

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### A. Kajian Teori

##### 1. Modul

##### a. Pengertian Modul

Modul merupakan salah satu bentuk bahan ajar cetak. Modul dapat dipergunakan siswa untuk belajar lebih mandiri sehingga tidak tergantung dengan penyampaian guru saja. Modul merupakan sarana pembelajaran mandiri untuk siswa yang mencakup materi, metode, batasan-batasan, dan cara mengevaluasi yang disusun secara sistematis untuk mencapai kompetensi yang diharapkan sesuai dengan tingkat kompleksitasnya. Senada dengan yang dikemukakan oleh Munadi (2013:99) bahwa modul merupakan bahan belajar yang dibuat berdasarkan program pembelajaran yang utuh dan sistematis serta dirancang untuk sistem pembelajaran mandiri. Prastowo (2011:106) modul adalah seperangkat bahan ajar yang dibuat secara sistematis dan menggunakan bahasa yang mudah dipahami oleh siswa sesuai tingkat pendidikannya agar dapat digunakan belajar secara mandiri tanpa adanya pendidik. Menurut Daryanto dan Karim (2017:178) modul merupakan suatu unit yang hakikatnya berdiri sendiri dan terdiri dari rangkaian kegiatan belajar yang disusun guna untuk membantu siswa dalam mencapai tujuan yang dirumuskan secara khusus dan jelas.

Uraian beberapa ahli diatas, dapat disimpulkan bahwa modul pembelajaran merupakan seperangkat materi, metode, batasan- batasan, dan

cara mengevaluasi yang disusun secara sistematis menggunakan bahasa dan gaya penulisan yang mudah dipahami agar dapat membantu siswa mencapai kompetensi yang diharapkan dengan belajar mandiri.

b. Karakteristik Modul

Menurut Depdiknas (2008:5) sebuah modul bisa dikatakan baik dan menarik apabila terdapat karakteristik sebagai berikut.

1) *Self Instructional*

*Self Instructional* yaitu melalui modul tersebut siswa mampu belajar sendiri, tidak tergantung pada pihak lain. Untuk memenuhi karakteristik *self instructional*, maka dalam modul harus memuat hal-hal sebagai berikut.

- a) Berisi tujuan yang dirumuskan dengan jelas.
- b) Berisi materi pembelajaran yang dikemas kedalam unit-unit kecil/ spesifik sehingga memudahkan dalam belajar.
- c) Menyediakan contoh dan ilustrasi yang mendukung kejelasan pemaparan materi pembelajaran.
- d) Menampilkan soal-soal latihan, tugas dan sejenisnya yang memungkinkan siswa memberikan respon dan mengukur tingkat penguasaannya.
- e) Kontekstual, yaitu materi yang disajikan terkait dengan suasana atau konteks tugas dan lingkungan siswa.
- f) Menggunakan bahasa yang sederhana dan komunikatif.
- g) Terdapat rangkuman materi pembelajaran.
- h) Terdapat instrument yang dapat digunakan siswa mengukur atau mengevaluasi tingkat penguasaan materi.

- i) Terdapat umpan balik atas penilaian, sehingga siswa mengetahui tingkat penguasaan materi.
- j) Tersedia informasi tentang rujukan/ pengayaan/ referensi yang mendukung materi pembelajaran yang dimaksud.

2) *Self Contained*

*Self Contained* yaitu suatu materi pembelajaran dari suatu unit kompetensi dan subkompetensi yang dipelajari terdapat didalam satu modul secara utuh. Tujuan dari konsep ini adalah memberikan kesempatan siswa mempelajari materi pembelajaran yang tuntas, karena materi dikemas kedalam suatu kesatuan yang utuh. Jika harus dilakukan pembagian atau pemisahan materi dari unit kompetensi harus dilakukan dengan hati-hati dan memperhatikan keluasan kompetensi yang harus dikuasai.

3) *Stand Alone*

*Stand Alone* yaitu modul yang dikembangkan tidak tergantung pada media lain atau tidak harus digunakan bersama-sama dengan media pembelajaran lain. Dengan menggunakan modul, siswa tidak tergantung dan harus menggunakan media lain yang mempelajari atau mengerjakan tugas pada modul tersebut.

4) *Adaptive*

*Adaptive* yaitu modul hendaknya memiliki daya adaptif yang tinggi terhadap perkembangan ilmu dan teknologi. Dikatakan adaptif jika modul tersebut menyesuaikan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta

fleksibel digunakan. Modul yang adaptif adalah jika isi materi pembelajaran dapat digunakan sampai dengan kurun waktu tertentu.

5) *User Friendly*

*User Friendly* yaitu modul hendaknya bersahabat dengan pemakainya. Setiap instruksi dan paparan informasi bersifat membantu. Penggunaan bahasa yang sederhana, mudah dimengerti serta menggunakan istilah yang umum digunakan.

c. Tujuan Pembuatan Modul

Menurut Prastowo (2011:55) tujuan penyusunan atau pembuatan modul, antara lain sebagai berikut.

- 1) Agar siswa dapat belajar secara mandiri tanpa atau dengan bimbingan pendidik. Diharapkan dengan bimbingan pendidik yang minimal siswa dapat belajar secara mandiri.
- 2) Agar peran pendidik tidak terlalu dominan dalam kegiatan pembelajaran. Pembelajaran dengan modul melatih siswa lebih mandiri sehingga peran pendidik tidak terlalu dominan.
- 3) Modul dapat melatih kejujuran siswa. Siswa dapat melatih kejujuran dengan cara mengerjakan sungguh-sungguh tanpa melihat kunci jawaban yang tersedia dalam modul sehingga siswa dapat mengukur kemampuannya sendiri.
- 4) Mengakomodasi berbagai tingkat dan kecepatan belajar siswa. Bagi siswa yang kecepatan belajarnya tinggi maka mereka dapat belajar lebih cepat serta menyelesaikan modul dengan lebih cepat.

5) Agar siswa mampu mengukur sendiri tingkat penguasaan materi yang telah dipelajari. Dalam modul terdapat lembar evaluasi sehingga dapat dijadikan sebagai tolak ukur pemahaman siswa terhadap isi modul.

d. Keunggulan dan Keterbatasan Modul

Menurut Mulyasa (2006:45) ada beberapa keunggulan pembelajaran dengan modul yaitu sebagai berikut.

