

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 *Smart Grid***

Menurut EPRI (Electric Power Research) Institute: “Istilah 'Smart Grid' mengacu pada modernisasi sistem pengiriman listrik sehingga dapat secara otomatis memonitor, melindungi, dan mengoptimalkan operasi yang saling berhubungan dengan elemen dari generator pusat dan didistribusikan melalui jaringan tegangan tinggi dan sistem distribusi, untuk pengguna industri dan membangun sistem otomasi, menjadi energi instalasi penyimpanan dan digunakan untuk konsumen sebagai pengguna akhir.

Smart Grid harus merujuk ke seluruh jaringan listrik dari generasi, melalui infrastruktur transmisi dan distribusi (T&D) sampai keberagam konsumen listrik. Smart grid pada dasarnya ditujukan untuk memodernisasi grid untuk masyarakat abad kedua puluh satu. Inisiatif smart grid yang dipikirkan matang dibangun di atas infrastruktur yang ada, menyediakan tingkat integrasi yang lebih besar di tingkat perusahaan, dan memiliki fokus jangka panjang. Ini bukan solusi satu kali, tetapi perubahan dalam bagaimana utilitas melihat seperangkat teknologi yang dapat memungkinkan proses strategi dan operasional. Smart grid adalah sarana untuk meningkatkan manfaat di seluruh aplikasi dan menghilangkan hambatan utama silo pemikiran organisasi.

*Smart Grid* merupakan proyek percontohan yang didorong oleh tekanan peraturan yang berfokus pada dampak pengukuran baru pada konsumen yang akan berevolusi menjadi penyebaran smart grid yang kaya teknologi dan sistem yang terbukti dengan baik dan manfaat yang terukur. Komponen kunci untuk secara efektif mengaktifkan nilai penuh dari realisasi smart grid adalah teknologi dengan fungsionalitas dan kapabilitas untuk mencapai kohesif ujung ke ujung yang terintegrasi, solusi yang diukur dan dioperasikan.[12]

### 2.1.1 Komponen *Smart Grid*

Bagian-bagian *Smart Grid* terdiri dari *bagian integrated communication system, hardware, modern control & instrumentation (I & C)* dan bagian *software*.

Dibawah ini akan dijabarkan masing - masing bagian tersebut :

- a. *Integrated communication system*, pada komponen ini memungkinkan komunikasi terjadi dua arah antara base kontrol, konsumen dan power plant serta dapat terintegrasi secara penuh sehingga sistem ini dinamis dan interaktif untuk pertukaran data dan daya secara *real time*. Sistem yang ada pada bagian ini yaitu *copper wiring, fiber optic, power line carrier, teknologi wireless dan broadband over power line technologies*.
- b. *Hardware*, pada bagian ini yaitu sistem hardware yang mendukung sistem smart grid harus menggunakan material yang baik, bahan super konduktif yang baik, bagian - bagian pada power plan seperti inverter, turbin dan lain sebagainya untuk mendukung ketersediaan sumber energi. Selain itu bagian terpenting yaitu baterai yang digunakan yang dapat menyimpan energilistrik agar dapat digunakan dilain waktu.
- c. *Modern control & instrumentation (I & C)* , pada bagian ini terdiri dari algoritma untuk mengontrol sistem agar berjalan dengan baik dengan bekerja menganalisa, mendiagnosa dan memprediksi kebutuhan listrik dan ketersediaan listrik sesuai dengan kejadian yang sedang terjadi. Contoh dari sistem ini yaitu penggunaan SCADA, sensor, digital relay dan smart meter.

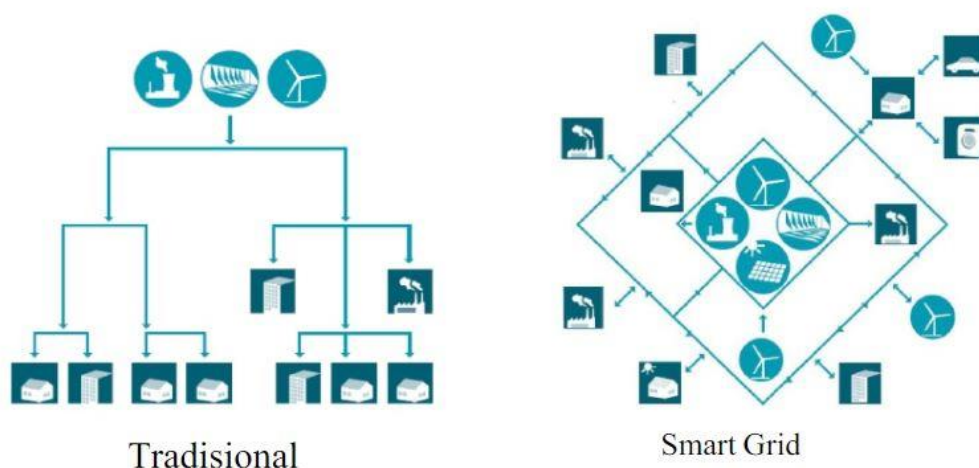
### 2.1.2 *Smart Meter*

Pada smart grid, smart meter bukan hanya difungsikan sebagai alat untuk mengukur penggunaan listrik konsumen perbulan saja tetapi difungsikan untuk melakukan jaringan monitoring penggunaan konsumsi listrik, alarm, pengumpulan dan pengolahan data yang akan dikirimkan ke base kontrol, otomasi pada jaringan dan lain sebagainya. Oleh karena itu sistem *smart meter* ini di fungsikan bukan hanya menerima data dari penggunaan konsumsi listrik tetapi dapat mengirim data, maka sistem keamanan yang terdapat pada smart meter ini harus dikelola dengan baik agar data yang dikirim dari konsumen ke base kontrol aman dan tidak dapat dicuri datanya oleh orang yang tidak berkepentingan.

