



UNIVERSITAS INDONESIA

**WIND POWER ARCHITECTURE
(Paradigma Turbin Angin Dalam Arsitektur)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

**BELLA ASTRID MONICA LUBIS
0806332206**

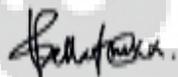
**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI ARSITEKTUR
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber yang dikutip dan dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Bella Astrid Monica Lubis

NPM : 0806332206

Tanda Tangan : 

Tempat/Tanggal : Depok, 6 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Bella Astrid Monica Lubis

NPM : 0806332206

Program Studi : Arsitektur

Judul Skripsi :

**WIND POWER ARCHITECTURE
(Paradigma Turbin Angin Dalam Arsitektur)**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Arsitektur pada Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing :

(Ir. Azrar Hadi, Ph.D)

Penguji :

(Prof. Dr. Ir. Abimanyu Takdir Alamsyah M.S)

Penguji :

(Dr. Ing. Ir. Dalhar Susanto)

Ditetapkan di : Departemen Arsitektur, FT-UI Depok

Tanggal : 6 Juli 2012

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas berkatnya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik, tepat waktu, tenang, dan memuaskan bagi saya.

Pada kesempatan ini saya hendak mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya terhadap berbagai pihak yang telah membantu saya, yaitu:

- Bapak Ir. Azrar Hadi Ph.D. sebagai dosen pembimbing saya
- Mas Gamal, Mba Rini, dan Pak Nanda selaku coordinator mata kuliah Penulisan Ilmiah Arsitektur
- Bapak Hasim, Bapak Edo dan rekan-rekan sebagai pihak yang saya wawancara untuk membantu penulisan ini
- Rekan-rekan satu tim yang berjuang bersama-sama dalam menyelesaikan penulisan ini
- Kedua orang tua saya yang telah mendukung saya selama penulisan
- Teman saya Aditya Faisal yang selalu membantu dan memberikan dukungan kepada saya selama penulisan ini
- Adik saya Meisya Andriani Lubis yang telah membantu saya dalam penyelesaian penulisan skripsi ini
- Seluruh rekan Arsitektur angkatan 2008 yang sama-sama berjuang di jurusan arsitektur selama 4 tahun ini
- Dan semua pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 6 Juli 2012

Penulis

Bella A. M. Lubis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : BELLA ASTRID MONICA LUBIS
NPM : 0806332206
Program Studi : ARSITEKTUR
Departemen : ARSITEKTUR
Fakultas : TEKNIK
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty- Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**WIND POWER ARCHITECTURE
(Paradigma Turbin Angin Dalam Arsitektur)**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 6 Juli 2012

Yang menyatakan



(Bella Astrid Monica Lubis)

ABSTRAK

Nama : Bella Astrid Monica
Program Studi : Arsitektur
Judul : “Wind Power Architecture” Paradigma Turbin Angin Dalam Arsitektur

Arsitektur berperan dalam menciptakan lingkungan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Salah satu tujuan arsitektur adalah menciptakan lingkungan yang berkualitas dimana dapat memenuhi kebutuhan manusia tanpa merusak atau membebani lingkungan dan alam. Baik lingkungan buatan maupun alam harus ditata secara seimbang agar tercipta kehidupan yang harmonis. Salah satu faktor penting untuk menciptakan kehidupan yang harmonis adalah penataan energi. Berbagai cara arsitektur mewujudkan bentuk penataan energi yang efisien dan efektif, salah satunya adalah penggunaan energi alternatif. Skripsi ini membahas tentang pemanfaatan tenaga angin yang dikonversi menjadi energi yang lebih bermanfaat dengan menggunakan turbin angin dan pembahasan difokuskan dari sudut pandang arsitektur dan lingkungan.

Kata Kunci :
Arsitektur dan Lingkungan, Efisiensi Energi, Turbin Angin

ABSTRACT

Name : Bella Astrid Monica
Study Program : Architecture
Title : “Wind Power Architecture” Paradigm of Wind Turbines in
Architecture

Architecture plays a role in creating an environment to meet human needs. One of the goals of architecture is to create a quality environment in which to meet human needs without damaging or burdening the environment and nature. Both the artificial and the natural environment should be arranged in a balanced way in order to create a harmonious life. One of important factors to create a harmonious life is the arrangement of energy. Various ways in architecture to realize arrangement of energy which efficiently and effectively, one of which is the use of alternative energy. This thesis discusses the use of wind power converted into useful energy using wind turbines and focuses discussion point of view of architectural and environmental.

Key Words :
Architecture and Environment, Energy Efficient, Wind Turbine

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Penulisan	1
1.2. Permasalahan	3
1.3. Tujuan Penulisan	3
1.4. Ruang Lingkup Pembahasan	3
1.5. Metode dan Sistematika Penulisan	4
1.6. Kerangka Berpikir	5
BAB II KAJIAN LITERATUR	6
2.1. Arsitektur dan Lingkungan	6
2.1.1. Arsitektur Biologik	6
2.1.2. Ekologi Arsitektur	10
2.1.3. Green Architecture dan Sustainable Architecture	15
2.1.3.1. Green Architecture	15
2.1.3.2. Sustainable Architecture	15
2.2. Efisiensi Energi Dalam Arsitektur	18
2.2.1. Sumber Energi Terbaru : Tenaga Angin	19
BAB III TURBIN ANGIN	23
3.1. Pengenalan Turbin Angin	23
3.2. Sejarah	26
3.3. Jenis-Jenis Turbin Angin	28
3.3.1. Turbin Angin Sumbu Horisontal (TASH)	29
3.3.2. Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)	31
1. Turbin angin Darrieus	32
2. Turbin Angin Savonius	33
3.4. Spesifikasi Komponen Penyusun Turbin Angin	37
3.5. Prinsip dan Mekanisme Kerja	39
3.6. Inovasi Turbin Angin di Dalam Arsitektur	40
3.6.1. Windspire	41
3.6.2. Turbin Angin Egra	42
BAB IV STUDI KASUS	46
4.1. Bahrain World Trade Center	46
4.1.1. Data	46
4.1.2. Pertimbangan Lingkungan dan Fitur-fitur <i>Sustainability</i>	47

4.1.3.	Turbin Angin BWTC	49
4.1.4.	Analisis Desain	51
4.2.	Quiet Revolution qr5	57
4.2.1.	Pengaplikasian	58
BAB V	SIMPULAN	61
DAFTAR REFERENSI		
LAMPIRAN		



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Bagan kerangka pola pikir	5
Gambar 2.1.	Skema hubungan manusia dalam menentukan kualitas lingkungan	7
Gambar 2.2.	Siklus peredaran alam tertutup	7
Gambar 2.3.	Siklus peredaran teknik tidak tertutup	8
Gambar 2.4.	Konsep eko-arsitektur yang holistic (sistem keseluruhan)	11
Gambar 3.1.	Kincir Angin Pitstone	24
Gambar 3.2.	Windmill de Kameel	24
Gambar 3.3.	Turbin angin pertama dioperasikan secara otomatis	25
Gambar 3.4.	Gambar rekonstruksi modern dari Heron Windwheel	26
Gambar 3.5.	Gaya aerodinamis rotor turbin angin ketika dilalui aliran udara	29
Gambar 3.6.	Komponen utama turbin angin sumbu horizontal	29
Gambar 3.7.	Turbin dengan arah <i>upwind</i> and <i>downwind</i>	30
Gambar 3.8.	Turbin angin Darrieus	33
Gambar 3.9.	Turbin angin Darrieus tipe H	33
Gambar 3.10.	Prinsip rotor Savonius	33
Gambar 3.11.	Potongan turbin angin	37
Gambar 3.12.	Prinsip kerja turbin angin	39
Gambar 3.13.	Grafik hubungan laju angin dan daya yang diterima turbin angin	40
Gambar 3.14.	Windspire	41
Gambar 3.15.	Foto-foto bangunan yang menggunakan windspire	42
Gambar 3.16.	Contoh turbin angin penghasil listrik produk egra	42
Gambar 3.17.	Zoning Egra Workshop	45
Gambar 4.1.	Panoramic view BWTC	46
Gambar 4.2.	Fasad bangunan dilapisi dengan material yang dapat menahan radiasi panas matahari dan shading bangunan yang bermanfaat untuk menurunkan temperatur udara dalam bangunan	48
Gambar 4.3.	Tiga buah turbin angin yang dipasang pada jembatan yang menghubungkan kedua menara	49
Gambar 4.4.	Blok plan lokasi BWTC di kawasan Hotel Sheraton, Bahrain	51
Gambar 4.5.	Arah angin datang dari teluk	52
Gambar 4.6.	Arah angin darat	53
Gambar 4.7.	qr5 wind turbine	57

Gambar 4.8. Komponen dan dimensi qr5 win turbine	57
Gambar 4.9. Bentuk revolusi dari TASV yang menangkap angin dari segala arah	58
Gambar 4.10. qr5 direncanakan sebagai komponen infrastruktur kota untuk penerangan jalan dan juga komponen pelengkap dalam arsitektur	59
Gambarb4.11. Aliran angin terjadi di kawasan urban. Angin tidak terputus hanya di atas bangunan	59
Gambar 4.12. City House di Croydon dengan 8 Turbin qr5 di atapnya	60



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Kelebihan dan kekurangan turbin jenis TASH	29
Tabel 3.2. Kelebihan dan kekurangan turbin jenis TASV	33



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penulisan

Arsitektur menciptakan lingkungan buatan guna meningkatkan kualitas dari lingkungan tersebut sehingga dapat memenuhi seluruh kebutuhan manusia di dalamnya. Tidak hanya bangunan, lingkungan di sekitar tempat bangunan direncanakan juga menjadi objek rancangan arsitektur. Jadi baik lingkungan dan bangunan adalah satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan dalam merancang sebuah karya arsitektur.

Namun pembangun yang terjadi pada zaman sekarang hampir semua sudah mengabaikan faktor lingkungan ini. Rancangan yang diciptakan seolah-olah tidak ingin tahu karakter dari faktor pendukung ini sehingga tidak ada eksplorasi dari lingkungan yang sebenarnya dapat meningkatkan kualitas rancang bangunan itu sendiri.

Tidak terlibatnya faktor lingkungan di dalam rancangan arsitektur ini menimbulkan masalah baik bagi lingkungan, maupun alam secara global. Permasalahan yang cukup banyak ditemukan dalam setiap rancangan sebuah bangunan adalah pemborosan energi atau pemanfaatan energi secara tidak efektif. Pemborosan energi listrik dari penggunaan lampu dan pendingin ruangan seperti *Air Conditioner (AC)* seolah tertutupi dengan kemegahan dan wujud mempesona dari rancangan bangunan, dan masih banyak pemborosan energi lainnya.

Kembali lagi ke tujuan arsitektur yang meningkatkan kualitas lingkungan, fenomena seperti ini haruslah direnungkan. Pemikiran, konsep, serta paham baru bermunculan di era yang sudah memasuki masa krisis energi ini. Konsep *sustainable* dan *green architecture* sering disebut-sebut pada masa seperti sekarang ini sebagai paham yang menjawab isu kondisi bumi yang sudah tua dan persediaan sumber energi yang semakin menipis. Arsitektur memiliki andil besar

dalam mengelola dan mengendalikan keadaan lingkungan dengan seluruh komponen yang ada di dalamnya baik matahari, air, tanah, dan udara.