- 1) Berfokus pada kemampuan individual siswa, karena pada hakekatnya mereka memiliki kemampuan untuk bekerja sendiri dan lebih bertanggung jawab atas tindakan-tindakannya.
- 2) Adanya control terhadap hasil belajar melalui penggunaan standar kompetensi dalam setiap modul yang harus dicapai oleh siswa.
- 3) Relevansi kurikulum ditunjukkan dengan adanya tinjauan dan cara pencapaiannya, sehingga dapat mengetahui keterkaitan antara pembelajaran dan hasil yang akan diperolehnya.

Disamping memiliki keunggulan, modul pembelajaran memiliki keterbatasan yaitu sebagai berikut.

- 1) Penyusunan modul yang baik membutuhkan keahlian tertentu. Sukses atau gagalnya modul bergantung pada penyusunnya.
- 2) Sulit menentukan proses penjadwalan dan proses kelulusan, serta membutuhkan manajemen pendidikan yang sangat berbeda dari pembelajaran konvensional, karena setiap siswa menyelesaikan waktu yang berbeda-beda, bergantung pada kecepatan dan kemampuan masing-masing.

3) Dukungan berupa sumber belajar pada umumnya cukup mahal, karena setiap peserta didik harus mencapainya sendiri.

e. Kelayakan Modul

Kelayakan modul merupakan kriteria penentuan apakah suatu modul layak untuk digunakan atau tidak. Modul yang layak digunakan untuk sarana pembelajaran harus dilihat dari berbagai aspek, meliputi aspek kualitas materi, aspek karakteristik, aspek tampilan modul, dan aspek manfaat.

1) Aspek Kualitas Materi

Aspek kualitas materi merupakan bagian yang menjelaskan kriteria-kriteria standar isi materi pelajaran yang harus dicapai dan diberikan kepada peserta didik saat proses pembelajaran berlangsung. Pernyataan tersebut didukung oleh Winkel (2004:331) kualitas materi pelajaran harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a) Materi pelajaran harus relevan terhadap tujuan instruksional yang harus dicapai.
- b) Materi pelajaran harus sesuai dengan taraf kesulitannya dengan kemampuan peserta didik untuk menerima dan mengolah bahan itu.
- c) Materi pelajaran harus dapat menunjang motivasi peserta didik karena relevan dengan pengalaman hidup sehari-hari.
- d) Materi pelajaran harus membantu untuk melibatkan diri secara aktif, baik dengan berpikir sendiri maupun dengan melakukan berbagai kegiatan.
- e) Materi pelajaran harus sesuai prosedur yang diikuti.
- f) Materi pelajaran harus sesuai dengan media pengajaran yang tersedia.

Sedangkan kriteria kualitas materi pembelajaran menurut Ibrahim dan Nana Syaodih (2003: 102) adalah:

- a) Materi pelajaran hendaknya menunjang tercapainya tujuan intruksional.
- b) Materi pelajaran hendaknya sesuai dengan tingkat pendidikan dan perkembangan peserta didik pada umumnya.
- c) Materi pelajaran hendaknya terorganisir secara sistematis dan berkesinambungan.

Materi pelajaran hendaknya mencakup hal-hal yang bersifat factual maupun konseptual.

Pembangkit Tenaga Listrik adalah salah satu bagian dari sistem tenaga listrik (Watiningsih dan Kholistianingsih, 2014:1). Pada pembangkit tenaga listrik terdapat peralatan elektrik, mekanikal, dan bangunan kerja. Terdapat juga komponen-komponen utama pembangkitan yaitu generator, turbin yang berfungsi untuk mengkonversi energi (potensi) mekanik menjadi energi (potensi) listrik.

Pembangkit listrik memiliki beberapa jenis sumber energi. Djiteng Marsudi (2005:2) mengklasifikasikan jenis pembangkit listrik menurut sumber energi, diantaranya adalah sebagai berikut.

- a. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)
- b. Pembangkit Listrik Tenaga *Diesel* (PLTD)
- c. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)
- d. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

- e. Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)
- f. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)
- g. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

Seiring dengan perkembangan teknologi serta dengan kondisi alam di Indonesia maka pemerintah mengembangkan pembangkit energi listrik dengan menggunakan energi terbarukan. Menurut Buku “Panduan Energi yang Terbarukan” (Program Nasional Pemberdayaan Masyarakat), energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber alami seperti matahari, angin, dan air dan dapat dihasilkan lagi dan lagi. Sumber akan selalu tersedia dan tidak merugikan lingkungan.

### 3. Energi Terbarukan (*Renewable Energy*)

Energi terbarukan dapat di definisikan sebagai energi yang berasal dari alam dan terus menerus mengalami proses pengisian atau pergantian dalam suatu siklus secara berulang-ulang seperti yang di jelaskan oleh *International Energi Agency*:

*“Renewable energy is derived from natural processes that are replenished constantly. In its various forma, it derives directly from the sun or from heat generated deep within the earth. Included in the definition is electricity and heat generated from solar, wind ocean, hydropower, biomass, geothermal resources, and biofuel and hydrogen derived from renewable resources”.*

Menurut *International Energy Agency* energi terbarukan dapat berupa energi dengan jenis yang bervariasi seperti energi yang diperoleh langsung dari matahari atau meliputi panas bumi dan juga meliputi definisi untuk



memenuhi kebutuhan energi listrik dan panas yang dihasilkan dari cahaya matahari, angin, lautan, tenaga air, biomassa, sumber geotermal dan biofuel serta hidrogen yang berasal dari sumber yang terbarukan.

Energi Baru dan Terbarukan (EBT) harus mulai dikembangkan dengan mengubah pola pikir bahwa EBT bukan sekedar sebagai energi alternatif dari bahan bakar fosil tetapi harus menjadi penyangga pasokan energi nasional dengan porsi EBT >17% pada tahun 2025 (lampiran II perpres No.5/ 2006 tentang kebijakan Energi Nasional) berupa biofuel >5%, panas bumi >5%, EBT lainnya >5%, dan batubara cair >2%, sementara energi lainnya masih tetap dipasok oleh minyak bumi <20%, Gas bumi >30% dan batubara >33%. Pemerintah berkomitmen mencapai visi 25/25 yaitu pemanfaatan EBT 25% pada tahun 2025. Bulan Januari 2012, sekjen PBB mendorong pemanfaatan energi terbarukan dunia dua kali lipat (dari 15% hingga 30%) hingga tahun 2030, terlebih lagi dengan kondisi negara berkembang saat ini menguasai setidaknya 50% kapasitas global EBT.

