

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembenihan ikan kakap putih telah berhasil dikembangkan di beberapa Balai Perikanan Budidaya Laut, seperti Ambon, Lampung, dan Batam. Namun, produksi masih menghadapi kendala berupa rendahnya sintasan larva yang dapat dicapai pada akhir pemeliharaan berkisar antara 20-30% (Balai Perikanan Budidaya Laut Ambon, 2019). Rendahnya sintasan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti lingkungan dan ketersediaan pakan. Menurut Pan et al. (2022); Kohno, (1998), salah satu penyebab utama rendahnya sintasan pada larva ikan kakap yaitu pada fase transisi dari penggunaan pakan endogen ke eksogen. Pada fase ini, pemberian pakan alami seperti *artemia* dan *rotifer* sering digunakan karena mengandung enzim pencernaan alami yang membantu mengurai senyawa kompleks menjadi bentuk sederhana. Meskipun demikian, ketergantungan terhadap pakan alami belum sepenuhnya mampu mengatasi kendala transisi tersebut, karena larva masih bergantung pada cadangan kuning telur endogen yang telah habis, sebelum mereka sepenuhnya dapat mencerna pakan eksogen.

Pakan alami yang umum diberikan pada larva ikan kakap putih adalah *rotifer* dan *artemia* (Giebichenstein et al. 2021). Namun, pakan buatan baru dapat diberikan ketika larva berumur 20-25 hari, saat sistem pencernaannya telah berkembang lebih sempurna (Balai perikanan Budidaya Air Payau Ambon, 2019). Ketergantungan terhadap pakan alami memiliki sejumlah kendala, seperti komposisi nutrisi yang belum seimbang, membutuhkan lahan yang luas untuk kultur pakan alami, serta biaya operasional yang tinggi (Giebichenstein et al. 2021). Selain itu, pakan alami rentan terhadap perubahan lingkungan dan kontaminasi oleh bakteri patogen yang dapat membahayakan larva (Haryati et al. 2016). Oleh sebab itu, diperlukan strategi untuk mempercepat transisi ke pakan buatan yang sesuai dengan kebutuhan larva ikan kakap putih.

Penggunaan pakan buatan pada fase awal pemeliharaan larva ikan kakap putih masih belum optimal karena sistem pencernaan belum mencapai fase definitif. Dimana pakan buatan memiliki potensi besar untuk disesuaikan dengan kebutuhan nutrisi spesifik larva. Penelitian Hardiyanti et al. (2016) menunjukkan bahwa pemberian pakan buatan dengan komposisi yang sesuai dapat menghasilkan pertumbuhan dan sintasan yang tinggi pada benih ikan kakap putih berumur 30 hari. Hal ini menunjukkan pentingnya pengembangan teknologi pakan buatan yang dapat digunakan lebih awal.

Perkembangan saluran pencernaan dan aktivitas enzim proteolitik larva ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) menunjukkan bahwa saluran pencernaan mulai sempurna pada umur 17 hari dengan pH lambung sudah menjadi asam (pH 5.0) dan peningkatan aktivitas enzim proteolitik yang tinggi (Walford dan Lam 1993). Selain itu aktivitas pepsinogen tinggi pada hari ke 18 berdasarkan metode molekuler dan pendekatan biokimia (Srichanun et al. 2013). Untuk memaksimalkan penyerapan nutrisi pakan larva ikan yang sistem pencernaannya masih berkembang, diperlukan pakan buatan dengan kandungan nutrisi yang dibutuhkan. Dengan demikian, pemberian pakan buatan yang telah melalui proses *predigest* dapat menjadi solusi untuk meningkatkan efisiensi pencernaan dan sintasan larva ikan kakap putih.



Merupakan proses penyederhanaan nutrisi kompleks dalam pakan menjadi melalui enzim eksogen atau mikroorganisme mix, sehingga mudah dicerna. Sistem pencernaannya belum sempurna. *Predigest* dapat dilakukan secara mekanis (dengan penambahan protease seperti papain) dan atau melalui mikroorganisme mix (*Bacillus* sp., *Rhizopus* sp., khamir/kapang) yang menghasilkan enzim

pencernaan eksogen (protease, amilase, lipase, selulase). Berbagai laporan menunjukkan *predigest* mampu menaikkan derajat hidrolisis protein, protein terlarut, kadar glukosa, dan kecernaan, serta mendukung pertumbuhan dan Sintasan pada beberapa spesies uji (Bakkara et al. 2015; Haryati et al. 2016; Rasdi, et al. 2021; Sunarwati et al. 2020). Namun belum ada kajian yang mengevaluasi efektivitas *predigest* berbasis mikroorganisme mix khusus pada larva ikan kakap putih, terutama terkait dosis dan lama waktu inkubasi yang menghasilkan kualitas pakan *predigest* terbaik serta waktu umur larva awal pemberian pakan *predigest* yang paling efektif.

Berdasarkan uraian di atas, penggunaan mikroorganisme mix ke dalam pakan dianggap dapat meningkatkan kecernaan pakan buatan yang akan diberikan terhadap larva ikan kakap putih. Oleh karena itu penelitian ini dianggap penting untuk dilakukan.

1.1.1. Predigest

Predigest adalah proses pra-pencernaan pakan melalui penggunaan enzim atau probiotik untuk menghidrolisis molekul kompleks seperti protein, karbohidrat, dan lemak menjadi bentuk yang lebih sederhana dan mudah dicerna oleh larva yang sistem pencernaannya masih berkembang (Nurfadilah et al. 2022; Pradani et al. 2023). Proses ini mengurangi beban kerja enzimatik pada sistem pencernaan larva, sehingga meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi dan mendukung pertumbuhan optimal (Ringø et al. 2020). Penelitian menunjukkan bahwa penerapan *predigest* dapat mengoptimalkan performa pertumbuhan dan kelangsungan hidup larva, dimana enzim *predigest* meningkatkan hidrolisis protein yang berperan penting dalam menyediakan energi dan bahan baku untuk sintesis jaringan (Ringø et al. 2020). Enzim pencernaan eksogen, seperti papain, untuk mengubah protein kompleks menjadi peptide dan asam amino yang lebih sederhana sehingga mudah dicerna oleh larva (Maryam et al. 2024; Rasdi et al. 2021). Pada fase larva, karena enzim endogen belum optimal, pemecahan protein melalui enzim eksogen meningkatkan ketersediaan nutrisi, mendukung penyerapan yang efisien, dan meningkatkan performa pertumbuhan (Maryam et al. 2024; Schneider dan Iazzari 2022). *Predigest* merupakan pendekatan strategis dalam formulasi pakan untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi pakan pada fase awal larva (Nurfadiah. et al. 2022).

Pada fase larva organisme akuakultur, perkembangan saluran pencernaan yang belum sempurna yang membutuhkan pakan yang telah *dipredigest*. *Predigest* pakan dilakukan dengan memanfaatkan enzim kasar pencernaan eksogen, baik yang diperoleh dari mikroba maupun enzim tumbuhan. Proses ini menghasilkan enzim seperti protease, amilase, lipase dan selulase. Enzim protease mengubah protein menjadi asam amino, amilase memecah karbohidrat kompleks seperti pati menjadi maltose , lipase mengkonversi lemak menjadi asam lemak dan gliserol, sedangkan selulase mengurai selulosa menjadi glukosa (Rasdi et al. 2021). Makna enzim yang merupakan protein fungsional yang mengkatalisis reaksi hidrolisis dalam sistem biologi yang berperan penting dalam mengatur perubahan kimiawi di dalam organisme (Maryam et al. 2024). Penerapan *predigest* melalui enzim pencernaan eksogen dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi mendukung pertumbuhan optimal larva, serta mengoptimalkan efisiensi pencernaan di tahap awal rearing.



predigest merupakan inovasi penting dalam mengatasi kendala pencernaan rearing pada organisme budidaya. Dengan menggunakan enzim pencernaan proses fermentasi, nutrisi kompleks seperti protein, karbohidrat, dan lemak menyawa yang lebih sederhana dan mudah diserap. Hal ini mengurangi beban pencernaan larva, yang secara alami memiliki kapasitas enzimatik terbatas, meningkatkan efisiensi penyerapan dan ketersediaan nutrisi. Selain mendukung

pertumbuhan awal, peningkatan bioavailabilitas nutrisi juga berkontribusi pada peningkatan kesehatan dan kekebalan tubuh larva, sekaligus menekan potensi stress dan gangguan metabolik. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan performa rearing tetapi juga berperan pada keberlanjutan produksi dengan mengoptimalkan penggunaan sumberdaya pakan (Siddik. 2024; Onomu dan Okuthe 2024).

Efektivitas hidrolisis pakan buatan untuk larva sangat dipengaruhi oleh konsentrasi probiotik, mikroorganisme dan enzim kasar, serta lama waktu inkubasi. Dosis *predigest* menentukan fase lag, kecepatan kolonisasi, dan puncak produksi enzim; terlalu rendah dosis yang diberikan kolonisasi lambat, terlalu tinggi dosis yang diberikan cepat menghasbiskan nutrient/oksigen dan dapat menurunkan kualitas nutrisi (Ming-zhu Ding et al. 2009). Waktu inkubasi dipilih untuk menangkap puncak aktivitas enzim dan senyawa terlarut sebelum terjadi *over* fermentasi (penurunan karena re-asimilasi peptide, penurunan pH berlebih, oksidasi lipid). Pada fermentasi *Bacillus* sp. puncak alkaline protease sering terjadi dalam waktu 24-36 jam (Sun et al. 2023). Peningkatan derajat hidrolisis nutrien, seperti karbohidrat, protein, dan lemak, terjadi ketika konsentrasi bahan *predigest* berada pada tingkat optimum, sehingga substrat dapat bersentuhan maksimal dengan katalisator biologi selama periode inkubasi yang tepat (Marwan et al. 2022). Selain itu, parameter lingkungan seperti kadar air, pH, suhu serta kecepatan pengadukan turut berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan aktivitas enzimatis dalam hidrolisis senyawa kompleks pada pakan dan bahan pakan (Zainuddin et al. 2022). Studi lain mengkonfirmasi bahwa variasi konsentrasi substrat dan waktu inkubasi secara signifikan mempengaruhi aktivitas enzim selulase, yang berimplikasi pada peningkatan ketersediaan nutrisi (Amri dan Adifa 2024). Hal ini sejalan dengan temuan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa pengaturan tepat dari parameter-parameter konsentrasi dan waktu inkubasi menghasilkan hidrolisis optimal, mendukung pertumbuhan larva dan keberlanjutan produksi budidaya (Wicaksono dan Winarti 2021).

1.1.2. Mikroorganisme Mix

Mikroorganisme ialah makhluk hidup yang berukuran mikro (kecil/renik) (Rahayu et al. 2024). Sel mikroorganisme berukuran mikroskopis yaitu dalam satuan micrometer ($1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}$). Struktur tubuh mikroorganisme tidak dapat dilihat secara langsung. Pada umumnya mikroorganisme termasuk kedalam makhluk hidup bersel satu atau monoseluler. Mikroba hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroorganisme kemudian dikelompokkan yaitu bakteri, fungi, protozoa (Chylen 2021).

Mikroorganisme mix terdiri atas bakteri, jamur, khamir, dan kapang yang menghasilkan enzim penting untuk memfermentasi bahan baku, sehingga dapat meningkatkan kandungan nutrisi pakan ikan (Aslamyiah et al. 2018). Kontribusi enzim dari mikroba dalam pakan menghasilkan dampak yang besar terhadap pencernaan bahan pakan, sehingga dapat meningkatkan kinerja pertumbuhan, mikroorganisme mix mengandung (*Bacillus* sp., *Aspergillus* sp., *Rhizopus* sp., *Sacharomyces* sp., dan *Lactobacillus* sp.)

Mikroorganisme mix akan memberikan sinergi untuk menghasilkan enzim pencernaan seperti amilase, protease, lipase dan selulase. Enzim-enzim tersebut bersama dengan enzim



lain akan melakukan proses pencernaan untuk mengkatalisis molekul-s dari pakan seperti karbohidrat, protein, dan lemak menjadi molekul siap diserap ke dalam sel tubuh. Disamping itu mikroorganisme mix juga memiliki enzim selulase yang melakukan penguraian serat dan memecah dinding sel tumbuhan nabati.

Adanya enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme dapat membantu mempercepat proses pencernaan dan penyerapan nutrisi ke dalam tubuh. Dari hasil penelitian Aslamyiah et al. (2022) menunjukkan bahwa campuran mikroorganisme dalam pakan, menghasilkan nutrisi yang dapat menjadi energi dan materi untuk pertumbuhan ikan bandeng. Pemberian probiotik dalam pakan akan berpengaruh terhadap kecepatan hidrolisis pakan dalam saluran pencernaan, sehingga akan sangat membantu proses penyerapan makanan dalam pencernaan ikan. Hidrolisis pakan mampu mengurai senyawa kompleks menjadi sederhana sehingga siap digunakan ikan, dan sejumlah mikroorganisme mampu mensintesis vitamin dan asam-asam amino yang dibutuhkan oleh hewan akuatik.

Penggunaan mikroorganisme mix untuk meningkatkan pertumbuhan didukung dengan dosis yang tepat dimana pada penelitian Aslamyiah et al. (2018) mengemukakan bahwa semakin tinggi dosis mikroorganisme mix pada fermentasi bahan baku pakan akan menghasilkan pertumbuhan yang semakin rendah, hal tersebut diduga karena jumlah koloni bakteri yang terlalu banyak akan menyebabkan bakteri cepat mengalami sporulasi (membentuk spora) sehingga fungsi dan aktivitasnya dalam proses fermentasi tidak optimal. Dosis mikroorganisme mix 10 mL/100 g bahan baku pakan memberikan pengaruh tertinggi terhadap laju pertumbuhan relative dan pertumbuhan biomassa disebabkan tingginya kandungan protein pakan. Penggunaan mikroorganisme mix dengan dosis 15% ampas tahu fermentasi dalam pakan menghasilkan rendemen tertinggi pencernaan protein, serat kasar dan karbohidrat sehingga dapat digunakan dalam formulasi pakan udang vannamei (Surianti et al. 2020). Pemanfaatan limbah industri pembuatan tahu dapat digunakan sebagai bahan pakan. Namun pemanfaatannya masih rendah karena serat kasar yang tinggi, pencernaan, asam amino yang rendah serta sifat yang cepat basi dan berbau, sehingga dilakukan fermentasi tepung ampas tahu dengan menggunakan mikroorganisme mix dengan konsentrasi 10 mL/100 g ampas tahu dan lama inkubasi 6 hari baik digunakan sebagai bahan baku pakan (Surianti et al. 2020).

1.1.3. Pemeliharaan Larva

Pemeliharaan larva ikan kakap dilakukan pada ruangan tertutup (indoor) hal ini dimaksudkan agar pemeliharaan larva dapat dikontrol, yang dapat meminimalisir perubahan lingkungan yang disebabkan oleh cuaca ekstrim (Supriyady et al. 2021). Pemeliharaan larva menggunakan wadah beton maupun bak fiberglass tank berdiameter 1,4 dan tinggi 0,8 m atau Rectangular concrete tank (5 x 2 x 1 m atau 2 x 1,5 x 1 m) sebelum dilakukan penebaran larva bak tersebut disuci hamakan terlebih dahulu guna menghilangkan bakteri patogen dengan menggunakan klorin dan kemudian dinetralkan dengan natrium tiosulfat. Setelah itu di keringkan selama 1 hari. Selain wadah peralatan lain yang digunakan dalam pemeliharaan larva. Bak diisi air laut yang telah diendapkan dalam bak penampungan dan diberi aerasi yaitu 1-2 titik/m². Pengisian air ini dilakukan 2-4 hari sebelum dilakukan penebaran sebanyak tiga per empat dari volume bak pemeliharaan. Penambahan fitoplankton yang digunakan berupa *Chlorella* sp maupun *Tetraselmis* sp. Penggunaan fitoplankton bukan merupakan hal yang penting atau opsional namun dengan menggunakan fitoplankton memiliki kelebihan yaitu dapat menekan kadar amoniak dalam wadah pemeliharaan, kepadatan yang baik untuk



10 sel/mL, sedangkan *tetraselmis* yaitu 5×10^4 sel/mL. Selain itu kedua itu dapat menjadi makanan bagi rotifer (Mayunar 1991)

larva dilakukan setelah telur menetas sempurna biasanya terjadi dalam 2-14 jam, dengan temperatur air antara 30-32°C (Supriyady et al. 2021),

1. Padat penebaran larva yang digunakan adalah 10-15 ekor/L. Kepadatan kakap putih dapat mempengaruhi pertumbuhan larva (Maiyana et al. 2023).