Di beberapa negara lain, permasalahan penggunaan energi ini sudah menjadi hal pokok yang perlu diperhatikan dan tidak jarang diterapkan secara langsung ke dalam desain bangunan. Berbagai macam bentuk rancangan dibuat sedemikian rupa agar tidak hanya tidak merugikan lingkungan tetapi juga memberi manfaat terhadap lingkungan. Selain dengan membuat desain yang lebih sadar lingkungan, mengembangkan teknologi yang bisa menunjang desain bangunan dan kebutuhan energi di dalam bangunan juga terus dilakukan. Berbagai bidang ilmu turut menciptakan alat-alat yang dapat mengefisiensikan penggunaan energi di dalam bangunan, beberapa alat di antaranya adalah *solar panel*, *wind turbine*, *windmill*, dan sebagainya.

Alat-alat yang dapat mengkonversikan energi terbaharukan menjadi energi listrik maupun energi mekanik sudah banyak diterapkan di dalam desain bangunan dan bahkan dijadikan sebagai ornamen yang menarik pada bangunan. Seperti di negara Bahrain, turbin angin penghasil energi listrik secara efektif memenuhi kebutuhan sebagian energi listrik di dalam bangunan dan diletakkan pada fasad bangunan yang menambah nilai estetika dari bangunan itu sendiri.

Di Indonesia sendiri, alat seperti turbin angin sudah digunakan atau diterapkan di beberapa daerah namun tidak begitu populer. Inovasi bentuk dan mekanisme kerja turbin angin terus berkembang dan beradaptasi dengan lingkungan. Namun sayangnya, di Indonesia turbin angin ini kurang menarik minat arsitek, di samping memang penggunaan *solar panel* yang lebih 'mungkin' untuk diterapkan karena kondisi Indonesia yang memiliki iklim tropis dimana energi matahari yang lebih konstan dibandingkan kekuatan angin. Akan tetapi, turbin angin ini cukup menarik untuk dibahas agar dapat diketahui seberapa besar potensi dan pengaruh energi angin di dalam dunia arsitektur Indonesia.

1.2. Permasalahan

Masalah ketersediaan sumber energi yang semakin kritis dan penggunaannya di dalam pembangunan dan bangunan itu sendiri sudah melebihi sepertiga dari kebutuhan total akan energi sebuah negara. Penggunaan energi yang sulit dikendalikan ini harus ditangani dengan menerapkan konsep *efisiensi energi* dengan berbagai bentuk dan cara pengaplikasian.

Salah satu bentuk penerapan efisiensi energi adalah dengan memanfaatkan energi terbarukan, dalam hal ini tenaga angin, dan mengkonversinya menjadi energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi di dalam sebuah bangunan. Namun di Indonesia, teknologi turbin angin ini kurang populer di masyarakat bahkan di bidang arsitektur itu sendiri. Untuk itu, perlu dilakukan penelusuran lebih lanjut mengenai seberapa besar potensi angin di Indonesia sehingga potensi ini dapat menjadi salah satu sumber energi alternatif. Selain itu bagaimana arsitektur menyerap teknologi turbin angin ini dan menerapkannya ke dalam rancangan bangunan dan seberapa besar pengaruh terhadapnya.

1.3. Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk menjelaskan lebih lanjut mengenai konsep sadar lingkungan dengan memperhatikan efisiensi energi dan penggunaan energi alternatif serta teknologi dalam rancangan bangunan. Penulisan ini juga bertujuan untuk mempelajari berbagai macam inovasi teknologi turbin angin dengan karakteristik potensi angin di daerah yang sesuai dengan mekanisme kerja turbin angin tersebut.

1.4. Ruang Lingkup Pembahasan

Penulisan mencakup penjelasan tentang turbin angin secara teori dan teknis namun difokuskan pada potensinya yang dapat menghasilkan energi dan memberi dampak positif terhadap bidang arsitektur. Turbin angin yang akan dianalisis terdiri dari 2 macam, yaitu yang diletakkan pada bangunan dan yang diletakkan di

lingkungan, baik itu sebagai elemen utilitas maupun lanskap, dan juga menganalisis salah satu jenis turbin angin yang berkembang di Indonesia. Pembahasan mengenai daerah yang memiliki potensi angin cukup baik untuk penggunaan turbin angin ini dibatasi pada daerah sekitar Jakarta.

1.5. Metode dan Sistematika Penulisan

Metode penulisan ini menggunakan metode empiris melalui studi kepustakaan dan beberapa disiplin ilmu terkait, analisa terhadap studi kasus yang dipilih, data-data teknis, dan informasi-informasi lain yang terkait. Skripsi ini disusun berdasar sistematika sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian ini dijelaskan mengenai latar belakang penulisan dan permasalahan, tujuan penulisan, ruang lingkup pembahasan, sistematika penulisan, serta kerangka pemikiran.

BAB II KAJIAN LITERATUR

Pada bagian ini akan dijabarkan teori-teori mengenai arsitektur dan lingkungan, diantaranya teori tentang *arsitektur biologik*, *ekologi arsitektur*, dan *green architecture* serta teori mengenai *efisiensi energi*.

BAB III TURBIN ANGIN

Pada bab ini akan dijelaskan teori angin secara teori dan teknis serta potensinya di dalam arsitektur.

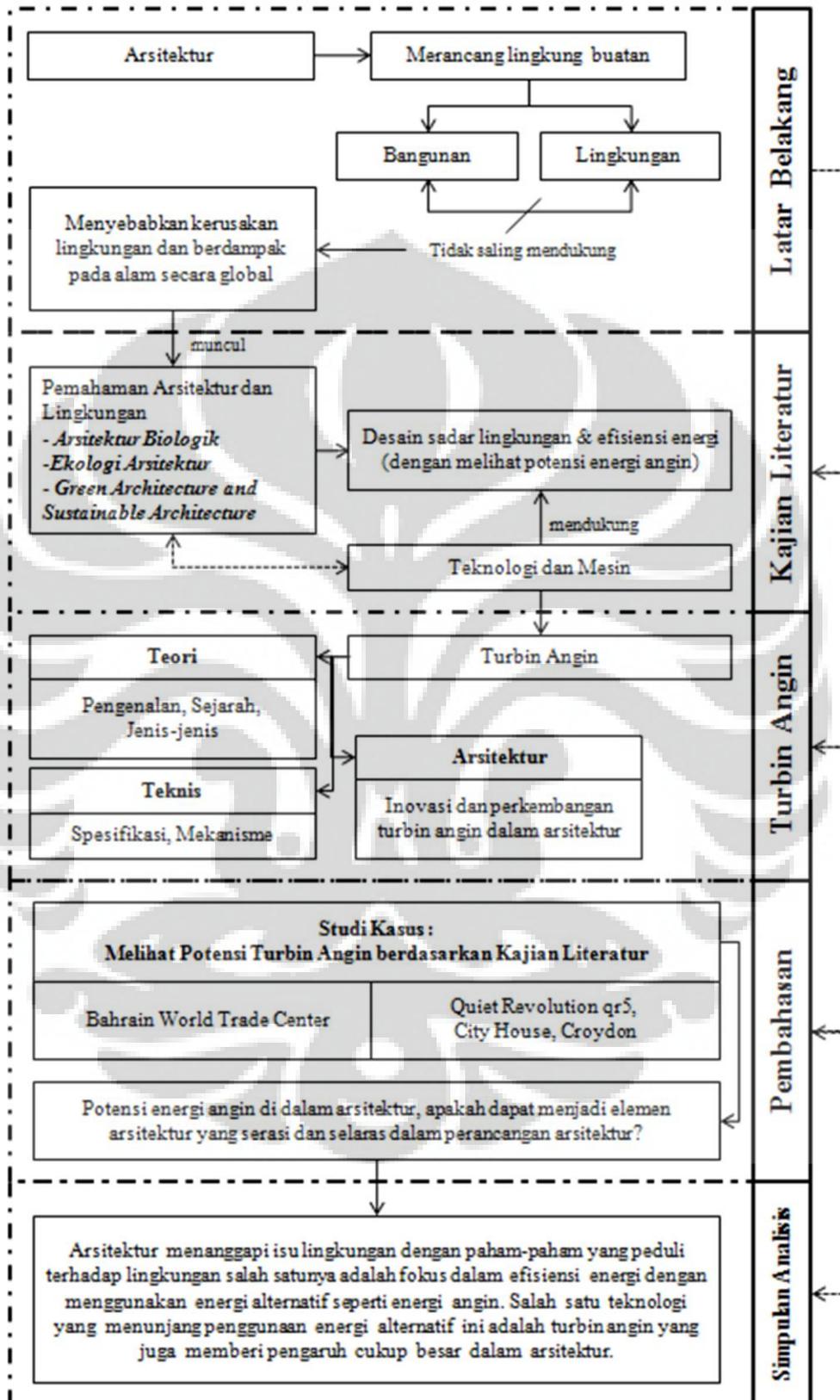
BAB IV STUDI KASUS

Bab ini berisi data dan analisa studi kasus dari bangunan yang menerapkan teknologi turbin angin dan salah satu tipe turbin angin yang ada di Indonesia. Selanjutnya analisis sederhana terhadap daerah yang memiliki potensi angin yang cocok untuk diterapkan teknologi turbin angin ini khususnya DKI Jakarta.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini memuat uraian singkat mengenai rangkuman sekaligus kesimpulan dari seluruh pembahasan penulisan dan saran penulis.

1.6. Kerangka Berpikir



Gambar 1.1. Bagan Kerangka Pola Pikir

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1. Arsitektur dan Lingkungan

Alam merupakan ‘rumah’ untuk seluruh makhluk hidup. Namun manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya termasuk kebutuhan psikologi, yaitu rasa aman dari gangguan makhluk hidup lain, menciptakan ruang-ruangnya sendiri karena kebutuhan yang semakin kompleks sehingga ruang yang dibutuhkan juga menjadi begitu kompleks. Ruang-ruang yang diciptakan manusia ini tidak jarang merusak alam sehingga mengganggu ‘rumah’ bagi makhluk hidup lain, maka muncul arsitektur yang mengatur kebutuhan-kebutuhan tersebut dan juga mengatur keseimbangan alam sehingga ekosistem alam tidak terganggu.

Arsitektur berperan menciptakan ruang sesuai kebutuhan manusia. Dalam menciptakan sebuah karya, arsitektur juga wajib mempertimbangkan faktor lingkungan karena tujuan arsitektur adalah untuk meningkatkan kualitas lingkungan dan arsitekturnya¹. Semua faktor lingkungan tersebut termasuk cahaya, udara, air, tanah, dan juga sumber energi yang perlu dilestarikan.

2.1.1. Arsitektur Biologik

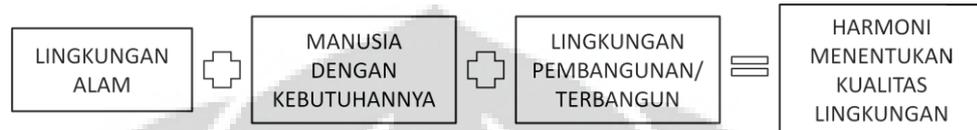
Di dalam arsitektur yang berhubungan erat dengan lingkungan ada yang dikenal dengan istilah *arsitektur biologik*, yang memiliki arti sebagai ilmu penghubung antar manusia dan lingkungannya secara keseluruhan (tidak hanya pengaruh ekologi tetapi juga memperhatikan pengaruh pembangunan alternatif, bionik, iklim, dan keadaan setempat)². Arsitektur yang peduli

¹ Jimmy Priatman, “Energy Efficient Architecture” Paradigma dan Manifestasi Arsitektur Hijau”, Dimensi Teknik Arsitektur Vol.30 No.2, hlm. 167-175 (2002)

² Heinz Frick, *Arsitektur dan Lingkungan*, Yogyakarta, 1988, hlm. 12

terhadap lingkungan berarti menjaga keseimbangan antara lingkungan, kebutuhan manusia, dan pembangunannya.

