

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

2.1 *Hermetia illucens* L.

Hermetia illucens L. merupakan salah satu jenis serangga yang sering di jumpai di tumpukan sampah. Larva jenis ini hidup dikawasan yang cukup lembab, sesuai dengan karakteristiknya. Larva *Hermetia illucens* L. dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Subfilum : Heksapoda
Kelas : Insecta
Subkelas : Pterygota
Infrakelas : Neoptera
Order : Diptera
Suborder : Brachycera
Famili : Stratiomyidae
Subfamili : Hermetia
Genus : Hermetia
Spesies : *Hermetia illucens*

(Prasetya dan Melta., 2018)

Larva *H. illucens* L. memiliki lebar maksimal 6 mm. Warnanya putih, dan pada akhirnya tampak seperti mulut. *H. illucens* L. larva menelan bahan organik untuk menyimpan lemak pada fase dewasa (Sastro., 2016). Secara umum, morfologi larva *H. illucens* L. atau yang biasa disebut Maggot BSF (*Black Soldier*

Fly) berbeda dengan larva serangga ordo diptera lainnya dari kelompok tiousefly.



Gambar 2. 1 Morfologi Maggot, pupa dan lalat dewasa

(Sumber : McShaffrey., 2013)

Larva *H. illucens* L. memiliki ciri permukaan tubuh berkerut, bagian kepala berwarna jingga, dan tubuh pipih, bulat, atau berbentuk perahu tanpa pengait. Tubuh larva tertutup pori-pori dan bulu-bulu halus. Permukaan tubuh pupa belatung yang keriput hampir identik dengan larva lainnya (Prasetya dan Melta., 2018).

2.1.1 Siklus Hidup



Gambar 2. 2 Siklus Hidup BSF (*H. illucens* L.)

(Sumber : Melta dan Prasetya., 2018)

Larva *H. illucens* L. yang Sikus hidup pada berbagai kondisi lingkungan, antara lain suhu, kelembapan udara, intensitas cahaya, serta jenis dan jumlah makanan yang disediakan. Larva *H. illucens* L. melewati siklus hidup berikut.

2.1.2 Tahap Telur

Induk dewasa *H. illucens* L. dapat bertelur antara 320 dan 1.000 telur di atas substrat kering, tersembunyi di antara tumpukan lempengan atau celah untuk menjaga kelembapan telur hingga menetas dan terhindar dari bahaya. Di sebelah persediaan makanan adalah tempat induk akan bertelur. Induk *H. illucens* L. ini akan meletakkan telurnya secara Bersama-sama dengan individu serangga lainnya. Setelah meletakkan telur, induk betina serangga ini akan mati.

Telur larva yang bulat sepanjang satu milimeter ini berwarna krem kekuningan dan semakin kecoklatan saat menetas. Saat suhu mencapai 27-28°C pada Hari ke-4 atau 30-32°C pada Hari ke-3, telur akan menetas. Masa inkubasi telur beragam untuk tiap kondisi lingkungan salah satunya pada suhu 24°C telur menetas dalam 102-105 jam.

2.1.3 Tahap Larva (Maggot)

Pada ukuran 0,66 mm, telur akan menetas setelah tiga hari dan menuju ke arah persediaan makanan. Di permukaan media, larva yang baru menetas akan terlihat dalam gugusan yang menyerupai awan putih. Larva akan mencari area gelap, menghindari cahaya, dan masuk ke celah-celah media pertumbuhan. Larva matang hingga berumur 2-3 minggu.

Larva melewati lima periode instar (tahap pergantian kulit) selama permukaan larva sebelum memasuki fase prapupa. Adalah umum untuk menyebut proses ini "molting." Pada empat tahap pertama pertumbuhan, sulit untuk membedakan

belatung secara morfologis kecuali Anda melihat seberapa besar tubuhnya berkembang.

Setelah organisme mencapai fase instar kelima, variasi morfologi menjadi jelas. Perubahan kulit yang lebih gelap atau kecoklatan merupakan indikasi dari fase ini. Setelah tahap kelima, larva akan terpisah dari media makan dan siap untuk mengalami transformasi. Pada suhu 27-30°C, tingkat kelangsungan hidup larva hingga memasuki fase pra-kepompong adalah 75-90%.