Setelah penebaran larva maka pemberian pakan merupakan suatu hal yang wajib dilakukan, karena pada fase larva merupakan masa kritis yang terjadi pada saat peralihan jenis makanan yang disebut fase endogenous dan eksogeneus yang berpotensi meningkatkan sifat kanibalisme pada larva (Kohno, 1998).

Larva yang dipelihara diberikan pakan alami maupun pakan buatan, sesuai dengan umur dan kemampuan larva untuk mencerna pakan yang diberikan. Pakan alami yang digunakan adalah fitoplankton jenis *Chlorella* sp. atau *nannochloropsis* sp diberikan pada umur D1-D30 dengan mempertahankan kepadatannya dalam bak 2-4 x 10⁵ sel/mL. Pemberian zooplankton juga diberikan dengan jenis *branchionus* sp, dan nauplii *artemia*. *Rotifer* mulai dimasukkan ke dalam wadah pada umur D2 pada sore hari dengan kepadatan 3-3 individu/ mL. Pemberian *rotifer* dengan cara menyaring *rotifer* dengan saringan berukuran mesh size 30 mikron dengan menggunakan serok. dan disebar pada titik aerasi dalam bak larva. Pada larva umur D7-D15 diberikan rotifer dengan kepadatan 5-10 individu/mL disaring dengan menggunakan saringan mesh size 40 mikron. Pemberian pakan dilakukan 3 kali sehari yaitu pagi, siang dan sore hari. Pada larva berumur D16-D30 diberikan pakan nauplii *artemia* dan pakan buatan dengan kepadatan *artemia* 0,1-3 individu/mL. Pakan buatan mulai diberikan pada larva umur D16 dikombinasikan dengan pakan alami (Mayunar, 1991).

Pengelolaan kualitas air larva ikan kakap putih pada umur 0-9 hari tidak dilakukan pergantian air, setelah memasuki umur D10 hari maka pergantian air dilakukan sebesar 5-10% dan terus meningkat seiring bertambahnya umur larva. Pada umur D15 dilakukan penyiponan sisa-sisa pakan, feses dan kotoran lainnya dari dasar bak. Pada umur D 15 ke atas pergantian air dilakukan sebesar 50-60% (Supriyady et al. 2021). Pergantian air dilakukan secara bertahap dan sedikit demi sedikit dengan cara mengalirkan air bersih. Air sebagai media pemeliharaan larva yang bebas dari pencemaran dengan suhu 20-28 °C dan salinitas 29-32 ppt dimasukkan kedalam bak dengan cara disaring menggunakan penyaring pasir atau kain penyaring untuk menghindari kotoran yang terbawa air laut (WWF, 2015).

1.1.4. Perkembangan Larva Ikan Kakap Putih

Larva ikan kakap putih biasa disebut dengan nama larva kebul, merupakan benih ikan kakap yang baru menetas yang berukuran 1,5-2,0 mm dengan sebuah kantung kuning telur dan gelembung minyak pada bagian depannya. Kuning telur itu volume yang lebih besar saat menetas digunakan lebih efisien dan bertahan lama yang menguntungkan bagi larva. Disisi lain, gumpalan minyak memberi daya apung serta energi (Kohno, 1998). Tubuh larva langsung, berwarna pucat, mata, anus dan sirip ekornya sudah kelihatan dan mulutnya masih tertutup. Larva ikan kakap cenderung berada di permukaan air yang membentuk sudut 45-90 derajat di dalam bak-bak pemeliharaan (Berian et al. 2013), mulut mulai membuka pada umur 3 hari dan siap untuk memakan makanan tambahan dari luar samapai umur 7 hari masih berwarna pucat dan berangsur-angsur berubah dan setelah umur 19-20 hari terjadi metamorfosa yaitu berwarna gelap dengan garis-garis tegak pada bagian tubuh tertentu, Selanjutnya diumur 20 hari warnanya berubah menjadi kecoklatan dan garis-garis tegaknya kelihatan jelas sebanyak 3 buah (1 pada pangkal ekor, 1 antara sirip punggung yang lunak dan 1 lagi diatas kepala) (Mayunar, 1991).



baru menetas dengan umur D1 belum aktif mencari makan karena masih n makanan berupa kuning telur (egg yolk). Nutrisi endogen pada ikan kakap 998). D2 kuning telur mulai terserap. D3 larva membutuhkan makanan dari uning telur sudah terserap habis oleh larva, menurut Kohno, (1998). Awal makan pada waktu 54,5 jam setelah menetas, lebih awal memberi makan ntian yang mulus dari nutrisi endogen ke eksogen, habisnya endogen nutrisi

pada 90,5 jam (Kohno, 1998). Mulai memasuki fase kritis yaitu pada larva yang berumur D4 dapat dicegah dengan overlapping atau penyesuaian sekaligus pergantian pakan pada larva, overlapping dilakukan ketika larva berumur D4-D30, fase dimana cadangan makanan berupa kuning telur sudah mulai habis dan mulai dengan pengenalan pakan alami berupa rotifer (Supriyady et al. 2021).

Dalam perkembangan larva ikan kakap putih terdapat beberapa fase kritis yang terbagi menjadi empat fase yaitu:

1. Fase kritis I: umur 3-5 hari, cadangan makanan berupa kuning telur terserap (terabsorpsi) habis, sedangkan bukaan mulutnya masih terlalu kecil untuk rotifer dan organ pencernaan belum berkembang sempurna sehingga tidak dapat dimanfaatkan pakan yang tersedia.
2. Fase kritis II: Umur 6-10 hari, yaitu ketika spina mulai tumbuh. Pada fase ini larva sudah mulai membutuhkan nutrisi yang berbeda sedangkan pakan yang diberikan jenisnya masih sama dengan fase sebelumnya.
3. Fase kritis III: Umur lebih dari 15 hari, sifat kanibalisme sudah mulai tampak, dimana benih besar memangsa yang lebih kecil.

1.1.5. Perkembangan Saluran Pencernaan

Perkembangan saluran pencernaan pada ikan kakap putih selama 1-30 hari. Mulai dari D1, TL 2,20 mm sebageian besar yolksac telah diserap, tetapi mulutnya belum terbuka dan saluran pencernaannya berupa tabung lurus, D2 TL 2,52 mm hampir merata diserap sepenuhnya. Mulut terbuka; makan telah dimulai dan rotifera tertelan dapat dilihat pada saluran pencernaan larva di posterior globul minyak. Isi perut katup tino-rektal terlihat. Sedikit perubahan morfologi usus D4 TL 2,80 mm gumpalan minyak masih terlihat, bagian anterior usus median dan daerah dubur menjadi lebih besar dengan perkembangan yang jelas membuka katup usus-rektal yang memisah. Gumpalan minyak hampir pecah muncul pada hari ke lima dan, D6 beberapa penggulangan usus dapat diamati. Larva D8 TL 6,08 mm memiliki usus yang benar-benar melingkar dengan bagian anterior melebar ke dalam kantong tebal. D11 kantong ini sudah mulai berubah menjadi perut. D13 TL 11,04 mm penyempitan pilorus dan caeca tunas morfologi tabung pencernaan dan perkembangan lambung, sfinter pilorus, dan caeca hampir lengkap. D15 TL 11,50 mm perut telah berasumsi bentuk definitifnya. Bagian jantung lambung bergabung dengan pori pilorus pada sudut yang tajam dan memberikan karakteristik bentuk runcing ke perut. Perut yang runcing dapat dilihat dengan jelas. D17 TL 12,32 mm pencernaan mengalami perubahan. Pertambahan usia perut membesar dan caeca terus berkembang. D30 TL 22,54 mm bentuk perut dan caeca pada dasarnya tidak berubah pada juvenile sampai hari ke 80 (Walford dan Lam 1993).

Berdasarkan pengamatan oleh Walford dan Lam (1993), perkembangan organ pencernaan pada larva ikan kakap putih berlangsung hingga 14 hari setelah menetas. Organ-organ saluran pencernaan yang berkembang meliputi rongga bukal, kerongkongan (oesophagus), lambung, Sfinter pilorus (pyloric sphincter), usus, dan usus posterior. Perkembangannya dimulai dari rongga bukal, kemudian ke oesophagus, dilanjutkan ke lambung yang pada tahap awal masih kecil, dan ke usus yang mulai menunjukkan struktur



usus memperhatikan diferensiasi, yang ditandai dengan banyaknya mikrovili internal membentuk brush border untuk memperluas area absorpsi nutrisi. Di dalam usus antero-median, terdapat penyempitan yang membentuk sfinter menunjukkan perkembangan baik. Lipatan-Lipatan epitel juga muncul di usus antero-median, serta terlihat di bagian dubur yang dipisahkan oleh katup

usus-rektal dari usus antero median. Struktur ini penting dalam mendukung fungsi pencernaan dan penyerapan nutrisi pada larva ikan kakap putih.

Lambung, usus antero median, dan daerah dubur merupakan tiga bagian saluran pencernaan yang secara histologi memiliki perbedaan struktur. pada hari ke 6 setelah menetas, epitel bagian anterior tabung pencernaan yang diduga merupakan bakal lambung menunjukkan permukaan luminal sel epitel dengan proyeksi sitoplasma tidak teratur. Hal ini sangat berbeda dibandingkan dengan sel epitel penyerap di usus yang sudah memiliki mikrovili berkembang dengan baik. Wilayah usus terbagi menjadi usus antero-median dan rektum, yang dipisah oleh katup usus rektal. Sel epitel pada kedua bagian ini memiliki banyak mikrovili. Namun pada sel epitel rektum terdepan invaginasi pinositotik di dasar mikrovili yang menunjukkan aktivitas pinositosis aktif. Sel-sel ini juga mengandung banyak viskel pinositik dan vakuola besar di daerah supranuklear yang menyatu dan mengandung bahan padat berwarna gelap di bawah mikroskop elektron. Permukaan luminal epitel daerah dubur hari ke 14 setelah menetas, menunjukkan aktivitas pinositosis yang banyak invaginasi dan visikal pinositik di daerah mikrovili. ciri-ciri ini menunjukkan bahwa proses penyerapan nutrient pada larva ikan kakap putih berlangsung aktif, terutama di bagian akhir saluran pencernaan. Bagang perkembangan saluran pencernaan pada larva ikan dapat dilihat pada gambar 1.

Perkembangan Sistem Pencernaan pada Larva Kakap Putih



Gambar 1. Perkembangan sistem pencernaan larva ikan kakap putih

1.1.6. Enzim Pencernaan

Enzim adalah katalisator biologi dalam reaksi kimia yang dibutuhkan dalam kehidupan. Bahan utama enzim berupa protein yang disintesis di dalam sel dan dikeluarkan dari sel yang terbentuk melalui proses eksositosis (Lodish et al. 2000) menerangkan bahwa Enzim yang disekresi di luar sel (di dalam rongga pencernaan) atau disebut extracellular digestion, sedangkan enzim yang dipertahankan di dalam sel digunakan untuk pencernaan di dalam sel itu sendiri atau disebut intracellular digestion.



osa lambung, pilorik, kaeka, pankreas, dan mukosa usus merupakan rongga mensekresi enzim pencernaan. Perkembangan sistem pencernaan erat perkembangan aktivitas enzim dalam rongga saluran pencernaan (Walford Enzim berperan sebagai katalisator dalam menghidrolisis protein, lemak, menjadi bahan yang lebih sederhana. Sel-sel mukosa lambung menghasilkan

enzim protease dengan suatu aktivitas proteolitik optimal pada pH asam. Pilonik kaeka yang merupakan perpanjangan usus yang utamanya mensekresikan enzim yang sama seperti yang dihasilkan pada bagian usus, yaitu enzim pencernaan protein, lemak, dan karbohidrat yang aktif pada pH netral dan sedikit basa. Cairan pankreas kaya akan tripsin, yaitu protease yang aktivitasnya optimal sedikit alkalis, Selain itu cairan ini juga mengandung amilase, maltase, dan lipase.

Aktivitas enzim pencernaan adalah suatu indikator yang baik untuk menentukan kapasitas pencernaan. Aktivitas enzim yang tinggi secara fisiologis mengindikasikan bahwa larva siap untuk memproses pakan dari luar (Sagiv, 2001). Aktivitas enzim pencernaan meningkat dengan meningkatnya umur larva. Peningkatan ini disebabkan oleh semakin sempurnanya organ penghasil enzim. Ketersediaan enzim menyesuaikan dengan kebiasaan makan dari ikan jadi terdapat beberapa enzim akan mengalami penurunan (Rønnestad et al. 2013). Dimana evaluasi yang dilakukan (Walford and Lam, 1993) pada larva ikan kakap menunjukkan aktivitas enzim pencernaan meningkat bersamaan dengan perkembangan organ pencernaan. Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh Haryati (2002), terdapat keterkaitan erat antara aktivitas enzim pencernaan dengan perkembangan struktur organ pencernaan pada larva ikan bandeng.

Enzim endogen yang disekresi sangat sedikit pada saat struktur anatomis dan histologi alat pencernaan belum sempurna. Tercermin oleh aktivitas enzim pepsin, tripsin, α -amilase dan lipase yang sangat rendah. Struktur anatomis organ pencernaan semakin sempurna hingga mencapai fase definitif dengan penambahan umur larva. Setelah mencapai bentuk definitif, produksi enzim pencernaan sudah cukup tinggi sehingga ikan mampu mencerna pakan yang tidak mengandung enzim. Peningkatan aktivitas enzim protease dan lipase dipengaruhi oleh adanya makanan yang dimakan larva, sehingga memberikan kontribusi terhadap aktivitas enzim endogenous. Menurut Handayani et al. (2008), perubahan kadar protein, karbohidrat dan lemak pakan berpengaruh signifikan terhadap pola aktivitas enzim-enzim pencernaan seperti protease, amilase dan lipase pada ikan gurame. Aktivitas ketiga enzim ini akan meningkat seiring dengan meningkatnya substrat nutrisi dalam pakan yang diberikan, mencerminkan respon adaptif sistem pencernaan ikan gurami terhadap perubahan komposisi pakan. Peningkatan aktivitas enzim dan meningkatnya peran pakan alami yang merupakan sumber energi eksogen sejalan dengan menyusutnya kuning telur.

Aktivitas enzim pencernaan pada larva ikan kakap telah terdeteksi dari awal menetas yaitu aktivitas enzim tripsin yang tinggi (6,0 unit/mg protein). Pada awal perkembangan larva ikan kakap putih memiliki kuning telur dan butiran minyak. Kantong kuning telur tersebut memiliki kemampuan mencerna protein, lemak dan karbohidrat, tetapi mengalami penurunan menjadi 1,2 unit/mg protein pada hari ke 8, dan kembali meningkat pada hari ke 17 (5,0 unit/mg protein). Aktivitas enzim tipe tripsin menurun setelah hari ke 17 walaupun pH dalam saluran pencernaan tetap basa. Pada hari ke 22, aktivitas enzim tipe tripsin telah turun hingga 2,3 unit/mg protein dan tidak terdeteksi pada hari ke-30. Aktivitas enzim tipe pepsin rendah setelah menetas (3,8 unit/mg protein), tidak menunjukkan peningkatan di hari ke 8, tetapi mengalami peningkatan pada hari ke 17 menjadi 27,2 unit/mg protein dengan kadar pH lambung turun dari pH 7,7 dihari ke 8 menjadi pH 5 pada hari ke 17. Aktivitas enzim pepsin dari hari ke 17 dan hari ke 30 menjadi 85,2 unit/mg protein seiring dengan lambung menjadi lebih asam (pH 3,2). Kultur rotifer dengan ragi roti, sebagai aktivitas enzim tripsin menunjukkan 28,6 unit/mg protein, yang tinggi aktivitas hormon dari larva dan juvenile ikan kakap putih. Namun aktivitas enzim tripsin menunjukkan 2,7 unit/mg protein sedikit lebih rendah dari aktivitas yang terdeteksi pada ikan kakap di hari ke 8 (Walford dan Lam, 1993).



