

## BAB 2

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia, meliputi sumber energi surya, sumber energi air dan mikrohidro, sumber energi angin, sumber energi panas bumi, sumber energi gelombang laut, dan sumber energi biomassa. Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, konsumsi energi saat ini juga memiliki potensi untuk efisiensi dan konservasi energi.

**Tabel 2.1** Potensi energi terbarukan di Indonesia

Jenis Energi	Potensi (MW)	Kapasitas Terpasang (MW)	Pemanfaatan (%)
Panas Bumi	29.544	1.438,5	4,9
Air	75.091	4,826,7	6,4
Angin	60.647	3,1	0,01
Surya	207.898	78,5	0,04
Laut	17,898	0,3	0,02

Sumber: <https://p3tkebt.esdm.go.id/>

Meski memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar dan beragam, pemanfaatannya masih minim. Pengembangan energi baru terbarukan Indonesia masih tertinggal jika dibandingkan dengan negara-negara G20 yang tengah melakukan transisi menuju ekonomi rendah karbon dalam upaya mencapai target *Paris Agreement*. Indonesia memiliki pekerjaan rumah yang menantang untuk mendorong pemanfaatan energi terbarukan secara optimal dan mengurangi ketergantungan pada energi fosil. [6]

Terlihat pada daerah pesisir pantai Indonesia yang dimana energi angin dan matahari dapat dimanfaatkan sebagai energi yang bisa di terapkan pada kebutuhan pokok utama dalam bermasyarakat.

## 2.2 Energi Angin ( *Wind Energy* )

Angin merupakan udara yang bergerak yang terjadi karena adanya perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Adanya perbedaan suhu udara ini karena adanya perbedaan tekanan udara di permukaan bumi. Udara bergerak dari daerah yang memiliki tekanan udara yang tinggi ke daerah yang memiliki tekanan udara yang rendah. Pada dasarnya angin yang bertiup di permukaan bumi terjadi karena adanya penerimaan radiasi surya yang tidak merata di permukaan bumi, sehingga mengakibatkan perbedaan suhu udara. [7]

Daerah sekitar khatulistiwa, yaitu pada busur  $0^\circ$ , adalah daerah yang mengalami pemanasan lebih banyak dari matahari dibanding daerah lainnya di Bumi, artinya udara di daerah khatulistiwa akan lebih tinggi dibandingkan dengan udara di daerah kutub. Pertukaran panas pada atmosfer akan terjadi secara konveksi. Berat jenis dan tekanan udara yang disinari cahaya matahari akan lebih kecil dibandingkan jika tidak disinari. Perbedaan berat jenis dan tekanan inilah yang akan menimbulkan adanya pergerakan udara.

Udara yang bergerak mempunyai massa, kerapatan dan kecepatan. Sehingga dengan adanya faktor-faktor tersebut angin mempunyai energi kinetik dan energi potensial. Akan tetapi faktor kecepatan lebih mendominasi posisi massa terhadap permukaan bumi. Dengan demikian energi kinetik lebih dominan dari pada energi potensial.

**Tabel 2.2** Tingkat Kecepatan Angin Menurut Beaufort

Skala Beaufort	Kategori	Satuan dalam Km/jam	Satuan dalam Knots	Keadaan di Daratan	Keadaan di Lautan
0	Udara Tenang	0	0	Asap bergerak secara vertikal	Permukaan laut seperti kaca
1 - 3	Angin lemah			Angin terasa di wajah, daun-daun berdesir, kincir angin bergerak oleh angin	Riuk kecil terbentuk namun tidak pecah, permukaan tetap seperti kaca
4	Angin sedang	20-29	11-19	Debu terangkat dan kertas dapat terbang, cabang pohon kecil bergerak	Ombak kecil mulai memanjang, garis-garis buih sering terbentuk
5	Angin segar	30-39	17-21	Pohon kecil berayun, gelombang kecil terbentuk di perairan	Ombak ukuran sedang, buih berarak- arak
6	Angin kuat	40-50	22-27	Cabang besar bergerak, siulan terdengar pada kabel telepon, payung sulit digunakan	Ombak besar mulai terbentuk, buih tipis melebar dari puncaknya, kadang-kadang timbul percikan
7	Angin ribut	51-62	28-33	Pohon-pohon bergerak, terasa sulit berjalan melawan arah angin	Laut mulai bergolak, buih putih mulai terbawa angin dan membentuk alur-alur sesuai arah angin