Menurut Prof. Peter Schmid dalam bukunya *Biologische Architecture*, hubungan-hubungan di antara faktor keseimbangan tersebut dapat dilukiskan sebagai berikut:

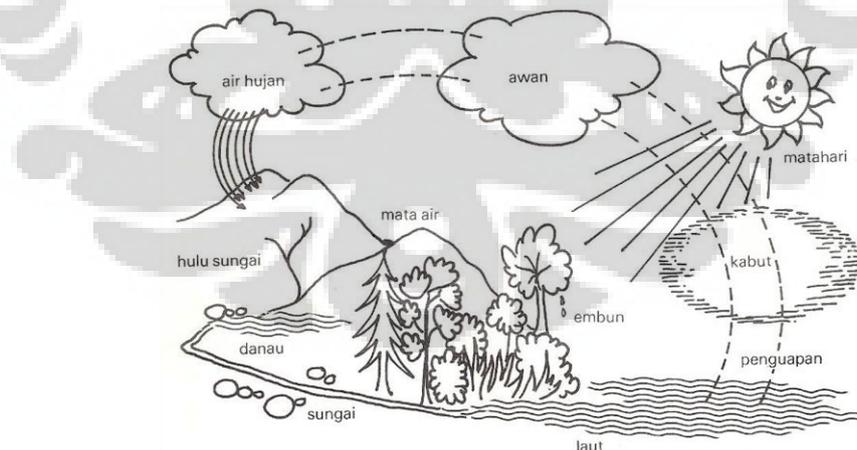


Gambar 2.1. Skema Hubungan Manusia dalam Menentukan Kualitas Lingkungan
Sumber : Frick, 1988

Seimbang dengan alam, seimbang dengan manusia dan kemanusiaan, seimbang dengan lingkungan terbangun. Jikalau semuanya harmonis, maka kualitas lingkungan manusia memuaskan³.

Arsitektur dipengaruhi oleh dua hal yang sangat berdampak terhadap kehidupan manusia, yaitu alam dan teknik.

- Arsitektur alam, seperti halnya pada ilmu bumi, selalu membentuk suatu peredaran alam yang tertutup, contohnya matahari yang terbit dan

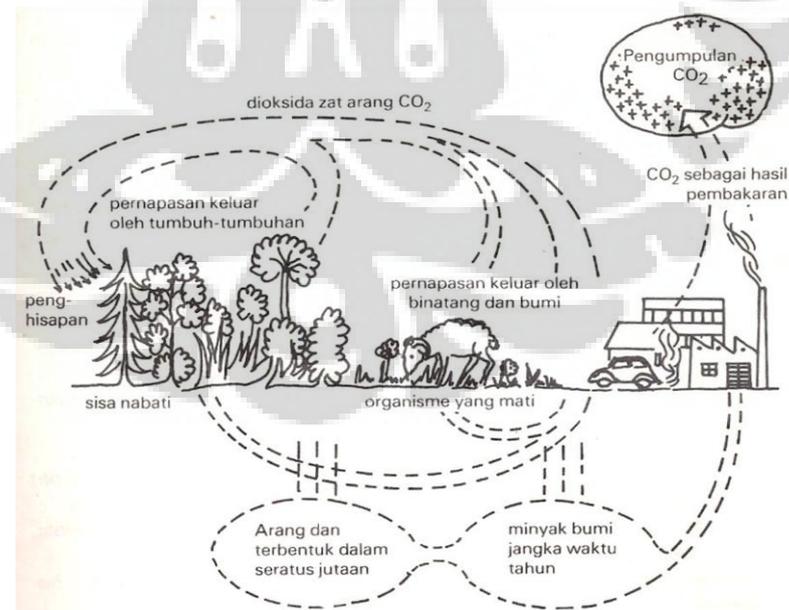


Gambar 2.2. Siklus peredaran alam tertutup
Sumber : Frick, 1998

³ Keadaan seimbang "Equilibrium" yakni bahwa seluruh komponen dalam ekosistem tersebut berada dalam satu ikatan-ikatan interaksi yang harmonis dan stabil, sehingga keseluruhan ekosistem itu berbentuk suatu proses yang teratur dan berjalan terus-menerus.

terbenam dan akan terjadi lagi pada esok hari, musim hujan dan kemarau yang memulai dan berhenti, juga akan kembali lagi tahun depan. Namun tidak terjadi pada manusia, manusia lahir, tumbuh dan akhirnya mati tetapi tidak akan kembali lagi sehingga manusia menjadi simbol yang merusak peredaran alam yang tertutup tadi.

- Arsitektur teknik sering tidak mengalami peredaran yang tertutup lagi sehingga hal itu menimbulkan bahaya. Seperti sumber daya alam yang tak dapat diperbaharui atau butuh waktu ratusan tahun untuk memprosesnya sehingga menjadi sumber energi, contohnya minyak bumi, digunakan oleh hampir seluruh komponen teknik (termasuk industri) secara besar-besaran. Penggunaan sumber energi ini memutus siklus peredaran alam yang tertutup tadi sehingga sumber daya alam yang tercipta tadi semakin kritis sementara di waktu yang bersamaan kehidupan teknik juga memiliki potensi merusak alam yakni dengan pencemaran lingkungan terutama pembuangan gas CO / CO₂ ke udara sebagai hasil pembakaran yang efeknya dapat dirasakan seperti saat ini yaitu *global warming*.



Gambar 2.3. Siklus peredaran teknik tidak tertutup
Sumber : Frick, 1998

“Arsitektur masa depan harus lebih efisien dengan menggunakan energi yang jauh lebih sedikit. Arsitektur seharusnya lebih biologik.” – Heinz Frick, 1998.⁴

Arsitektur biologik melihat alam sebagai preseden yang harus dapat diserap dan diterapkan dalam perancangan arsitektur, seperti dari sifatnya yang fungsional. Setiap komponen di dalam alam memiliki fungsinya masing-masing, begitu juga seharusnya arsitektur. Arsitektur harus menciptakan suatu bangunan sesuai dengan fungsinya sehingga dapat mengakomodasi kebutuhan penghuni di dalamnya.

Di dalam meletakkan sebuah bangunan, arsitektur biologik menentukan site dan letak gedung dengan memperhatikan gangguan geopatis yang mengandung bahaya atas kesehatan penghuni. Faktor iklim seperti penyinaran, suhu, kelembaban udara, dan lainnya juga menjadi poin yang penting dalam merancang bangunan sehingga kenyamanan di dalam bangunan dapat dicapai dengan memanfaatkan kelebihan yang dimiliki dari lingkungan tempat dimana bangunan itu berdiri.

Arsitektur Biologik merupakan konsep yang menjembatani kehidupan alam dan kehidupan teknik sehingga keduanya tidak diterjemahkan secara terpisah tetapi justru dijadikan sebuah komposisi yang saling mendukung. Alam dan teknik dipadukan dengan kebutuhan manusia agar tercapai keseimbangan alam sehingga membentuk sebuah harmoni di dalam lingkungan yang berkualitas (lihat pada skema hubungan manusia). Salah satu usaha untuk mencapai keseimbangan dengan alam ialah memberi perhatian pada energi yang dibutuhkan, sebab penggunaan energi yang paling sedikit juga merusak lingkungan manusia paling tidak dalam skala kecil⁵. Sementara secara fisika dan kimiawi, energi dan materi masing-masing dapat ditransformasi tanpa kehilangan sesuatu⁶.

⁴ Heinz Frick, *Op.Cit.*, hlm. 25.

⁵ Heinz Frick, *Idem*, hlm. 14.

⁶ Heinz Frick, *Idem*, hlm. 36.

Pekerjaan di bidang arsitektur cukup banyak menggunakan energi mulai dari proses perencanaan sampai proses eksekusi. Setelah bangunan berdiri, penggunaan energi juga terus berlangsung dalam eksistensinya mengakomodasi kegiatan dan memenuhi kebutuhan manusia. Penggunaan energi ini tidak ada henti-hentinya tanpa memikirkan bahwa sumber energi yang digunakan seperti listrik adalah bersumber dari energi yang tidak dapat diperbaharui.

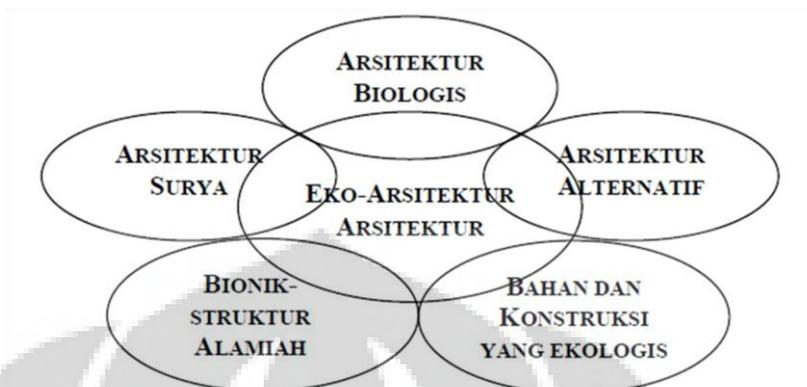
Dalam hal energi, arsitektur biologik berprinsip pada alam untuk alam. Seperti material, material yang digunakan di dalam membangun sebuah bangunan haruslah bersumber dari lingkungan setempatnya, dan material yang digunakan seharusnya dapat dibudidayakan dan digunakan kembali. Material yang sifatnya industrial disarankan menggunakan hasil produksi dari daerah lokal sehingga tidak memerlukan biaya transportasi untuk mengangkut material dari daerah lain yang juga membuang-buang energi bahan bakar.