1.1.7. Aktivitas Enzim Pencernaan

Aktivitas enzim pencernaan secara umum bervariasi menurut umur ikan, faktor fisiologis dan musim (Hepher, 1998). Aktivitas enzim pencernaan adalah suatu indikator yang baik untuk menentukan kapasitas pencernaan. Aktivitas enzim yang tinggi secara fisiologis mengindikasikan bahwa larva siap untuk memproses pakan dari luar yang menjadi awal pemberian pakan buatan pada berbagai jenis ikan (Melianawati dan Pratiwi 2022; Srichanun et al. 2013). Aktivitas enzim pencernaan meningkat dengan meningkatnya umur larva. Peningkatan ini disebabkan oleh semakin sempurnanya organ penghasil enzim.

Enzim protease merupakan enzim yang berperan dalam proses pencernaan protein dalam tubuh. Protein pakan tidak langsung diserap oleh tubuh ikan tetapi didegradasi terlebih dahulu oleh enzim protease menjadi asam amino atau peptide selanjutnya diserap tubuh. Proses degradasi protein ini terjadi di lambung dan usus, sementara penyerapan makanan terjadi di usus (Fujaya, 2004). Aktivitas enzim protease ditentukan oleh sifat substrat (protein) dan jenis enzim protease maupun kondisi lingkungan dimana reaksi enzimatis terjadi. Sifat enzim protease dapat berbeda tergantung organisme yang menghasilkannya. Sebagai contoh ikan karnivora cenderung memiliki aktivitas enzim protease yang lebih tinggi dibanding ikan herbivora. Selain itu faktor lain yang perlu diperhatikan dalam analisis enzim protease yaitu keseragaman ukuran, asal ikan dan kondisi pemeliharaan, serta jenis pakan yang diberikan (Yamin et al. 2008).

Interaksi antara protein pakan dengan ekspresi protease kemungkinan disebabkan karena produksi protease dilakukan oleh enzim-enzim regulatorik. Enzim ini tidak aktif secara terus menerus tetapi dipengaruhi oleh adanya aktivator dan inhibitor, yang biasanya berupa substrat. Dalam hal ini substrat protein berperan sebagai aktivator. Semakin tinggi kadar protein dalam pakan maka produksi enzim protease akan meningkat dan sebaliknya akan menurun disaat substrat berkurang.

Enzim amilase merupakan enzim yang menghidrolisis karbohidrat menjadi bentuk yang paling sederhana yang terdiri dari zat molekul gula sederhana. Namun terdapat beberapa karbohidrat yang merupakan polimer yang tersusun dari molekul gula yang terangkai menjadi rantai panjang serta bercabang. Molekul karbohidrat paling sederhana disebut monosakarida dan yang terikat dinamakan disakarida. Sementara yang mengandung tiga monosakarida yang terikat dinamakan trisakarida dan yang merupakan rantai panjang yang tersusun dari banyak monosakarida dinamakan polisakarida. Amilase secara bertahap akan menghidrolisis polisakarida menjadi monosakarida yang siap untuk diserap tubuh. Pada ikan enzim ini terdapat di dalam lambung, pankreas dan intestine (Dorit et al. 1991).

1.1.8. Pertumbuhan

Pertumbuhan merupakan pertambahan panjang atau berat dalam suatu waktu pemeliharaan. Pertumbuhan terjadi apabila terdapat kelebihan input energi dan asam amino (protein) yang berasal dari makanan. Bahan yang berasal dari makanan akan digunakan tubuh untuk metabolisme, pergerakan, penyusunan tubuh dan mengganti sel-sel rusak. Kelebihan energi dari keperluan tersebut akan menyusun sel baru sebagai pertumbuhan. Menurut Effendi, (2002) pertumbuhan dipengaruhi oleh faktor dalam dan luar. Faktor dalam yang tidak dapat dikontrol seperti keturunan, jenis kelamin, umur dan ukuran faktor luar yang utama yang mempengaruhi pertumbuhan adalah lingkungan perairan. Kebanyakan penelitian pertumbuhan pada ikan kakap dipengaruhi oleh makanan, dan lingkungan, serta aplikasi *predigest* juga dapat meningkatkan pertumbuhan pada beberapa organisme budidaya.



Makanan merupakan hal yang mendukung pertumbuhan pada larva ikan kakap putih, dari beberapa penelitian yang telah dilakukan penambahan bahan pakan menjadi salah satu cara dalam meningkatkan nilai nutrisi pakan dengan profil asam lemak dan asam amino yang lengkap dapat menghasilkan pertumbuhan benih ikan kakap. Penambahan rotifer yang diberi nutrisi *brine shrimp* memberikan pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan pakan yang tidak ada penambahan nutrisi di dalamnya, (Rimmer et al. 1994). Penelitian dengan kombinasi bahan pakan campuran tepung ikan dan tepung cumi-cumi menunjukkan pertumbuhan yang lebih tinggi, dibandingkan pakan dengan campuran tepung kerang (Nankervis dan Southgate, 2006). Pengkayaan kobal dan *artemia* mendukung pertumbuhan pada larva ikan kakap putih (Fehér et al. 2013). Pengkayaan *artemia* dengan selenium organik (Se) meningkatkan kandungan n-3 HUFA dan DHA larva yang menghasilkan pertumbuhan tertinggi, (Hung et al. 2022).

Faktor lingkungan juga mempengaruhi larva ikan kakap, perubahan lingkungan dapat berpengaruh terhadap kondisi fisiologi larva ikan kakap. Beberapa penelitian menunjukkan hubungan lingkungan dengan pertumbuhan. Suhu merupakan salah satu aspek lingkungan yang berpengaruh dalam pemeliharaan larva perubahan suhu akan berpengaruh terhadap pertumbuhan larva dimana dalam penelitian (Kartika et al. 2022) pertumbuhan tertinggi di dapatkan pada pemeliharaan dengan suhu 32 °C. Selain itu salinitas juga berpengaruh terhadap pertumbuhan ikan kakap. Menurut Ul et al. (2021) merekomendasikan salinitas 20 samapi 30 ppt memberikan pertumbuhan yang optimal dalam budidaya ikan kakap putih.

Penelitian pakan *predigest* dapat meningkatkan pertumbuhan pada larva, dimana pakan yang diberikan *predigest*, mengalami hidrolisis menjadikan senyawa-senyawa lebih sederhana yang dapat diserap oleh tubuh ikan. Penggunaan enzim kasar yang disekresi mikroba *carnobacterium* sp, *vibrio alginolyticus* dan *planococcus* sp sebagai *predigest* pakan dapat meningkatkan pertumbuhan mutlak dan relatif larva ikan bandeng dengan penggunaan pakan buatan pada umur larva 12 hari (Aslamyiah, 2006). Peningkatan pertumbuhan juga dihasilkan oleh benih ikan nila dengan menggunakan bakteri probiotik A1 dalam pakan buatan hasil yang di dapatkan oleh (Mulyasari et al. 2013). Hal yang sama juga didapatkan (Rasdi et al. 2021) dengan menggunakan enzim papain dosisi 3 % pada pakan menghasilkan laju pertumbuhan tertinggi larva ikan kakap putih.

1.1.9. Sintasan

Sintasan atau biasa disebut dengan tingkat kelangsungan hidup adalah jumlah ikan yang hidup dalam suatu siklus pemeliharaan. Tingkat kelangsungan hidup dalam produksi benih ikan kakap masih menjadi kendala utama. Berdasarkan dari beberapa penelitian yang dilaporkan yaitu pada penelitian Rayes (2013), dengan perlakuan salinitas berbeda memperlihatkan kelangsungan hidup tertinggi larva ikan kakap putih dibawah 60%. Persentase sintasan larva ikan kakap putih yang rendah dengan kisaran 20% diperoleh Nurmasiyah (2018) pada penelitian dengan perlakuan pemberian pakan alami yang berbeda. Penelitian terbaru (Supryady et al. 2021) menunjukkan tingkat kelangsungan larva ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) tertinggi 43%.

Tingkat kelangsungan hidup benih ikan kakap putih yang rendah disebabkan oleh Faktor



Faktor dalam meliputi genetik, umur dan jenis, sedangkan faktor luar dipengaruhi lingkungan, kepadatan dan ketersediaan pakan. Perubahan itu mempengaruhi kelangsungan hidup ikan kakap putih, Seperti yang artika et al. (2022) suhu mempengaruhi tingkat kelangsungan hidup larva dengan hasil terbaik yang diperoleh 28,67% pada suhu 32°C yang dipelihara selain itu kepadatan juga mempengaruhi tingkat kelangsungan hidup larva

ikan kakap putih dimana pada penelitian Yunus (2017) memperoleh tingkat kelangsungan hidup ikan kakap putih tertinggi pada padat penebaran terendah yaitu 10 ind/L dengan tingkat kelangsungan hidup $76,67 \pm 5.77\%$ yang dipelihara selama 12 hari, begitu juga pada pemeliharaan selama 30 hari padat penebaran 10 ind/L menunjukkan tingkat kelangsungan hidup $93.67 \pm 2.84\%$. Hal tersebut berhubungan dengan sifat kanibalisme dan terjadinya persaingan dalam mengambil pakan pada padat penebaran yang tinggi. Meningkatnya kompetisi dalam konsumsi makanan, heterogenitas ukuran dan mengakibatkan insiden kanibalisme lengkap. Begitu kanibalisme lengkap dimulai, ia menjadi permanen selama tahap juvenil, karena heterogenitas ukuran merupakan penyebab sekaligus konsekuensi kanibalisme (Ribeiro et al. 2013). Kanibalisme juga berhubungan dengan Ketersediaan pakan. Menurut Kohno, (1998), ketersediaan pakan pada awal periode makan merupakan hal penting untuk keberhasilan pemeliharaan larva ikan kakap dengan alat pencernaan yang belum sempurna setelah penetasan, sehingga periode makan awal dan pola resorpsi nutrisi endogen yang berperan terhadap kelangsungan hidup larva tahap awal dan mungurangi kanibalisme.

Kanibalisme juga dapat terjadi akibat starvation (kelaparan) pada ikan (Dou et al. 2000). Starvation atau kelaparan pada ikan terjadi akibat kurangnya nutrisi serta kebutuhan nutrisi yang berbeda pada masing-masing individu larva ikan. Oleh karena itu peningkatan jumlah dan kualitas nutrisi pakan bisa menjadi metode alternative untuk membatasi perilaku kanibalistik dalam kelompok ikan khususnya larva ikan. Selain itu waktu tepat dalam pemberian pakan dengan kebutuhan nutrisi perlu diperhatikan. Pada larva umumnya waktu tersebut terjadi pada saat transisi dari peralihan pakan alami ke pakan buatan, dimana waktu tersebut juga merupakan fase yang kritis bagi pertumbuhan dan kelulushidupan (sintasan) ikan pada stadia larva. Tidak jarang pada fase ini larva ikan sering kali mengalami kematian masal karena prosesnya kurang diperhatikan (Prasetyo et al. 2020).

1.2. Rumusan Masalah

Pemanfaatan pakan buatan pada stadia awal kehidupan larva ikan kakap putih terkendala oleh belum sempurnanya organ pencernaan, sehingga belum menghasilkan enzim untuk mencerna nutrient dalam bentuk molekul kompleks. Upaya yang dapat dilakukan untuk mempercepat penggunaan pakan buatan dengan *predigest* pakan.

Predigest merupakan salah satu upaya menyederhanakan pakan sehingga dapat mempercepat penggunaan pakan buatan pada stadia larva. Penyederhanaan pakan buatan dapat dilakukan dengan bantuan mikroorganisme mix. Aslamyiah et al. (2018) melaporkan penyederhanaan nutrient pakan dengan mikroorganisme mix terdiri atas bakteri, jamur, khamir, dan kapang, yang dapat menghasilkan enzim pencernaan eksogen yang membantu memecah nutrient kompleks menjadi sederhana sehingga meningkatkan kecernaan pakan buatan. Aplikasi mikroorganisme mix pada *predigest* pakan buatan untuk larva sangat ditentukan oleh dosis dan periode inkubasi. Hal ini sangat berhubungan dengan mikronutrien yang dihasilkan.

Keberhasilan pakan buatan *predigest* sangat ditentukan waktu pemberiannya pada umur larva yang tepat, selaras dengan pematangan saluran cerna menuju fase definitif. Waktu pemberian dengan perkembangan tersebut akan mempercepat proses pencernaan, meningkatkan ketercernaan, dan memaksimalkan sintasan serta

Uraian di atas dapat dirumuskan masalah penelitian sebagai berikut:



1. Berapa dosis dan lama waktu inkubasi mikroorganisme mix yang menghasilkan kualitas pakan *predigest* ditinjau dari derajat hidrolisis protein, karbohidrat, lemak, protein terlarut, dan Kadar glukosa. Terbaik.
2. Kapan umur larva ikan kakap putih yang tepat diberikan pakan buatan hasil predigest dengan mikroorganisme mix untuk menghasilkan pertumbuhan, sintasan, dan aktivitas enzim larva ikan kakap putih terbaik

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan dosis dan lama waktu inkubasi mikroorganisme mix yang tepat untuk pakan predigest yang menghasilkan derajat hidrolisis protein, derajat hidrolisis karbohidrat dan derajat hidrolisis lemak, protein terlarut, kadar glukosa, serta kualitas pakan buatan terbaik untuk larva ikan kakap putih.
2. Menentukan waktu terbaik awal pemberian pakan buatan *predigest* terhadap pertumbuhan, sintasan, dan aktivitas enzim pencernaan larva ikan kakap putih.

1.4. Hipotesis Penelitian

Adapun hipotesis penelitian yang dilakukan, yaitu sebagai berikut:

1. Jika variasi dosis mikroorganisme mix predigest pakan buatan dengan lama waktu inkubasi yang tepat. Maka mampu meningkatkan derajat hidrolisis protein, lemak, karbohidrat, protein terlarut, dan Kadar glukosa pakan predigest larva ikan kakap putih terbaik.
2. Jika umur awal pemberian pakan predigest Mikroorganisme mix yang tepat akan menghasilkan pertumbuhan, sintasan, dan aktivitas enzim pencernaan larva ikan kakap putih. Maka akan menghasilkan pertumbuhan, sintasan dan aktivitas enzim larva ikan kakap putih yang terbaik.