Program-program untuk mencapai target hingga 25% EBT adalah listrik pedesaan, interkoneksi pembangkit EBT, pengembangan biogas, Desa Mandiri Energi (DME), *Integrated Microhydro Development Program* (IMIDAP), PLTS perkotaan, Pengembangan biofuel dan proyek percepatan pembangkit listrik 10.000 MW tahap II berbasis EBT (panas bumi dan hidro). Untuk mencapai itu, Indonesia membutuhkan dana Rp.134,6 triliun (US\$15,7miliar) guna mengembangkan sumber sumber EBT untuk 15 tahun mendatang. Dana tersebut (dalam master plan 2011-2015) dibagikan ke 5

daerah, Sumatera (Rp 25,06 triliun), Jawa (Rp.86,3 triliun), Sulawesi (Rp.15,77 triliun), Bali-Nusa Tenggara (2,64 triliun), dan Papua-Maluku (Rp4,83 triliun). Pemerintah mendukung inovasi pemanfaatan PLTS, misalnya untuk penerangan jalan dan mendorong pula pemasangan panel surya di atap-atap pusat pertokoan dan mall agar mendapatkan pasokan listrik sendiri (Fathurrahman, 2012).

#### 4. Sistem PLTH

Sistem pembangkit listrik tenaga hibrida adalah suatu sistem pembangkit listrik yang terdiri dari dua atau lebih sistem pembangkit dengan sumber energi yang berbeda. Pembangkit listrik tenaga hibrida ini bertujuan untuk dapat mengkombinasikan keunggulan dari setiap pembangkit agar dapat menutupi kelemahan masing-masing dalam kondisi tertentu, sehingga sistem dapat beroperasi lebih ekonomis dan efisien dalam kondisi berbeban.

Menurut Sopian dan Orthman (2005) suatu Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida terdiri dari beberapa aspek komponen yaitu sebagai berikut.

- a. Inverter dengan rating daya kontinyu 60% dari daya beban.
- b. Satu atau dua mesin dan generator diesel yang biasanya memiliki kapasitas sama hingga 1,5 kali rating daya inverter dan dilengkapi sistem kontrol otomatis.
- c. Sistem penyimpanan yang biasanya berupa bank baterai *lead acid* dengan kapasitas penyimpanan minimum tertentu.
- d. Sistem pembangkit energi terbarukan seperti photovoltaic dilengkapi dengan regulator.

- e. Sistem kontrol berbasis mikroprosesor untuk keperluan monitoring dan otomasi manajemen sistem.

Sebuah sistem pembangkit listrik tenaga hibrida memiliki kemampuan untuk menyediakan 24 jam jaringan listrik berkualitas ke beban. Sistem ini menawarkan efisiensi yang lebih baik, perencanaan yang fleksibel dan efek yang baik terhadap lingkungan dibandingkan dengan sistem pembangkit generator yang berdiri sendiri. Biaya operasional dan pemeliharaan pembangkit dapat menurun sebagai akibat dari peningkatan efisiensi operasi dan pengurangan waktu operasional begitu pula dengan mengurangi penggunaan bahan bakar. Sistem ini juga memiliki kesempatan untuk meningkatkan kapasitas guna mengatasi permintaan yang meningkat dimasa depan. Hal ini dapat dilakukan dengan meningkatkan rating daya dari pembangkit *diesel*, pembangkit yang menggunakan energi terbarukan atau keduanya.

PLTH merupakan salah satu alternatif sistem pembangkit yang tepat diaplikasikan karena pembangkit ini memanfaatkan *renewable energy* sebagai sumber utama (primer). Pada PLTH, *renewable energy* yang digunakan dapat berasal dari energi matahari, angin dan lain sebagainya yang dikombinasikan dengan generator sehingga menjadi suatu pembangkit yang lebih efisien, efektif dan handal untuk dapat mensuplai kebutuhan energi listrik baik sebagai penerangan rumah, kebutuhan peralatan listrik seperti TV, pompa air, setrika listrik maupun untuk mensuplai kebutuhan energi industri kecil kawasan tersebut. Dengan adanya kombinasi dari sumber energi tersebut, diharapkan

dapat menyediakan catu daya listrik yang kontinyu dengan efisiensi yang palaing optimal.

## 5. PLTH Bayu Baru Pandansimo

### a. Sejarah Singkat PLTH Bayu Baru

PLTH Bayu Baru terbentuk dari evaluasi proyek percobaan yang dipimpin oleh Kementerian Riset dan instansi lain meliputi Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Kementrian Kelautan dan Perikanan (KKP), Kementerian Riset dan Teknologi (RISTEK), Pemerintah Kabupaten Bantul, Universitas Gadjah Mada (UGM), *E-Wind Energy*, Komunitas Ilmuwan dan Ahli Teknologi Indonesia pada tahun 2007. Setahun kemudian, Pandansimo dilakukan uji kelayakan tentang sistem tenaga *hybrid*. Akhirnya sistem ini dibangun pada tanggal 27 Juli 2010, ditandai dengan tanda *Momerandum of Understanding* (MoU) antara Kementerian Riset dan Teknologi, Pemerintah Kabupaten Bantul, LAPAN, dan UGM.

LAPAN merupakan pelaksana utama dari PLTH Bayu Baru Pandansimo. Lembaga ini bertanggung jawab atas sistem operasional dan manajemen harian, dan juga meningkatkan data untuk komunitas individu atau akademik riset pada sistem *hybrid*. Tugas utama LAPAN adalah menginstalasi turbin angin buatan sendiri untuk perbaikan itu sendiri.

Tujuan utama dari pembangkit ini adalah untuk meningkatkan informasi tentang peforma dari turbin angin dan panel surya, dalam rangka memberikan energi pada daerah terpencil. Untuk mendapatkan informasi sebuah lembaga

akademis, UGM mengadakan penelitian untuk menganalisis sistem dan membuat beberapa rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi sistem.

*E-Wind Energy* adalah perusahaan lokal yang menyediakan turbin angin untuk sistem *hybrid* tersebut. Program ini untuk meningkatkan rasa kepemilikan masyarakat terhadap PLTH Pantai Baru Pandansimo tersebut dan perusahaan ini mewakili keadaan setempat yang berarti bahwa masyarakat memiliki beberapa kontribusi terhadap pemeliharaan daerah di sekitar pembangkit.