2.1.2. Ekologi Arsitektur

Bentuk lain dari konsep desain arsitektur yang memperhatikan masalah dan berwawasan lingkungan adalah Eko-arsitektur. Menurut Heinz Frick (1998), Eko diambil dari kata ekologi yang didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari hubungan timbal-balik antara makhluk hidup dan lingkungannya. Ekologi Arsitektur adalah :

- Holistis, berhubungan dengan sistem keseluruhan, sebagai suatu kesatuan yang lebih penting dari sekedar kumpulan bagian
- Memanfaatkan pengalaman manusia, (tradisi dalam pembangunan) dan pengalaman alam terhadap manusia
- Pembangunan sebagai proses, dan bukan sebagai kenyataan tertentu yang statis

- Kerja sama, antara manusia dengan alam sekitarnya demi keselamatan kedua belah pihak⁷



Gambar 2.4. Konsep Eko-Arsitektur yang holistic (sistem keseluruhan)
Sumber : Frick, 1998

Pembangunan sebagai kebutuhan hidup manusia dalam hubungan timbal balik dengan lingkungan alamnya dinamakan arsitektur ekologis atau eko-arsitektur. Konsep ini muncul sebagai salah satu penekanan yang didasari oleh isu *global warming*. Pekerjaan arsitektur yang merupakan salah satu penyumbang terbesar pemanasan global dan pengrusakan lingkungan ini diharapkan dapat lebih tanggap terhadap permasalahan di dalam lingkungan sehingga terjadi sebuah pencapaian keseimbangan alam dan kualitas hidup yang lebih baik.⁸

Pola perencanaan eko-arsitektur suatu bangunan selalu memanfaatkan peredaran alam sebagai berikut :

- Menciptakan kawasan penghijauan di antara kawasan pembangunan sebagai paru-paru hijau
- Menggunakan bahan bangunan alamiah, dan intensitas energi yang terkandung dalam bahan bangunan maupun yang digunakan pada saat pembangunan harus seminimal mungkin

⁷ Sukawi, "Ekologi Arsitektur : Menuju Perancangan Arsitektur Hemat Energi dan Berkelanjutan" (2008), Simposium Nasional RAPI VII, http://eprints.undip.ac.id/32380/1/Paper_A-004_sukawi_untuk_RAPI.pdf, 15 Mei 2012 (05:57)

⁸ Sukawi, *Ibid.*

- Bangunan sebaiknya diarahkan menurut orientasi timur-barat dengan bagian utara/selatan menerima cahaya alam tanpa kesilauan
- Kulit (dinding dan atap) sebuah bangunan sesuai dengan tugasnya, harus melindungi dirinya dari panas, angin, dan hujan. Dinding bangunan harus memberi perlindungan terhadap panas, daya serap panas dan tebalnya dinding harus sesuai dengan kebutuhan iklim ruang dalamnya. Bangunan yang memperhatikan penyegaran udara secara alami bisa menghemat banyak energi
- Menghindari kelembaban tanah naik ke dalam konstruksi bangunan dan memajukan sistem konstruksi bangunan kering
- Menjamin kesinambungan pada struktur sebagai hubungan antara masa pakai bahan bangunan dan struktur bangunan
- Memperhatikan bentuk/proporsi ruang berdasarkan aturan harmonikal
- Menjamin bahwa bangunan yang direncanakan tidak menimbulkan masalah lingkungan dan membutuhkan energi sedikit mungkin
- Menciptakan bangunan bebas hambatan sehingga gedung dapat dimanfaatkan oleh semua penghuni (termasuk anak-anak, orang tua maupun orang cacat tubuh).⁹

Pola perencanaan eko-arsitektur juga melingkupi perencanaan struktur dan konstruksi bangunan, yang harus dapat memenuhi persoalan teknik dan persoalan estetika, termasuk pembentukan ruang. Kualitas struktur didefinisikan sebagai :

- Struktur fungsional, menentukan dimensi geometris yang berhubungan dengan penggunaan atau fungsi (kebutuhan ruang, ruang gerak, ruang sirkulasi, dan sebagainya), dimensi pengaturan ruang. Dimensi fisiologis tentang kenyamanan, penyiaran, dan penyegaran udara. Dimensi teknis dengan beban lantai, instalasi listrik dan sebagainya.
- Struktur lingkungan, meliputi lingkungan alam (iklim, topografi, geologi, hidrologi, serta radiasi teritis dan kosmis) serta lingkungan buatan (bangunan, sirkulasi, prasarana teknis dan radiasi buatan). Konteks sosial

⁹ Sukawi, *Ibid.*

dan psikologis, sejarah, kesediaan bahan baku, ekonomi, dan waktu yang tersedia

- Struktur bangunan, meliputi bahan bangunan, sistem penggunaannya dan teknik serta konstruksi bangunan yang harus memenuhi tuntutan ekologis
- Struktur bentuk, mengandung massa dan isi, ruang antara dan segala kegiatan mengatur ruang. Bentuk ruang tersebut dapat didefinisikan oleh dinding pembatas, tiang, lantai, dan sebagainya serta bukaan dinding¹⁰

Di dalam ekologi arsitektur juga memperhatikan hal-hal yang terkait dengan kesehatan dan psikologi manusia, diantaranya pengaruh pencahayaan dan warna. Setiap warna memiliki ciri khusus yaitu sifat warna, sifat cahaya dan kejenuhan (intensitas sifat warna). Makin jenuh atau kurang bercahaya suatu warna akan makin bergairah, sebaliknya hawa nafsu dapat ditingkatkan dengan penambahan cahaya. Alat vital manusia juga memiliki warna : Jantung (hijau) ; solarplexus (kuning); lambung (orange); ari-ari (merah); pangkal tenggorok (biru mudah); kemaluan (indigo); ujung atas kepala (ungu). Warna juga memiliki arti antara lain :

- Warna kuning artinya penolak rasa mengantuk
- Warna biru artinya penolak rasa sakit/ penyakit
- Warna Hitam artinya penolak rasa lapar
- Warna Hijau artinya penolak rasa angkara murka (marah)
- Warna putih artinya penolak rasa birahi.
- Warna orange artinya penolak rasa takut
- Warna merah artinya penolak rasa tenteram
- Warna ungu artinya penolak rasa jahat¹¹

Proses pendekatan desain arsitektur yang berbasis ekologis dikenal dengan eko-desain (ecological design). *Ecological design* bermaksud menggabungkan alam dengan teknologi, menggunakan alam sebagai basis desain, strategi konservasi, perbaikan lingkungan, dan bisa diterapkan pada

¹⁰ Sukawi, *Ibid.*

¹¹ Wikipedia, "Ekologi Arsitektur"(Tanpa Tahun), http://id.wikipedia.org/wiki/Arsitektur_ekologi, 21 Mei 2012 (07:00)

semua tingkatan dan skala untuk menghasilkan suatu bentuk bangunan, lansekap, permukiman dan kota yang revolusioner dengan menerapkan teknologi dalam perancangannya.¹²

Beberapa sistem dan elemen terapan yang dapat diaplikasikan dalam bangunan untuk mendukung konsep ekologi arsitektur adalah sebagai berikut :

- Optimalisasi vegetasi, menumbuhkan elemen penghijauan yang optimal
- Sistem pencahayaan alami, peletakan bukaan yang mengarah pada sisi utara dan selatan, mendapat cahaya yang optimal dan lebih konsisten
- Fasad kaca pintar, teknologi mutakhir yang berfungsi mengurangi pantulan panas matahari, seperti dengan sistem *double skin*
- Penghalang sinar matahari (*shading device*), menghalau sinar matahari yang langsung masuk ke bangunan dan memberi pembayangan untuk mengurangi panas
- Penerapan pengontrol AC
- Pemakaian energi matahari (*Photovoltaic*), peranti yang mengubah energi sinar matahari secara langsung menjadi energi listrik, atau secara umum adalah penggunaan energi alternatif
- Penghawaan alami, sistem pengoptimalisasian penghawaan dengan pengaliran udara yang terencana dengan baik, salah satunya dengan *cross ventilation*¹³

Salah satu aspek penting dalam rancangan arsitektur yang menjadi perhatian di dalam paham konsep arsitektur yang tanggap lingkungan adalah penataan energi. Krisis sumber energi tak terbarui membuka pikiran beberapa ahli di bidang ilmu, termasuk arsitektur, untuk menerapkan wujud kepedulian terhadap energi ini dengan beralih ke sumber energi terbarui dan meminimalisasi penggunaan energi tidak terbarui tersebut.

¹² Sukawi, *Ibid.*

¹³ Ventilasi silang diperoleh dengan memiliki jendela di kedua sisi ruangan, menyebabkan udara mengalir di seluruh ruangan

2.1.3. Green Architecture dan Sustainable Architecture

Perhatian terhadap alam dan lingkungan terus diperdalam karena kondisi bumi yang semakin memburuk. Konsep *Green* dan *Sustainable* belakangan kerap menjadi sebuah paham untuk menjawab permasalahan lingkungan dan alam saat ini dan juga masuk ke dalam konsep di dalam arsitektur.

2.1.3.1. Green Architecture

Arsitektur hijau merupakan bentuk arsitektur yang berwawasan lingkungan dan berlandaskan kepedulian tentang konservasi lingkungan global alami dengan penekanan pada efisiensi energi (*energy-efficient*), pola berkelanjutan (*sustainable*) dan pendekatan holistik (*holistic approach*). Pengembangan paham ini bermulakan dari paham ekologi arsitektur yang menekankan pada saling ketergantungan (*interdependencies*) dan keterkaitan (*inter-connectedness*) antara semua sistem (*artificial* maupun *natural*) dengan lingkungan lokalnya dan biosfer.¹⁴

2.1.3.2. Sustainable Architecture

Sustainable Architecture merupakan salah satu istilah umum yang menggambarkan teknik desain sadar lingkungan di bidang arsitektur. *Sustainable Architecture* merupakan pembahasan lebih lanjut dari *sustainability* dan isu-isu ekonomi dan politik yang mendesak dunia kita. Dalam konteks lebih luas, *sustainable architecture* ditujukan untuk meminimalkan dampak negatif lingkungan dari bangunan dengan meningkatkan efisiensi dan moderasi dalam penggunaan bahan, energi, dan pengembangan ruang. Ide *sustainability*, atau *ecological design*, adalah untuk memastikan bahwa tindakan dan keputusan kita saat ini

¹⁴ Jimmy Priatman, “Energy Efficient Architecture” Paradigma dan Manifestasi Arsitektur Hijau”, *Loc cit.*

tidak menghambat kesempatan generasi mendatang. (*Doerr Architecture, Definition of Sustainability and the Impacts of Buildings*)

Efisiensi energi dalam siklus hidup bangunan adalah tujuan terpenting dari *sustainable architecture*. Arsitek menggunakan teknik yang berbeda untuk mengurangi kebutuhan energi di dalam bangunan dan meningkatkan kemampuan bangunan untuk menangkap atau menghasilkan energi sendiri.¹⁵

Di dalam sebuah artikel yang ditulis oleh Kelly Hart, ada 13 prinsip di dalam *sustainable architecture* yang dapat diterapkan di dalam mendesain rumah, diantaranya sebagai berikut:

- *Small is beautiful*, ruang yang dibuat harus berdasarkan efisiensi dan organisasi ruang yang baik, tidak harus besar seperti yang dipahami oleh masyarakat umum
- *Heat with the sun*, kehangatan termal dalam bangunan dengan memanfaatkan energi panas dari matahari dan diterima oleh material yang dapat mempertahankan suhu termal dalam bangunan
- *Keep your cool*, melihat arah jatuh matahari dan ketinggian level tanah
- *Let nature cool your food*, memanfaatkan suhu bumi untuk mendinginkan makanan, tidak hanya bertumpu pada refrigator (jika berada di daerah bermusim dingin)
- *Be energy efficient*, memanfaatkan energi matahari, angin, maupun air sebagai sumber energi listrik, atau memanfaatkan sumber energi terbarukan sebagai sumber energi di dalam bangunan
- *Conserve water*, menghemat penggunaan air dan juga memanfaatkan air hujan untuk kebutuhan air bersih
- *Use local materials*, material lokal biasanya sesuai dengan karakter dan fungsi dimana bangunan tersebut berdiri, dan juga mengurangi biaya industri

¹⁵ Wikipedia, "Sustainable Architecture", http://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_architecture, 14 Maret 2012

- *Use natural materials*, penggunaan material alam akan membuat bangunan terasa dekat dengan alam dan lebih ramah terhadap lingkungan, dapat mengurangi polusi dari industri
- *Save the forests*, menjaga kelestarian hutan dengan menggunakan material kayu tidak secara berlebihan
- *Recycle materials*, memanfaatkan material yang ada, tidak hanya menggunakan material baru
- *Build to last*, membangun untuk sekarang dan masa yang akan datang, tidak harus bangunan tua digantikan dengan bangunan yang baru
- *Grow your food*, beri *space* untuk menanam tanaman yang bisa dikonsumsi di sekitar rumah
- *Share facilities*, membuat fasilitas umum yang bermanfaat untuk umum, tidak membuat fasilitas untuk individu yang mana akan terjadi penduplikatan fasilitas di tempat-tempat lain dengan fungsi yang sama¹⁶

Sustainable design adalah pemikiran yang terintegrasi antara arsitektur dengan teknik elektrikal, mekanikal, dan struktural. Dengan kata lain adalah peduli terhadap estetika tradisi yaitu tentang massa, proporsi, skala, bayangan, tekstur, dan cahaya, kelompok rancangan fasilitas butuh diperhatikan dalam nilai jangka panjang : lingkungan, ekonomi dan manusia.¹⁷

¹⁶ Sumber : Kelly Hart, "Thirteen Principles of Sustainable Architecture", <http://www.greenhomebuilding.com/articles/susarch.htm> , 14 Maret 2012

¹⁷ Sam C M Hui, "Sustainable Architecture", <http://www.arch.hku.hk/research/beer/sustain.htm> , 14Maret 2012

2.2. Efisiensi Energi Dalam Arsitektur

Dari paham-paham arsitektur yang berwawasan lingkungan yang disebutkan sebelumnya, salah satu prinsip mendasar yang disebutkan dari semua paham tersebut adalah tentang penataan energi. Arsitektur memegang peran penting dalam penggunaan energi sehingga penataan energi ini dianggap sangat perlu diperhatikan.