Smart meter yang digunakan pada smart grid yaitu *Advanced Metering Infrastructure (AMI)* yaitu suatu keseluruhan infrastruktur dari smart meter yang mengelola jaringan komunikasi dua arah ke pusat pengendalian peralatan (base kontrol), dan semua aplikasi yang dapat melakukan pengumpulan dan pengiriman informasi tentang penggunaan energi secara real time.

Jadi AMI ini dapat memajemen dan mengontrol parameter kelistrikan dan perangkat-perangkat lainnya pada grid konsumen maupun power plant. Perangkat yang digunakan pada AMI yaitu perangkat meter, sensor dan kontrol serta perangkat wireless yang memungkinkan komunikasi jarak jauh antara grid dan base kontrol. [4]

### 2.1.3 Perbandingan menggunakan Sistem Pengelolaan listrik secara tradisional dan konsep *Smart Grid*



**Gambar 2.1** Pembangkit Tradisional dan *Smart Grid*

(Sumber: [https://www.academia.edu/8594409/Smart\\_Grid](https://www.academia.edu/8594409/Smart_Grid),2019)

- Sistem pengelolaan listrik secara tradisional :
  1. Pembangkitannya tersentralisasi
  2. Power flow hanya terjadi satu arah
  3. Memiliki keterbatasan akses grid untuk pembangkitan jenis baru
- Konsep *Smart Grid* :
  1. Pembangkitan menggunakan Distributed Generation
  2. Power flow dapat terjadi dua arah
  3. Menggunakan renewable energy

4. Beroperasi berdasarkan data real-time
5. Akses grid cukup luas
6. Pelanggan ikut berpartisipasi. [5]

#### **2.1.4 Keuntungan *Smart Grid***

##### 1. Manfaat bagi Utilitas

Meningkatkan keandalan jaringan dan efisiensi operasional dimungkinkan dengan menggunakan lebih banyak kecerdasan dalam jaringan pengiriman untuk memonitor aliran daya secara realtime dan meningkatkan kontrol tegangan untuk mengoptimalkan efisiensi pengiriman dan menghilangkan limbah dan kelebihan pasokan. Ini akan mengurangi konsumsi energi secara keseluruhan dan melestarikan sumber daya yang terbatas serta menurunkan biaya listrik keseluruhan.

##### 2. Manfaat bagi pengguna

Smart grid akan memungkinkan pengurangan yang signifikan dalam konsumsi energi keseluruhan [7] dan puncak penggunaan listrik dengan memberikan informasi dan harga real-time kepada pelanggan, memfasilitasi banyak hal penggunaan respons permintaan yang lebih luas, memberikan informasi yang diperlukan untuk mendukung “permintaan berkelanjutan” dalam lingkungan yang dibangun dan meningkatkan kapasitas saluran transmisi yang ada.

##### – Efek Konservasi dari Informasi dan Harga Real-Time

Sejumlah penelitian telah menemukan bahwa memberi pelanggan informasi penggunaan energi secara real-time memangkas konsumsi sebesar 5% –15%. Menambahkan insentif harga dan alat manajemen energi rumah otomatis, seperti termostat yang dapat diprogram dan peralatan pintar yang terhubung ke jaringan area rumah[13][14].

##### 3. Manfaat bagi Lingkungan

Smart grid memungkinkan penyebaran yang lebih luas dan dimasukkannya teknologi energi yang lebih bersih dan lebih hijau secara optimal ke dalam grid dari sumber daya distribusi dan lokal, termasuk solar yang berada di atap, digabungkan

panas dan pembangkit listrik serta pembangkit distribusi, dengan demikian mengurangi ketergantungan pada batubara dan minyak impor.[6]

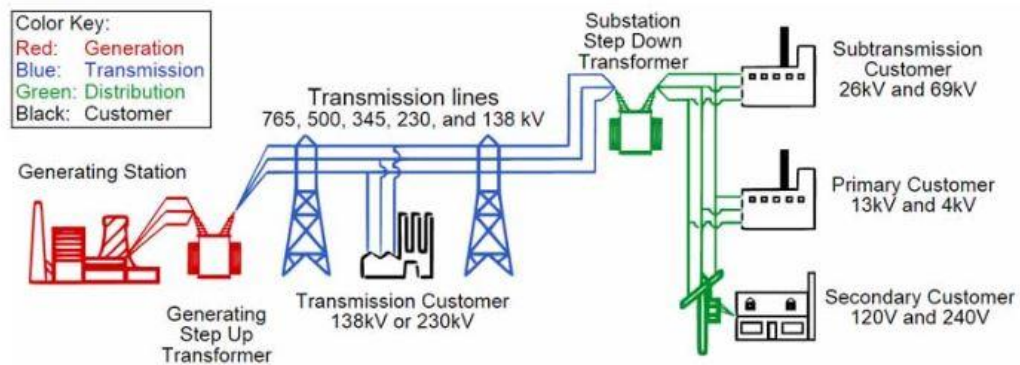
Berikut merupakan gambar dari *smart grid*:



**Gambar 2.2 Smart Grid**

(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2019)

Pada *Smart Grid* terdapat jaringan transmission, distribution dan substation sebagai jaringan untuk mengirimkan energi listrik yang dihasilkan oleh *Wind Generator* :



**Gambar 2.3 Jalur Transfer Energi Listrik**

(Sumber : <https://www.electricaleasy.com/2016/01/electrical-power-grid-structure-working.html>,2019)

### **Transmisi:**

Untuk transmisi daya pada jarak yang lebih jauh, voltase yang dihasilkan ditingkatkan ke level yang jauh lebih tinggi. Trafo step up digunakan untuk tujuan ini, yang meningkatkan level tegangan dengan penurunan arus yang sesuai. Meningkatkan tegangan diperlukan untuk meningkatkan efisiensi transmisi

dengan mengurangi kehilangan  $I^2R$  di saluran transmisi. Semakin tinggi tegangan transmisi berarti semakin rendah arus dan, karenanya, semakin rendah kehilangan  $I^2R$ . Tegangan transmisi umumnya 220kV atau lebih besar hingga 765kV. Jalur transmisi sering terlihat menabrak menara tinggi di pinggiran kota.