2.1.4 Tahap Pre-pupa

Bagian tubuh mulai menjadi hitam atau kecoklatan selama tahap pra-kepompong. Larva tidak lagi dalam proses moulting (instar) selama fase ini, yang dimulai pada hari ke-19. Larva bermigrasi dari sumber makanan ke lokasi yang kering dan aman saat mereka mendekati fase kepompong, di mana mereka berhenti makan. Berat badan larva agak berkurang selama fase ini.

2.1.5 Tahap Pupa

Pada tahap ini, 24 hari setelah menetas adalah saat tahap kepompong dapat dicapai. Delapan hari membentuk tahap kepompong. Bug sekarang akan berubah menjadi dewasa pada saat ini. Ciri yang paling mencolok dari fase ini adalah warna pupa, yang memudar dan semakin gelap sambil tetap diam dan menekuk di salah satu ujungnya. Kepompong kemudian mulai berubah menjadi serangga pada hari ke-32.

2.1.6 Tahap Serangga

Fase dewasa merupakan fase yang paling singkat karena hanya 6-8 hari. Pada fase ini terjadi proses reproduksi. Serangga dewasa tidak membutuhkan pakan karena memiliki cadangan lemak yang di peroleh selama tahap larva. Serangga

jantan memiliki ukuran yang lebih kecil disbanding serangga betina namun rentang waktu hidup serangga betina lebih singkat disbanding serangga jantan.

Proses kawin terjadi di paparan sinar matahari langsung. Untuk melindungi telurnya dari pemangsa, serangga betina bertelur di bagian luar tumpukan kayu setelah kawin. Selanjutnya, serangga betina akan berkembang biak, sedangkan serangga jantan pada akhirnya akan mati. Kuantitas dan kualitas makanan yang dikonsumsi selama tahap larva berdampak signifikan terhadap jumlah telur yang dihasilkan oleh serangga dewasa.

2.2 Pertumbuhan Larva *Hermetia illucens* L.

Pada media organik seperti BIS, kotoran sapi, kotoran babi, kotoran ayam, kotoran buah, dan sampah organik lainnya, larva *H. illucens* L. dapat berkembang dan berkembang. Toleransi PH larva yang luas berkorelasi dengan kapasitasnya untuk bertahan hidup di berbagai media (Mangunwardoyo et al., 2011). Selain itu, bakteri tertentu yang ada dalam sistem pencernaan berdampak pada kapasitas larva untuk mendegradasi zat organik (Dong et al., 2009; Yu dkk., 2011). Menggunakan isolasi sembilan bakteri dari sistem pencernaan larva *H. illucens* L., Banjo dkk. ((2005) ditemukan *Micrococcus* sp., *Streptococcus* sp., *Bacillus* sp., dan *Aerobacter aerogenes*.

Jika dibandingkan dengan larva dari koloni laboratorium, larva *H. illucens* L. yang diambil dari alam dan ditanam di media organik dengan kualitas yang sesuai memiliki kinerja yang lebih baik (Tomberlin et al., 2002). Berat larva *H. illucens* L. yang diberikan dalam jumlah kecil tidak jauh berbeda dengan larva yang diberi pakan dalam jumlah banyak (Myers et al., 2008). Menurut Zarkani & Miswati (2012) kualitas media pertumbuhan larva juga berdampak pada rasio jumlah larva

Jantan dan betina *H. illucens* L. lalat menetas dari kepompong, menjadi alternatif sumber protein untuk pakan ternak. Larva yang dibesarkan di media terbatas akan menetas menjadi lalat jantan dewasa.

2.3 Sampah Organik

Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) di Widowati (2019), sampah organik menyumbang 60% dari seluruh sampah, sehingga menjadi jenis komposisi sampah yang dominan. Gas metana, gas rumah kaca dengan kapasitas 30 kali lipat lebih besar untuk menyerap panas daripada karbon dioksida, dihasilkan oleh pemecahan anaerobik sampah organik yang menumpuk di tempat pembuangan sampah (Chandra et al., 2010). Lebih jauh lagi, karena gas metan mengubah komposisi oksigen di udara, maka merugikan kesehatan pernapasan mereka yang tinggal di dekat TPA (Syafrudin, 2004). Hal ini terlihat dari banyaknya sampah yang terkumpul di sekitar perumahan umum dan di pinggir jalan, menghalangi pandangan dan mengeluarkan bau yang tidak sedap. Dimungkinkan untuk mendaur ulang sampah organik dan mengubahnya menjadi komoditas yang berharga. Salah satu produknya adalah makanan larva *H. illucens* L.