Sebagai konsep arsitektural yang ramah lingkungan, dalam perwujudan eko-arsitektur dalam bangunan, terbagi beberapa tingkat sistem operasional yang digunakan dalam bangunan dengan kategori berikut (menurut Worthington, J, 1997 yang dikutip dari Yeang, Ken, 1999) :

- Sistim Pasif (*passive mode*)
Tingkat konsumsi energi paling rendah, tanpa ataupun minimal penggunaan peralatan ME (mekanikal elektrik) dari sumber daya yang tidak dapat diperbarui (*non renewable resources*)
- Sistim Hybrid (*mixed mode*)
Sebagian tergantung dari energi (*energy dependent*) atau sebagian dibantu dengan penggunaan ME.
- Sistim Aktif (*active mode/full mode*)
Seluruhnya menggunakan peralatan ME yang bersumber dari energi yang tidak dapat diperbarui (*energy dependent*)
- Sistim Produktif (*productive mode*)
Sistim yang dapat mengadakan/ membangkitkan energinya sendiri (*on-site energy*) dari sumber daya yang dapat diperbarui (*renewable resources*) misalnya pada sistim sel surya (fotovoltaik) maupun kolektor surya (*termosiphoning*).

Arsitektur hemat energi adalah arsitektur yang berlandaskan pada pemikiran “meminimalkan penggunaan energi tanpa membatasi atau merubah fungsi bangunan, kenyamanan maupun produktivitas penghuninya” dengan memanfaatkan sains dan teknologi mutakhir secara aktif. Meng-optimasikan

sistim tata udara-tata cahaya, integrasi antara sistim tata udara buatan-alamiah, sistim tata cahaya buatan-alamiah serta sinergi antara metode pasif dan aktif dengan material dan instrumen hemat energi. Paham *form follows function* bergeser menjadi *form follows energy* yang berdasarkan pada prinsip konservasi energi (*non-renewable resources*). Para pelopor arsitektur ini tercatat Norman Foster, Jean Nouvel, Ingenhoven Overdiek & partners.¹⁸

Keuntungan dari memilih keefisienan energi dan perancangan bangunan adalah untuk ekonomi (menghemat biaya), sosial (mengurangi krisis bahan bakar), dan ekologi (mengurangi eksploitasi dan emisi sumber daya alam). Setiap perkembangan baru idealnya harus dapat mengeluarkan strategi energi, menetapkan agar keuntungan ini dapat tercapai. Simulasi energi dengan menggunakan komputer dapat digunakan untuk mengkaji nilai konservasi energi di awal dan selama proses desain. Perluasan tim desain berkolaborasi dengan konsep desain lebih awal untuk membuat banyak konsep alternatif untuk bentuk bangunan, amplop dan lanskap, fokus dalam meminimalisir puncak beban energi, permintaan, dan konsumsi. Simulasi energi komputer digunakan untuk mengkaji keefektifan konservasi energi dan biaya konstruksi.¹⁹

2.2.1. Sumber Energi Terbaru : Tenaga Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah.²⁰

a. Faktor Terjadinya Angin

- Gradien barometris

Bilangan yang menunjukkan perbedaan tekanan udara dari 2 isobar yang jaraknya 111 km. Makin besar gradien barometrisnya, makin cepat tiupan angin.

¹⁸ Jimmy Priatman, “Energy Efficient Architecture” Paradigma dan Manifestasi Arsitektur Hijau”, *Loc cit.*

¹⁹ Sam C M Hui, “Sustainable Architecture”, *Loc cit.*

²⁰ Wikipedia, “Angin”. <http://id.wikipedia.org/wiki/Angin> , 15 Maret 2012

- Letak tempat
Kecepatan angin di dekat khatulistiwa lebih cepat dari yang jauh dari garis khatulistiwa.
- Tinggi tempat
Semakin tinggi tempat, semakin kencang pula angin yang bertiup, hal ini disebabkan oleh pengaruh gaya gesekan yang menghambat laju udara. Di permukaan bumi, gunung, pohon, dan topografi yang tidak rata lainnya memberikan gaya gesekan yang besar. Semakin tinggi suatu tempat, gaya gesekan ini semakin kecil.
- Waktu
Di siang hari angin bergerak lebih cepat daripada di malam hari²¹

b. Sifat Angin

Apabila dipanaskan, udara memuai. Udara yang telah memuai menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun kerana udaranya berkurang. Udara dingin disekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah tadi. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Diatas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dinamakan konveksi.²²

c. Alat Pengukur Angin

Alat-alat untuk mengukur angin antara lain :

- *Anemometer*, adalah alat yang mengukur kecepatan angin.
- *Wind vane*, adalah alat untuk mengetahui arah angin.
- *Windsock*, adalah alat untuk mengetahui arah angin dan memperkirakan besar kecepatan angin, yang biasanya banyak ditemukan di bandara – bandara²³

²¹ Wikipedia, "Angin", *Ibid*

²² Anonim, "Angin"(2008), <http://intl.feedfury.com/content/16689388-angin.html> , 15 Maret 2012

²³ Anonim, "Angin", *Ibid*

d. Jenis-jenis Angin

Beberapa jenis angin yang terjadi daerah tropis adalah sebagai berikut :

- Angin laut, adalah angin yang bertiup dari arah laut ke arah darat yang umumnya terjadi pada siang hari dari pukul 09.00 sampai dengan pukul 16.00.
- Angin darat, adalah angin yang bertiup dari arah darat ke arah laut yang umumnya terjadi pada saat malam hari dari jam 20.00 sampai dengan jam 06.00.
- Angin lembah, adalah angin yang bertiup dari arah lembah ke arah puncak gunung yang biasa terjadi pada siang hari.
- Angin gunung, adalah angin yang bertiup dari puncak gunung ke lembah gunung yang terjadi pada malam hari.
- Angin Fohn/angin jatuh, adalah angin yang terjadi se usai hujan Orografis. Angin Fohn yang jatuh dari puncak gunung bersifat panas dan kering, karena uap air sudah dibuang pada saat hujan Orografis.
- Angin Munsoon, Moonsun, muson, adalah angin yang berhembus secara periodik (minimal 3 bulan) dan antara periode yang satu dengan yang lain polanya akan berlawanan yang berganti arah secara berlawanan setiap setengah tahun. Biasanya pada setengah tahun pertama bertiup angin darat yang kering dan setengah tahun berikutnya bertiup angin laut yang basah.

Angin Munson dibagi menjadi 2, yaitu Munson Barat atau dikenal dengan Angin Musim Barat dan Munson Timur atau dikenal dengan Angin Musim Timur

- Angin Musim Barat/Angin Muson Barat, adalah angin yang mengalir dari Benua Asia (musim dingin) ke Benua Australia (musim panas) dan mengandung curah hujan yang banyak di Indonesia bagian Barat, hal ini disebabkan karena angin melewati tempat yang luas, seperti perairan dan samudra. Angin ini terjadi pada bulan Desember, Januari dan Februari, dan maksimal pada bulan Januari dengan kecepatan minimum 3 m/s.

- Angin Musim Timur/Angin Muson Timur, adalah angin yang mengalir dari Benua Australia (musim dingin) ke Benua Asia (musim panas) sedikit curah hujan (kemarau) di Indonesia bagian Timur karena angin melewati celah-celah sempit dan berbagai gunung (Gibson, Australia Besar, dan Victoria). Ini yang menyebabkan Indonesia mengalami musim kemarau. Terjadi pada bulan Juni, Juli dan Agustus, dan maksimal pada bulan Juli.²⁴

Dari data-data mengenai angin ini dibutuhkan untuk mengidentifikasi kondisi angin dari suatu daerah yang juga memudahkan untuk memprediksi karakteristik dan konsistensinya dalam menjalankan turbin angin.



²⁴ Wikipedia, "Angin", *Op. Cit*

BAB III

TURBIN ANGIN

3.1. Pengenalan Turbin Angin

Angin adalah sumber energi yang bebas, bersih dan tidak ada habis-habisnya. Angin telah banyak membantu dengan sangat baik di dalam kehidupan umat manusia selama berabad-abad seperti sebagai pendorong kapal dan pengendali kincir angin yang digunakan untuk menggiling gandum dan memompa air. Namun minat terhadap tenaga angin ini berkurang sejak setelah terjadinya perang dunia ke-2 dimana produksi minyak bumi menjadi murah dan banyak tersedia. Biaya modal yang tinggi dan ketidakpastian tenaga angin membuat kerugian ekonomi sehingga manusia beralih pada sumber energi minyak bumi. Namun pada tahun 1973, negara-negara Arab membuat embargo minyak bumi sehingga hari-hari minyak bumi yang murah dan banyak sudah berakhir. Manusia mulai menyadari bahwa pasokan minyak dunia tidak akan bertahan selamanya dan yang masih tersisa haruslah dilestarikan. Di sinilah muncul ide untuk mengembangkan sumber energi selain energi minyak bumi dan gas alam.

Terobosan untuk memanfaatkan sumber energi tenaga angin adalah dengan menggunakan *alat pengkonversi angin*. Beberapa definisi dan sebutan untuk alat pengkonversi angin ini adalah sebagai berikut.