TUGAS AKHIR  
Rizky Imani Ramadhan 2016320007

8	Angin ribut sedang	63-75	34-40	Ranting-ranting patah, semakin sulit bergerak	Gelombang agak tinggi dan lebih panjang, puncak gelombang yang panjang mulai bergulung, buih yang terbesar anginnya semakin jelas alur- alurnya
9	Angin ribut kuat	76-87	41-47	Kerusakan angunan mulai terjadi, atap rumah lepas, cabang yang lebih besar patah	Gelombang tinggi terbentuk bulu tebal berlajur-lajur, puncak gelombang roboh bergulung-gulung, percik-percik air mulai

Sumber: <researchgate.net>

Potensi energi angin di Indonesia cukup memadai, karena kecepatan angin rata-rata berkisar 3,5 – 8 m/s. Kecepatan angin yang diperoleh dapat menghasilkan daya listrik pada turbin savonius. Prinsip kerja ini menggunakan prinsip kerja energi dan menggunakan sumber daya alam yang terbarukan yaitu angin. Energi angin bisa mendorong putaran turbin, ketika angin bertiup melewati turbin tersebut, maka akan timbul udara bertekanan yang menyeret turbin searah dengan jarum jam. Gaya yang ditimbulkan dinamakan gaya angkat. Besarnya gaya angkat biasanya lebih kuat dari tekanan pada sisi depan turbin. Kombinasi antara gaya dorong/angkat dan tarik menyebabkan turbin berputar seperti propeler dan memutar generator. [2]

Untuk bisa mencapai 100% efisiensi maka sebuah turbin angin harus memutar 100% kecepatan angin yang ada, dan turbin harus terbuat dari piringan solid. Biasanya energi angin yang dapat dikonversi menjadi daya dapat dicari dengan persamaan: [8]

$$P = \frac{1}{2} A \rho v^3$$

Dimana :

$P_a$  = daya yang dihasilkan angin (watt).

$\rho$  = massa jenis udara (kg/m<sup>3</sup>).

$A$  = luasan angin yang ditangkap kincir (m<sup>2</sup>).

$V$  = kecepatan angin (m/s).

Secara teori, efisiensi maksimum yang bisa dicapai setiap desain turbin angin adalah 59%, artinya energi angin yang bisa diserap hanyalah 59%. Jika faktor-faktor seperti kekuatan dan durabilitas diperhitungkan, maka efisiensi sebenarnya hanya 35 - 45%, bahkan untuk desain terbaik. Terlebih lagi jika ditambah inefisiensi sistem wind turbine lengkap, termasuk generator, bearing, transmisi daya dan sebagainya, hanya 10-30% energi angin yang bisa dikonversikan ke listrik. [9]

Energi angin merupakan energi alternative yang mempunyai prospek baik karena selalu tersedia di alam, dan merupakan sumber energi yang bersih dan terbarukan kembali. Proses pemanfaatan energi angin melalui dua tahapan konversi yaitu: [7]

1. Aliran angin akan menggerakkan turbin (baling-baling) yang menyebabkan turbin berputar selaras dengan angin bertiup.
2. Putaran turbin dihubungkan dengan generator sehingga dapat dihasilkan listrik

Dengan demikian energi angin merupakan energi kinetic atau energi yang disebabkan oleh kecepatan angin untuk dimanfaatkan memutar sudu-sudu kincir angin.