Salah satu inisiatif untuk meningkatkan efisiensi pengolahan dan pengelolaan sampah adalah biokonversi sampah organik menjadi sumber protein untuk pakan ternak. Melalui proses fermentasi yang melibatkan organisme hidup, sampah organik akan diubah menjadi molekul sederhana, termasuk lemak dan protein (Newton et al., 2005). Larva serangga secara alami mengalami biokonversi, dimana mereka mengkonsumsi sampah organik dan mengubah kandungan nutrisinya menjadi biomassa untuk pupa maggot (Fahmi, 2015). Biokonversi yang

dilakukan agen bio-konversi yaitu larva *H. illucens* L. atau BSF (*Black Soldier Fly*) mampu mengurai limbah organik hingga 56% dan sebagai agen biokonversi.

2.4 Fermentasi

Proses fermentasi melibatkan organisme hidup (mikroorganisme) dalam mengubah senyawa yang kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, menggunakan reaksi oksidasi reduksi sehingga terjadi perombakan kimia (Elyana., 2011). Gliserol, glukosa, asam amino dan asam lemak adalah produk dari konversi zat kompleks yang berbentuk protein, lemak, dan karbohidrat. Selain itu, karena fermentasi memecah zat kompleks menjadi zat sederhana yang dapat diserap tubuh dengan lebih mudah, maka bermanfaat untuk memperpanjang nilai gizi dan umur simpan bahan.

Menurut Buckle dkk. (2011), molekul kompleks yang dikenal sebagai bahan kimia yang mudah menguap diproduksi selama proses fermentasi dan mengeluarkan bau yang berbeda. Zat yang mudah menguap ini akan membuat makanan yang difermentasi terasa lebih enak dan berbau lebih harum, yang akan mendorong organisme untuk makan lebih banyak. Umumnya waktu optimal untuk fermentasi sampah organik yaitu sekitar 1 sampai 6 hari tergantung dari jumlah mikroba yang digunakan serta kondisi pH (Febriyansyah et al., 2015). Mikroba paling aktif, atau pada fase logaritmik, setelah lima hari. Menurut Fauzi (2012), mikroba mengalami fase deklinasi dan pertumbuhan stasioner, artinya populasinya tumbuh lebih lambat. Ini diikuti oleh fenomena di mana jumlah mikroba mati dan hidup hampir sama, mencegah peningkatan jumlah total mikroba. Bakteri akan melanjutkan ke fase sekarat setelah fase diam.

Enzim selulosa yang ditemukan pada Larva *H. illucens* L. membantu memecah makanan dan mengekstrak protein dari sari makanan. Larva akan menghasilkan enzim selulosa melalui mulutnya, dan kemudian akan menyedot makanan untuk mengubahnya menjadi bentuk tubuhnya. Pakan makanan sisa organik yang telah difermentasi dapat mengalami percepatan penurunan yang lebih tinggi karena menurut mekanisme pemberian makan larva menghasilkan asam amino (Danny et al., 2021).

Tingkat pH merupakan elemen penting dalam perkembangan bakteri. Hal ini mempengaruhi kepadatan bakteri tinggi-rendah yang dihasilkan. pH ideal bervariasi dari 6,5 hingga 7,5, sedangkan nilai minimum dan maksimum untuk pertumbuhan bakteri seringkali 4 hingga 9. (Jalaluddin dkk., 2016). Tingkat pH merupakan elemen penting dalam perkembangan bakteri. Hal ini mempengaruhi kepadatan bakteri tinggi-rendah yang dihasilkan. pH ideal untuk ekstrak kasar enzim selulase isolat B2 S8 adalah 7, dengan aktivitas enzim $0,0267 \pm 0,00047$ IU / mL, menurut Ambar dkk. (2019). Hal ini sejalan dengan pernyataan Susanti (2011) bahwa pH 7 merupakan pH ideal untuk aktivitas maksimum ekstrak selulase kasar di Laboratorium Mikrobiologi koleksi kultur murni *Bacillus circulans* ITB, dengan nilai 129,97 U / mL. Selain itu, Putri (2016) mengklaim bahwa pH merupakan kisaran ideal untuk aktivitas enzim selulase yang dihasilkan oleh *L. plantarum*, dengan nilai 0,054 IU / mL.