- **Kincir angin** adalah sebuah mesin yang digerakkan oleh tenaga angin untuk menumbuk biji-bijian. Kincir angin juga digunakan untuk memompa air untuk mengairi sawah. Kincir angin modern adalah mesin yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik, disebut juga dengan *turbin angin*. Turbin angin kebanyakan ditemukan di Eropa dan Amerika Utara.²⁵

²⁵ Wikipedia, "Kincir Angin" (Tanpa Tahun), [Http://Id.Wikipedia.Org/Wiki/Kincir_Angin](http://Id.Wikipedia.Org/Wiki/Kincir_Angin), 2 Mei 2012 (19:00)



Gambar 3.1. Kincir angin Pitstone, dipercaya sebagai kincir angin tertua di Britania Raya
(Sumber : <http://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Pitstone-windmill.600px.jpg>)

- **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*.²⁶

- *A windmill is a machine which converts the energy of wind into rotational energy by means of vanes called sails or blades. Originally windmills were developed for milling grain for food production. In the course of history the windmill was adapted to many other industrial uses. An important non-milling use is to pump groundwater up with windpumps, commonly known as windwheels. Windmills used for generating electricity are commonly known as wind turbines.*²⁷

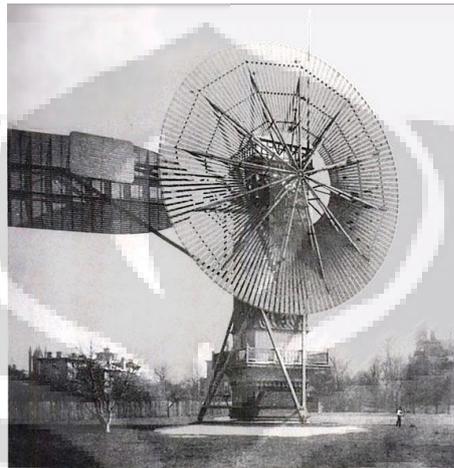


Gambar 3.2. Windmill De Kameel di daerah Schiedam, Belanda
(Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/File:De_Kameel.jpg)

²⁶ Wikipedia, “Turbin Angin” (Tanpa Tahun), http://id.wikipedia.org/wiki/Turbin_angin, 6 Mei 2012 (00:43)

²⁷ Wikipedia, “Windmill” (Tanpa Tahun), <http://en.wikipedia.org/wiki/windmill>, 2 Mei 2012 (19:06)

- A **wind turbine** is a device that converts kinetic energy from the wind into mechanical energy; a process known as wind power. If the mechanical energy is used to produce electricity, the device may be called a wind generator or wind charger. If the mechanical energy is used to drive machinery, such as for grinding grain or pumping water, the device is called a windmill or wind pump.²⁸



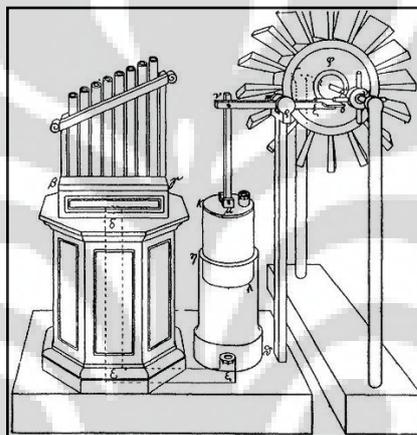
Gambar 3.3. Turbin angin pertama dioperasikan secara otomatis, dibangun di Cleveland pada tahun 1887 oleh Charles F. Brush. Tingginya 60 kaki (18 m), berat 4 ton (3,6 metrik ton) dan didukung generator 12kW.
(Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Wind_turbine_1888_Charles_Brush.jpg)

Di dalam Bahasa Indonesia, istilah yang kita kenal sehari-hari adalah istilah kincir angin, namun dari beberapa definisi di atas kita dapat mengelompokkan alat untuk mengkonversi angin ini ke dalam 2 kelompok atau sebutan, yaitu (dalam Bahasa Indonesia) kincir angin dan turbin angin. Kincir angin adalah sebutan untuk sebuah *mesin* yang mengkonversi angin menjadi menjadi energi rotasi dengan menggunakan kipas dan biasa digunakan untuk memompa air atau menumbuk biji-bijian, sedangkan turbin angin adalah *alat* untuk mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik atau disebut juga sebagai generator angin (menghasilkan energi). Kedua kelompok ini memiliki prinsip yang sama, yaitu sama-sama menggunakan energi angin untuk meminimalisir penggunaan energi terbatas dan keduanya dapat difungsikan untuk kebutuhan di dalam arsitektur.

²⁸ Wikipedia, "Wind Turbine" (Tanpa Tahun), http://en.wikipedia.org/wiki/wind_turbine, 2 Mei 2012 (19:06)

3.2. Sejarah

Di dalam sejarah penggunaan tenaga angin, tenaga angin telah dimanfaatkan oleh kapal selama berabad-abad sebelum Watt menemukan mesin uap di abad ke-18. Sementara di darat, penggunaan turbin sudah ada berabad-abad lamanya. Babilonia kaisar Hammurabi berencana menggunakan kincir angin untuk irigasi apada abad ke-17 SM. Heron dari Alexandria yang hidup di abad ke-3 SM menjelaskan sebuah sumbu turbin angin horizontal sederhana dengan menggunakan layar yang dipakai untuk mengoperasi sebuah organ, alat itu bernama *Heron*²⁹ *windwheel*.



Gambar 3.4. Rekonstruksi modern dari *Heron windwheel* menurut W. Schmidt. Sebuah *windwheel* yang mengoperasi organ, menandai contoh pertama dalam sejarah, tenaga angin yang dapat menggerakkan mesin
(Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Heron's_Windwheel.jpg)

Kincir angin pertama secara prakteknya dikenal dibangun di Sistan, wilayah antara Afghanistan dan Iran, dari abad ke-7, digunakan untuk menggiling gandum atau merumuskan air, dan digunakan dalam industri *gristmilling* dan pembuatan gula.

Turbin angin yang paling awal tercatat dalam Bahasa Inggris pada tahun 1191. Turbin Angin *corn-grinding* pertama dibangun di Belanda pada tahun 1439. Ada

²⁹ Hero (atau Heron) dari Alexandria (abad 10-70 sm) adalah seorang matematikawan Yunani kuno dan insinyur yang aktif di kota kelahirannya dari Alexandria, Mesir Romawi. Dia dianggap sebagai pengekspresan terbesar di jaman dahulu dan karyanya merupakan perwakilan dari tradisi ilmiah *Helenistik*. (Sumber :http://en.wikipedia.org/wiki/hero_of_alexandria)

sejumlah perkembangan teknologi selama berabad-abad, dan pada 1600 turbin angin yang paling umum adalah *tower mill*. Kata “mills” mengacu pada pengoperasian penggilingan atau penggilingan gabah.

Sementara itu, turbin angin yang berfungsi untuk menghasilkan energi listrik juga terus berkembang. Sejarah mengenai turbin angin penghasil energi listrik ini memiliki cerita yang berbeda-beda dari beberapa sumber. Artikel di dalam situs Wikipedia berjudul “Wind Turbine” mengatakan bahwa pembangkit listrik tenaga turbin angin pertama adalah berfungsi sebagai mesin pengisi baterai yang dibuat oleh Jame Blyth, akademisi Oxford asal Skotlandia, pada tahun 1887. Sedangkan di dalam buku “Wind Energy Systems” yang ditulis oleh Gary L Johnson menyebutkan bahwa negara pertama yang menggunakan turbin angin penghasil energi listrik adalah negara Denmark pada tahun 1890, dan pada tahun 1910 beberapa ratus unit turbin angin ini beroperasi untuk menyuplai listrik di daerah pedesaan di Denmark.

Pada periode yang sama, turbin angin yang besar pembangkit energi listrik memiliki rotor 17m dibangun di Cleveland, Ohio. Untuk pertama kalinya, gearbox diterapkan pada desain turbin ini dan berfungsi meningkatkan putaran lebih besar dari kekuatan angin yang diterima oleh turbin. Sistem ini beroperasi 20 tahun dan menghasilkan energi listrik dengan daya 12kW.³⁰

Pada waktu sekitar Perang Dunia I, Amerika pembuat kincir angin memproduksi 100.000 kincir angin untuk pertanian setiap tahunnya, khususnya untuk pompa air. Sekitar tahun 1930-an, generator angin penghasil listrik umum digunakan untuk pertanian, terutama Amerika Serikat dimana saat itu sistem distribusi masih belum diterapkan. Pada periode ini, baja tarik-tinggi harganya murah, dan generator diletakkan di atas menara kisi baja prefabrikasi yang terbuka.³¹

³⁰ Donal Siregar, “Studi Pemanfaatan Distributed Generation (Dg) Pada Jaringan Distribusi”(2011), <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/29220/4/chapter%20ii.pdf>, 5 Mei 2012(15:00)

³¹ Wikipedia, “Wind Turbine”, *Op. cit.*

Pada tahun 1931, sebuah pelopor generator angin modern sumbu horisontal diproses di Yalta, Uni Soviet. Generator ini berdaya 100 kW diletakkan pada sebuah menara dengan ketinggian 30m (98 kaki), terhubung ke sistem distribusi lokal 6,3 kV. Generator ini dilaporkan memiliki faktor kapasitas tahunan 32%, tidak jauh berbeda dari mesin angin pada saat itu. Pada musim gugur 1941, turbin angin kelas megawatt pertama disinkronisasi ke jaringan utilitas di Vermont. Turbin Smith Putnam angin hanya bekerja selama 1.100 jam sebelum menderita kegagalan yang kritis. Unit ini tidak diperbaiki karena kekurangan bahan selama perang. Pada tahun 1951, utilitas turbin angin pertama dengan sistem *grid-connected* beroperasi di Inggris dibangun oleh John Brown & Company di Kepulauan Orkney.³²

3.3. Jenis-Jenis Turbin Angin

Turbin angin sebagai mesin konversi energi dapat digolongkan berdasarkan prinsip aerodinamik yang dimanfaatkan rotornya. Berdasarkan prinsip aerodinamik, turbin angin dibagi menjadi dua bagian yaitu:

- Jenis *drag*, yaitu prinsip konversi energi yang memanfaatkan selisih koefisien *drag*. Rotor turbin angin mengekstrak energi angin memanfaatkan gaya *drag* dari aliran udara yang melalui sudu rotor.
- Jenis *lift*, yaitu prinsip konversi energi yang memanfaatkan gaya *lift*. Rotor angin mengekstrak energi angin dengan memanfaatkan gaya *lift* yang dihasilkan aliran udara yang melalui profil aerodinamis sudu.³³

Jika dilihat dari arah sumbu rotasi rotor, turbin angin dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu:

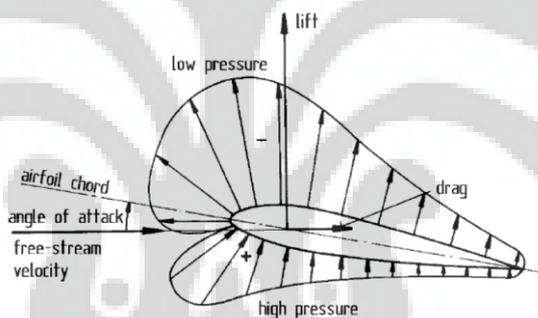
- Turbin angin sumbu horizontal (TASH)
- Turbin angin sumbu vertikal (TASV)

³² Wikipedia, *Idem*.