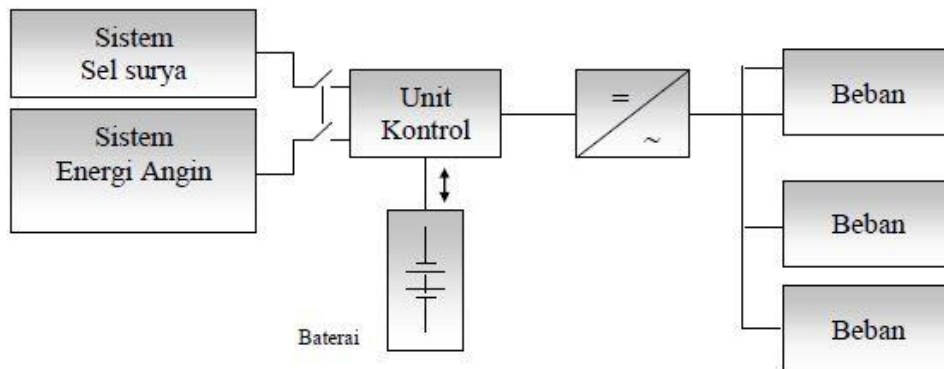
### **Distribusi:**

Daya dari sistem transmisi kemudian turun ke tegangan yang jauh lebih rendah (33 hingga 66 kV) menggunakan transformator step-down dalam gardu step-down primer. Listrik kemudian dibawa ke gardu distribusi atau langsung ke konsumen industri yang sangat besar. Di gardu distribusi, daya lebih lanjut turun (pada 11kV). Distribusi daya dilakukan menggunakan jalur distribusi overhead atau bawah tanah yang biasanya saling berhubungan dalam tipe jaringan ring atau mesh. Trafo distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan lebih lanjut ke tegangan penggunaan (120 volt atau 230 volt) dan memasok beberapa konsumen menggunakan jalur distribusi sekunder.[16]

## **2.2 Energi Terbarukan [8]**

Definisi dari energi terbarukan merupakan energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan dan senantiasa tersedia di alam sehingga tidak dikhawatirkan jumlahnya. Angin adalah udara yang bergerak dari tekanan tinggi menuju ke tekanan rendah atau sebaliknya yaitu dari suhu udara yang rendah ke suhu udara yang lebih tinggi. Pada suatu wilayah daerah yang menerima energi panas matahari lebih besar akan mempunyai suhu udara yang lebih panas dan tekanan udara yang cenderung rendah, sehingga akan terjadi perbedaan suhu dan tekanan udara antara daerah yang menerima energi panas lebih besar dengan daerah lain yang lebih sedikit menerima energi panas, akibatnya akan terjadi aliran udara pada wilayah tersebut.

### Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Surya Angin



**Gambar 2.4 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida**

PLTH adalah singkatan dari Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida, yang memadukan dua atau lebih sistem pembangkit dan menggunakan unit kontrol untuk mengatur sistem operasi. Tujuan pengembangan teknologi hibrida ini diantaranya untuk mendapatkan daya guna optimal dengan memadukan kelebihan-kelebihan dari dua atau lebih jenis sistem pembangkit tenaga yang bekerja secara terpadu sebagai suatu sistem yang kompak. Sistem-sistem yang mendukung Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Sel surya dan energi angin adalah sistem sel surya, sistem konversi energi, sistem baterai, sistem inverter, dan sistem kontrol.[18]

### 2.3 *Wind Generator*

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill.

Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Contoh: PLTD, PLTU, dll), turbin angin masih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui

(Contoh : batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.

– Daya Angin

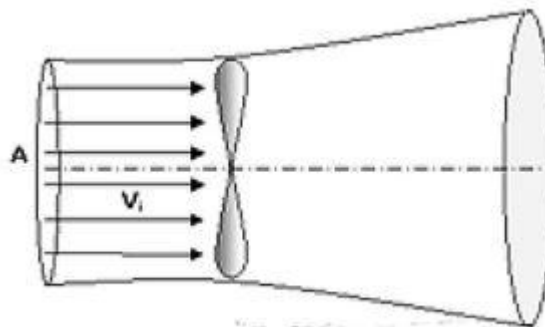
Potensi sumber energi angin dan daya yang mampu dihasilkan dapat dihitung dari data kecepatan angin yang diperoleh. Melalui gambar 2.4 kita dapat menghitung aliran massa udara  $dm/dt$  yang melalui luas penampang rotor A ( $m^2$ ).

Angin adalah udara yang bergerak. Udara mempunyai massa jenis tetapi berdensitas rendah. Ketika massa bergerak dengan kecepatan  $V$  maka energi kinetiknya sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2}mV^2 \text{ (J) } \dots\dots\dots(2.1)$$

Jika massa jenis dari udara yang bergerak dilambangkan sebagai  $\rho$  maka energi kinetik per volume udara adalah:

$$E_v = \frac{1}{2}\rho V^2 \text{ (Jm}^{-3}\text{)} \dots\dots\dots(2.2)$$



**Gambar 2.5 Arah Angin terhadap Penampang A**

(Sumber : <http://eprints.umm.ac.id/40453/3/jiptummpp-gdl-mnaufalafi-48082-3-babii.pdf>,2019)

Daya sebenarnya adalah daya yang keluar dari generator dalam bentuk daya elektrik maksimum, dan juga dapat dinyatakan sebagai daya diperlukan atau dikehendaki atau daya disain. Daya ini sangat dipengaruhi oleh efisiensi bilah sudu yang dinyatakan dalam koefisien daya dan efisiensi mekanikal lainnya.