PLTH merupakan sistem inovasi daerah guna meningkatkan kebutuhan masyarakat. Dibangunnya PLTH Bayu Baru menerapkan sumber alam demi kemajuan masyarakat daerah seperti dalam bidang pariwisata, perikanan, pertanian, edukasi, dan lain-lain.

b. Profil PLTH Bayu Baru

Nama : PLTH Bayu Baru Pandansimo  
Alamat : Pantai Baru, Srandakan, Bantul, Yogyakarta  
Alamat *Workshop* : Jln. Raya Pandansimo km 2 Srandakan, Bantul

c. Visi Misi PLTH Bayu Baru

“Mencerdaskan kehidupan bangsa melalui penguasaan energi terbarukan dengan wawasan pendidikan untuk memakmurkan masyarakat”.

d. Sistem Manajemen PLTH Bayu Baru

1) Ketua Pengelola

Ketua Pengelola PLTH Bayu Baru adalah Iwan Fahmi Rahaja. Ketua pengelola adalah posisi tertinggi dalam kelompok yang terorganisir. Orang

yang memegang jabatan ini biasanya dipilih atau ditunjuk para anggota kelompok atau organisasi. Ketua memimpin pertemuan dari segala aktivitas yang dilakukan oleh anggota kelompok. Ketua bertanggung jawab terhadap setiap proses di PLTH dan juga mengambil atau menetapkan keputusan kebijakan di PLTH Bayu Baru.

2) Wakil Ketua

Wakil ketua PLTH Bayu Baru adalah Jefri. Wakil ketua memiliki tugas yang hampir mirip dengan ketua. Wakil ketua membantu dalam pengambilan keputusan atau kebijakan yang akan diterapkan di PLTH Bayu Baru.

3) Sekretaris

Sekretaris PLTH Bayu Baru adalah Arif Novianto. Sekretaris memiliki tugas yang sangat berperan dalam suatu organisasi. Sekretaris PLTH memiliki tugas mencatat apapun kegiatan yang dilakukan di PLTH serta mengurus apabila ada kunjungan industri dari lembaga pendidikan.

4) Bendahara

Bendahara PLTH Bayu Baru adalah Arif Novianto. Bendahara memiliki tugas mengatur semua urusan yang berkaitan dengan keuangan PLTH dan bertanggung jawab membuat rencana anggaran pengeluaran di PLTH Bayu Baru.

5) Teknisi

Teknisi di PLTH Bayu Baru adalah Murjito, Hani, dan Aar Faisal. Teknisi adalah orang yang menguasai teknologi bidang tertentu dan memahami bidang tersebut. Di PLTH Bayu Baru terdapat dua bidang teknisi, yaitu teknisi dalam

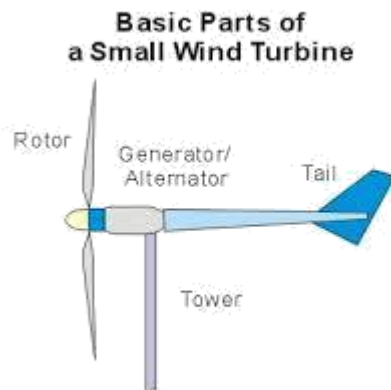
bidang mekanik dan teknisi dalam bidang elektrik. Dalam bidang mekanik bertugas untuk membuat, merawat, dan memperbaiki yang berkaitan dengan masalah mekanik. Teknisi yang bergerak dalam bidang elektrik bertugas untuk memperbaiki bila ada kerusakan atau error dalam wiring atau masalah perkabelan.

e. Siklus Kerja PLTH Bayu Baru

PLTH dibangun dengan menggunakan dua jenis pembangkit atau lebih untuk menghasilkan listrik secara efisien. Jenis pembangkit yang di bangun di kawasan Pantai Baru adalah jenis Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

1) Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Prinsip kerja dari pembangkit ini adalah udara yang bergerak membawa suatu bentuk energi yang dikenal sebagai energi kinetik. Energi kinetik ini memiliki potensial untuk diubah menjadi bentuk energi laian yang lebih bermanfaat seperti energi listrik (Marsudi, 2005:50). Untuk tujuan ini, sebuah sistem yang mampu mengubah energi gerak atau energi kinetik yang dibawa oleh angin, menjadi energi listrik akan di perlukan. Turbin angin atau kincir angin yang dilengkapi dengan sebuah generator listrik merupakan bentuk teknologi yang di desain untuk tujuan ini. Tenaga yang dibawa oleh angin akan ditangkap oleh baling-baling atau propeler, yang berputar ketika ditiup angin. Kemudian tenaga putaran ini dipergunakan untuk memutar turbin generator yang membangkitkan tenaga listrik.

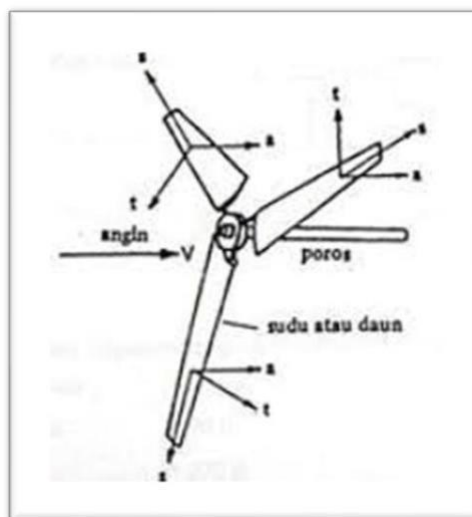


Gambar 1. Komponen Turbin Angin  
(sumber: re.emsd.gov.hk)

Komponen turbin angina antara lain sebagai berikut.

a) Sudu (Baling-baling)

Sudu adalah bagian rotor dari turbin angin. Rotor ini menerima energi kinetik dari angin dan dirubah ke dalam energi gerak putar, menggunakan prinsip-prinsip aerodinamika seperti halnya pesawat.



Gambar 2. Gaya Angin pada Sudu  
(sumber: Eri Prasetyo, 2002)



Pada prinsipnya gaya-gaya angin yang bekerja pada sudu-sudu kincir sumbu horizontal terdiri atas tiga komponen yaitu:

- (a) Gaya aksial (a), yang mempunyai arah sama dengan angin, gaya ini harus ditampung oleh poros dan bantalan.
- (b) Gaya sentrifugal (s), yang meninggalkan titik tengah. Bila kipas bentuknya simetris, semua gaya sentrifugal s akan saling meniadakan atau resultannya sama dengan nol.
- (c) Gaya tangensial (t), yang menghasilkan momen, bekerja tegak lurus pada radius dan yang merupakan gaya produktif.