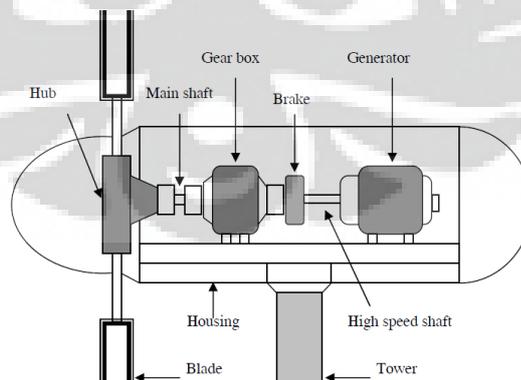
³³ Donal Siregar, *Op. Cit.*, hlm.8

3.3.1. Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap permukaan tanah. Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan diarahkan menuju dari arah datangnya angin untuk dapat memanfaatkan energi angin. Rotor turbin angin kecil diarahkan menuju dari arah datangnya angin dengan pengaturan baling – baling angin sederhana sedangkan turbin angin besar umumnya menggunakan sensor angin dan motor yang mengubah rotor turbin mengarah pada angin. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin angin sumbu horizontal mengalami gaya *lift* dan gaya *drag*, namun gaya *lift* jauh lebih besar dari gaya *drag* sehingga rotor turbin ini lebih dikenal dengan rotor turbin tipe *lift*,³⁴ seperti terlihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Gaya aerodinamis rotor turbin angin ketika dilalui aliran udara.
(Sumber: Eric Hau. 2006. Wind Turbine. hlm.88)

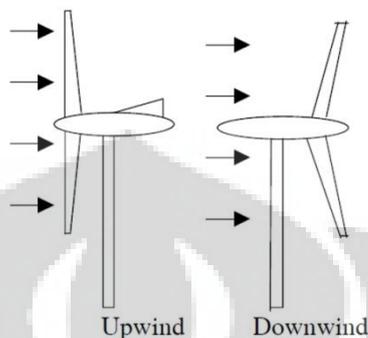


Gambar 3.6. Komponen utama turbin angin sumbu horizontal
(Sumber: Sathyajith Mathew. 2006. Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics, hlm. 90)

³⁴ Donal Siregar, *Idem*, hlm.9

Berdasarkan letak rotor terhadap arah angin, turbin angin sumbu horizontal dibedakan menjadi dua macam yaitu:

- *Upwind*, rotor menghadap arah datangnya angin
- *Downwind*, rotor membelakangi/menurut jurusan arah angin



Gambar 3.7. Turbin dengan arah *upwind* and *downwind*
(Sumber: Sathyajith Mathew. 2006. Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics, hlm. 18)

TASH memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan yaitu sebagai berikut :

Kelebihan	Kekurangan	Arsitektur
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%.		Lebih sesuai jika diterapkan pada bangunan tingkat tinggi atau jika diterapkan pada daerah lanskap harus menggunakan tiang yang menara atau tiang yang tinggi
	Menara yang tinggi serta bilah yang panjangnya bisa mencapai 90 meter sulit diangkat. Diperkirakan besar biaya transportasi bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.	Ukuran bilah akan mempengaruhi fasad bangunan jika dipasang pada bangunan dan bisa mengganggu komunitas binatang yang terbang di udara masuk ke pusaran angin dari bilah.

	TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yang tampil.	Membebani proses pembangunan
	Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator.	Memberi beban struktur jika diletakkan pada bangunan
	TASH yang tinggi bisa memengaruhi radar airport.	
	Ukurannya yang tinggi merintangai jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan lansekap.	Jika ukuran terlalu besar juga akan menutupi fasad bangunan
	Berbagai varian <i>downwind</i> menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.	
	TASH membutuhkan mekanisme kontrol <i>yaw</i> tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin.	Desain harus memberi <i>space</i> yang pas untuk turbin agar leluasa berputar mengikuti arah angin

Tabel 3.1. Kelebihan dan kekurangan turbin jenis TASH
(Sumber: Wikipedia dan dianalisis lebih lanjut)

3.3.2. Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Kelebihan utama susunan sudu vertical ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke arah datangnya angin agar menjadi efektif karena mampu mendayagunakan/menangkap angin dari berbagai arah.

Karena sulit dipasang di atas menara, TASV sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan. Pada dasar yang rendah (dekat tanah) kecepatan angin lebih pelan sehingga

energi angin yang tersedia sedikit. Kondisi aliran udara di dekat tanah dan obyek lain juga kurang mendukung dalam turbin angin karena 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 memepersingkat umur turbin angin. Jika tinggi puncak atap yang dipasang menara turbin angin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal.³⁵

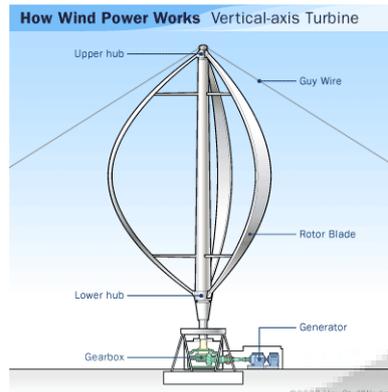
Jika dilihat dari prinsip aerodinamik rotor yang digunakan, turbin angin sumbu vertikal dibagi menjadi dua jenis, yaitu turbin angin Darrieus dan turbin angin Savonius.

1. Turbin angin Darrieus

Turbin angin Darrieus pada umumnya dikenal sebagai turbin *eggbeater*. Turbin angin Darrieus pertama kali ditemukan oleh Georges Darrieus pada tahun 1931. Turbin angin Darrieus merupakan turbin angin yang menggunakan prinsip aerodinamik dengan memanfaatkan gaya *lift* pada penampang sudu rotornya dalam mengekstrak energi angin. Turbin Darrieus memiliki torsi rotor yang rendah tetapi putarannya lebih tinggi dibanding dengan turbin angin Savonius sehingga lebih diutamakan untuk menghasilkan energi listrik. Namun turbin ini membutuhkan energi awal untuk mulai berputar. Rotor turbin angin Darrieus pada umumnya memiliki variasi sudu yaitu dua atau tiga sudu. Modifikasi rotor turbin angin Darrieus disebut dengan turbin angin H.³⁶

³⁵ Herlina, "Analisis Dampak Lingkungan dan Biaya Pembangkitan Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida di Pulau Sebesi Lampung Selatan"(2009), <http://www.scribd.com/doc/48731574/21/Jenis-%E2%80%93-Jenis-Turbin-Angin>, hlm. 17, 8 Mei 2012 (21:00)

³⁶ Donal Siregar, *Op. Cit.*, hlm. 13



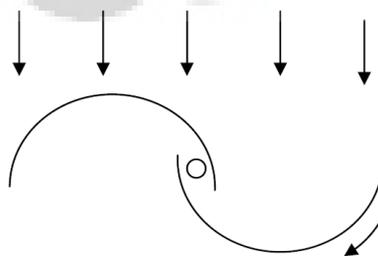
Gambar.3.8. Turbin angin Darrieus
(Sumber: rapidshare.com)



Gambar 3.9. Turbin angin Darrieus tipe H
(Sumber: rapidshare.com)

2. Turbin Angin Savonius

Turbin angin Savonius pertama kali diperkenalkan oleh insinyur Finlandia Sigurd J. Savonius pada tahun 1922. Turbin angin sumbu vertikal yang terdiri dari dua sudu berbentuk setengah silinder (atau elips) yang dirangkai sehingga membentuk 'S', satu sisi setengah silinder berbentuk cembung dan sisi lain berbentuk cekung yang dilalui angin seperti pada gambar 3.10. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin ini memanfaatkan gaya hambat (*drag*) saat mengekstrak energi angin dari aliran angin yang melalui sudu turbin. Koefisien hambat permukaan cekung lebih besar daripada permukaan cembung. Oleh sebab itu, sisi permukaan cekung setengah silinder yang dilalui angin akan memberikan gaya hambat yang lebih besar daripada sisi lain sehingga rotor berputar. Setiap turbin angin yang memanfaatkan potensi angin dengan gaya hambat memiliki efisiensi yang terbatas karena kecepatan sudu tidak dapat melebihi kecepatan angin yang melaluinya.



Gambar 3.10. Prinsip rotor Savonius
(Sumber: Sathyajith Mathew. 2006. Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics, hlm. 21)

Dengan memanfaatkan gaya hambat, turbin angin Savonius memiliki putaran dan daya yang rendah dibandingkan dengan turbin angin Darrius. Meskipun demikian turbin Savonius tidak memerlukan energi awal memulai rotor untuk berputar yang merupakan keunggulan turbin ini dibanding turbin Darrius. Daya dan putaran turbin Savonius yang relatif rendah membuat turbin ini lebih cocok digunakan untuk keperluan yang membutuhkan daya kecil dan sederhana seperti memompa air. Turbin ini tidak sesuai digunakan untuk pembangkit listrik dikarenakan tip *speed ratio* dan faktor daya yang relatif rendah.³⁷

Secara garis besar, turbin angin sumbu vertikal (TASV) ini juga memiliki kelebihan dan kekurangan yaitu sebagai berikut :

Kelebihan	Kekurangan	Arsitektur
Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.		Cocok jika dijadikan sebagai elemen lanskap
Karena bilah-bilah rotornya vertikal, tidak dibutuhkan mekanisme yaw.		Tidak harus diletakkan mengarah pada datangnya angin, peletakan fleksibel pada bangunan
Sebuah TASV bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.		Tidak harus diletakkan pada puncak bangunan atau pada bagian bangunan yang tinggi sehingga mengurangi beban perawatan
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.		

³⁷ Donal Siregar, *Idem*, hlm. 14-15

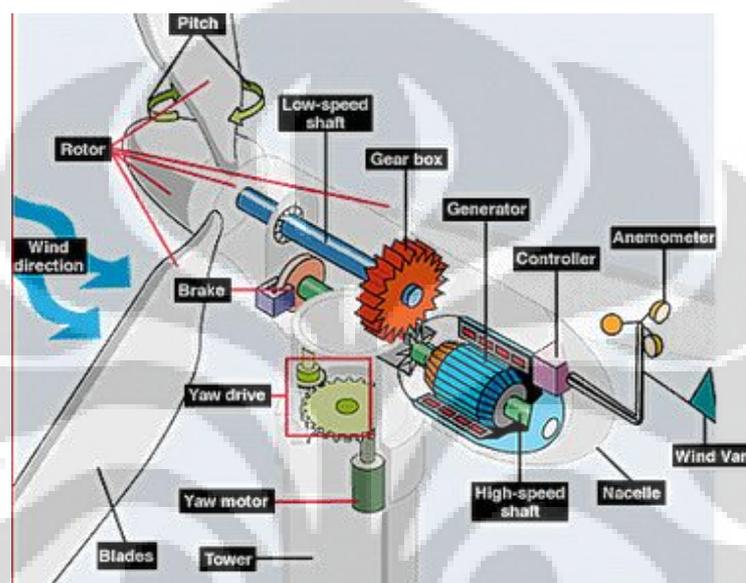
Desain TASV berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya TASH.		
TASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada TASH. Biasanya TASV mulai menghasilkan listrik pada 10km/jam		Memudahkan untuk diletak pada daerah yang potensi anginnya rendah
TASV biasanya memiliki <i>tip speed ratio</i> (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.		Meringankan beban perawatan terutama jika diletakkan pada tempat yang tinggi
TASV bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.		Karena ukuran yang cenderung tidak besar sehingga tidak mengganggu
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).		

TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.		Lebih fleksibel
Kincir pada TASV mudah dilihat dan dihindari burung.		Tidak mengganggu populasi burung
	Kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi TASH karena <i>drag</i> tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.	Dalam hal kapasitas energi cenderung tidak lebih baik dari TASH, kurang memenuhi kebutuhan listrik
	TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.	
	Kebanyakan TASV mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.	
	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.	Penyangga turbin yang tidak kuat dapat merusak turbin dan cenderung lebih mudah rusak.

Tabel 3.2. Kelebihan dan kekurangan turbin jenis TASV
(Sumber: Wikipedia dan dianalisis lebih lanjut)

3.4. Spesifikasi Komponen Penyusun Turbin Angin

Komponen-komponen turbin angin dari ukuran besar, pada umumnya dapat terlihat dalam gambar 3.11. berikut, (komponen yang ada pada gambar di bawah ini adalah komponen yang umum ditemukan pada turbin angin baik TASH maupun TASV) ; sedangkan untuk ukuran kecil biasanya tidak semua komponen ada seperti yang terlihat dalam gambar.