Turbin angin terdiri dari berbagai komponen utama untuk menjalankan fungsinya yaitu mengkonversi energi. Turbin angin memiliki sejumlah bilah dibagian depan yang terpasang pada poros putar (*shaft*) dimana terhubung dengan kotak *gearbox*. Bilah yang terpasang sejumlah 2,3 atau 4 ini berfungsi untuk



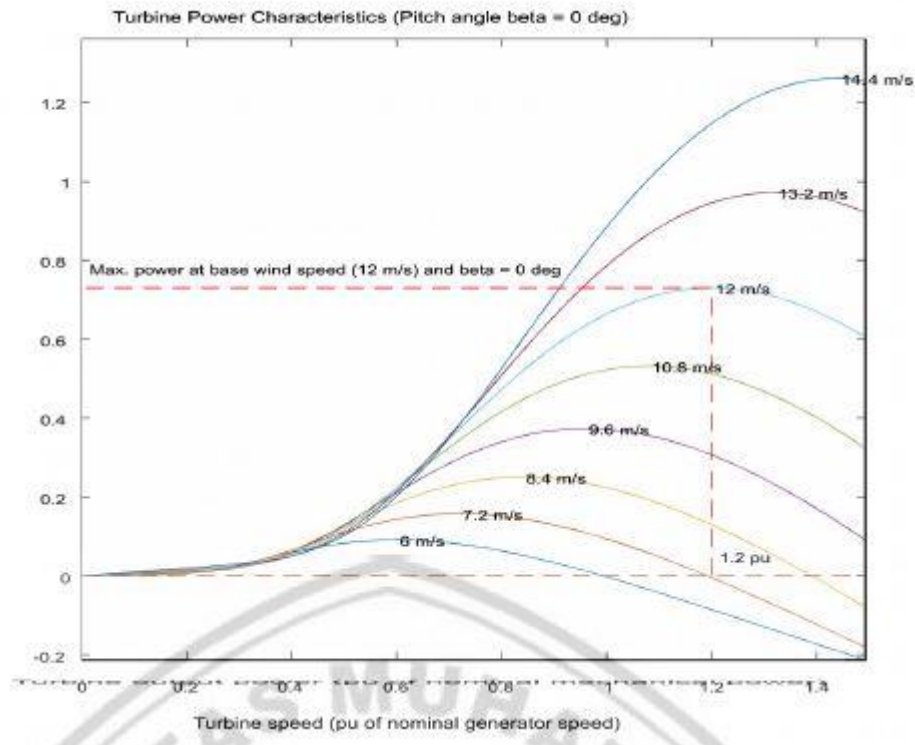
menangkap energi angin dan mengubah menjadi energi mekanik. Kemudian energi mekanik diubah menjadi energi listrik oleh poros putar keluar dari *gearbox* menuju generator dibagian belakang. Selanjutnya kecepatan putar yang rendah dari *shaft* akan diubah terlebih dahulu oleh *gearbox* sehingga berkecepatan tinggi sebelum masuk ke generator. Cara kerja dari pembangkit ini yaitu awalnya angin akan memutar sudut turbin, kemudian putaran turbin tersebut digunakan untuk memutar rotor pada generator sehingga dapat menghasilkan listrik.



**Gambar 2.6 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Angin**

(Sumber: <http://eprints.umm.ac.id/45094/3/BAB%20II.pdf>,2019)

Pada gambar 2.6 ditunjukkan karakteristik dari turbin angin :



**Gambar 2.7 Karakteristik Turbin Angin**

(Sumber: <http://eprints.umm.ac.id/45094/3/BAB%20II.pdf>, 2019)

Daerah operasi turbin angina dari titik yang berbeda :

1. *Cut-in wind speed* : yaitu turbin angin mulai mendapatkan daya listrik pada kecepatan angin terendah.
2. *Rated wind speed* : yaitu turbin angin memperoleh daya listrik, yang umumnya daya maksimum turbin angin
3. *Cut-out rewind speed* : Kemampuan menghentikan dan mematikan turbin angin sehingga tercegah dari kerusakan mekanik.[10]

### **Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Angin**

#### 1. Turbin Angin

Dalam perkembangan teknologi turbin angin, umumnya dikenal dua jenis turbin angin, yaitu turbin angin propeller dan turbin Darrieus. Saat ini kedua jenis turbin angin inilah yang sering mendapat perhatian besar untuk dikembangkan. Turbin angin Propeller adalah jenis turbin angin dengan poros horizontal, berbentuk seperti baling-baling pesawat terbang pada umumnya. Dalam

penggunaannya, turbin angin ini memerlukan penyesuaian dengan arah angin untuk bisa mendapatkan kecepatan angin yang paling tinggi.

## 2. Anemometer

Mengukur kecepatan angin, dan mengirim data angin ini ke alat pengontrol.

## 3. Bilah Kipas (*Blades*)

Kebanyakan turbin mempunyai 2 atau 3 lebih bilah kipas, angin yang menghembus menyebabkan turbin tersebut berputar.

## 4. Sistem Pengereman

Digunakan untuk menjaga putaran pada poros setelah gearbox agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang besar. Alat ini perlu dipasang karena generator memiliki titik kerja aman dalam pengoperasiannya, kehadiran angin diluar batas kemampuannya akan menyebabkan kerusakan pada generator.

## 5. Alat Pengontrol

Alat pengontrol ini mulai menstart turbin pada kecepatan angin kira – kira 8 – 25 km/jam, dan memamatkannya pada kecepatan 90 km/jam. Turbin tidak beroperasi di atas 90 km/jam, karena angin terlalu kencang dan dapat merusak turbin angin.