1.5. Manfaat Penelitian

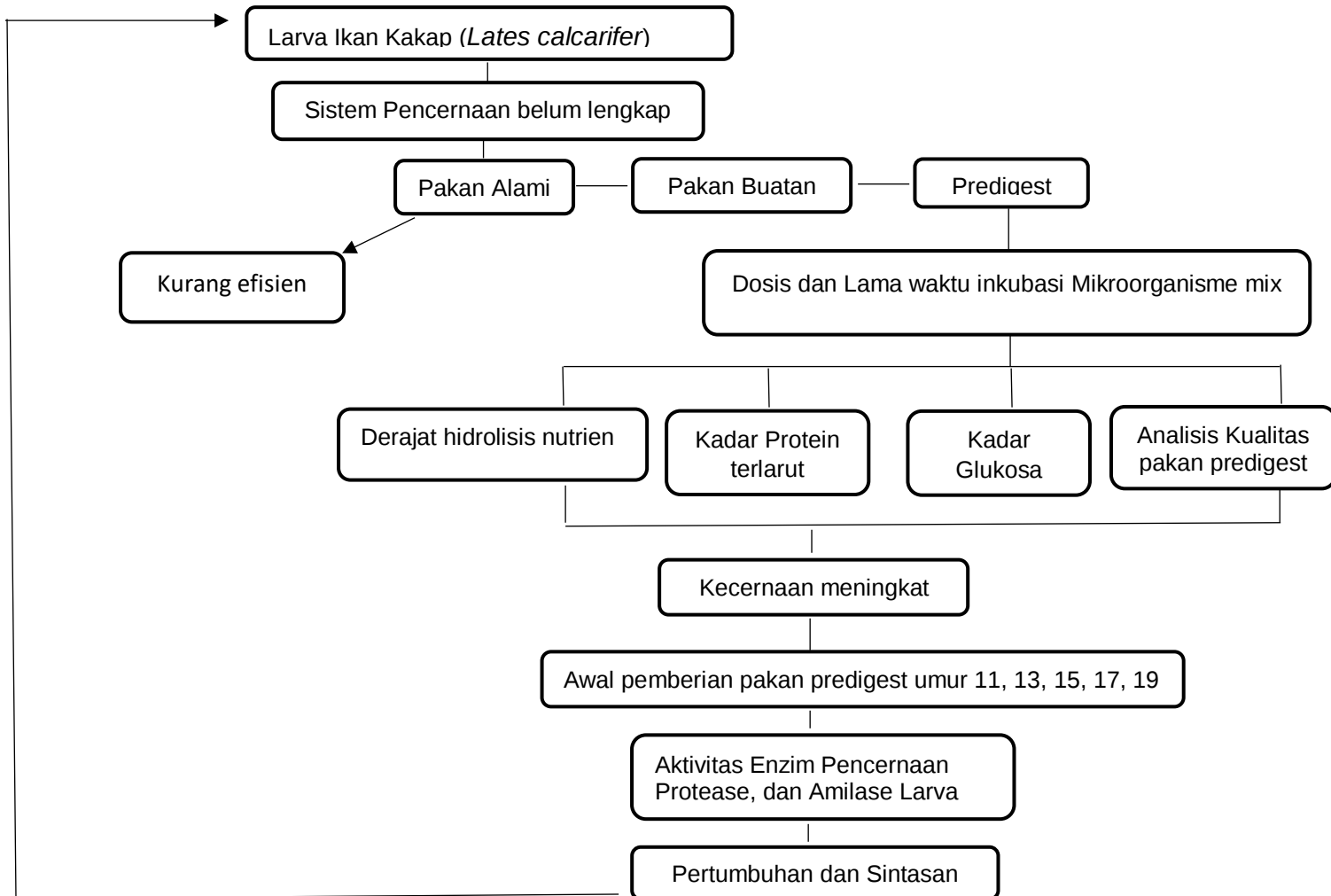
Manfaat dari penelitian yang dilaksanakan ini, yaitu:

1. Menjadi dasar pengembangan teknologi pakan alternatif yang lebih efisien dan dapat diaplikasikan sejak fase larva awal kakap putih, sehingga mengurangi ketergantungan pada pakan alami (*rotifer*, *artemia*).
2. Memberikan rekomendasi protokol praktis terkait dosis, lama waktu inkubasi, serta umur awal pemberian pakan predigest untuk meningkatkan pertumbuhan, sintasan, dan efisiensi pemeliharaan larva ikan kakap putih.



1.6. Kerangka Pikir

Kerangka Pikir penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Kerangka Pikir penelitian

1.7. Novelty

Novelty yang dihasilkan dari penelitian ini, yaitu:

1. Menghasilkan prosedur optimum dosis dan lama waktu inkubasi mikroorganisme mix yang meningkatkan mutu pakan predigest, derajat hidrolisis, protein terlarut dan kadar glukosa meningkat.
2. Menentukan rentang umur paling efektif untuk introduksi pakan predigest yang terbukti meningkatkan kinerja pemeliharaan pertumbuhan, sintasan dan aktivitas enzim pencernaan larva ikan kakap putih. Hasil ini memberikan panduan waktu yang praktis bagi hatchery untuk mempercepat transisi pakan.



BAB II. Peningkatan Kualitas Pakan Buatan untuk Ikan Kakap Putih (*Lates calcarifer*) melalui Mikroorganisme mix sebagai Agen *Predigest*: Efek pada Derajat Hidrolisis, Protein Terlarut, dan Kandungan Glukosa.

2.1. Abstrak

Larva ikan kakap putih pada fase awal kehidupan, perkembangan organ pencernaan belum sempurna, yang masih sulit mencerna pakan buatan. *Predigest* dengan menggunakan mikroorganisme mix yang terdiri dari (*Bacillus* sp., *Aspergillus* sp., *Rhizopus* sp., *Sacharomyces* sp., dan *Lactobacillus* sp.) dapat membantu larva memanfaatkan pakan buatan yang diberikan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dosis dan lama waktu inkubasi mikroorganisme mix yang tepat untuk pakan *predigest* yang menghasilkan derajat hidrolisis protein, derajat hidrolisis karbohidrat dan derajat hidrolisis lemak, protein terlarut, kadar glukosa, serta kualitas pakan buatan terbaik untuk larva ikan kakap putih. Rancangan percobaan yang digunakan adalah pola faktorial dengan rancangan dasar acak lengkap (RAL) Faktor 1 adalah dosis mikroorganisme mix dengan 3 taraf, yaitu 5, 10, dan 15 mL/kg. Faktor 2 adalah lama waktu inkubasi dengan 4 taraf, yaitu 6,12,18, dan 24 jam. Dengan demikian terdapat 12 kombinasi perlakuan dosis mikroorganisme mix dan lama waktu inkubasi masing-masing perlakuan dengan 3 kali ulangan. Data dianalisis dengan menggunakan analisis of varian (ANOVA) faktorial pada data analisis proksimat pakan, derajat hidrolisis, kadar glukosa dan protein terlarut. Apabila diperoleh hasil berpengaruh nyata ($P < 0.05$) dan interaksi antara kedua faktor maka dilanjutkan dengan uji lanjut W-Tukey menggunakan SPSS 23.0. Sedangkan data Asam amino dan Asam lemak pakan buatan *predigest* dilakukan secara deskriptif. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa dosis mikroorganisme, waktu inkubasi pakan *predigest* dengan menggunakan mikroorganisme mix serta interaksi diantara keduanya berpengaruh nyata terhadap kadar protein, lemak kasar, serat kasar, abu dan BETN, dengan tingkat signifikansi ($p < 0.05$). Pemberian dosis mikroorganisme mix 10 mL/kg pakan, dengan periode waktu inkubasi 18 jam, menghasilkan kadar protein kasar (42.27%) tertinggi, dengan nilai serat kasar (0.73%), lemak (2.83%), dan BETN (43.45%). Protein terlarut (47.56 mg/10mL), Kadar Glukosa (7.67%). Pakan *predigest* mikroorganisme mix dosis 10 mL/kg pakan dengan lama waktu inkubasi 18 jam, Kandungan asam amino terdiri dari 9 jenis asam amino esensial dan 8 jenis asam amino non-esensial. Asam amino esensial tersebut meliputi lisin, leusin, valin, isoleusin, treonin, fenilalanin, histidin, metionin, dan arginin. Sedangkan asam amino non esensial terdiri dari Glisin, asam glutamate, asam aspartate, serin, alanin, prolin, tirosin, dan sistein. Asam lemak Terdiri atas asam lemak jenuh yaitu miristat, laurat, palmitat, stearate, kaprilat, kaprat, aradidonat. Asam lemak tak jenuh terdiri dari oleat, linoleate, dan linolenat. *Predigest* pakan buatan menggunakan mikroorganisme mix menunjukkan interaksi antara dosis dan lama waktu inkubasi tertinggi terhadap derajat hidrolisis serat kasar, lemak, protein, BETN dan kadar glukosa serta protein terlarut terbaik pada dosis 10 mL/kg pakan dengan lama waktu inkubasi selama 18 jam.

Kata Kunci: Derajat Hidrolisis, Larva Ikan Kakap, Mikroorganisme mix, Pakan, *Predigest*.

2. 2. Pendahuluan



an larva ikan kakap putih masih mengandalkan pakan alami seperti *rotifera* ana pakan alami tidak memenuhi profil nutrisi yang dibutuhkan larva karena an satu jenis nutrisi yang dapat menyebabkan kekurangan nutrisi penting mendukung pertumbuhan optimal (El-Dahhar et al. 2024). Selain itu kultur nbutuhkan lahan yang luas dengan penambahan tenaga kerja sehingga

berakibat pada biaya operasional yang tinggi (Moroni et al. 2024). Oleh karena itu penggunaan pakan alami dapat digantikan dengan pakan buatan yang disesuaikan dengan kebutuhan larva untuk meningkatkan pertumbuhan dan keberlanjutan dalam akuakultur. Ketergantungan jangka panjang pada pakan ini dapat meningkatkan laju pertumbuhan dan kelangsungan hidup secara keseluruhan, pakan buatan yang lebih lengkap secara nutrisi (Alfonso et al. 2023).

Penggunaan pakan buatan dapat menurunkan biaya produksi pada pembenihan larva ikan kakap putih, karena bisa diberikan secara langsung yang dapat mengefisien penggunaan pakan alami. Namun, penggunaan pakan buatan yang efektif untuk larva kakap putih masih terbatas karena sistem pencernaannya yang belum berkembang secara optimal. Salah satu solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan penyerapan nutrisi adalah prapencernaan pakan, di mana senyawa pakan kompleks dipecah menjadi bentuk yang lebih sederhana dan lebih mudah dicerna melalui aksi enzim dan mikroorganisme. Proses ini mempercepat penyerapan nutrisi, memungkinkan pertumbuhan dan perkembangan larva yang lebih cepat (Abdulla et al. 2024). Penelitian menunjukkan bahwa pakan yang telah dicerna sebelumnya secara signifikan dapat meningkatkan tingkat pertumbuhan pada spesies lain, seperti ikan nila, yang menegaskan potensinya untuk diaplikasikan lebih luas dalam akuakultur (Abdulla et al, 2024)

Predigest pakan buatan untuk larva kakap putih menggunakan enzim papain dengan konsentrasi 4,5% telah menunjukkan terbaik yang menghasilkan tingkat hidrolisis protein, protein terlarut, dan aktivitas enzimatik tertinggi (Rasdi et al. 2021). Selain itu, penggunaan mikroorganisme mix juga terbukti meningkatkan pencernaan bahan organik, terutama pada konsentrasi 10 mL/100 g ampas tahu, dengan masa inkubasi optimal selama 6 hari yang efektif sebagai bahan baku pakan (Surnawati. et al. 2020). Beberapa penelitian menunjukkan hasil yang baik dalam peningkatan nutrisi pakan maupun bahan pakan. Sedangkan penggunaan mikroorganisme mix sebagai predigest belum pernah dilakukan sehingga dilakukan penelitian pada larva ikan kakap putih.

Berdasarkan beberapa hasil penelitian menggunakan mikroorganisme mix maka penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan pencernaan pakan buatan larva kakap putih, penelitian ini menjadi sangat penting. Tujuan utama dari penelitian ini adalah menentukan dosis optimal dan durasi inkubasi yang paling efektif untuk campuran mikroorganisme dalam memaksimalkan prapencernaan pakan. Hasil akhirnya diharapkan mampu menghasilkan pakan buatan berkualitas tinggi yang dapat meningkatkan penyerapan nutrisi dan mendukung pertumbuhan optimal larva kakap putih.

2.3. Tujuan penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dosis dan lama waktu inkubasi mikroorganisme mix yang tepat untuk pakan predigest yang menghasilkan derajat hidrolisis protein, protein terlarut, derajat hidrolisis karbohidrat, kadar glukosa, dan derajat hidrolisis lemak serta kualitas pakan buatan terbaik untuk larva ikan kakap putih.

2.4. Metode Penelitian



Tempat

ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai Oktober 2023 yang dilakukan di teknologi nutrisi dan manajemen pakan Fakultas Perikanan Universitas Ilis proksimat dilakukan di Laboratorium Teknologi Nutrisi dan Pakan

Ternak Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin Makassar. Analisis asam amino dan asam lemak di laboratorium nutrisi Institut Pertanian Bogor.

2.4.2. Prosedur Penelitian

2.4.2.1. Persiapan pakan Predigest

Pakan yang digunakan pada penelitian ini pakan komersil merek Aquaxcel untuk stadia larva. Komposisi nutrisi pakan buatan yang digunakan yaitu kandungan abu 11,44%, Protein 38,00%, Lemak 4,35%, serat kasar 3,60%, Bahan Ekstrak Tanpa Nitrogen (BETN) 42,61% dan ukuran pakan 0,6 mm. Pakan buatan yang digunakan akan dipredigest dengan mikroorganisme mix sesuai perlakuan dan lama waktu inkubasi.

Predigest menggunakan mikroorganisme mix yang terdiri dari (*Bacillus* sp., *Aspergillus* sp., *Rhizopus* sp., *Saccharomyces* sp., dan *Lactobacillus* sp.) disegarkan terlebih dahulu dengan mengikuti metode (Aslamyeh et al. 2022) yaitu dengan menyiapkan larutan substrat yang merupakan campuran air kelapa 2L dan 500 g gula pasir. Selanjutnya, diinokulasi dengan 2 mL starter mikroorganisme mix dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang, Gambar 2.

Menimbang 1 kg pakan buatan kemudian ditempatkan ke dalam nampan. Kultur mikroorganisme mix segar diambil sesuai perlakuan dan diencerkan dengan cairan fisiologis sampai volume 50 mL. Campuran tersebut disemprotkan pada pakan secara merata. Pakan yang telah tercampur dengan mikroorganisme mix di masukkan kedalam plastik klip dan diinkubasi pada suhu ruang dengan lama waktu inkubasi sesuai perlakuan. Setiap akhir lama waktu inkubasi, reaksi mikroorganisme mix dihentikan dengan cara memanaskan pada kukusan yang telah mendidih selama 2 menit. Pakan *predigest* dianalisis proksimat di laboratorium.



Gambar 3. Persiapan pakan predigest menggunakan mikroorganisme mix. **A.** Bahan yang digunakan untuk menyegarkan mikroorganisme mix, **B.** Inokulasi mikroorganisme mix, **C.** Penyemprotan pakan dengan mikroorganisme mix

2.4.3. Perlakuan dan Rancangan Percobaan



Perlakuan yang diuji terdiri atas 2 faktor, Faktor 1 adalah dosis mikroorganisme mix yaitu 5, 10, dan 15 mL/kg. Faktor 2 adalah lama waktu inkubasi dengan 4, 8, dan 24 jam. Dengan demikian terdapat 12 kombinasi perlakuan dosis mikroorganisme mix dan lama waktu inkubasi masing-masing perlakuan dengan 3 kali

replik. Perlakuan dosis mikroorganisme mix 5 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 6 jam

Perlakuan A1B2 dosis mikroorganisme mix 5 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 12 jam
 Perlakuan A1B3 dosis mikroorganisme mix 5 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 18 jam
 Perlakuan A1B4 dosis mikroorganisme mix 5 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 24 jam
 Perlakuan A2B1 dosis mikroorganisme mix 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 6 jam
 Perlakuan A2B2 dosis mikroorganisme mix 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 12 jam
 Perlakuan A2B3 dosis mikroorganisme mix 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 18 jam
 Perlakuan A2B4 dosis mikroorganisme mix 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 24 jam
 Perlakuan A3B1 dosis mikroorganisme mix 15 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 6 jam
 Perlakuan A3B2 dosis mikroorganisme mix 15 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 12 jam
 Perlakuan A3B3 dosis mikroorganisme mix 15 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 18 jam
 Perlakuan A3B4 dosis mikroorganisme mix 15 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 24 jam

2.4.4. Peubah yang diamati

Peubah yang diamati adalah 1) Analisis proksimat pakan predigest, 2) Derajat hidrolisis nutrisi pakan, 3) Kadar glukosa, 4) Kadar Protein terlarut, 5) Analisis asam amino dan asam lemak

1. Analisis Proksimat Pakan

Analisis proksimat Kandungan protein, lemak, abu, karbohidrat, serat, dan air pada sampel ditentukan menggunakan metode analisis proksimat yang ditetapkan oleh Asosiasi Ahli Kimia Analisis Resmi (AOAC, 2005). Teknik Kjeldahl digunakan untuk menilai kadar protein, sedangkan metode Soxhlet digunakan untuk mengevaluasi kadar lemak. Kadar air dan abu dinilai menggunakan metode gravimetrik. Selain itu, kadar karbohidrat diperkirakan secara manual menggunakan hasil analisis proksimat.