Energi kinetik angin diperoleh berdasarkan energi kinetik sebuah benda dengan massa (m), kecepatan (v), maka rumus energi angin dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$E_k = 0,5 m V^2$$

Keterangan:

$E_k$  = Energi Kinetik (Joule)

$m$  = Massa (kg)

$V$  = Kecepatan (m/s)

Sedangkan jumlah massa yang melewati suatu tempat per unit waktu dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$m = A V \rho$$

Keterangan:

$m$  = massa (kg)

$A$  = luas penampang ( $m^2$ )

$\rho$  = kerapatan ( $\text{kg/m}^3$ )

efisiensi turbin dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

Keterangan:

$\eta$  turbin= Efisiensi turbin (%)

b) Tower

Tower atau tiang penyangga adalah bagian struktur dari turbin angin horizontal yang memiliki fungsi sebagai struktur utama penopang dari komponen sistem terangkai sudu, poros, dan generator.

c) Ekor

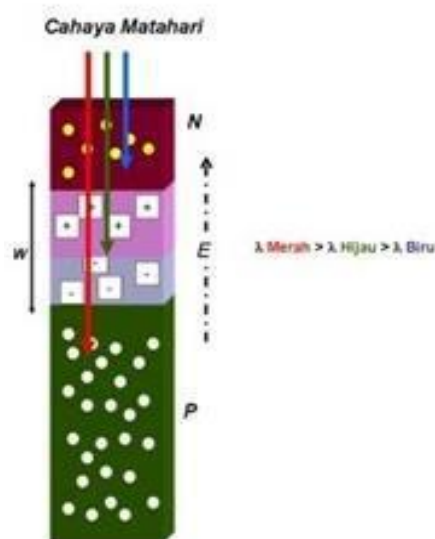
Ekor pada turbin angin berguna untuk mengubah posisi generator dan turbin agar sesuai dengan arah datangnya angin, ekor juga bisa berfungsi untuk melakukan furling atau penggulungan yang berfungsi untuk melambatkan putaran turbin saat terjadi angin yang memiliki batas kecepatan putaran dengan cara menekuk ekor agar arah angin tidak mendarat pada bagian samping turbin hal ini menyebabkan turbin berputar pelan karena arah angin tidak pas di tengah turbin.

d) Generator

Generator salah satu komponen terpenting dalam pembuatan sistem turbin angin. Generator ini dapat mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya dapat dipelajari dengan menggunakan teori medan elektromagnetik. Singkatnya, (mengacu pada salah satu cara kerja generator) poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetic permanen.

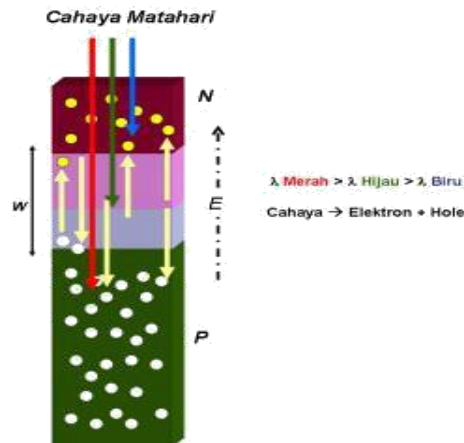
## 2) Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada pembangkit jenis ini biasanya menggunakan komponen sel surya dan efek *photovoltaic* yang telah lama ditemukan oleh ilmuwan perancis, Alexander Edmond Becquerel, pada tahun 1839. Efek *photovoltaic* adalah pelepasan muatan positif dan negatif dalam materi padat melalui cahaya. Berikut ini adalah urutan proses masuknya sinar matahari ke *photovoltaic*.



Gambar 3. Proses masuknya sinar matahari ke Panel Surya  
(Sumber: Energi Surya – Wordpress.com)

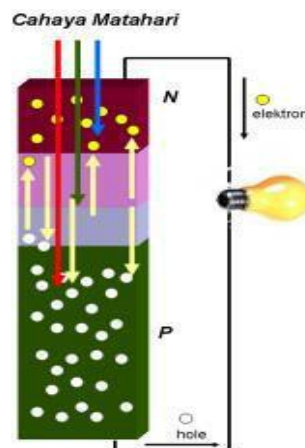
Sel surya atas P-N diode dengan *junction* yang diposisikan dekat dengan permukaan sel. Semikonduktor N terletak pada lapisan atas sambungan P yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor P, sehingga cahaya matahari yang jatuh bisa masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor P (Gambar 3).



Gambar 4. Proses cahaya masuk ke elektron P

(Sumber: Energi Surya – Wordpress.com)

Ketika cahaya matahari mengenai sel surya, maka elektron mendapat energi D untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor N, daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan *electron-hole photogeneration* yakni terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari. (Gambar 4)



Gambar 5. Arus Listrik dalam Sel Surya  
(Sumber: Energi Surya – Wordpress.com)

Cahaya matahari dengan panjang gelombang yang dilambangkan dengan simbol “lambda” sebagian di gambar yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan P-N berada pada bagian sambungan P-N yang berbeda pula. Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan P-N terdapat medan listrik E, elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor N, begitu pula dengan hole yang tertarik ke arah semikonduktor P. Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron (Gambar 5).

f. Kapasitas PLTH Bayu Baru

Tabel 1. Kapasitas Perangkat Pembangkit Listrik di PLTH Bayu Baru

Jenis Pembangkit		Jumlah Unit	Jumlah Daya	
Grup Timur	Sistem 48 V	Turbin Angin 1 kW	6	6 kW
	Sistem 240 V	Turbin Angin 2,5 kW	2	5 kW
		Turbin Angin 10 kW	2	10 kW
		Turbin Angin 5 kW	1	5 kW
		Panel Surya 4 kW	40	4 kW
Sistem 120 V	Turbin Angin 2 kW	2	4 kW	
Grup Barat	Sistem 240 V	Turbin Angin 1 kW	21	21 kW
	Sistem 120 V	Panel Surya 15 kW	150	15 kW
Grup KKP	Sistem 48 V	Panel Surya 10 kW	48	10 kW
Total Pembangkit Listrik				90 kW