## 6. *Battery Charge Controller*

Digunakan untuk menjaga daya arus listrik yang masuk pada aki agar tidak melewati beban yang mampu diterima oleh aki.

## 7. Penyimpan Energi

Karena angin tidak bertiup sepanjang hari, diperlukan alat untuk menyimpan daya listrik yang sudah dihasilkan oleh turbin angin. Dengan menggunakan aki sebagai alat penyimpan energi, maka masalah keterbatasan dari energi dapat diatasi.

## 8. Inverter

Inverter banyak digunakan dalam aplikasi turbin angin yang umumnya digunakan sebagai supply AC. Dengan inverter, tegangan DC dari aki akan dikonversi menjadi tegangan AC yang siap digunakan.[17]

### **2.3.1 Jenis-Jenis Turbin Angin [8]**

Turbin angin sebagai mesin konversi energi dapat digolongkan berdasarkan prinsip aerodinamik yang bekerja pada rotornya. Berdasarkan prinsip aerodinamik, turbin angin dibagi menjadi dua bagian yaitu jenis drag (tipe drag)

dan jenis lift (tipe lift) .Kedua prinsip aerodinamik yang dimanfaatkan turbin angin memiliki perbedaan putaran pada rotornya, dengan prinsip gaya drag memiliki putaran rotor relatif rendah dibandingkan turbin angin yang rotornya menggunakan prinsip gaya lift.

Jika dilihat dari arah sumbu rotasi rotor, turbin angin dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu horizontal axis wind turbine (HAWT) dan vertical axis wind turbine (VAWT) (Mathew, 2006)[15].

### **1. Turbin angin sumbu horizontal (TASH)**

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. TASH sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar.

Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan

Karena turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan realibilitas begitu penting, sebagian besar TASH merupakan mesin upwind (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin downwind (menurut jurusan angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena di saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu.



**Gambar 2.8 Turbin TASH**

(Sumber : <http://termodinamikarini.blogspot.com/2015/05/jenis-jenis-turbin-angin.html>,2019)

Kelebihan turbin angin sumbu horizontal (TASH) :

a. Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam atmosfer bumi. Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%.

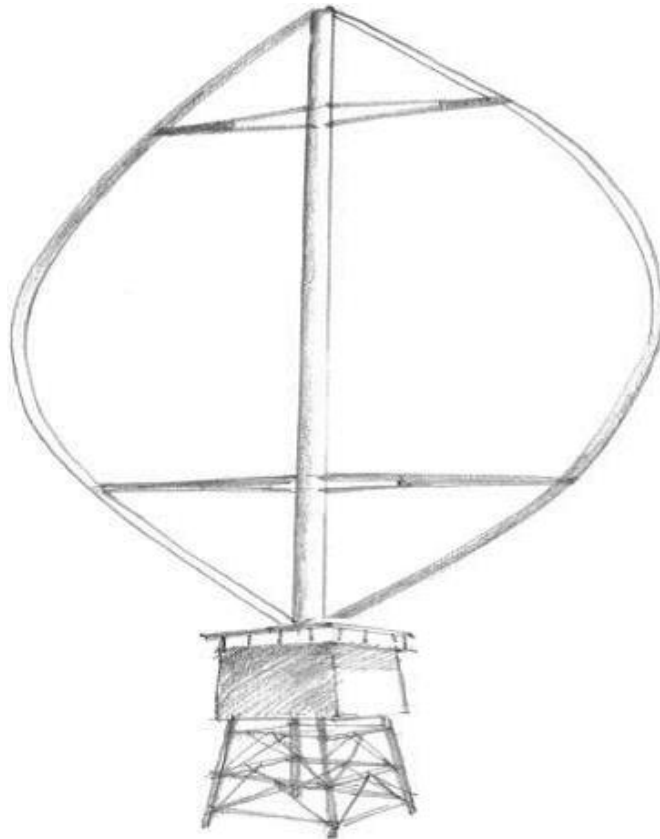
b. Kekurangan TASH :

1. Menara yang tinggi serta bilah yang panjangnya bisa mencapai 90 meter sulit diangkut. Diperkirakan besar biaya transportasi bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin
2. TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yang tampil.
3. Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator
4. TASH yang tinggi bisa memengaruhi radar airport
5. Ukurannya yang tinggi merintangi jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan lansekap

6. Berbagai varian downwind menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi
7. TASH membutuhkan mekanisme kontrol *yaw* tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin

## 2. Turbin angin sumbu vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. TASV mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah.



**Gambar 2.9 Turbin TASV**

(Sumber : <http://termodinamikarini.blogspot.com/2015/05/jenis-jenis-turbin-angin.html>,2019)

Dengan sumbu yang vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan

tenaga putaran yang berdenyut. *Drag* (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar.

Karena sulit dipasang di atas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan. Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah, sehingga yang tersedia adalah energi angin yang sedikit. Aliran udara di dekat tanah dan obyek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan *bearing wear* yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Jika tinggi puncak atap yang dipasang menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal.

Kelebihan turbin angin sumbu vertikal (TASV) :

1. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
2. Karena bilah-bilah rotornya vertikal, tidak dibutuhkan mekanisme yaw.
3. Sebuah TASV bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
4. TASV memiliki sudut airfoil (bentuk bilah sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi *drag* pada tekanan yang rendah dan tinggi.
5. Desain TASV berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya TASH.
6. TASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada TASH. Biasanya TASV mulai menghasilkan listrik pada 10 km/jam (6 m.p.h.)
7. TASV biasanya memiliki *tip speed ratio* (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang.