2. Derjat Hdrolisis Nutrien pakan

Derajat hidrolisis pakan dihitung dengan menggunakan rumus (Aslamyeh, 2006). Nilai didapatkan dari hasil analisis proksimat pakan buatan sebelum dan sesudah predigest menggunakan Mikroorganisme mix dengan dosis dan lama waktu inkubasi sesuai perlakuan. Kemudian dimasukkan ke dalam rumus di bawah ini

$$DHP = \frac{P_0 - P_t}{P_0} \times 100$$

Dimana: DHP = derajat hidrolisis karbohidrat/Protein/Lemak

P_0 = kadar Protein pada waktu awal

P_t = kadar Protein pada waktu akhir

3. Kadar Glukosa

Pengukuran kadar glukosa pakan dilakukan pada akhir pengamatan. Sebanyak 2 g, pakan yang telah dipredigest dan telah dihentikan reaksinya diencerkan dengan menambah 5 mL aquadest. Kemudian disentrifus dengan kecepatan 3.000 rpm selama 15 menit. Supernatant yang dihasilkan digunakan untuk analisis kadar glukosa dengan prosedur analisis mengikuti metode (Wedmeyer dan Yasutake, 1977).



Glukosa dalam plasma atau serum dilakukan dengan metode ortotoluidin. Asam asetat glasial, glukosa bereaksi dengan ortotoluidin membentuk senyawa warna biru-hijau. Intensitas warna yang dihasilkan sebanding dengan konsentrasi glukosa dalam sampel, dan diukur menggunakan spektrofotometer pada Panjang gelombang 625 nm. Supernatan jernih digunakan sebagai sampel untuk analisis.

Standar glukosa, menimbang 100 mg glukosa murni, larutkan dalam sedikit air suling, encerkan hingga 100 ml dalam labu ukur, konsentrasi akhir = 100mg/100 ml (1 mg/ml). Simpan dalam lemari es untuk mencegah pertumbuhan mikroba. Reagen ortotolidin mencampurkan 94 ml asam asetat glasial dengan 6 ml ortotolidin. Simpan dalam botol tertutup rapat, di tempat sejuk dan gelap.

Pipet 0.05 ml dari masing-masing sampel plasma, Larutan Standar glukosa, air suling (sebagai blanko). Ke dalam tabung reaksi yang masing-masing telah berisi 3,5 ml reagen ortotolidin. Panaskan seluruh tabung dalam penangas air mendidih (100 °C) selama 10 menit. Setelah pemanasan angkat dan dinginkan hingga suhu kamar. Warna yang terbentuk stabil ±1 jam. Mengukur absorbansi (OD) setiap tabung pada Panjang gelombang 635 nm menggunakan calorimeter atau spektrofotometer.

$$Kadar\ Glukosa\ (mg/100ml) = \frac{Au(Cs)}{As}$$

Keterangan: Au = Absorbansi sampel uji

As = Absorbansi standar glukosa

Cs = Konsentrasi standar glukosa (mg/100ml)

4. Kadar Protein Terlarut Pakan

Pengukuran kadar protein terlarut pakan hasil predigest dan telah dihentikan reaksinya, ditimbang sebanyak 0,5 g, kemudian ditambah 3 mL Tris HCl pH 6,5 dan disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 20 menit. Supernatant yang diperoleh digunakan untuk analisis protein terlarut dengan prosedur mengikuti metode (Bradford, 1976).

5. Analisis Asam Amino dan Asam Lemak

Analisis asam amino dan asam lemak, menggunakan pakan yang telah dipredigest dengan dosis dan lama waktu inkubasi terbaik dari derajat hidrolisis, kadar glukosa dan protein terlarut. Metode percobaan mengikuti (AOAC, 2005). Analisis asam amino dianalisis menggunakan High Performance Liquid Chromatography (HPLC), kolom C18, fase gerak A: Sodium asetat pH 5.0 dan fase gerak B: 80 MeOH/15 buffer asetat / 5 THF (v/v/v) dengan laju aliran 1,5 mL/menit, detector: fluoresens aliran 1,5 mL /menit, detector: fluoresens λeksitasi 340 nm; λ emisi 450nm. Asam klorida 5N (10mL) ditambah ke dalam 2gram sampel dan disimpan pada suhu tinggi. Sampel dihidrolisis dengan autoclave (110 °C) selama 20 jam, selanjutnya disimpan di wadah tertutup pada suhu kamar. Setelah itu, sampel dievaporasi pada suhu 50°C dan dinetralkan dengan penambahan NaOH 6N. Sampel disaring dengan kertas saring 0,45 µL larutan OPA (0.01 g phetaldialdehyde, 9 mL methanol, 40 mL bufferborex pH 9,1; 100 µL 2-mercaptoethanol ditambahkan ke dalam 25 µL sampel, di vortex dan direaksikan selama lima menit.

Persen asam amino dalam sampel dinyatakan dalam rumus berikut:

$$\% AA = \frac{p\mu mol\ AA \times Mr\ AA}{\mu g\ sampel} \times 100\%$$



Analisis asam lemak (AOAC, 2005) Minyak pakan hasil ekstraksi dihidrolisis dengan cara memansakan 1 mL NaOH dan methanol selama 20 menit, tambahkan 2 mL BF₃ 16 % dan 5 mg/mL standar internal, panaskan lagi selama 20 menit, kemudian tambahkan 2 mL NaCl jenuh dan 1 mL heksana. Pindahkan dengan bantuan pipet tetes ke dalam tabung yang berisi 0,1 g Na₂SO₄

anhidrat, biarkan 15 menit. Pisahkan fasa cair selanjutnya diinjeksikan ke kromatografi gas. Konsentrasi asam lemak dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$Cx = \frac{Ax.R.CS}{AS}$$

2.4.5. Analisis Data

Data yang di hasilkan dari penelitian ini dianalisis dengan menggunakan analisis of varian (ANOVA) faktorial pada data derajat hidrolisis, kadar glukosa dan protein terlarut. Data berpengaruh nyata ($P < 0.05$) dilanjutkan dengan uji lanjut W-Tukey menggunakan SPSS 23,0. Sedangkan data Asam amino dan Asam lemak pakan buatan predigest dilakukan secara deskriptif.



2.5. Hasil dan Pembahasan

2.5.1. Proksimat Pakan

Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa pakan predigest dengan menggunakan mikroorganisme mix berpengaruh nyata terhadap kadar protein, lemak kasar, serat kasar, abu dan BETN, dengan tingkat signifikansi ($p < 0.05$). Pengaruh dosis mikroorganisme mix dan lama waktu inkubasi terhadap komposisi proksimat pakan predigest disajikan pada Tabel 1. Terdapat interaksi antara dosis dan lama waktu inkubasi. Perlakuan dengan dosis mikroorganisme mix 10 mL/kg pakan, dengan lama waktu inkubasi 18 jam, menghasilkan kadar protein kasar (42.27%) tertinggi, dengan nilai serat kasar (0.73%), lemak (2.83%), dan Bahan Ekstrak Tanpa Nitrogen BETN (43.45%). Selanjutnya perlakuan kontrol menghasilkan protein kasar terendah (38%), BETN (42.61), serta memiliki konsentrasi serat kasar tinggi (4.35%), lemak teringgi (3.60%).

Tabel 1. Analisis proksimat pakan buatan predigest dengan mikroorganisme mix.

Perlakuan	Abu	Lemak	Protein	Serat kasar	BETN
Kontrol	11.44	3.60	38.00	4.35	42.61
A1B1	10.74 ± 0.12 ^b	3.14 ± 0.00 ^c	40.65 ± 0.05 ^a	1.11 ± 0.01 ^a	44.35 ± 0.11 ^a
A1B2	10.51 ± 0.03 ^b	3.06 ± 0.01 ^b	41.26 ± 0.05 ^a	0.99 ± 0.01 ^{cd}	44.13 ± 0.06 ^a
A1B3	10.99 ± 0.33 ^b	2.88 ± 0.02 ^a	41.31 ± 0.09 ^a	0.66 ± 0.14 ^a	44.18 ± 0.10 ^a
A1B4	8.52 ± 0.12 ^a	2.84 ± 0.01 ^a	41.65 ± 0.02 ^b	0.88 ± 0.01 ^c	46.17 ± 0.01 ^c
A2B1	10.43 ± 0.09 ^b	3.09 ± 0.01 ^c	40.19 ± 0.05 ^a	0.96 ± 0.02 ^d	45.34 ± 0.05 ^c
A2B2	10.56 ± 0.21 ^b	3.03 ± 0.01 ^b	41.74 ± 0.32 ^b	0.83 ± 0.01 ^b	43.84 ± 0.11 ^a
A2B3	10.72 ± 0.24 ^b	2.83 ± 0.02 ^a	42.27 ± 0.45 ^b	0.73 ± 0.01 ^a	43.45 ± 0.35 ^a
A2B4	10.55 ± 0.13 ^b	2.84 ± 0.01 ^a	42.02 ± 0.13 ^b	0.75 ± 0.01 ^a	43.85 ± 0.01 ^a
A3B1	10.54 ± 0.03 ^b	3.14 ± 0.00 ^c	40.85 ± 0.02 ^a	0.97 ± 0.01 ^d	44.50 ± 0.04 ^b
A3B2	10.58 ± 0.05 ^b	3.02 ± 0.01 ^b	41.42 ± 0.07 ^a	0.83 ± 0.01 ^b	44.15 ± 0.02 ^a
A3B3	10.51 ± 0.06 ^b	2.84 ± 0.03 ^a	41.12 ± 0.03 ^a	0.73 ± 0.01 ^a	44.87 ± 0.06 ^c
A3B4	10.67 ± 0.04 ^b	2.86 ± 0.01 ^a	41.33 ± 0.00 ^a	0.74 ± 0.01 ^a	44.47 ± 0.02 ^b

Keterangan: A1B1 5mL/kg, 6 jam. A1B2 5mL/kg, 12 jam, A1B3 5 mL/kg, 18 jam, A1B4 5 mL/kg, 24 jam. A2B1 10mL/kg, 6 jam. A2B2 10mL/kg, 12 jam. A2B3 10mL/kg, 18 jam. A2B4 10 mL/kg, 24 jam. A3B1 15 mL/kg, 6 jam. A3B2 15 mL/kg, 12 jam. A3B3 15 mL/kg, 18 jam. A3B4 15 mL/kg, 24 jam.

Kandungan lemak paling tinggi pada perlakuan dosis 5 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 6 jam (3,14%) tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan dosis 15mL/kg, lama waktu inkubasi 6 jam dan dosis 10mL/kg pakan lama waktu inkubasi 6 jam. Kandungan lemak terendah pada perlakuan dosis 10 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 18 jam (2,83%) dan tidak berbeda nyata dengan dosis 5 mL/kg pakana lama waktu inkubasi 18 jam, dosis 5 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 24 jam, dosis 10 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 24 jam, dosis 15 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 18 jam dan dosis 15 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 24 jam. Kandungan protein tertinggi pada perlakuan dosis 10mL/kg pakan lama waktu inkubasi 18 jam (42,27%) tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan dosis 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 12 jam dan dosis 10 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 24 jam, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Kandungan protein terendah pada perlakuan dosis 5 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 6 jam (40.19) tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan dosis 10 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 6 jam. Kandungan serat kasar paling tinggi pada perlakuan dosis 10 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 18 jam (0,73%) tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Kandungan serat kasar terendah pada perlakuan dosis 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 24 jam, dosis 10 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 24 jam, dosis 15 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 12 jam dan



dosis 15 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 24 jam. Kandungan serat kasar paling tinggi (1,11%) pada perlakuan dosis 5 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 5 jam dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Kandungan BETN paling tinggi pada perlakuan dosis 5 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 24 jam (46,17%) dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Kandungan BETN paling rendah pada perlakuan dosis 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 18 jam (43,45%) dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

2.5.2. Derajat hidrolisis Nutrient Pakan

Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa dosis mikroorganisme mix, waktu inkubasi dan interaksi diantara keduanya berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap derajat hidrolisis lemak kasar, serat kasar, protein, dan BETN. Interaksi ini menunjukkan bahwa efek dari dosis dan lama waktu inkubasi tidak hanya terpisah, tetapi juga saling mempengaruhi dalam derajat hidrolisis serat kasar, lemak, protein dan BETN dalam pakan predigest larva ikan kakap putih.

Hasil uji lanjut menggunakan tukey menunjukkan bahwa derajat hidrolisis lemak, serat kasar, protein dan BETN berturut turut yaitu 34.96 %, 79.86, -11.25, dan -1.97% diperoleh pada dosis mikroorganisme mix 10 mL/kg pakan dengan lama waktu inkubasi 18 jam. Hasil ini menunjukkan nilai optimal pada dosis 10 mL/kg pakan menghasilkan tingkat hidrolisis yang signifikan dengan menyediakan lebih banyak enzim atau senyawa aktif yang mempercepat pemecahan komponen pakan tanpa menyebabkan kerusakan berlebih pada pakan akibat aktivitas enzim yang menggunakan substrat. Efisiensi hidrolisis meningkat dengan kombinasi yang tepat antara dosis dan waktu inkubasi. Kombinasi yang tidak optimal menghasilkan efek yang lebih rendah.

Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara dosis mikroorganisme dan waktu inkubasi. Interaksi ini menunjukkan bahwa efek dari dosis mikroorganisme mix dan waktu inkubasi tidak hanya terpisah, tetapi juga saling mempengaruhi dalam derajat hidrolisis serat kasar, lemak, protein dan BETN. Derajat hidrolisis lemak pada perlakuan dosis 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 18 jam paling tinggi (34,96%) tetapi tidak berbeda nyata dengan dosis 10 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 24 jam, dosis 15 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 18 jam, dan dosis 15 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 24 jam. Tetapi berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Derajat hidrolisis lemak paling rendah pada perlakuan dosis 15 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 6 jam (27,79%) tetapi tidak berbeda nyata dengan dosis 5 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 6 jam. Derajat hidrolisis serat kasar paling tinggi pada perlakuan dosis 5 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 18 jam (81,67%) tetapi tidak berbeda nyata dengan dosis 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 18 jam, dosis 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 24 jam, dosis 15 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 18 jam, dosis 15 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 24 jam, dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Derajat hidrolisis serat kasar paling rendah pada perlakuan dosis 5 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 6 jam (69,02%) berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Pada derajat hidrolisis protein, seluruh perlakuan menunjukkan nilai negatif. Nilai paling rendah terjadi pada perlakuan dosis 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 18 jam (-11,25%) tetapi tidak berbeda nyata dengan dosis 5 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 24 jam, dosis 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 12 jam, dosis 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 15 jam, dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Nilai derajat hidrolisis protein f menandakan peningkatan komponen pasca *predigest*. Derajat hidrolisis dan mendekati nol pada perlakuan dosis 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 6 jam (-1,76%) tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan dosis 5 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 6 jam, dosis 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 12 jam, dosis 5 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 15 jam, dosis 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 6 jam, dosis



15 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 6 jam, dosis 15 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 12 jam, dosis 15 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 18 jam, dosis 15 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 24 jam dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Pola tersebut menunjukkan setelah *predigest*, kandungan protein terukur justru meningkat terutama kombinasi dosis 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 18 jam. Derajat Hidrolisis BETN bernilai negatif, menandakan penurunan fraksi BETN selama *predigest*. Nilai paling rendah tercatat pada dosis 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 24 jam (-8,35%) tetapi tidak berbeda nyata dengan dosis 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 6 jam, dosis 15 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 18 jam dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Sedangkan nilai paling tinggi mendekati nilai nol pada dosis 10 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 18 jam (-1,97%).