g. Distribusi Hasil Daya Listrik PLTH Bayu Baru

Tabel 2. Distribusi Hasil Daya Listrik PLTH Bayu Baru

Inverter	Beban	Jenis Beban
3,5 kW/48 V (1 phase)	Grup Timur	20 Warung Kuliner 14 Lampu PJU
3,5 kW/48 V (1 phase)	Grup Tengah	20 Warung Kuliner 14 Lampu PJU
3,5 kW/48 V (1 phase)	Grup Barat	20 Warung Kuliner 14 Lampu PJU
5 kW/240 V (1 phase)	Kantor	Lampu TV Dispenser
2 kW/48 V (1 phase)	Grup Timur	20 Warung Kuliner 14 Lampu PJU
2 kW/48 V (1 phase)	Grup Tengah	20 Warung Kuliner 14 Lampu PJU
2 kW/48 V (1 phase)	Grup Barat	20 Warung Kuliner 14 Lampu PJU

h. Hasil Daya Listrik PLTH Bayu Baru

PLTH menghasilkan listrik dari perpaduan dua sumber energi, yaitu energi panas matahari dan angin di daerah sekitar Pantai Baru Pandansimo. Energi listrik yang dihasilkan dari panel surya dan turbin angin akan disimpan di baterai yang disusun secara seri-paralel. PLTH Bayu Baru Pandansimo tidak hanya menghasilkan listrik saja, tetapi juga memproduksi es batu, biogas, pupuk, air, serta digunakan sebagai wisata edukasi. Es batu yang dihasilkan akan digunakan dalam sektor warung kuliner serta perikanan. Tetapi pada tahun ini produksi es tidak berjalan sebagaimana mestinya. Hal ini disebabkan salah satu inverter mengalami error atau trouble. Biogas yang dihasilkan dari kotoran sapi akan diolah sedemikian rupa sehingga menghasilkan gas yang dapat digunakan di warung kuliner. Hasil biogas lainnya adalah dalam bentuk

pupuk yang dapat digunakan dalam sektor pertanian disekitar kawasan PLTH Bayu Baru Pantai Baru Pandansimo.

i. Komponen Utama di PLTH Bayu Baru

1) Panel Surya

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik (Malvino, Paul 2003:35). Mereka disebut surya atau matahari atau sol karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel photovoltaic, photovoltaic dapat diartikan sebagai cahaya listrik. Sel surya bergantung pada efek photovoltaic untuk menyerap energi.



Gambar 5. Gambar Panel Surya PLTH Bayu Baru

2) Turbin Angin

Turbin angin adalah alat yang mampu memanfaatkan kekuatan angin yang akan diubah menjadi mekanik kemudian kumparan yang ada didalam generator turbin angin akan mengalami induksi dan menghasilkan energi listrik (Sunardi, 2013:24). Dari proses itu memberikan kemudahan dari berbagai kegiatan manusia yang membutuhkan tenaga besar seperti memompa air untuk irigasi sawah. Hal ini dapat diatasi dengan penggunaan turbin angin

yang akan menghasilkan energi listrik sehingga dapat menyalakan pompa air yang selanjutnya akan digunakan untuk irigasi sawah.



Gambar 6. Gambar Turbin Angin PLTH Bayu Baru

### 3) Inverter

Inverter adalah peralatan elektronika yang berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) dari panel surya atau baterai menjadi arus bolak-balik (AC). Tegangan keluaran dapat bernilai tetap atau berubah-ubah sesuai kebutuhan. Bentuk gelombang keluaran dari inverter idealnya gelombang sinus. Inverter di bagi menjadi 2 macam yaitu inverter satu fase dan inverter tiga fase. Menurut jenis gelombangnya ada tiga jenis inverter yang ada di pasaran yaitu inverter gelombang sinus, gelombang sinus termodifikasi, dan inverter gelombang kotak.



Gambar 7. Inverter di PLTH Bayu Baru



#### 4) Sistem Baterai

Baterai adalah alat elektro kimia yang berfungsi untuk menyimpan tenaga listrik dalam bentuk tenaga kimia (Marsudi, 2005:50). Baterai mempunyai kelebihan yang dapat diisi ulang melalui proses charging.



Gambar 8. Baterai di PLTH Bayu Baru

Di PLTH Bayu Baru memiliki berbagai sistem penyimpanan baterai, antara lain sebagai berikut.

Tabel 3. Kapasitas Baterai PLTH Bayu Baru

Baterai	Kapasitas	Jumlah Unit	Jumlah (Ah)
Grup Timur	120 Ah/12V	40	240
Grup Barat	100 Ah/12V	60	300
	180 Ah/12V	40	720
Grup KKP	1000 Ah/2V	72	3000
Total			4260

#### 5) Sistem Kontrol

Sistem kontrol yang digunakan oleh PLTH Pantai Baru berupa sistem kontrol terhadap kincir serta sistem kontrol terhadap panel. Sistem kontrol pada kincir berupa sistem osilator yang dilengkapi limiter sebagai pengaman dan *dummy load* sebagai pembuang arus yang berlebihan. Pada panel digunakan *charge controller* berguna mengatur pengisian baterai dan

perlindungan terhadap *overcharging* dan *discharging* untuk menjaga kondisi baterai. *Charge controller* dapat memutus arus ke baterai saat kondisi baterai penuh dan dialihkan ke *dummy load*. Sistem kontrol ini bertujuan untuk mengantisipasi apabila arus listrik yang dihasilkan berlebihan dari generator, apabila arus berlebihan maka akan merusak baterai, sehingga sistem kontrol digunakan untuk melindungi baterai.



Gambar 9. Sistem Kontrol PLTH Bayu Baru

#### 6) Anemometer

Anemometer merupakan seperangkat alat untuk mengukur kecepatan angin. Pada PLTH Baru Baru, anemometer dipasang diatas kantor dan pada menara setinggi 50 m.



Gambar 10. Anemometer di PLTH Bayu Baru

## B. Penelitian Relevan

Beberapa hasil penelitian terdahul yang relevan dengan penelitian yang dilakukan sekarang sekaligus dijadikan rujukan oleh penulis karena berorientasi pada pengembangan modul PLTH Bayu Baru.

Hasil penelitian Dwiana Rahmawati (2018) yang berjudul “Pengembangan Bahan Ajar Praktik Instalasi Motor Listrik di Sekolah Menengah Kejuruan”. Pengembangan ini bertujuan untuk mengetahui tahapan pengembangan bahan ajar, mengetahui kelayakan bahan ajar, dan mengetahui dampak hasil pembelajaran menggunakan bahan ajar praktik instalasi motor listrik di Program Keahlian TITL SMK Cokroaminto Pandak. Penelitian termasuk dalam penelitian *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan *ADDIE* oleh Lee dan Owens. Pengembangan bahan ajar melalui lima tahapan diadopsi dari *ADDIE* yaitu, identifikasi dan masalah, mendesain bahan ajar, validasi materi, uji coba terbatas, dan evaluasi. Hasil dari penelitian ini yaitu bahan ajar praktik instalasi motor listrik dinyatakan sangat layak digunakan dengan penilaian materi sebesar 94,37%, sedangkan penilaian media sebesar 89,58% dikategorikan sangat layak. Hasil pembelajaran dengan jobsheet diperleh kategori sangat baik dengan rerata nilai 88,89,89,86,dan 71.