**Tabel 2.3** Pengelompokan skala terhadap potensi energi angin

Skala	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Spesifik (W/m <sup>2</sup> )	Kapasitas (kW)
Kecil	2,5 – 4,0	< 75	0 s.d. 10
Menengah	4,0 – 5,0	75 – 150	10 – 100
Besar	> 5,0	> 150	> 100

Sumber: [10] <https://belajarenergi.com/>

### 2.3 Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk menggerakkan generator sebagai pembangkit tenaga listrik. Turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan adanya prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat dipengaruhi oleh angin.

Prinsip dasar bahwa sebuah turbin angin dapat berputar pada porosnya adalah karena adanya vektor dari gaya *lift* dan gaya *drag* yang dihasilkan akibat bentuk aerodinamis dari penampang blade tersebut. Ketika sebuah airfoil terkena angin dari arah depan, maka akan menghasilkan vektor gaya *lift* (L) dan *drag* (D). Gaya *lift* dan gaya *drag* ini perubahannya 10 dipengaruhi langsung oleh bentuk geometri blade, kecepatan dan arah angin terhadap garis utama blade. Akibat dari perubahan gaya *lift* dan *drag*. [11]

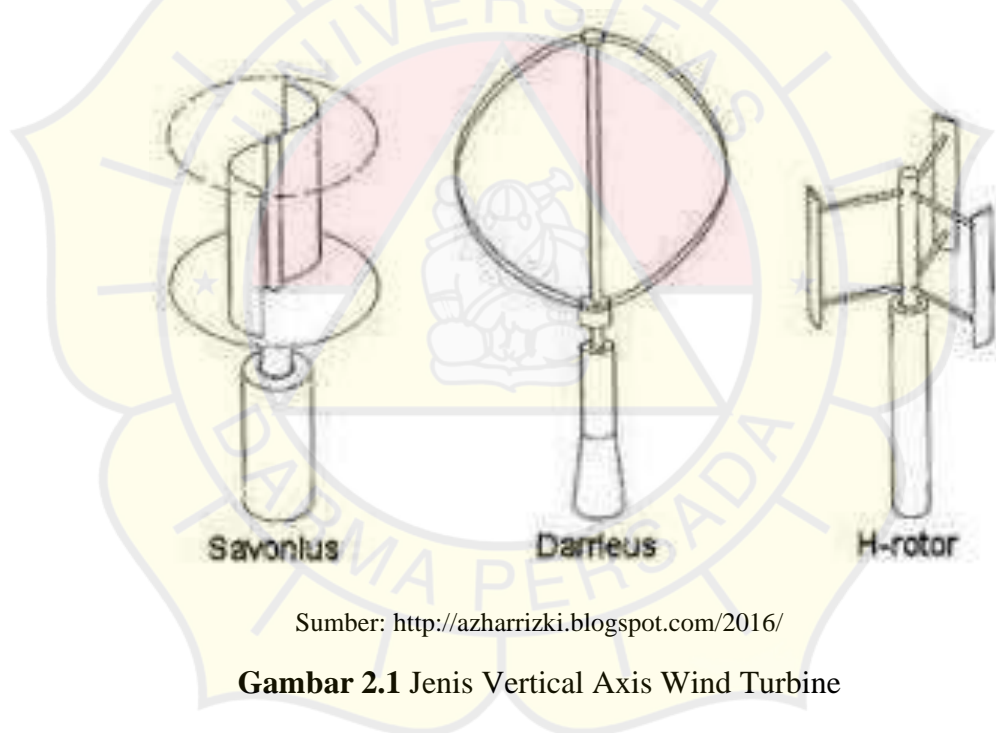
### 2.4 Jenis Turbin Angin

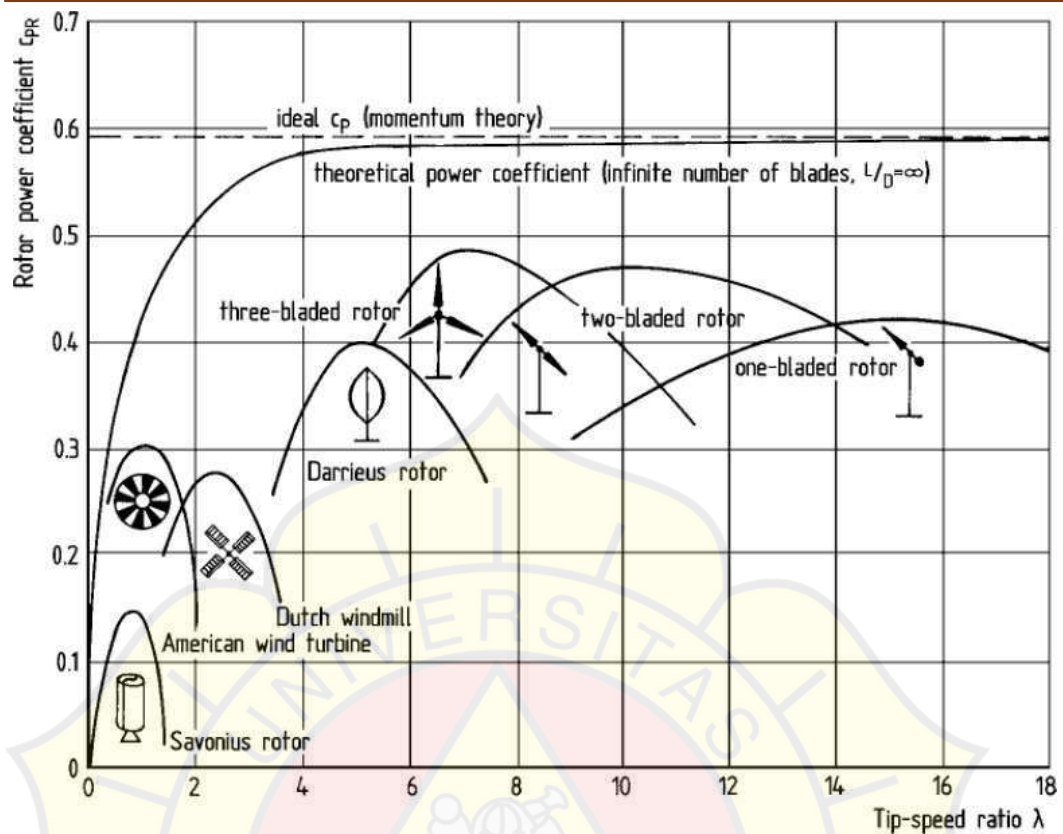
Berdasarkan arah sumbu putarnya, turbin angin terbagi menjadi dua tipe, yaitu turbin angin sumbu vertikal dan turbin angin sumbu horizontal. Turbin angin sumbu vertikal mempunyai sumbu putar yang arahnya tegak lurus dengan arah datangnya angin. Sementara turbin angin sumbu horizontal memiliki sumbu putar

yang searah dengan arah datangnya angin. Kedua tipe turbin ini mempunyai karakteristik masing-masing yang berbeda.

#### 2.4.1 Turbin Angin Sumbu Vertical

Turbin angin sumbu vertikal atau *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) merupakan tipe turbin angin yang pertama kali dibuat oleh manusia. Tipe turbin ini memiliki kelebihan yaitu tidak terpengaruh oleh arah datangnya angin karena sumbunya yang tegak lurus dengan arah datangnya angin sehingga tidak membutuhkan mekanisme pengatur arah seperti ekor turbin yang ada pada turbin angin sumbu horizontal.