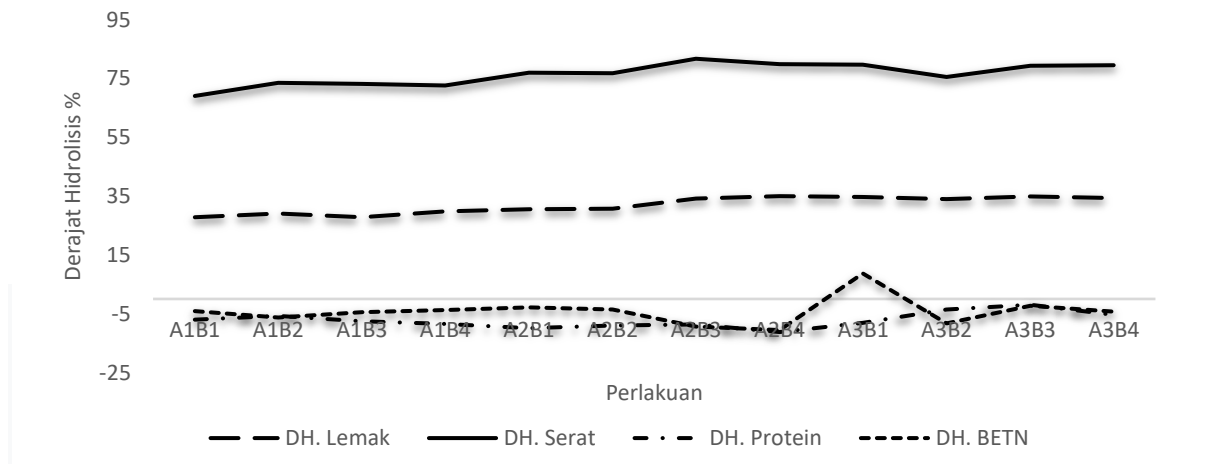
Tabel 2. Derajat hidrolisis nutrisi pakan predigest dengan mikroorganisme mix

Perlakuan	Derajat Hidrolisis Lemak	Derajat Hidrolisis Serat Kasar	Derajat Hidrolisis Protein	Derajat Hidrolisis BETN
A1B1	27.82 ± 0.07 ^a	69.02 ± 0.32 ^a	-6.98 ± 0.13 ^b	-4.08 ± 0.26 ^b
A1B2	29.76 ± 0.20 ^a	72.50 ± 0.18 ^b	-8.57 ± 0.13 ^b	-3.71 ± 0.15 ^b
A1B3	34.18 ± 0.32 ^c	81.67 ± 3.74 ^d	-8.71 ± 0.22 ^b	-3.68 ± 0.25 ^b
A1B4	33.92 ± 0.24 ^b	75.47 ± 0.25 ^b	-9.48 ± 0.06 ^a	-8.35 ± 0.01 ^a
A2B1	29.06 ± 0.06 ^a	73.51 ± 0.68 ^b	-5.76 ± 0.15 ^b	-6.40 ± 0.12 ^a
A2B2	30.44 ± 0.24 ^b	77.01 ± 0.32 ^c	-9.85 ± 0.85 ^a	-2.90 ± 0.36 ^c
A2B3	34.96 ± 0.40 ^c	79.86 ± 0.16 ^d	-11.25 ± 1.30 ^a	-1.97 ± 0.83 ^c
A2B4	34.82 ± 0.20 ^c	79.36 ± 0.18 ^d	-10.58 ± 0.37 ^a	-2.29 ± 0.01 ^c
A3B1	27.79 ± 0.10 ^a	73.15 ± 0.08 ^b	-7.51 ± 0.04 ^b	-4.43 ± 0.09 ^b
A3B2	30.69 ± 0.22 ^b	76.78 ± 0.22 ^c	-9.00 ± 0.20 ^b	-3.62 ± 0.03 ^b
A3B3	34.71 ± 0.71 ^c	79.57 ± 0.19 ^d	-8.12 ± 0.08 ^b	-5.32 ± 0.13 ^a
A3B4	34.28 ± 0.92 ^c	79.42 ± 0.16 ^d	-8.67 ± 0.06 ^b	-4.38 ± 0.06 ^b

Keterangan: A1B1 5mL/kg, 6 jam. A1B2 5mL/kg, 12 jam, A1B3 5 mL/kg, 18 jam, A1B4 5 mL/kg, 24 jam. A2B1 10mL/kg, 6 jam. A2B2 10mL/kg, 12 jam. A2B3 10mL/kg, 18 jam. A2B4 10 mL/kg, 24 jam. A3B1 15 mL/kg, 6 jam. A3B2 15 mL/kg, 12 jam. A3B3 15 mL/kg, 18 jam. A3B4 15 mL/kg, 24 jam.

Analisis varian menunjukkan bahwa dosis mikroorganisme mix, lama waktu inkubasi, dan interaksi keduanya berpengaruh nyata terhadap rata-rata derajat hidrolisis lemak, serat kasar, protein, dan BETN ($P < 0.05$). Hasil uji W-Tukey menunjukkan bahwa rata-rata dosis 10 mL/kg pakan dan lama inkubasi 18 jam merupakan perlakuan yang paling optimal dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya, berbeda nyata dengan dosis 5 dan 15 mL/kg pakan dengan lama waktu inkubasi 6 dan 12 jam. Tidak terdapat perbedaan nyata pada perlakuan dosis 5, 10, 15 mL/kg pakan pada lama waktu inkubasi 18 dan 24 jam. Derajat hidrolisis pakan dapat dilihat pada gambar 4.





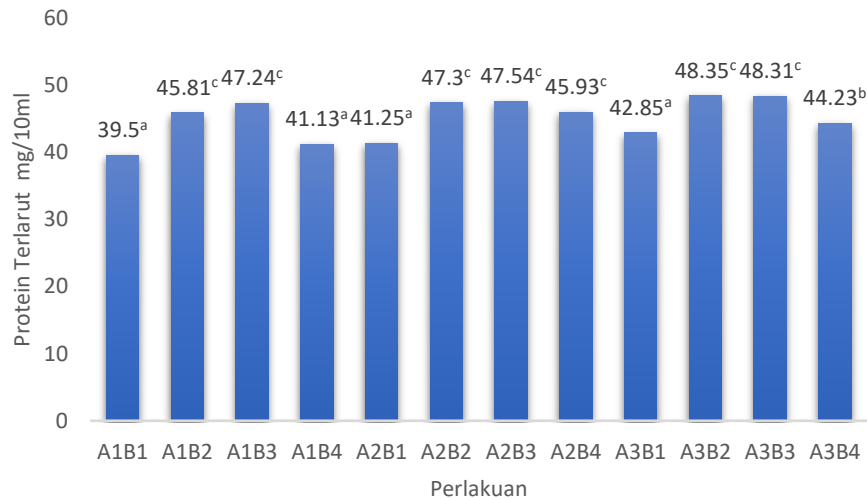
Gambar 4. Derajat hidrolisis nutrisi predigest dalam pakan buatan menggunakan mikroorganisme mix pada perlakuan dosis dan masa inkubasi.

Keterangan: A1B1 5mL/kg, 6 jam. A1B2 5mL/kg, 12 jam, A1B3 5 mL/kg, 18 jam, A1B4 5 mL/kg, 24 jam. A2B1 10mL/kg, 6 jam. A2B2 10mL/kg, 12 jam. A2B3 10mL/kg, 18 jam. A2B4 10 mL/kg, 24 jam. A3B1 15 mL/kg, 6 jam. A3B2 15 mL/kg, 12 jam. A3B3 15 mL/kg, 18 jam. A3B4 15 mL/kg, 24 jam.

2.5.4. Protein Terlarut

Hasil analisis ragam menunjukkan dosis dan lama waktu inkubasi predigest berpengaruh nyata ($P < 0.05$) dan interaksinya berpengaruh terhadap protein terlarut. Uji lanjut dengan menggunakan uji tukey memperlihatkan protein terlarut pakan predigest tertinggi (48,35 mg/10mL) pada dosis mikroorganisme mix 15 mL/kg pakan dengan lama waktu inkubasi 12 jam, yang tidak berbeda nyata dengan nilai protein terlarut pada dosis mikroorganisme mix 10 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 18 jam, yaitu (47.56 mg/10mL), tidak berbeda nyata dengan dosis 5 mL/kg pakan, lama waktu inkubasi 12 jam, dosis 5 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 18 jam, dosis 10 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 12 jam, dosis 10 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 24 jam dan dosis 15 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 18 jam nilai tersebut tertinggi dan nyata berbeda dibanding perlakuan lainnya. Nilai terendah dari protein terlarut pakan (39.5 mg/10mL) pada perlakuan dosisi 5 mL/kg pakan dengan lama waktu inkubasi 6 jam, nyata lebih rendah dari perlakuan lainnya. Ditunjukkan pada Gambar 5.





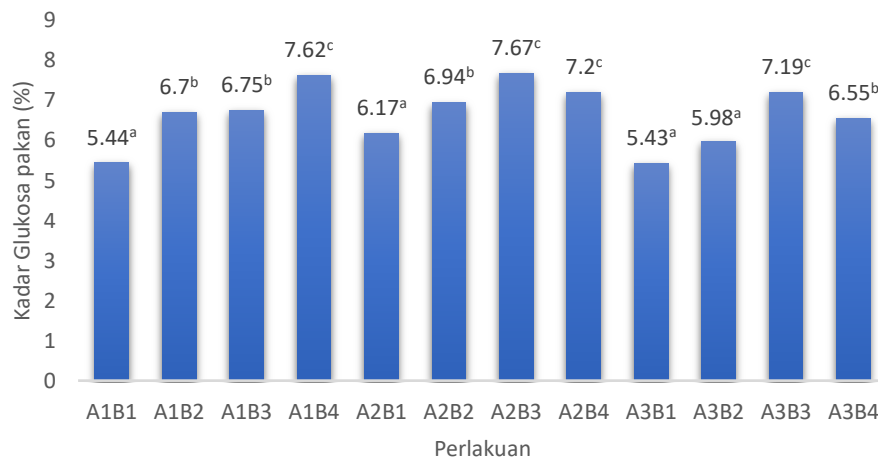
Gambar 5. Protein terlarut pakan predigest dengan mikroorganisme mix pada lama waktu inkubasi yang berbeda.

Keterangan: A1B1 5mL/kg, 6 jam. A1B2 5mL/kg, 12 jam, A1B3 5 mL/kg, 18 jam, A1B4 5 mL/kg, 24 jam. A2B1 10mL/kg, 6 jam. A2B2 10mL/kg, 12 jam. A2B3 10mL/kg, 18 jam. A2B4 10 mL/kg, 24 jam. A3B1 15 mL/kg, 6 jam. A3B2 15 mL/kg, 12 jam. A3B3 15 mL/kg, 18 jam. A3B4 15 mL/kg, 24 jam.

2.4.6. Kadar Glukosa Pakan

Hasil analisis ragam menunjukkan dosis dan lama waktu inkubasi predigest berpengaruh nyata ($P < 0.05$) serta terdapat interaksi antara keduanya terhadap kadar glukosa pakan. Uji lanjut dengan menggunakan uji Tukey memperlihatkan kadar glukosa pakan predigest tertinggi (7.67%) pada dosis mikroorganisme mix 10 mL/kg pakan dengan lama waktu inkubasi 18 jam, Tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan dosis 5 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 24 jam, dosis 10 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 24 jam dan dosis 15 mL/kg pakan lama waktu 18 jam. Kadar glukosa pakan paling rendah pada perlakuan dosis 15 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 6 jam (5,53%) tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan dosis 5 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 6 jam dan dosis 10 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 6 jam. Ditunjukkan pada gambar 6.





Gambar 6. Kadar Glukosa pakan predigest dengan mikroorganisme mix pada lama waktu inkubasi yang berbeda.

Keterangan: A1B1 5mL/kg, 6 jam. A1B2 5mL/kg, 12 jam, A1B3 5 mL/kg, 18 jam, A1B4 5 mL/kg, 24 jam. A2B1 10mL/kg, 6 jam. A2B2 10mL/kg, 12 jam. A2B3 10mL/kg, 18 jam. A2B4 10 mL/kg, 24 jam. A3B1 15 mL/kg, 6 jam. A3B2 15 mL/kg, 12 jam. A3B3 15 mL/kg, 18 jam. A3B4 15 mL/kg, 24 jam.

2.4.7. Asam Amino

Hasil analisis kandungan asam amino pakan buatan predigest dosis mikroorganisme mix 10 mL/kg pakan dengan lama waktu inkubasi 18 jam menunjukkan keberadaan asam amino esensial dan non esensial. Terdapat 9 jenis asam amino esensial, yaitu lisin, leusin, valin, isoleusin, threonin, penilalanin, histidin, methionin dan arginin. Sementara itu, asam amino non esensial terdiri dari glisin asam glutamate, asam aspartate, serin, alanin, prolin, tirosin, dan sistein. Kandungan asam amino esensial dan non esensial pakan predigest dapat dilihat pada tabel 3.



Tabel 3. Komposisi asam amino pakan *predigest* dosis 10 mg/kg pakan, dengan lama waktu inkubasi 18 jam.

No	Jenis Asam Amino	Kadar asam amino pakan (% dari total protein pakan)*	Kebutuhan asam amino larva ikan (% dari protein total)**
Asam Amino Esensial			
1	Lisin	5,5	5,5
2	Leusin	4,77	3,9
3	Valin	2,98	2,8
4	Isoleusin	2,53	2,5
5	Threonin	2,76	2,6
6	Fenilalanin	1,26	2,8
7	Hisitidin	1.59	1,5
8	Methionin	1.88	2,0
9	Arginin	4.47	4,3
Asam Amino Non Esensial			
1	Glisin	4.06	2,0-3,5
2	Asam Glutamat	3.86	3,0-5,0
3	Asam Aspartat	2.62	2,5-4,0
4	Serin	1.88	1,5-2,0
5	Alanin	1.65	1,5-2,5
6	Prolin	1.53	1,5-2,5
7	Tirosin	1.55	1,5-2,5
8	Sistein	1.00	1,0-1,2

Keterangan: * Hasil analisis asam amino pakan *predigest* dosis 10 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 18 jam

** Menurut NRC, 2011 kebutuhan asam amino larva ikan

2.4.8. Asam Lemak

Asam lemak merupakan bagian dari molekul lemak, yang berfungsi sebagai penyusun lemak tubuh dan sebagai penghasil energi. Asam lemak dibagi dalam 2 golongan yaitu asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh. Kandungan asam lemak pakan *predigest* dosis 10mL/kg pakan dengan lama waktu inkubasi 18 jam disajikan pada Tabel 6. Terdiri atas asam lemak jenuh yaitu miristat, laurat, palmitat, stearate, kaprilat, kaprat, aracidonat. Asam lemak tak jenuh terdiri dari oleat, linoleate, dan linolenat.



Tabel 4. Komposisi Asam lemak pakan *predigest* dosis 10 mg/kg pakan, dengan lama waktu inkubasi 18 jam.

No	Jenis asam lemak esensial	Kadar asam lemak pakan (% dari total lemak pakan)	Kebutuhan asam lemak larva ikan (% dari lemak total)
1	Eikosapentaennat (EPA)	1,0	1,0
2	Dokosaheksaenoat (DHA)	2,0	2,0
3	Asam α - linolenat (ALA)	0,88	0,5
5	Asam linoleate (LA)	2,06	1,0
6	Aracidonat (ARA)	0,5	0,5
7	Laurat	1,11	0,5-1,5
8	Mirstat	2,65	1,0-2,5
9	Palmitat	1,03	1,0-3,0
10	Stearat	0,85	0,5-1,0
11	Oleat	1,23	1,0-2,5
12	Kaprilat	0,1	0,1-0,5
13	Kaprat	0,1	0,1-0,5
	Σ n-3	3,88	
	Σ n-6	2,56	
	Σ n-3 HUFA	3	
	Rasio n-3/n-6	1,51	
	Rasio DHA/EPA	2	

Keterangan: * Hasil analisis asam lemak pakan *predigest* dosis 10 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 18 jam

** Menurut NRC, 2011 kebutuhan asam lemak larva ikan

2.5. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian pakan *predigest* yang diproses menggunakan mikroorganisme mix memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan kualitas nutrisi pakan larva ikan kakap putih. Analisis proksimat menunjukkan adanya peningkatan kadar protein kasar dan penurunan serat kasar serta lemak pada pakan yang mengalami *predigest* dibandingkan dengan pakan kontrol. Perlakuan dengan dosisi 10 mL/kg pakan dan waktu inkubasi 18 jam menghasilkan kadar protein tertinggi 42,27% sedangkan pakan kontrol tanpa penambahan mikroorganisme mix memiliki kandungan protein terendah sebesar 38,00%. Peningkatan kandungan protein kasar ini kemungkinan bukan berasal dari penambahan protein baru, melainkan karena aktivitas mikroorganisme (seperti *bacillus* sp. dan *lactobacillus* sp.) yang menghasilkan enzim proteolitik, yang dapat mencerna pakan buatan yang mengandung protein sehingga lebih mudah dicerna oleh larva. Temuan ini sejalan studi sebelumnya bahwa fermentasi mikroba dapat meningkatkan ketersediaan protein melalui produksi enzim eksogen, seperti protease (Chi et al. 2024; Rasdi et al. 2021). Meningkatkan ketersediaan protein bagi ikan (Rudnycky et al. 2023).

