 1355-1373.
- Watanabe M., Hayasaki M., Tamayama and Shimada M. 1998. Histologic distribution of insulin and glucagon receptors. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 31: 243-256.
- Widodo A.F., Pantjara B., Adhiyudanto N.B dan Rachmansyah. 2011. Performansi fisiologis udang vaname, *litopenaeus vannamei* yang dipelihara pada media air tawar dengan aplikasi kalium. *Jurnal Riset Akuakultur* .Vol.6 No.2 Tahun 2011: 225-241
- WWF-Indonesia. 2015. Blue planet report. media@wwf.id. Diakses 10 Oktober 2024.
- Wang X., Erchao Li., Zhixin Xu., Tongyu Li., Chang Xu. and Liqiao Chen. 2017. Molecular response of carbohydrate metabolism to dietary carbohydrate and acute low salinity stres in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. (17): 153–169.
- Winarno, T., Supriatna, D., dan Mujatmoko. 2014. Panduan teknik budi daya udang *Litopenaeus vannamei*. PT. Wachyuni Mandira Aquaculture Division. 120 Hlm.
- Wedemeyer dan Yasutake . 1977. Clinical methods for the assessment of the effect of environmental stres on fish health. Technical Paper of The US Department of the Interior Fish and the Wildlife Service. (89): p18.
- Widigdo, B., Wiyoto., Ekasari J. and Isnansetyo A. 2019. Correlation of major mineral properties in brackish water ponds environment and Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* survival, growth and production. *Journal of Environmental Science and Technology*. 12(1):38-46.
- Wyban, J. A., dan Sweeney, J. 1991 *Intensif Shrimp Production Technology*. Honolulu, Hawaii, USA 96825. 79-99 p.
- Zonneveld, N., Huisman, E.A dan Boon. J.H. 1991. *Prinsip-Prinsip Budidaya Ikan*. PT. Gramedia Pustaka Umum. Jakarta. 432 hlm.
- Zhu B.A., Zhaohua W., Yesen Li., Hongwei S., Dapeng Liu a., Shipeng D., Hiaoye Han., dan Fang Wang. 2024. Morphological and structural analysis of *Penaeus vannamei* mandibles and an attempt at real-time cannibalism monitoring based on passive acoustics. *Aquaculture report journal*. P 1-8.
- Zhang X., Min Jin., Jiexiang Luo., Shichao Xie., Chen Guo., Tingting Zhu., Xiaoying Hu., Ye Yuan., and Qicun Zhou. 2022. Effects of dietary

carbohydrate levels on the growth and glucose metabolism of juvenile swimming crabs, *Portunus trituberculatus*. *Hindawi, Aquaculture Nutrition*, (15): 1-15 p.