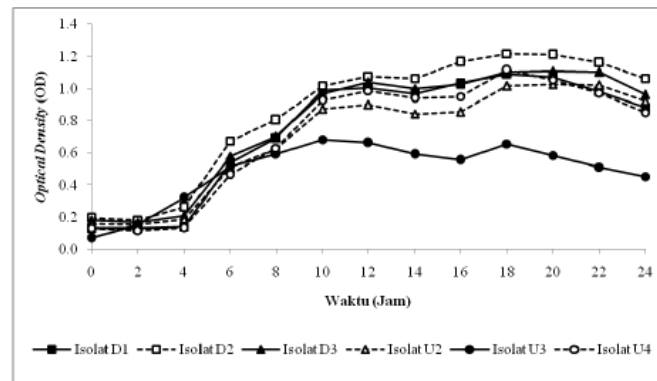
Karena bakteri selulolitik tumbuh lebih cepat daripada kelompok mikroba lainnya, mereka memiliki kemampuan untuk mendegradasi selulosa dan menghasilkan enzim selulase dalam waktu yang lebih singkat (antara., 2019). Bakteri ini menemukan rumah di bahan organik atau sampah. Tanah merupakan

habitat mikroorganisme selulosa. Ciri-ciri tanah yang menunjukkan konsentrasi bakteri selulolitik yang tinggi disebabkan oleh serasah (daun, ranting bunga, buah-buahan, dan sayuran). Perkembangan yang cepat, enzim yang canggih, dan berbagai lingkungan pendukung merupakan ciri khas bakteri selulolitik.

Kurva pertumbuhan biasanya menunjukkan pola pertumbuhan mikroba. Siklus pertumbuhan bakteri lengkap terlihat pada kurva pertumbuhan. Ada empat fase dalam fase pertumbuhan bakteri: fase lag, fase eksponensial, fase diam, dan fase kematian.

1) Fase lag, adaptasi atau kapasitas bakteri untuk menyesuaikan diri dengan keadaan lingkungan yang baru, dikenal sebagai fase lag. Pada tahap kelambatan ini, bakteri memiliki berbagai kemampuan adaptasi. Susunan media, jumlah sel inokulum awal, suhu, tingkat pH, dan karakteristik fisiologis mikroorganisme pada media sebelumnya semuanya berdampak pada hal ini (Volk dan Wheeler, 1993). Menurut Rolfe dkk. (2012), fase lag juga disebut sebagai fase pertama atau fase penyesuaian aktivitas mikroba di lingkungan baru. Biasanya, fase jeda berlangsung mulai dari beberapa menit hingga beberapa jam. 2) Tahap pertumbuhan kedua disebut fase eksponensial. Fase pertumbuhan yang sangat cepat terjadi, yang menjadi bukti untuk fase ini. Suhu, pH, nutrisi dalam media, dan karakteristik genetik bakteri semuanya mempengaruhi pertumbuhan bakteri selama fase eksponensial ini (Volk dan Wheeler, 1993). Menurut Maier (2009), fase eksponensial diperlukan untuk pembelahan atau penggandaan sel mikroba. 3. fase diam, di mana jumlah total mikroorganisme tetap ada karena laju pertumbuhannya sama dengan laju kematian mikroba (Volk dan Wheeler, 1993). 4) Fase kematian, seperti yang didefinisikan oleh Volk dan Wheeler (1993),

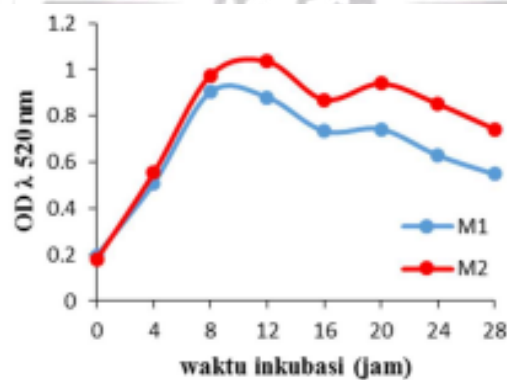
adalah periode di mana terjadi peningkatan proporsi angka kematian relatif terhadap angka pertumbuhan.



Gambar 2. 3 Grafik Fase Hidup Bakteri Selulitik

(Sumber : Wahyuningsih dan Zulaika., 2018)

Menurut penelitian Wahyuningsih dan Zulaika., (2018) pada jam ke 8 dan 12 menunjukkan fase eksponensial, karena laju pertumbuhan pada jam tersebut bakteri signifikan dan nutrisi pada media mencukupi untuk pertumbuhan bakteri.