Hasil penelitian Nofita Purwantiningsih (2018) dengan judul “Pengembangan Modul Pembelajaran Instalasi Tenaga Listrik Berbasis Pendidikan Karakter di SMK Negeri 2 Wonosari ”. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengembangkan modul pembelajaran yang mendukung proses

pembelajaran, menguji tingkat kelayakan modul pembelajaran, dan mengetahui respon dari pengguna modul pembelajaran. Penelitian ini merupakan penelitian *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE menurut Branch. Hasil penelitian ini menunjukkan modul pembelajaran instalasi tenaga listrik berbasis pendidikan karakter dapat digunakan dalam proses pembelajaran di SMK N 2 Wonosari. Rerata hasil uji kelayakan ahli materi sebesar 128 dan dikategorikan “sangat layak”, sedangkan rerata hasil uji kelayakan ahli media sebesar 96,5 dan dikategorikan “sangat layak”. Penilaian tanggapan pengguna mendapat rerata skor 95,90 dan dikategorikan “sangat baik”.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Arif Febriansyah Juwito, Sasongko Pramono, T. Haryono (2012), Jurnal Ilmiah Semesta Teknik Vol.15 dengan judul Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa energi terbarukan memiliki potensi yang besar bila dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik, yang dapat dipakai di daerah-daerah terisolir dengan menggunakan sistem pembangkit *hybrid*. Berdasarkan hasil optimalisasi energi terbarukan untuk pembangkit listrik *hybrid*, jumlah energi yang dihasilkan oleh model sistem *hybrid* dapat memenuhi kebutuhan listrik di desa Margajaya. Tujuan utama untuk membentuk desa Margajaya sebagai desa mandiri energi secara model dan simulasi telah terpenuhi dikarenakan desa tersebut dapat menghasilkan energi listrik sebesar 95% dari 100% konsumsi energi listrik.

Penelitian yang dilakukan oleh Dafi Dzulfikar dan Wisnu Broto (2016), Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Jurnal) SNF2016 Vol. 5 dengan judul Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga. Hasil penelitian ini mengoptimalkan energi listrik tenaga surya. Sehari diasumsikan sel surya mendapat energi selama 12 jam, dari timur ke barat (180 derajat). Jika sel surya digerakkan untuk menjaga sudut datang selalu dibawah atau sama dengan 10 derajat, maka sel surya perlu digerakkan setiap 1 jam 20 menit. Jika sel surya digerakkan untuk menjaga sudut datang selalu dibawah atau sama dengan 20 derajat, maka sel surya perlu digerakkan setiap 2 jam 40 menit.

Penelitian yang dilakukan oleh Ir. Wiwik Handarjadi, M. Eng dan Benny Firman, M. Eng (2015), Jurnal Penelitian Vol. 11 Electrical Engineering Dept. of Institute Sains & Tecnilogy Akprind Yogyakarta dengan judul Optimalisasi dan Peningkatan Efisiensi Penggunaan Energi Listrik dalam Industri Rumah Tangga. Dalam penelitian ini, dilakukan upaya peningkatan pemahaman manajemen energi listrik, yang berujung pada masyarakat ditingkat rumah tangga yang dapat menunjang peningkatan kesejahteraan rumah tangga. Upaya disini diawali dengan melihat kondisi dan merumuskan karakteristik dari masyarakat khususnya yang menggunakan energi listrik dalam industri rumah tangga. Dengan demikian dilakukan upaya tercapainya tujuan dari penelitian, yaitu peningkatan pemahaman dan perilaku optimalisasi dan peningkatan efisiensi penggunaan listrik yang sudah tersedia. Hasil dari penelitian ini adalah bahwa besarnya kapasitas daya listrik yang dipilih untuk

memenuhi kebutuhan daya listrik beban agar dapat diperoleh efisiensi penggunaan daya listrik yang dibutuhkan meningkat dan optimalisasi daya listrik agar tidak terdapat kelebihan besarnya daya listrik yang dipasangkan pada pelanggan untuk dapat membantu pemerintah dalam memenuhi daya listrik yang ada.

Penelitian yang dilakukan oleh Anjas Starlen dan Hesky S. Kolibu (2013), Jurnal MIPA Unsrat Online Vol.2 dengan judul Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Hibrida (Energi Angin dan Matahari) Menggunakan *Hybrid Optimization Model for Electric Renewables (HOMER)*. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan sumber-sumber energi terbrukan dalam skala kecil yang murah dan dapat memenuhi kebutuhan masyarakat. Selain itu, pengembangan energi terbarukan dapat digunakan untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi listrik yang berasal dari pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil, seperti minyak *diesel* dan minyak bakar. Untuk mengatasi permasalahan diatas, teknik hibrida banyak digunakan untuk menggabungkan beberapa jenis pembangkit listrik. Hasil dari penelitian ini yaitu telah dibuat sistem pembangkit listrik hibrida (energi angina dan matahari) menggunakan *software HOMER*. Simulasi berdasarkan *software HOMER* menunjukkan potensi sinar matahari yaitu sebesar 8,073 kwh/m<sup>2</sup> setiap hari dan potensi energi angin sebesar 2,3 m/s. Nilai NPC tertinggi sebesar \$171,447 dan terendah sebesar \$61,811. Nilai COE tertinggi sebesar 1.663 \$/kWh dan terendah sebesar 0.599 \$/kWh.

### C. Kerangka Berpikir

Modul pembelajaran adalah bahan ajar yang digunakan dalam membantu siswa belajar secara mandiri dan lebih aktif. Modul pembelajaran PLTH Bayu Baru ini diharapkan dapat membantu siswa dan guru dalam kegiatan pembelajaran. Modul pembelajaran ini berisikan tentang pembangkit listrik khususnya PLTH Bayu Baru Pandansimo.