Sumber: <https://engineering.stackexchange.com/>

**Gambar 2.2** Koefisien Daya ( $C_p$ ) Versus Tip Speed Ratio Untuk Berbagai Tipe Turbin Angin

Gambar di atas menunjukkan koefisien daya ( $C_p$ ) ideal bagi setiap tipe turbin yang umum dipakai. Dari gambar dapat dilihat bahwa turbin angin sumbu horizontal dengan tiga sudu mempunyai  $C_p$  yang paling efisien yaitu mencapai 0,49. Sementara turbin lain seperti turbin Darrieus mencapai  $C_p$  maksimum sebesar 0,4 sedangkan  $C_p$  turbin Savonius hanya mencapai 0,15. [5]

#### 2.4.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin sumbu horizontal adalah model turbin angin yang paling jamak digunakan. Bentuknya seperti baling –baling pesawat pada umumnya.



Turbin horizontal memiliki sudu-sudu berbentuk airfoil seperti bentuk pada sayap pesawat. Bentuk turbin angin horizontal dapat dilihat pada gambar berikut.



Sumber: <https://www.greeners.co/>

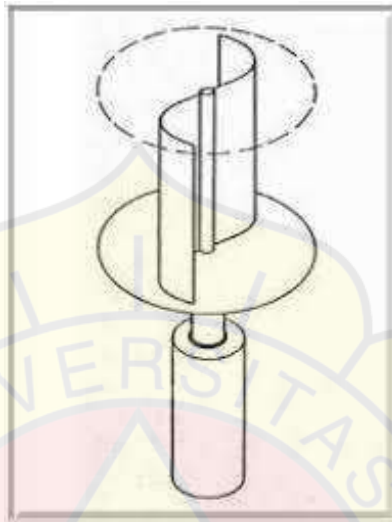
**Gambar 2.3** Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin sumbu horizontal mempunyai efisiensi yang paling tinggi di antara semua jenis turbin yang dikembangkan saat ini serta dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang relatif lebih besar dari pada turbin angin sumbu vertikal. Namun, rotor turbin hanya dapat menerima angin dari satu arah saja sehingga diperlukan mekanisme penyearah berupa ekor turbin untuk membantu turbin menghadap ke arah datangnya angin. Selain itu, rotor dan generator terletak pada bagian atas menara sehingga menyulitkan dalam proses perawatan dan pemeliharaan. [5]

## 2.5 Turbin Savonius

Salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal (VAWT) yang dapat digunakan pada angin dengan kecepatan rendah adalah turbin angin Savonius. Turbin ini

ditemukan oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius pada tahun 1922. Konstruksi turbin sangat sederhana, tersusun dari dua buah sudu setengah silinder. Pada perkembangannya turbin Savonius ini banyak mengalami perubahan bentuk rotor, seperti desain rotor yang berbentuk huruf L.



Sumber: Jurnal

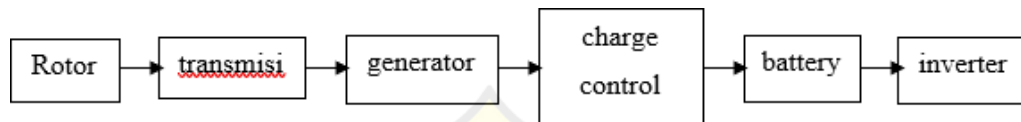
**Gambar 2.4** Turbin Savonius

Pada rotor Savonius, angin yang berhembus salah satu bilah rotor diharapkan lebih banyak mengalir ke bilah rotor lainnya melalui celah di sekitar poros sehingga menyediakan daya dorong tambahan pada bilah rotor ini, akibatnya rotor dapat berputar lebih cepat. Pada bentuk rotor Savonius setengah lingkaran (Savonius U), aliran udara di kedua sisi bilah sama besar.. [12]

Poros pada turbin angin hybrid savonius – darrieus merupakan salah satu komponen penting memiliki fungsi untuk meneruskan daya yang dihasilkan oleh turbin angin ke generator. Poros turbin didesain untuk mampu menerima beban-beban poros saat poros beroperasi fluktuasi daya pada siklus tertentu. Material yang digunakan pada poros adalah stainless steel karena poros bekerja pada kondisi lingkungan korosif. [13]