Gambar 2. 4 Grafik Fase Hidup Bakteri Selulitik

(Sumber : Arum et al., 2017)

Menurut penelitian Arum et al., (2017) pada jam ke 8 dan 12 menunjukkan fase eksponensial, karena laju pertumbuhan bakteri signifikan. Dari kedua

penelitian tersebut di dapatkan waktu optimal yang di dapat ada pada jam ke 12 serta kurva pertumbuhan bakteri paling tinggi ada pada jam ke 8 sampai 12.

Usia awal dan waktu yang ideal untuk terapi dapat dipastikan dengan menggunakan kurva pertumbuhan. Menurut Wahyuningsih dan Zulaika (2018), fase terbaik untuk digunakan adalah fase eksponensial karena saat itulah bakteri tumbuh dengan kecepatan tercepatnya, sehingga ideal untuk digunakan sebagai inokulum dalam suatu pengobatan.

Proses alami yang penting seperti pengomposan dibantu oleh bakteri selulolitik (Nurfutriani dan Handayanto., 2017). Sebagai bio penggerak pengelolaan limbah selulosa menjadi kompos (Azizah dkk., 2014), terlibat dalam proses pencernaan hewan ternak dan menghasilkan protein menggunakan bahan dasar selulosa (Aiman dan Astuti., 2012). Oleh karena itu bakteri selulolitik ini dapat digunakan untuk biokonversi pada sampah organik sehingga mampu mempercepat laju pembusukan sampah.

2.5 Kandungan Protein Pada Larva *Hermetia illucens* L.

Protein yang dibawa larva *H. illucens* L. berasal dari protein yang terdapat pada media pertumbuhan karena larva menggunakan protein pada media tersebut untuk membangun protein tubuhnya. Jumlah dan kualitas protein pada larva *H. illucens* L akan meningkat jika medianya melimpah dan berkualitas baik.

Larva *H. illucens* L. biasanya memiliki 44,26% protein dan 29,65% lemak. Selanjutnya larva tersebut memiliki nilai asam amino, asam lemak, dan mineral yang tinggi sehingga cocok untuk dijadikan pakan ternak (Fahmi dkk., 2007).

Ketersediaan dan kualitas nutrisi makanan larva sangat penting untuk mempertahankan fase kehidupan larva dan memastikan kualitas nutrisi yang

optimal, menurut Monita dkk. (2017). Protein yang berasal dari protein media berkembang larva *H. illucens* L., karena larva menggunakan protein media tersebut untuk membuat protein tubuhnya sendiri (Oliveira, 2004).

Lama pemeliharaan: 15 hari adalah jangka waktu yang tepat untuk fase pemeliharaan dalam penelitian ini, yang menggunakan masa percobaan. Pasalnya, pada usia 14-16 hari, larva memiliki simpanan protein dan lemak yang cukup untuk membantu mereka tumbuh menjadi kepompong, yang akhirnya berubah menjadi lalat (Eawag Aquatic Research, 2017). Menurut Darmawan (2017), sebagian besar larva akan turun setelah 15 hari, dan beberapa di antaranya akan berubah menjadi kepompong. Hal ini terjadi akibat larva mengurangi jadwal makan paginya dan hanya menyimpan cadangan makanan saat mengalami transformasi menjadi lalat.

2.6 Metode Kjeldhal

Salah satu makronutrien yang sangat penting untuk sintesis biomolekul yang membentuk lebih dari setengah sel adalah protein. Protein mengatur dimensi dan konfigurasi sel, sedangkan konstituen utama enzim berfungsi sebagai biokatalis untuk beragam proses metabolisme dalam organisme.

Ada beberapa cara untuk melakukan analisis kuantitatif kadar protein, salah satunya dengan metode Kjeldahl. Teknik langsung untuk mengetahui berapa banyak nitrogen total dalam protein, asam amino, dan zat lain yang mengandung nitrogen adalah metode Kjeldahl. Metode Kjeldahl digunakan untuk menghitung jumlah total nitrogen. Nilai protein dalam makanan diperoleh dengan mengalikan hasil analisis kadar nitrogen dengan faktor konversi sebesar 6,25 (Winarno., 2004).