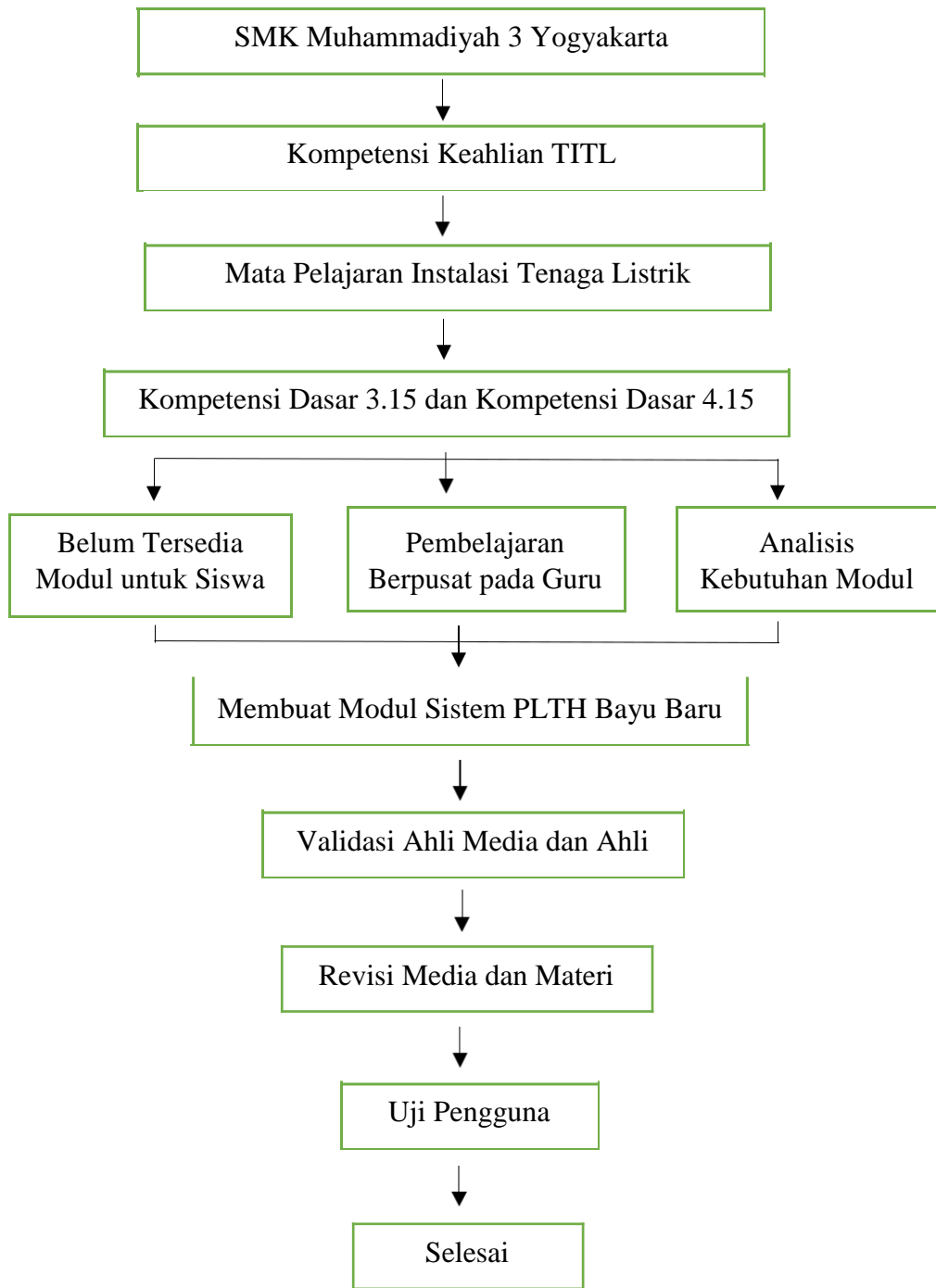
Modul pembelajaran ini ditujukan kepada siswa kompetensi keahlian TITL, namun sebelum dipergunakan oleh siswa terlebih dahulu dibuat draftnya. Draft modul pembelajaran diujikan terlebih dahulu oleh ahli media dan materi untuk mengetahui kelayakan modul pembelajara tersebut. Draft modul pembelajaran dinyatakan layak, modul dapat diterapkan dalam kegiatan pembelajaran di SMK. Penerepan kepada siswa bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja modul pembelajaran, dengan demikian akan diketahui layak/tidaknya modul pembelajaran apabila digunakan sebagai bahan ajar. Seluruh rangkaian uji coba tersebut dilakukan dengan menggunakan angket. Rangkaian puji coba dan penelitian ini diharapkan agar bermanfaat bagi siswa dan guru.

Proses pembelajaran di sekolah cenderung berpusat pada yang disampaikan oleh guru sehingga apabila siswa dihadapkan pada suatu hal yang baru akan mengalami kesulitan. Kebanyakan siswa belum mengetahui tentang pembangkit listrik khususnya PLTH Bayu Baru. Modul ini akan menjelaskan tentang sistem PLTH, sehingga dapat memberikan bekal kepada sisa untuk terjun di dunia industri pembangkit listrik energi terbarukan.

Pengembangan modul pembelajaran sistem PLTH Bayu Baru memungkinkan siswa untuk belajar secara mandiri tanpa harus menunggu guru menyampaikan materi di kelas dan dapat mendorong siswa untuk lebih aktif dalam pembelajaran. Hal tersebut bertujuan untuk siswa dapat mengembangkan kemampuan afektif, kognitif, dan psikomotorik secara mandiri.

Modul pembelajaran akan melalui proses validasi dan uji lapangan sebelum digunakan sebagai media pembelajaran di SMK. Uji coba dilakukan bertujuan untuk mengetahui tingkat kekurangan yang terdapat pada modul dan sesegera dapat diperbaiki. Kelompok yang akan dilakukan uji coba produk yaitu siswa SMK Muhammadiyah 3 Yogyakarta kompetensi keahlian TITL kelas XI dan untuk memvalidasi produk yaitu dosen ahli di bidang materi dan media. Secara sederhana dapat dilihat pada Gambar 11.





Gambar 11. Kerangka Berpikir

#### D. Pertanyaan Penelitian

1. Bagaimanakah cara mengembangkan modul pembelajaran Sistem PLTH Bayu Baru di SMK Muhammadiyah 3 Yogyakarta?
2. Bagaimanakah kelayakan modul pembelajaran Sistem PLTH Bayu Baru pada mata pelajaran Instalasi Tenaga Listrik di Jurusan TITL SMK Muhammadiyah 3 Yogyakarta?