Selain itu, mikroorganisme juga berkontribusi terhadap peningkatan kadar protein melalui dua mekanisme tambahan; (1) Sintesis biomassa mikroba yang mengandung protein mengurangi komponen pakan lain seperti serat kasar dan lemak, sehingga meningkatkan persentase protein dalam total pakan (Li dan Chen, 2024; 23). Dengan demikian, kombinasi aktivitas enzimatik dan pertumbuhan roses *predigest* secara nyata berperan dalam memperbaiki profil nutrisi



Kandungan serat kasar dalam pakan *predigest* mengalami penurunan drastis dibandingkan kontrol (4,35%), dengan nilai terendah pada perlakuan dosis 5 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 18 jam (0,66%) dan dosis 10 mL/kg pakan lama waktu inkubasi 18 jam (0,73%). Penurunan ini diakibatkan oleh aktivitas enzim selulase dan hemiselulase yang dihasilkan oleh mikroorganisme mix, yang memecah serat kompleks menjadi komponen yang lebih sederhana dan lebih mudah dicerna (Rasdi et al. 2021).

Penurunan serat dari 4,35 % (kontrol) menjadi 0,73% menunjukkan efektifitas enzim selulase yang dihasilkan oleh mikroorganisme mix dalam menghidrolisis serat kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa fermentasi dengan mikroorganisme seperti *aspergillus* sp. dan *Rhizopus* sp. dapat menghidrolisis serat kasar, meningkatkan ketersediaan nutrisi lain dalam pakan (Fauzan et al. 2022). Pengurangan serat kasar sangat penting karena serat yang tinggi dalam pakan ikan dapat menghambat pencernaan nutrisi lain terutama pada fase larva yang memiliki sistem pencernaan belum sempurna (Pu et al. 2023). Dengan menurunnya serat kasar, pencernaan total pakan meningkat, memungkinkan ikan mengasimilasi lebih banyak nutrisi pakan. Oleh karena itu fermentasi dengan mikroorganisme mix berpotensi menjadi metode yang efektif dalam mengoptimalkan kualitas pakan ikan melalui reduksi serat kasar.

Kandungan lemak dalam pakan *predigest* mengalami penurunan dibandingkan kontrol (3,60%), dengan nilai terendah terdapat pada perlakuan dosis 10 mL/kg pakan dengan lama waktu inkubasi 18 jam (2,83%). Penurunan kadar lemak juga sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa *lactobacillus* sp. dan *bacillus* sp. dalam mikroorganisme mix dapat memanfaatkan lemak sebagai sumber energi metabolisme (Niu et al. 2022). Sejalan dengan penelitian (Bendaoud et al. 2024) yang melaporkan bahwa beberapa mikroorganisme seperti *lactobacillus* sp. juga dapat menggunakan lipid sebagai sumber energi, yang menyebabkan berkurangnya lemak dalam pakan.

Pengurangan kadar lemak pada pakan *predigest* dapat mengurangi risiko oksidasi lemak, yang dapat menurunkan kualitas pakan (Sumiana et al. 2020). Oleh karena itu fermentasi dengan mikroorganisme tidak hanya meningkatkan pencernaan lemak tetapi juga memperpanjang stabilitas pakan.

Kandungan BETN dalam pakan yang telah dipredigest mengalami peningkatan dibandingkan kontrol (42,61%). Peningkatan ini mencerminkan efektivitas mikroorganisme dalam menghidrolisis pati dan karbohidrat kompleks menjadi gula sederhana, yang lebih mudah dimanfaatkan sebagai sumber energi oleh ikan (Sumiana et al. 2020). Fermentasi dengan mikroorganisme seperti *sacharomyces* sp. dan *lactobacillus* sp. telah terbukti dapat meningkatkan BETN dengan mengkonversi karbohidrat kompleks menjadi gula terfermentasi, yang dapat meningkatkan nilai energi pakan (Ismail et al. 2023). Namun perlakuan pada dosis 10 mL/kg pakan dengan lama waktu inkubasi 18 jam, BETN tidak mengalami peningkatan yang signifikan, karena mikroorganisme, termasuk bakteri dan ragi, menghidrolisis karbohidrat kompleks menjadi gula sederhana selama fermentasi, menggunakan gula ini untuk energi dan pertumbuhan dari pada mengubahnya menjadi BETN (Jinmeng et al. 2024). Energi yang diperoleh dari gula yang dihidrolisis terutama digunakan untuk sintesis biomassa mikroba, yang menyebabkan akumulasi BETN rendah dalam pakan yang difermentasi



24). Peningkatan biomassa mikroba selama fermentasi mengurangi jumlah a untuk diubah menjadi BETN, yang memengaruhi hasil akhir fermentasi l. 2024). Meskipun tidak meningkat BETN secara signifikan, tetapi a peningkatan kualitas pakan secara keseluruhan.

u dalam pakan yang telah dipredigest mengalami penurunan dibandingkan 1,44%), dengan nilai terendah pada perlakuan 5 mL/kg pakan dengan lama

waktu inkubasi 24 jam (8,52%). Mikroorganisme, seperti bakteri, memainkan peran penting dalam mengubah komposisi kimia abu dengan melarutkan logam dan senyawa lain, yang dapat menyebabkan penurunan kadar abu (Aouad et al. 2006). Penurunan kadar abu pakan yang telah dipredigest dengan menggunakan mikroorganisme mix dipengaruhi oleh dosis mikroorganisme dan lama waktu inkubasi. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan waktu pencampuran pakan berhubungan dengan penurunan kadar abu dan serat kasar yang menunjukkan bahwa proses fermentasi dapat meningkatkan kualitas pakan (Latief et al. 2023).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa derajat hidrolisis lemak, dan serat kasar meningkat secara signifikan dengan perlakuan 10 mL/kg pakan dan lama waktu inkubasi 18 jam. Nilai derajat hidrolisis lemak tertinggi (34,95%) dapat dikaitkan dengan aktivitas enzim lipase hanya untuk hidrolisis lemak yang menghidrolisis lemak kompleks menjadi asam lemak bebas dan gliserol. Dosis tersebut telah terbukti mengoptimalkan aktivitas mikroba, yang mengarah pada peningkatan pencernaan lemak. Keberadaan mikroorganisme tertentu seperti *Lactobacillus* sp. yang terdapat dalam kandungan mikroorganisme mix dapat meningkatkan metabolisme lipid dengan memproduksi asam lemak rantai pendek selama fermentasi, yang sangat penting untuk pemecahan lemak (Niu et al. 2022), selama fermentasi sel-sel mikroba berkembang biak menghasilkan enzim yang memfasilitasi pemecahan lemak (Sangadji, 2020). Dosis mikroorganisme yang optimal dapat meningkatkan aktivitas enzimatik yang diperlukan untuk hidrolisis lemak yang efektif, sehingga meningkatkan kualitas gizi pakan secara keseluruhan (Ismail et al. 2023).

Lama waktu inkubasi selama 18 jam menghasilkan derajat hidrolisis lemak kasar tertinggi. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa aktivitas enzimatik, termasuk lipase, umumnya mencapai puncak pada durasi tertentu, yaitu antara beberapa jam hingga sekitar 18 jam, tergantung jenis enzim dan substrat yang digunakan (Prihanto et al. 2021). Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa waktu inkubasi 18 jam efektif meningkatkan daya cerna pakan melalui penurunan kadar lemak. Selain itu, waktu inkubasi yang optimal dapat mempengaruhi struktur komunitas mikroba, khususnya dengan meningkatkan kelimpahan bakteri pengurai lemak, yang sangat berperan dalam efisiensi proses hidrolisis lemak (Pu Et al. 2023). Misalnya, aplikasi enzim lipase terbukti mampu mendekomposisi lemak secara efektif dalam periode inkubasi tertentu, menunjukkan bahwa pengaturan waktu fermentasi atau inkubasi merupakan faktor penting dalam memaksimalkan efisiensi kerja enzim. (Alabdall et al. 2021).

Kombinasi dosis mikroorganisme mix 10 mL/kg pakan dan waktu inkubasi 18 jam menghasilkan hidrolisis lemak kasar optimal. Interaksi ini menunjukkan bahwa efek sinergis antara dosis dan waktu inkubasi memaksimalkan aktivitas enzim terhadap lemak. Dosis enzim atau inokulan mikroba yang optimal, dikombinasikan dengan waktu inkubasi yang tepat, meningkatkan proses hidrolisis, yang mengarah pada peningkatan daya cerna lemak (Annisa et al. 2020). Sebaliknya, dosis yang tidak mencukupi dosis 5 mL/kg pakan atau lama waktu inkubasi yang pendek 6 jam dapat mengakibatkan hidrolisis yang tidak memadai, seperti yang terlihat dalam percobaan di mana dosis rendah gagal mencapai fermentasi lengkap pada komponen pakan (Genç et al. 2020).



untuk mencapai pemecahan lemak yang optimal dosis dan lama waktu inkubasi (Anwar et al. 2023). Oleh karena itu, dosis dan waktu inkubasi yang tepat sangat penting untuk memaksimalkan lemak dalam pakan ikan.

sis serat kasar pakan *predigest* dengan menggunakan mikroorganisme mix pakan menghasilkan nilai tertinggi yaitu 79.86%. Mikroorganisme mix enzim selulase yang efektif dalam memecah serat kasar menjadi gula

sederhana (Fauzan et al. 2022). dosis enzim sangat penting untuk memaksimalkan hidrolisis serat kasar dalam pakan, meningkatkan kualitas pakan secara keseluruhan (Sumiana et al. 2020). Dengan demikian, optimalisasi dosis mikroorganisme sangat penting untuk meningkatkan hidrolisis serat kasar dalam pakan, yang dapat meningkatkan kualitas nutrisi dan daya cerna pakan budidaya.

Lama waktu inkubasi 18 jam optimal untuk hidrolisis serat kasar, dimana waktu tersebut cukup bagi enzim untuk mendegradasi komponen serat (Guna et al. 2023). Lama waktu inkubasi mempengaruhi degradasi selulosa dan hemiselulosa yang menyebabkan penurunan kandungan serat kasar yang signifikan (Anwar et al. 2023). Secara signifikan lama waktu 18 jam dapat menyebabkan pengurangan serat yang mempengaruhi peningkatan derajat hidrolisis serat kasar pakan.

Interaksi antara dosis dan lama waktu inkubasi memainkan peran penting dalam hidrolisis serat kasar dalam pakan. Peningkatan dosis enzim hidrolitik, seperti selulase, telah terbukti secara signifikan meningkatkan pemecahan struktur serat kompleks menjadi gula yang lebih sederhana, sehingga meningkatkan daya cerna (Rakhmawati et al. 2021). Selain itu, lamanya periode inkubasi sama pentingnya, waktu inkubasi yang optimal memungkinkan aktivitas enzimatis yang lebih luas, yang dapat menyebabkan pengurangan yang lebih besar dalam kandungan serat kasar (Putra et al. 2022). Efek sinergis dari dosis enzim dan waktu inkubasi ini penting untuk mengoptimalkan pakan, terutama dalam meningkatkan kecernaan bahan pakan berserat (Pratiwy dan Maulida, 2022).

Namun, derajat hidrolisis protein menunjukkan nilai negatif (-11.25%), nilai negatif muncul karena total protein meningkat bukan karena protein tidak terhidrolisis, Mikroorganisme menambah biomassa protein baru dan mengurangi bobot kering, sehingga persentase protein total naik. Ada dilution effect situasi perubahan berat/kandungan total sampel yang menyebabkan DH aritmetik negatif, bukti hidrolisis tetap terjadi dapat dilihat dari kenaikan protein terlarut. Enzim mikroba melepas peptide terlarut yang meningkatkan protein terlarut, yang mengindikasikan peningkatan kadar protein akibat pemecahan protein kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana dan lebih dapat dimanfaatkan oleh larva ikan kakap putih. Hasil ini menunjukkan bahwa fermentasi mikroba dengan *Bacillus* sp. dan *Lactobacillus* sp. dapat meningkatkan ketersediaan pakan (Li dan Chen, 2024). Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyoroti peran fermentasi mikroba dalam meningkatkan pencernaan protein (Rasdi et al. 2021; Surnawati et al. 2020). Dosis mempengaruhi derajat hidrolisis protein, dimana dosis yang lebih rendah berpengaruh terhadap degradasi mikroba yang membatasi proses hidrolisis (Rudnycky et al. 2023) sebaliknya dosis yang lebih tinggi dapat menghambat substrat yang mengakibatkan kerusakan protein (Li dan Chen, 2024; Rasdi et al. 2021)

Lama waktu inkubasi 18 jam optimal untuk hidrolisis protein, dimana memungkinkan proteolitik bekerja maksimal (Bendaoud et al. 2024). Penelitian lain menunjukkan bahwa durasi fermentasi yang bervariasi dapat menyebabkan perbedaan signifikan dalam kadar protein, dengan lama waktu yang tepat dapat berkorelasi dengan tingkat hidrolisis yang lebih tinggi (Pratiwy dan Maulida, 2022). Dosis enzim dan waktu inkubasi menunjukkan interaksi yang mempengaruhi efisiensi hidrolisis protein dalam pakan yang berpengaruh terhadap nilai



1a.

hidrolisis bahan ekstrak tanpa nitrogen (BETN) menunjukkan bahwa variabel waktu inkubasi tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap derajat hidrolisis. Nilai BETN menunjukkan nilai negatif, dimana nilai negatif terendah -1,97% /kg pakan dengan lama waktu inkubasi 18 jam. BETN dihitung secara tidak langsung karena mikroba memecah serat dan pati menjadi gula larut, serta menurunkan kadar

abu dan serat, persentase BETN total menjadi naik, karena rumus DH memakai penurunan relatif, peningkatan tersebut menampilkan angka minus. Nilai minus bukan mengindikasikan kegagalan hidrolisis melainkan tanda karbohidrat kompleks sudah berubah menjadi fraksi larut sebagai energi yang bermanfaat bagi larva. Hidrolisis BETN dapat dilihat dari kadar glukosa pakan naik 7,6% yang mengindikasikan microbial amilase aktif, aktivitas enzim amilase yang diproduksi oleh mikroorganisme mix. Aktivitas enzim amilase yang dihasilkan oleh mikroorganisme mix cukup dalam memecah BETN (Niu et al. 2022). Amilase memiliki spesifikasi substrat yang tinggi, sehingga efektifitasnya dalam menghidrolisis pati dapat bervariasi tergantung pada struktur dan kompleksitas BETN dalam pakan (Pu et al. 2023). Substrat yang digunakan oleh mikroorganisme lebih banyak mengandung lemak, protein dan serat dibandingkan BETN, sehingga mikroorganisme lebih cenderung menghidrolisis komponen tersebut terlebih dahulu. Beberapa studi menunjukkan bahwa keberadaan protein dan serat dapat mempengaruhi degradasi BETN karena kompetisi enzim terhadap substrat yang berbeda (Sumiana et al. 2020).

Kadar protein terlarut tertinggi (48,35 mg/10mL) ditemukan pada perlakuan dosis 15 mL/kg dengan lama waktu inkubasi 12. Namun, nilai ini tidak berbeda nyata dengan perlakuan dosis 10 mL/kg pakan dengan inkubasi 18 jam (47,54 mg/10mL). menunjukkan bahwa kondisi ini optimal untuk memaksimalkan daya cerna protein. Peningkatan kandungan protein terlarut hingga 12 – 18 jam inkubasi menunjukkan hidrolisis optimal dari protein kompleks menjadi peptide dan asam amino bebas (Bendaoud et al. 2024). Hasil yang diperoleh ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa fermentasi mikroba menggunakan bakteri penghasil protease meningkatkan pemecahan protein, sehingga meningkatkan ketersediaan nutrisi dalam pakan akuakultur (Ismail et al. 2023). Penurunan kadar protein terlarut setelah 24 jam inkubasi menunjukkan bahwa fermentasi yang terlalu lama dapat menyebabkan degradasi sekunder peptide menjadi senyawa nitrogen non-protein, seperti ammonia (Pu et al. 2023). Oleh karena itu, kombinasi dosis dan waktu inkubasi yang optimal sangat penting dalam proses predigest pakan.