## 2.6 Komponen Dalam Turbin Savonius

Untuk membangun sebuah system turbin savonius yang dapat beroperasi dengan baik sehingga nantinya daya yang dihasilkan oleh rotor dapat digunakan untuk memutar generator sampai listrik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan dengan baik maka diperlukan beberapa komponen penyusun sebagai berikut. [12]



Sumber: Jurnal

**Gambar 2.5** Skema Kerja dari Turbin Savonius

### 2.6.1 Transmisi

Transmisi berfungsi meneruskan putaran dan juga torsi dari rotor ke generator, karena rotor turbin bekerja pada putaran yang rendah sehingga system transmisi dirancang untuk dapat menaikkan putaran rotor ke generator, hal ini dilakukan untuk pemenuhan kebutuhan putaran minimum untuk memutar generator agar pada saat angin bertiup rendah sekalipun generator dapat menghasilkan listrik. Transmisi yang digunakan untuk menggerakkan generator menggunakan *pulley* dikarenakan desainnya yang sederhana, mudah dalam instalasi, mudah dalam mencari ratio perbandingan ukuran dan dengan pertimbangan bahan *pulley* yang terbuat dari aluminium yang tahan terhadap karat dan dengan penggunaan karet sebagai penyambung transmisi selain memudahkan dalam perawatan dan juga *flexible* sehingga tahan terhadap guncangan kapal. [14]

### 2.6.2 Generator

Generator berfungsi untuk mengubah energi kinetic menjadi energi listrik dan mampu beroperasi pada kecepatan putar yang rendah, dengan begitu generator masih mampu menghasilkan energi listrik walaupun pada poros yang rendah. Cara kerja generator listrik adalah menggunakan induksi *electromagnet*, yaitu dengan

memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul energi induksi. Terdapat 2 komponen utama dalam generator listrik, yaitu: stator ( bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak). Rotor akan berhubungan dengan poros generator listrik yang berputar pada pusat stator. Berdasarkan jenis arus listrik, generator listrik dibedakan menjadi 2 yaitu: [14]

A. Generator listrik AC

Generator arus bolak-balik yaitu generator dimana tegangan yang dihasilkan (tegangan output) berupa tegangan bolak-balik.

B. Generator listrik DC

Generator arus searah yaitu generator dimana tegangan yang dihasilkan (tegangan output) berupa tegangan searah, karena di dalamnya terdapat sistem penyearahan yang di lakukan bisa berupa oleh komutator atau menggunakan dioda.

### 2.6.3 *Charger Controller*

*Charge Controller* adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar charge controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian karena batere sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari solar *module*. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai. *Charge controller* menerapkan teknologi *Pulse width modulation* (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Solar module 12 Volt umumnya memiliki tegangan output 16–21 Volt. Jadi tanpa solar charge controller baterai akan rusak oleh *overcharging* dan ketidakstabilan tegangan. [15]

Fungsi charge control battery sebagai berikut :

- Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharging* dan *overvoltage*
- Memonitoring temperature baterai
- *Cut full charger* dan *cut low voltage*



Sumber: Sumber Pribadi

**Gambar 2.6** *Charger Control*

#### **2.6.4 Baterai**

Baterai bisa digunakan untuk menyimpan energi listrik, meskipun pada kenyataanya energi disimpan dalam bentuk energi kimia, baterai terbagi atas 2 kategori yakni baterai primer dan sekunder. Baterai primer tidak dapat diisi ulang sedangkan baterai sekunder dapat digunakan sebagai penyimpanan energi listrik secara berulang.