8. TASV bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
9. TASV yang ditempatkan di dekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin (seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak bukit),
10. TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.
11. Kincir pada TASV mudah dilihat dan dihindari burung.

Kekurangan dari TASV :

1. Kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi TASH karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.
2. TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
3. Kebanyakan TASV mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.
4. Sebuah TASV yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan. Kabel yang dikaitkan ke puncak bantalan meningkatkan daya dorong ke bawah saat angin bertiup.

### **Desain sudu**

Sudu adalah bagian dari turbin angin yang bertugas menerima energi kinetik angin dan merubahnya menjadi energi gerak putar (mekanik) pada poros penggerak. Pada sebuah turbin angin jumlah sudu dapat berjumlah 1,2,3 atau lebih.

Kelebihan dan kekurangan dari jumlah masing-masing sudu adalah sebagai berikut:

#### 1) Jumlah sudu 1

- a. Mengurangi ratio gearbox
- b. Speed lebih tinggi yang berarti lebih berisik dan lebih beresiko mengenai hewan khususnya burung
- c. Blade lebih mudah dipasang



- d. Menangkap 10% energi lebih sedikit ketimbang desain dengan 2 sudu
- 2) Jumlah sudu 2
- a. Membutuhkan peredam beban karena ketidakseimbangan giroskopis
  - b. Menangkap 5% energi lebih sedikit ketimbang desain dengan 3 sudu
  - c. Kekurangan dan kelebihan lainnya kurang lebih hampir mirip dengan desain 1 sudu
- 3) Jumlah sudu 3
- a. Lebih seimbang
  - b. Speed yang lebih rendah
  - c. Meningkatkan rasio gearbox
  - d. Bentuk lebih umum dan lebih aman untuk hewan khususnya burung[15]

Pada *smart grid* digunakan *wind generator* tipe Wow 3027-02. Berikut merupakan gambar dari *Wind Generator* :



**Gambar 2.10 Wind Generator**

(Sumber : Dokumentasi Penulis,2019)

#### **2.4 Baterai Sebagai Penyimpanan Energi**

Baterai akan di isi oleh tenaga listrik yang berasal dari sistem sel surya dan sistem energi angin. Pada saat pelepasan muatan, arus searah yang berasal dari baterai akan dirubah menjadi arus bolak-balik oleh inverter dan kemudian dialirkan menuju beban. Untuk menjaga agar baterai tidak mengalami kelebihan muatan (over charge) dan kekurangan muatan (under charge) maka pengoperasian baterai dan inverter perlu diawasi dan dikontrol oleh suatu sistem kontrol.

Dalam pemilihan baterai yang akan digunakan haruslah memperhatikan hal-hal berikut ini :

- Mempunyai umur panjang (lebih dari 3 tahun)
- Mempunyai kondisi *charge* yang stabil
- Mempunyai *self discharge* yang rendah
- Kestabilan *depth of discharge* (DOD)
- Mempunyai efisiensi pengisian (*chargain*) yang tinggi
- Mudah untuk dibongkar pasang dengan menggunakan peralatan sederhana untuk keperluan transportasi ke daerah terpencil.[18]

## 2.5 Tachometer

Tachometer adalah sebuah instrumen atau alat yang mampu untuk mengukur kecepatan putaran dari poros engkol atau piringan, seperti yang terdapat pada sebuah motor atau mesin lainnya. Alat ini biasanya menampilkan revolutions per minute (RPM) pada sebuah pengukur skala analog, namun yang versi tampilan digital juga.

Dalam aplikasi kendaraan bermotor, pemasangan tachometer dengan tujuan agar pengendara dapat menggunakan mesin secara efisien. Tachometer yang terdapat pada mobil, pesawat terbang dan kendaraan-kendaraan lainnya biasanya menunjukkan tingkat rotasi/perputaran pada poros engkol mesin, dan secara tipikal sudah menandakan indikasi jangkauan keselamatan dari perputaran mesin. Hal ini mampu menolong pengemudi dalam menyeleksi akselerasi yang pas dan pengaturan rotasi mesin untuk segala macam kondisi pengendaraan. Tachometer akan memberikan peringatan kepada pengemudi apabila tingkat putaran mesin sudah pada tahap "maksimum".

Tachometer dikendalikan oleh putaran kabel dari sebuah unit pengendali yang dimasukkan kedalam mesin (biasanya pada poros engkol) juga ada-biasanya pada sistem mesin diesel sederhana yang menggunakan basis sistem listrik ataupun tanpa sistem elektrik.

Pada sistem manajemen mesin yang umumnya terdapat pada kendaraan-kendaraan moderen, sinyal untuk tachometer biasanya dihasilkan dari sebuah mesin ECU yang menghantarkan informasi baik dari sensor kecepatan putaran yang terdapat pada poros engkol.

#### – **Fungsi Tachometer**

Fungsi Tachometer adalah alat untuk mengukur putaran mesin, khususnya jumlah putaran yang dilakukan oleh sebuah poros dalam satu satuan waktu dan sering digunakan pada peralatan kendaraan bermotor. Biasanya memiliki layar yang menunjukkan kecepatan putaran per menitnya..

#### – **Jenis Tachometer**

Tachometer kontak Pulsa/ Rate Meter terdapat berbagai merk dan type, untuk kali ini mempergunakan MP5-W Serries dari Autonics. Unit ini mempunyai banyak fungsi yang salah satunya adalah untuk pengukuran RPM (mode : F1). Mempunyai dua input (IN A dn IN B), banyak pilihan tipe mulai sebagai indicator dan sebagai controller dengan bermacam output. Display terdiri dari 5 digit dan dilengkapi keypad pemrograman. Sedangkan sensor yang dipergunakan adalah sebuah proximity sensor PR30-10DN dengan spesifikasisupply 12 ~ 24 VDC, output NPN, dan jarak sensing 10 mm (pernah di coba sampai 4500 RPM dan stabil).