Perbedaan yang diamati di antara dosis mikroorganisme menunjukkan pentingnya menemukan keseimbangan optimal antara aktivitas enzim dan metabolisme mikroba. Sementara dosis yang lebih tinggi 15 mL/kg pakan awalnya meningkatkan kelarutan protein, inkubasi yang diperpanjang mengakibatkan penurunan, kemungkinan karena konsentrasi asam amino bebas oleh mikroba sebagai sumber energi (Niu et al. 2022). Hasil ini menunjukkan potensi fermentasi mikroba sebagai metode yang efektif untuk meningkatkan kualitas pakan ikan, khususnya dalam mengganti pakan alami untuk larva ikan. Peningkatan kadar protein terlarut menunjukkan bahwa pakan yang dicerna terlebih dahulu dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan protein pada ikan tahap awal, mengurangi biaya pakan, dan dapat meningkatkan kinerja pertumbuhan (Rudnycky et al. 2023).

Peningkatan kadar glukosa dalam pakan predigest dengan dosis 10 mL/kg pakan dan inkubasi 18 jam menunjukkan bahwa hidrolisis karbohidrat kompleks menjadi gula sederhana telah berlangsung secara optimal. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan fermentasi mikroba dapat meningkatkan ketersediaan glukosa dengan memecah polisakarida menjadi monosakarida, sehingga meningkatkan pemanfaatan energi (Ismail et al. 2023). Hasil ini sejalan dengan penelitian (Sidar et al. 2023) yang menunjukkan bahwa fermentasi dengan *sacharomyces* sp. dapat meningkatkan kadar glukosa dalam pakan ikan. Namun, penggunaan mikroorganisme mix dengan ikan justru menurunkan kadar glukosa, yang kemungkinan disebabkan oleh mikroorganisme yang berlebihan yang mengkonsumsi glukosa untuk metabolisme mereka



Temuan ini menunjukkan bahwa dosis mikroba moderat (10 mL/kg) dengan waktu inkubasi 18 jam memberikan hidrolisis karbohidrat yang paling efektif sekaligus mencegah penipisan glukosa yang berlebihan. Peningkatan kandungan glukosa dalam pakan yang dicerna oleh mikroba yang terkandung dalam mikroorganisme mix diantaranya *bacillus* sp., *Lactobacillus* sp., *Aspergillus* sp., terbukti meningkatkan glukosa melalui proses fermentasi. (Sidar et al. 2023; Zhang et al. 2023) Mikroorganisme ini menghasilkan amilase dan karbohidrase lain yang menghidrolisis molekul pati kompleks menjadi gula yang lebih sederhana dan lebih mudah dicerna, sehingga meningkatkan ketersediaan energi dalam pakan (Jinmeng et al. 2024; Chi et al. 2024). Namun dosis mikroba yang berlebih (15mL/kg pakan) dan fermentasi yang berkepanjangan lebih dari 24 jam dapat menyebabkan penipisan glukosa, yang menunjukkan bahwa pemantauan dosis dan lama waktu inkubasi sangat penting untuk mencegah konsumsi gula mikroba yang berlebih (Chi et al. 2024).

Kualitas protein pakan sangat ditentukan oleh jenis asam amino yang dikandungnya, (Sianturi dan Rachmatiah, 2020) mengemukakan bahwa mutu protein dapat dilihat dari ketersediaan asam amino esensial. Asam amino esensial merupakan komponen nutrient utama dalam pakan yang secara langsung mempengaruhi pertumbuhan, efisiensi metabolisme, dan kelangsungan hidup larva ikan laut. Dalam penelitian ini, analisis profil asam amino menunjukkan bahwa sebagian besar asam amino esensial (EAA) telah memenuhi atau mendekati standar kebutuhan menurut (Hardy et al. 2011), namun beberapa menunjukkan kekurangan yang berpotensi mengganggu proses fisiologis larva. Lysin, berada pada ambang batas yaitu 5,5% Lysin merupakan salah satu asam amino yang umum ditemukan dalam bahan pakan (Solami dan Mohamed, 2024), dimana lysin sebagai asam amino pembatas dan sangat diperhatikan dalam formulasi campuran pakan (Saulina, 2004), karena berperan penting dalam pertumbuhan jaringan tubuh terutama otot, selain itu lysin dibutuhkan dalam jumlah yang banyak untuk mendukung pertumbuhan optimal (Richard dan Chapman, 2007). Kekurangan lysin terbukti dapat menurunkan laju pertumbuhan dan menyebabkan peningkatan rasio konversi pakan (Imani et al. 2021). Lysin berperan dalam pembentukan karnitin, yaitu senyawa yang berfungsi dalam proses metabolisme lemak untuk menghasilkan energi. karnitin berperan dalam transportasi asam lemak rantai panjang ke dalam mitokondria (Rachmawati et al. 2020). Nilai lysin sebesar 5,5% dalam pakan predigest tersebut tergolong efektif dalam memenuhi kebutuhan asam amino pada larva ikan kakap putih. Memenuhi kebutuhan asam amino pada larva ikan kakap putih yang dapat memberikan pertumbuhan, (Leonarda, 2023) melaporkan bahwa penambahan asam amino lysin 1% dapat memberikan pertumbuhan ikan kakap putih yang dipelihara di keramba jaring apung.

Nilai tertinggi kedua adalah leusin 4,77% cukup memenuhi kebutuhan leusin larva ikan kakap putih, sama seperti lysin leusin juga dibutuhkan dalam jumlah yang banyak di dalam pakan berperan dalam mengatur metabolisme energi yang berfungsi mengatur sintesis protein dan pembentukan otot, organ dan jaringan lainnya. (Hasnidar dan Tamsil, 2020) menampilkan bahwa leusin merupakan molekul penting yang memiliki banyak fungsi pada ikan yang berperan merangsang sintesis protein otot. Hal yang sama juga dilaporkan (Ming-Qi et al. 2024) suplementasi leusin dalam pakan secara efektif meningkatkan sintesis dan pemanfaatan protein. Nilai leusin pada pakan predigest telah mencapai persentase kebutuhan



yang dibutuhkan larva ikan kakap putih, dimana (oilangon et al. 2024) penambahan 2% asam amino pada pakan dapat memberikan pertumbuhan ikan dipelihara dalam Keramba jaring apung,

Valin dalam pakan predigest larva ikan kakap putih 2,98% cukup memenuhi kebutuhan asam amino valin larva ikan kakap putih. Valin berperan dalam sintesis protein pada ikan dan metabolisme dalam tubuh memperbaiki kerusakan sel dan penyedia

energi (Wang et al. 2024). Nilai valin memenuhi kebutuhan asam amino larva ikan kakap putih (oilangon et al. 2024). Isoleusin, yang terkandung dalam pakan buatan predigest untuk larva ikan kakap putih, memiliki nilai 2,33% memenuhi kebutuhan asam amino larva ikan kakap, isoleusin mendukung metabolisme energi dan pembentukan jaringan otot. Penelitian (Ren et al. 2023) menunjukkan pertambahan otot dan pertumbuhan pada juvenile ikan bass pada penambahan isoleusi 1,837% pada pakan kering. Kebutuhan isoleusin disesuaikan dengan jenis ikan. Kekurangan nilai isoleusin menyebabkan ketidak seimbangan dalam sintesis protein struktur dan neurotransmitter pada larva ikan kakap putih.

Threonin, yang terkandung sebanyak 2,76% dalam pakan cukup memenuhi kebutuhan larva ikan kakap putih, berperan dalam pembentukan protein struktural dan pengaturan system kekebalan tubuh dan mendukung saluran pencernaan larva adalah asam amino esensial yang terlibat dalam metabolisme (Khoklang et al. 2024). Kandungan asam amino dapat mendukung pertumbuhan ikan kakap putih (oilangon et al. 2024). Fenilalanin dengan nilai 1,26% kurang dalam memenuhi kebutuhan larva ikan kakap putih. Fenilalanin merupakan prekursor penting bagi asam amino tirosin. Proses sintesis tirosin berlangsung dari fenilalanin, sebagaimana diungkapkan oleh (Ronald et al. 2011) ikan memiliki kemampuan untuk mengubah fenilalanin menjadi tirosin dengan efisiensi, sehingga keberadaan salah satu dari kedua asam amino ini dapat memenuhi kebutuhan asam amino esensial bagi ikan. Fenilalanin berperan dalam mengatur fungsi tubuh, seperti metabolisme, pengelolaan stress dan sistem saraf ikan (Ronald et al. 2011). Kekurangan fenilalanin dapat menyebabkan ketidakseimbangan dalam sintesis protein struktural dan neurotransmitter. Kekurangan fenilalanin ini dapat digantikan dengan tirosin yang mencukupi dalam pakan, yang merupakan *amino acid sparring effect*. Histidin dengan kandungan 1.59% cukup memenuhi kebutuhan larva ikan kakap putih, memiliki fungsi utama dalam pembentukan hemoglobin (Hardy et al. 2011) mencatat bahwa histidine banyak ditemukan dalam hemoglobin yang berperan penting dalam transportasi oksigen ke seluruh tubuh. Selain itu histidine dengan nilai 1,59 cukup memenuhi kebutuhan larva ikan kakap putih, mendukung perkembangan saraf pada larva. Metionin dengan nilai 1,88% kurang dalam memenuhi kebutuhan asam amino larva ikan kakap putih, metionin merupakan precursor penting bagi sistein dan taurine asam amino ini juga merupakan amino acid sparring effect, dimana kekurangan metionin dapat digantikan dengan sistin sebesar 50%. Metionin berperan dalam transduksi sinyal sel fungsi hati (Hardy et al. 2011). Dimana metionin memiliki efek sparing terhadap sistin, sehingga kekurangan salah satu dari kedua asam amino tersebut dapat digantikan melalui mekanisme amino acid sparing effect. Arginin, dengan kandungan 4.47% berada dalam kisaran yang cukup untuk larva ikan kakap putih, merupakan prekursor utama produksi nitrat oksida (NO), yang membantu mengatur tekanan darah (Wu et al. 2009) memperbaiki sirkulasi darah, mendukung distribusi ke seluruh tubuh larva.

Asam amino non esensial juga memiliki peran yang signifikan dalam mendukung pertumbuhan dan metabolisme larva. Tubuh mampu mensintesis asam amino non esensial sendiri, Dalam pakan predigest yang mengandung mikroorganisme mix dengan dosis 10 mL/kg pakan dan waktu inkubasi selama 18 jam, terdeteksi 8 jenis asam amino non esensial. Asam amino non esensial dalam pakan secara umum berada dalam kisaran yang cukup.



Kandungan sebesar 4,06% cukup memenuhi kebutuhan larva ikan kakap komponen utama dalam sintesis kolagen, Kolagen berperan penting dalam ngan ikat (Wu, 2009), yang memperkuat struktur tubuh larva yang sedang melindungi sel dari stress oksidatif. Asam glutamate, dengan kadar 3,86% iklus krebs untuk menghasilkan energi, mendukung kebutuhan energi tinggi al pertumbuhan (Li et al. 2009). Asam aspartat 2,62% membantu dalam

sintesis nukleotida, yang esensial untuk pembelahan dan pertumbuhan sel (Wu, 2009), Serin, dengan kadar 1,88% berperan dalam metabolisme lemak dan glukosa serta mendukung pembentukan membran sel (Li dan Wu, 2018). Alanin, dengan kadar 1,65%, menjadi sumber energi melalui konversi menjadi glukosa di hati. Hal ini membantu dalam mengatur kadar gula darah (Li dan Wu 2018) dan menyediakan energi tambahan untuk metabolisme aktif larva. Prolin 1,43% kurang memenuhi kebutuhan larva ikan kakap putih, berperan penting dalam sintesis kolagen dan stabilisasi struktur protein, sehingga mendukung penyembuhan luka. Mempercepat regenerasi jaringan (Mori et al. 1998). Tirosin 1,55% cukup memenuhi kebutuhan larva ikan kakap putih, merupakan prekursor neurotransmitter seperti dopamin, norepinefrin, dan epinefrin. Selain itu, tirosin mendukung pigmentasi kulit melalui sintesis melanin (Li et al. 2009). Kandungan sistein 1,00% cukup dalam memenuhi kebutuhan larva ikan kakap putih. Asam amino ini membantu pembentukan struktur protein melalui ikatan disulfida (Wu, 2013). Melindungi sel dari kerusakan oksidatif dan memperkuat stabilitas protein struktural.

Pakan predigest mengandung asam lemak jenuh (saturated fatty acid) 6 jenis yang terdeteksi, yaitu eikosapentaenoat (EPA), dokosaheksaenoat (DHA), asam α -linolenat (ALA), asam linoleat (LA) dan arakidonat (ARA). asam lemak non esensial terdiri dari 7 jenis yaitu laurat, miristat, palmitat, stearat, oleat, kaprilat dan kaprat. Berdasarkan hasil analisis, ditemukan bahwa kadar asam lemak esensial seperti EPA 1,0% dan DHA 2,0% dari total lemak. Nilai ini sesuai kebutuhan larva ikan kakap putih sesuai (Hardy et al. 2011), yakni 1,0 untuk EPA dan 2,0% untuk DHA, menunjukkan bahwa kandungan keduanya masih tergolong cukup. EPA dan DHA dapat memberikan pertumbuhan, deformitas morfologis dan meningkatkan daya tahan tubuh, mengingat kedua asam lemak ini sangat penting dalam pembentukan membran sel saraf dan retina, serta dalam modulasi sistem imun larva (Tocher, 2015).

Kandungan asam arakidonat (ARA) dalam pakan merupakan prekursor utama dari eicosanoid yang berperan dalam fungsi imun dan respon fisiologis terhadap stress. Defisiensi ARA dapat berdampak pada penurunan respons imun serta mengganggu metabolisme larva, yang pada akhirnya menurunkan tingkat kelangsungan hidup (Imani et al. 2021). Selain itu kandungan α -linolenat (ALA) dan linoleat (LA) sudah berada dalam kisaran yang direkomendasikan, yaitu masing-masing 0,88% dan 2,06%,

Kandungan asam lemak non-esensial seperti laurat, miristat, palmitat, stearat, dan oleat, berada dalam kisaran yang sesuai dengan standar untuk larva ikan berdasarkan NRC, (2011). Kehadiran asam-asam lemak ini penting sebagai sumber energi metabolik dan berperan dalam pembentukan struktur membran lipid sel (Glencross et al. 2014). Palmitat dan oleat secara khusus berperan dalam penyerapan nutrisi dan penyimpanan lipid jaringan tubuh larva. Selain itu keberadaan asam lemak rantai sedang seperti kaprilat, dan kaprat juga tercatat telah sesuai dengan kebutuhan fisiologis larva ikan kakap putih. Walaupun secara biokimia diklasifikasikan sebagai non-esensial, kedua jenis asam lemak ini memiliki laju absorpsi tinggi dan merupakan sumber energi cepat yang sangat dibutuhkan pada tahap awal kehidupan larva (Turchini et al. 2019). Keberadaan asam amino ini di dalam pakan dapat menyeimbangkan metabolisme dan stabilitas fisiologi larva selama fase kritis awal pertumbuhan.



gest yang mengandung campuran mikroorganisme ini tidak hanya mengandung protein terlarut, tetapi juga mengandung pakan dengan asam lemak. Namun pakan buatan yang digunakan perlu pakan dengan tingkat nutrisi yang sesuai dengan kebutuhan larva ikan kakap putih, untuk mengoptimalkan performa larva dalam sistem budidaya intensif dan mendukung keberhasilan produksi benih berkualitas.



Optimized using
trial version
www.balesio.com