Baterai biasanya terdiri dari 2 elektroda yang dipisahkan oleh larutan elektrolit, selama proses pengisian suatu reaksi kimia endotermis mengubah energi listrik menjadi energi kimia, selama proses pengeluaran kembali suatu reaksi kimia eksotermis mengubah energi kimia menjadi energi listrik. [14]



Sumber: Baterai Lithium

**Gambar 2.7** Baterai Lithium

### 2.6.5 Inverter

Inverter berfungsi untuk mengubah aliran listrik DC yang tersimpan pada baterai untuk dijadikan arus AC sehingga dapat digunakan untuk keperluan kelistrikan lampu penerangan di dalam kapal. Spesifikasi dari setiap kapal berbeda beda tergantung dari seberapa besar kebutuhan dayanya maka kapasitas daya inverter juga semakin besar. [16]



Sumber: Google Picture

**Gambar 2.8** Inverter

### 2.6.6 Kapasitor Bank

Fungsi Kapasitor Menyimpan muatan elektron atau listrik (kapasitansi) Sebagai filter atau penyaring dalam rangkaian power supply. Sebagai frekuensi pada rangkaian antena. Sebagai kopling antara rangkaian yang satu dengan rangkaian lain.[26]



Sumber: Google Picture

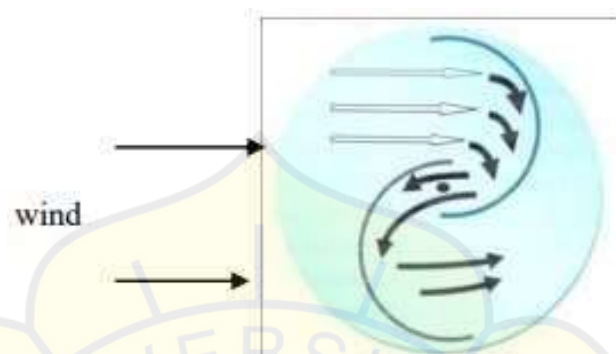
**Gambar 2.9** Kapasitor Bank

Kapasitor yang akan digunakan untuk memperbesar pf dipasang paralel dengan rangkaian beban. Bila rangkaian itu diberi tegangan maka elektron akan mengalir masuk ke kapasitor. Pada saat kapasitor penuh dengan muatan elektron maka tegangan akan berubah. Kemudian elektron akan ke luar dari kapasitor dan mengalir ke dalam rangkaian yang memerlukannya dengan demikian pada saat itu kapasitor membangkitkan daya reaktif. Bila tegangan yang berubah itu kembali normal (tetap) maka kapasitor akan menyimpan kembali elektron. Pada saat kapasitor mengeluarkan elektron ( $I_c$ ) berarti sama juga kapasitor menyuplai daya reaktif ke beban. Keran beban bersifat induktif (+) sedangkan daya reaktif bersifat kapasitor (-) akibatnya daya reaktif yang berlaku menjadi kecil. [25]

### 2.7 Gaya Hambat

Hambatan udara adalah gaya penghambat yang bekerja pada benda yang bergerak di udara, arahnya melawan arah gerak benda. Gaya ini muncul karena benda yang bergerak tersebut bertumbukan dengan moleku-molekul udara. Turbin savonius adalah mesin yang di dorong oleh gaya drag. Rotasi rotor terjadi karena perbedaan drag antara bucket maju/advancing (cembung) dan bucket

kembali/returning (cekung). Rotor Savonius beroperasi pada tip speed ratio rendah. Hal ini dianggap sebagai keuntungan. Rotor Savonius memiliki desain dan konstruksi sederhana, tapi masih tidak sepopuler dibandingkan dengan turbin angin sumbu horizontal. [13]



Sumber: jurnal Muhammad Halil

**Gambar 2.10** Prinsip Sumber Tekanan Angin

Turbin angin memiliki prinsip kerja sama seperti turbin pada umumnya. Dimulai dari pemanfaatan energi kinetik yang dimiliki oleh angin, yang kemudian dikonversikan oleh sudu menjadi energi mekanik poros atau rotor. Turbin angin savonius adalah jenis turbin angin tipe drag, dimana turbin ini menghasilkan gaya drag dengan memanfaatkan gaya drag yang di hasilkan dari tiap- tiap sudunya. Drag merupakan gaya yang bekerja berlawanan dengan arah angin yang menumbuk sudu. [14]