Pemasangan sensor pada unit display, untuk kabel supply dihubungkan ke terminal 6 dan 7 (perhatikan polaritasnya) sedangkan output sensor di terminal 1 (IN A), sementara IN B di ambangkan saja. Power supply MP5 diterminal 8 dan 9. Jika menggunakan option output sambungkan sesuai dengan type outputnya. Struktur program MP5 serries mempunyai 4 parameter grup yang terpisah. Parameter grup 0 sampai parameter grup 3, tetapi untuk aplikasi tachometer hanya diperlukan beberapa setting parameter, yang penting diketahui adalah untuk berpindah ke tiap tiap parameter adalah dengan menekan tombol “M D” selama beberapa detik. Jika MP5 dipergunakan sebagai controller, setting level output berada pada parameter grup 0, terdapat 4 level output yaitu HH, H,L dan LL namun ini untuk seri controller.

Sedangkan untuk controller diperlukan setting batas atas dan batas bawah. Nilai skala dan mantisa harus dihitung sesuai dengan jumlah pulsa per putarannya. Sebenarnya mode F1 adalah fungsi pembacaan frekuensi (pulsa per detik dengan satuan Hz). Jika dipergunakan untuk pembacaan RPM ( Rotation Per Minute ) maka harus dikalikan 60 (1 menit sama dengan 60 detik).

– **Tachometer non-kontak**

Pada dasarnya Tachometer Non-kontak ini sama kerjanya/fungsinya dengan Tachometer biasa yang di pergunakan untuk mengetahui kecepatan Suatu putaran motor hanya saja berbeda sedikit pada saat Tachometer ini di hubungkan dengan personal komputer. Dengan dikoneksikan ke personal komputer kita akan dapat mengetahui nilai error dan grafik dari kecepatan motor tersebut.

Alat yang lebih canggih dan aman untuk mengukur kecepatan adalah alat tanpa kontak, seperti tachometer non-kontak. Tachometer non-kontak menggunakan sumber sinar cahaya yang dapat disinkronisasi dengan setiap kecepatan dan pengulangan gerakan, sehingga benda yang berpindah sangat cepat terlihat tidak bergerak atau berpindah perlahan. Untuk menggambarkan prinsip ini, diambil sebuah contoh berikut: Diasumsikan sebuah disket putih dengan titik hitam terpasang pada as dari motor 1800 rpm. Bila disket berputar pada 1800 rpm; tidak mungkin untuk mata orang untuk melihat gambaran tunggal dan titik akan tampak menjadi lingkaran kabur .

Bila diterangi oleh sinar cahaya tachometer non-kontak, disinkronkan pada cahaya untuk setiap putaran disket (bila titik berada pada jam tiga, sebagai contoh), titik akan terlihat pada posisi ini – dan hanya pada posisi ini – pada kecepatan 1800 kali untuk setiap menit. Oleh karena itu, titik akan nampak membeku atau berdiri diam Jika laju sinar dari tachometer non-kontak diperlambat menjadi 1799 sinar per menit, titik akan teriluminasi pada posisi cahaya yang berbeda, setiap kali piringan berputar, dan titik akan tampak berpindah.

Perlahan dalam arah putaran 360° dan tiba pada posisi sebenarnya 1 menit kemudian, perpindahan yang sama, tetapi di arah yang berlawanan rotasi dari

titik, akan diobservasi jika laju sinar dari tachometer non-kontak ditingkatkan menjadi 1801 fpm. Jika diinginkan, laju perpindahan yang tampak dapat dipercepat dengan meningkatkan atau menurunkan laju sinar pada tachometer non-kontak. Bila bayangan dihentikan, laju sinar strobo setara dengan kecepatan perpindahan obyek, karena laju sinar diketahui, maka kecepatan obyek juga diketahui.

Oleh karena itu tachometer non-kontak mempunyai dua tujuan yaitu mengukur kecepatan dan pengamatan penurunan yang nampak pada kecepatan makin perlahan atau pemberhentian gerakan cepat. Hal yang cukup berarti dari efek gerakan lambat adalah karena gerakan ini merupakan copy/salinanyang tepat dari gerakan kecepatan tinggi, maka semua ketidak teraturan (getaran, torsi, suara-suara, loncatan) yang ada pada gerakan kecepatan tinggi dapat dipelajari. Untuk studi audit pada umumnya digunakan jenis kontak tachometer karena alat tersebut sudah siap tersedia.

### **Macam – Macam Tachometer**

#### **– Tachometer optik**

Tachometer optik adalah sebuah alat untuk mengukur kecepatan sudut putar dengan besaran rpm. Tachometer optik terdiri dari jalur atau garis (stripe) yang terdapat di dalam batang lalu terdapat sebuah atau lebih photosensor yang menghadap pada batang tersebut.

Cara kerjanya setiap batang tersebut berputar maka photosensor akan mendeteksi jumlah stripe yang melewatinya. Kemudian akan menghasilkan output yang akan berbentuk pulsa. Pada gelombang pulsa tersebut periode  $\approx$  kebalikan dari kecepatan angular. Dapat diukur dengan menggunakan rangkaian counter seperti yang digambarkan pada encoder batang optik. Keunggulan tachometer optic ialah memiliki photosensor sehingga dapat mendeteksi setiap garis yang melewatinya, sedangkan kelemahannya tidak dapat merasakan posisi dan jarak, namun dapat diatasi dengan memasang 2 buah photosensor.