Banyak perubahan telah dilakukan pada teknik ini. Karena hanya membutuhkan beberapa sampel dan reagen dan memerlukan periode analisis singkat, pendekatan ini dapat digunakan dalam semi-mikro. Metode Kjeldahl bekerja dengan baik untuk mengetahui berapa banyak protein yang tidak larut atau telah terkoagulasi akibat pemanasan atau prosedur pengolahan makanan khas lainnya (Rohman & Sumantri, 2007). Metode analisis protein Kjeldahl dapat diklasifikasikan secara luas menjadi tiga tahap: titrasi, distilasi, dan destruksi (Winarno., 1997; Sudarmadji dkk., 1996).

Sampel dipanaskan dalam asam sulfat pekat selama tahap penghancuran untuk menyebabkan kerusakan unsur. Unsur hidrogen dan karbon teroksidasi menghasilkan CO, CO₂, dan H₂O. Saat nitrogen berubah menjadi (NH₄)₂SO₄. Campuran Na₂SO₄ dan HgO sering ditambahkan sebagai katalis untuk mempercepat proses degradasi. Katalis akan menaikkan titik didih asam sulfat, mempercepat proses penghancuran. Terlepas dari katalis yang sudah terdaftar, selenium kadang-kadang disediakan juga. Selain meningkatkan titik didih, selenium juga mudah bertransisi dari valensi rendah ke valensi tinggi, yang dapat mempercepat proses oksidasi (Winarno., 1997; Sudarmadji dkk., 1996).

Amonium sulfat diubah menjadi amoniak (NH₃) selama tahap distilasi dengan menambahkan NaOH dan memanaskan campuran tersebut hingga menjadi basa. Logam seng (Zn) ditambahkan ke proses distilasi untuk menyebabkan pemanasan ekstrim (percikan cairan) atau pembentukan gelembung gas yang sangat besar. Amonium yang dilepaskan kemudian akan diserap oleh asam borat konsentrasi tinggi 4% atau asam hidroklorat (Winarno., 1997; Sudarmadji dkk., 1996).

Langkah terakhir dalam menggunakan salah satu metode Kjeldahl untuk memastikan kandungan protein dari makanan yang diteliti adalah titrasi. Jumlah asam klorida yang bereaksi dengan amonia dapat ditemukan dengan titrasi. Distilat dititrasi menggunakan natrium hidroksida standar untuk langkah titrasi. Titrasi natrium hidroksida dilanjutkan hingga titik ekivalen tercapai, yang ditandai dengan pergeseran warna dari merah muda menjadi kuning yang disebabkan oleh kelebihan natrium hidroksida. Dalam lingkungan yang asam, hal ini menyebabkan gym asam metil merah berubah menjadi merah muda. Dengan menggunakan titrasi ini, jumlah N dalam bentuk NH_4 dapat dipastikan, memungkinkan untuk penentuan jumlah protein N yang ada dalam sampel (Winarno., 1997; Sudarmadji dkk., 1996).

2.7 Pemanfaatan Hasil Penelitian Sebagai Sumber Belajar

Menurut Virgiawan dkk. (2016), materi pembelajaran yang dibuat dari evaluasi penelitian harus memenuhi sejumlah persyaratan, seperti kejelasan potensi, kesesuaian dengan tujuan pembelajaran, akurasi target, kejelasan informasi, kejelasan eksplorasi, dan kejelasan pengungkapan akuisisi. Kejelasan potensi yaitu kemampuan suatu objek untuk memaparkan sejumlah konsep dan fakta yang berasal dari temuan penelitian. Kesesuaian dengan tujuan belajar berdasarkan interpretasi hasil dari penelitian yang dikaitkan dengan tujuan capaian pembelajaran. Ketepatan sasaran atau keakuratan merupakan kesesuaian topic pembelajaran dengan objek penelitian. Kejelasan informasi yang diungkap merupakan luaran penelitian serta metodologi penelitian yang disesuaikan dengan kurikulum pembelajaran. Kejelasan eksplorasi merupakan metodologi yang sesuai dengan pembelajaran, dari pemilihan sampel hingga penarikan kesimpulan. Yang

terakhir kejelasan perolehan yang diungkap yaitu akuisisi dalam pembelajaran yang mencakup tiga aspek: akuisisi kognitif, afektif, dan psikomotor.

2.8 Kerangka Konseptual