### – **Tachometer Rotor**

Tachometer Rotor bergigi terdiri dari sebuah sensor tetap dan sebuah pemutar gerigi, roda, dan bahan besi. Ada 2 jenis sensor yang digunakan :

- a. Variable reluctance sensor
- b. Hall effect sensor

Terdapat magnet yang menggantung sebagai sensornya

Cara kerjanya adalah rotor berputar, kemudian bagian rotor bergigi yang akan diukur. Sensor yang berupa magnet akan mendeteksi setiap gerigi tersebut yang melewatinya. Setiap gerigi melewatinya maka medan magnet akan bertambah dan menginduksi tegangan pada belitan kawat sehingga akan dihasilkan pulsa. Pulsa tersebut akan dikonversi menjadi sebuah gelombang kotak yang bersih dengan rangkaian ambang detector. Keunggulan tachometer gerigi ini ialah Memberikan sebuah pulsa setiap waktu apabila gigi besi melewatinya dan menghasilkan pulsa yang berupa sinyal kotak yang jernih.

### **Tachometer DC**

Tachometer DC adalah sebuah generator DC yang memproduksi tegangan keluaran DC yang proporsional dengan kecepatan batang. Terdiri dari magnet permanen dan bagian yang berputar yang terbuat dari koil, dan juga terjadi konversi langsung.

Prinsip kerjanya adalah terjadinya proses konversi langsung antara kecepatan dan tegangan. Tachometer inilah yang digunakan dalam praktikum instrumentasi kelautan dalam kesempatan kali ini. Keunggulan tachometer DC ini ialah untuk menjaga inersia turun dapat diatasi dengan penggunaan sikat sedangkan kelemahan sendiri yaitu penggunaan sikat untuk menjaga inersia dapat aus.

### **Spesifikasi Tachometer**

Contoh Spesifikasi pada I-max RPM intelligent tachometer :

- Tegangan Listrik: AC 220 VAC 50/60 Hz
- Konsumsi Listrik : 5 Watt

- Tampilan Utama: 5 Digit (0.0001 s/d 20.000 RPM)
  - Tampilan Kedua : 5 Digit (0.0001 s/d 20.000 RPM)
  - Toleransi Pengukuran : +/- 20 RPM
  - Toleransi SCAN : +/- 100 RPM
  - Panjang kabel sensor : 400 cm
  - Panjang kabel remote : 300 cm
  - Processor : NXP LPC 92 series 12 MHz Flash Technology
  - Dimensi : 420 x 132 x 45 mm
  - Dimensi Dus : 367 x 180 x 125 mm
  - Berat Bersih : 1200 Gram
- **Cara Pengoperasian Tachometer**

Pada jenis kontak tachometer , roda tachometer dikontakkan dengan badan yang berputar. Karena adanya gesekan diantara keduanya, setelah beberapa detik kecepatan roda tachometer sama dengan kecepatan badan berputar. Kecepatan ini ditampilkan pada panel sebagai putaran per menit (rpm).

Tachometer non-kontak digital merupakan sumber cahaya yang digunakan untuk mengukur kecepatan obyek yang bergerak cepat atau untuk menghasilkan efek optic menghentikan atau memperlambat gerakan kecepatan tinggi untuk keperluan pengamatan, analisis atau fotografi.

Prinsip kerjanya, menghitung jarak tempuh roda belakang (keliling roda belakang) dikali putaran roda belakang yang berhubungan dengan putaran mesin.[11]

Tachometer yang digunakan pada pengujian ini adalah tachometer laser yang ditunjukkan pada gambar 2.10 dibawah ini :



**Gambar 2.11 Tachometer Laser**

(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2019)

## 2.6 Multimeter

Multimeter adalah alat pengukur listrik yang sering dikenal sebagai VOM (Volt-Ohm meter) yang dapat mengukur tegangan (voltmeter), hambatan (ohm-meter), maupun arus (amperemeter). Ada dua kategori multimeter: multimeter digital atau DMM (digitalmulti-meter) (untuk yang baru dan lebih akurat hasil pengukurannya), dan multimeter analog, masing-masing kategori dapat mengukur listrik AC, maupun listrik DC.

Sebuah multimeter merupakan perangkat genggam yang berguna untuk menemukan kesalahan dan pekerjaan lapangan, maupun perangkat yang dapat mengukur dengan derajat ketepatan yang sangat tinggi.

### 2.6.1 Jenis-Jenis Multimeter

#### 1. Multimeter Analog

Multimeter Analog atau yang biasa disebut multimeter jarum adalah alat pengukur besaran listrik yang menggunakan tampilan dengan jarum yang bergerak ke range-range yang kita ukur dengan probe . Multimeter ini tersedia dengan kemampuan untuk mengukur hambatan ohm, tegangan (Volt) dan arus (mA). Analog tidak digunakan untuk mengukur secara detail suatu besaran nilai komponen, tetapi kebanyakan hanya digunakan untuk baik atau jeleknya komponen pada waktu pengukuran atau juga digunakan untuk memeriksa suatu



rangkaian apakah sudah tersambung dengan baik sesuai dengan rangkaian blok yang ada.



**Gambar 2.12 Multimeter Analog**

(Sumber : [https://www.academia.edu/35606185/Penjelasan\\_Tentang\\_Multimeter](https://www.academia.edu/35606185/Penjelasan_Tentang_Multimeter), 2019)

## 2. Multimeter Digital

Multimeter digital hampir sama fungsinya dengan multimeter analog tetapi multimeter digital menggunakan tampilan angka digital. Multimeter digital pembacaan pengukuran besaran listrik yang lebih tepat jika dibanding dengan multimeter analog, sehingga multimeter digital dikhususkan untuk mengukur suatu besaran nilai tertentu dari sebuah komponen secara mendetail sesuai dengan besaran yang diinginkan. [12]



**Gambar 2.13 Multimeter Digital**

(Sumber: [https://www.academia.edu/35606185/Penjelasan\\_Tentang\\_Multimeter](https://www.academia.edu/35606185/Penjelasan_Tentang_Multimeter), 2019)