Gambar 3.11. Potongan Turbin Angin
(Sumber : DOE/NREL)

a. Anemometer

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

b. Blades (Bilah Kipas)

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

c. Brake (Rem)

Suatu rem cakram yang dapat digerakkan secara mekanis, dengan tenaga listrik atau hidrolis untuk menghentikan rotor atau saat keadaan darurat 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.

d. Controller (Alat Pengontrol)

Alat Pengontrol ini menstart dan mematikan turbin pada batas parameter angin yang dimiliki setiap jenis turbin.

e. Gear box (Roda Gigi)

Alat ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi. Biasanya Gearbox yang digunakan sekitar 1:60. Roda gigi menaikkan putaran dari 30-60 rpm menjadi kira-kira 1000-1800rpm yaitu putaran yang biasanya disyaratkan untuk memutar generator listrik.

f. High-speed shaft (Poros Putaran Tinggi)

Berfungsi untuk menggerakkan generator.

g. Low-speed shaft (Poros Putaran Rendah)

Poros turbin yang berputar kira-kira 30-60 rpm.

h. Generator

Generator pembangkit listrik, biasanya sekarang alternator arus bolak-balik. Generator dapat mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (*alternating current*) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal.

i. Nacelle (Rumah Mesin)

Rumah mesin ini terletak di atas menara. Di dalamnya berisi gear-box, poros putaran tinggi/rendah, generator, alat pengontrol, dan alat pengereman.

j. Pitch (Sudut Bilah Kipas)

Bilah kipas bisa diatur sudutnya untuk mengatur kecepatan rotor yang dikehendaki, tergantung angin terlalu rendah atau terlalu kencang.

k. Rotor

Bilah kipas bersama porosnya dinamakan rotor.

l. Tower (Menara)

Menara bisa dibuat dari pipa baja, beton, rangka besi. Karena kencangnya angin bertambah dengan ketinggian, maka makin tinggi menara makin besar tenaga yang didapat.

m. Wind direction (Arah Angin)

Gambar 3.11. adalah turbin yang menghadap angin, desain turbin lain ada yang mendapat hembusan angin dari belakang.

n. Wind vane (Tebeng Angin)

Mengukur arah angin, berhubungan dengan penggerak arah yang memutar arah turbin disesuaikan dengan arah angin.

o. Yaw drive (Penggerak Arah)

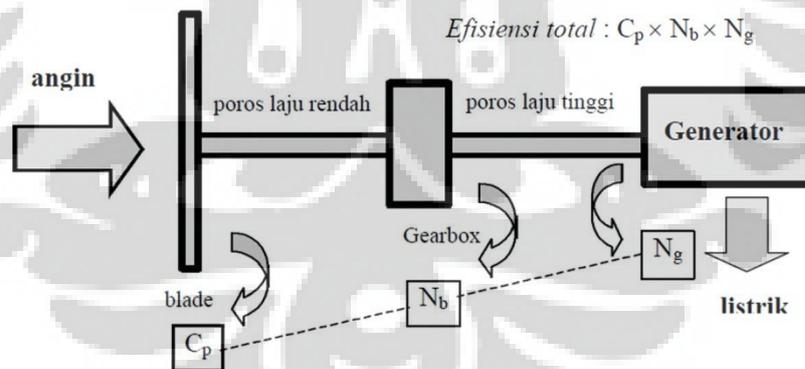
Penggerak arah memutar turbin ke arah angin untuk desain turbin yang menghadap angin. Untuk desain turbin yang mendapat hembusan angin dari belakang tak memerlukan alat ini.

p. Yaw motor (Motor Penggerak Arah)

Motor listrik yang menggerakkan penggerak arah.³⁸

3.5. Prinsip dan Mekanisme Kerja

Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik.³⁹



Gambar 3.12. Prinsip Kerja Turbin Angin
(Sumber : Sugata Pikatan. Seminar 1 Maret 1999)

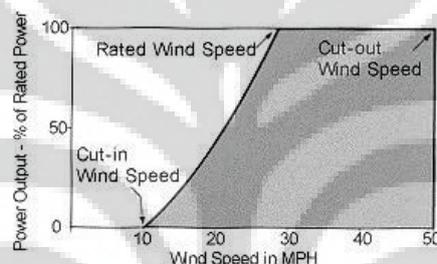
Bilah kipas atau baling-baling menerima tenaga angin yang sehingga bilah kipas tersebut berputar pada porosnya. Putarannya tidak terlalu cepat karena massanya yang besar, diteruskan oleh poros laju rendah ke belakang melalui *gearbox*.

³⁸ Herlina, *Op. Cit.*, hlm. 12-15.

³⁹ Wikipedia, "Turbin Angin", *Op. Cit.*

Gearbox mengubah laju putar menjadi lebih cepat, konsekuensinya dengan momen gaya yang lebih kecil, sesuai dengan kebutuhan generator yang ada di belakangnya. Generator kemudian mengubah energi kinetik putar menjadi energi listrik. Ekstraksi energi angin oleh turbin ditentukan oleh koefisien C_p (maksimum 59%, 35% untuk disain bagus), efisiensi transmisi *gearbox* dan *bearings* (N_b , bisa mencapai 95%), dan efisiensi *generator* (N_g , ~ 80%).⁴⁰

Terdapat sebuah kecepatan angin minimum, disebut *cut-in speed*, agar turbin mulai menghasilkan listrik. Kecepatan angin yang terlalu besar juga harus dibatasi agar tidak merusak turbin dan generator, kecepatan maksimum yang diijinkan ini disebut *cut-out speed*. Pada grafik di atas ditunjukkan hubungan antara laju angin dengan daya yang diperoleh melalui turbin.⁴¹



Gambar 3.13. Grafik Hubungan Laju Angin dan Daya yang Diterima Turbin Angin (Sumber : Sugata Pikatan. Seminar 1 Maret 1999)

3.6. Inovasi Turbin Angin di Dalam Arsitektur

Seiring perkembangan jaman dan perkembangan teknologi yang semakin canggih, turbin angin juga terus mengalami inovasi-inovasi guna meningkatkan efisiensinya. Sejak dunia mengalami krisis energi minyak bumi dan gas alam, turbin angin ini menjadi pusat perhatian banyak mata dunia. Di Amerika, energi listrik yang berasal dari tenaga angin memenuhi 20% kebutuhan energi listrik total. Turbin angin didesain dengan berbagai bentuk untuk menghasilkan energi yang maksimal.

⁴⁰ Sugata Pikatan, "Resume Konversi Energi Angin", Seminar 1 Maret 1999, Departemen MIPA Universitas Surabaya, 1999

⁴¹ Sugata Pikatan, *Ibid*

Turbin angin menjadi objek penelitian dan pengembangan bagi beberapa bidang ilmu sebagai salah satu teknologi yang efektif dan tanggap lingkungan. Turbin angin ini juga tidak terlepas dari sorotan arsitek dan menjadi salah satu mesin/alat favorit yang mendukung prinsip desain sadar lingkungan dan energi. Tidak jarang turbin langsung diaplikasikan ke dalam fisik bangunan dan menjadi satu kesatuan di dalam rancangan atau menjadi komponen utilitas di rancangan luar bangunan(lasekap).

3.6.1. Windspire



Gambar 3.14. Windspire
(Sumber : Windspire,
<http://www.windspireenergy.com/windspire/photos-and-videos/?album=9&gallery=29>)

Dimensi : 6,1m tinggi x 1,2m diameter
Generator : Generator Magnet *Brushless* permanen efisiensi Tinggi, Bersertifikat ETL
Pengendalian : *Wireless Modem Zigbee* Terpadu
Operasi : 3,8m/s dan mampu bertahan pada kecepatan angin 47m/s.
Pondasi : Diameter ukuran 30-36 inch hingga 7 basis kaki
Energi : Mampu memproduksi hingga 2000kWh dengan daya max 1200Watt
Suara yang dihasilkan : 6dBA di atas lingkungan (angin 15 mph, 6ft dari dasar)⁴²

“*Clean, Simple, Smart*” adalah julukan untuk rancangan turbin angin ini. Dengan ketinggian 30ft turbin ini didesain sangat menarik dan mampu beroperasi maksimal menghasilkan energi untuk kebutuhan rumah ataupun publik. Turbin jenis ini dirancang 2 macam, yaitu rancangan standar dan rancangan untuk daerah yang memiliki kekuatan angin tidak biasa atau tidak teratur. Turbin ini sudah banyak diterapkan di Amerika baik di gedung maupun rumah-rumah.

⁴² Windspire, “Standard Wind 12kW”, <http://windspireenergy.com/wp-content/uploads/WindspireSpecSheet.pdf> ,11 Mei 2012 (01:00)



Gambar 3.15. Foto-foto bangunan yang menggunakan Windsipre (Sumber : Windspire, <http://www.windspireenergy.com/windspire/photos-and-videos/?album=9&gallery=29>)

3.6.2. Egra Wind Turbine



Gambar 3.16. Contoh turbin angin penghasil listrik produk Egra
Sumber :
<http://www.bumienergi.com/egra.php?module=detailproduk&idproduk=2>

Fungsi : Electricity Generator

Kec. Angin min. : 10 km/hr

Kec. Angin max. : 50 km/hr

Spesifikasi Rotor

- Kipas : Aluminium
- Diameter : 3m (tergantung pada tenaga listrik yang ingin dihasilkan)
- Kerangka : Begel Steel
- Warna : Orange (pilihan)

Spesifikasi Badan

- Model Ekor: Mengarah ke atas
- Kerangka : Hollow Steel
- Warna : Orange (pilihan)

- Spesifikasi Menara**
- Tinggi : 10 m
 - Kerangka : Baja berbentuk L
 - Warna : Hijau (pilihan)
- Spesifikasi Generator**
- Tipe : Generator Listrik DC
 - Daya Listrik : 1000 Watt, 2000 Watt, 5000 Watt⁴³

PT. Bumi Energi Equatorial adalah salah satu perusahaan yang menghasilkan turbin di Indonesia. Egra telah mengembangkan bioenergi angin sejak tahun 2003. Produk yang dihasilkan terdiri dari kincir angin pemompa air, turbin angin penghasil listrik dan belakangan juga menghasilkan produk biodiesel.

Munculnya turbin Egra bermula dari permasalahan pengairan lahan kebun milik salah satu pemilik perusahaan ini yaitu Bapak Hasim Hanafie. Menurut beliau, untuk mengairi lahan kebunnya yang mencapai 10ha membutuhkan listrik yang cukup besar agar dapat memompa air ke seluruh bagian kebun, sementara kondisi air di lahan kebun tersebut sangatlah sulit begitu juga dengan listrik sehingga muncul ide untuk membuat kincir angin untuk memompa air atau untuk irigasi. Dengan pertimbangan angin di Indonesia yang cukup berpotensi untuk diterapkan turbin angin terutama di daerah pesisir, Egra mengembangkan usaha turbin angin yang sekarang akhirnya menjadi usaha jual beli teknologi energi terbarukan.

Turbin atau kincir angin produk Egra sudah diterapkan di beberapa daerah khususnya di daerah-daerah yang jauh dari jangkauan listrik dan air (Lihat lampiran1). Karena biaya untuk satu pemasangan turbin atau kincir angin tidaklah kecil, biasa penerapan turbin atau kincir angin ini bekerjasama dengan pemerintah daerah setempat dan turbin angin produk Egra belum ada yang diterapkan pada bangunan secara personal atau terintegrasi dengan desain bangunan.

⁴³ Egra, "Electricity", <http://www.bumienergi.com/egra.php?module=detailproduk&idproduk=2>, 11 Juni 2012 (07:00)

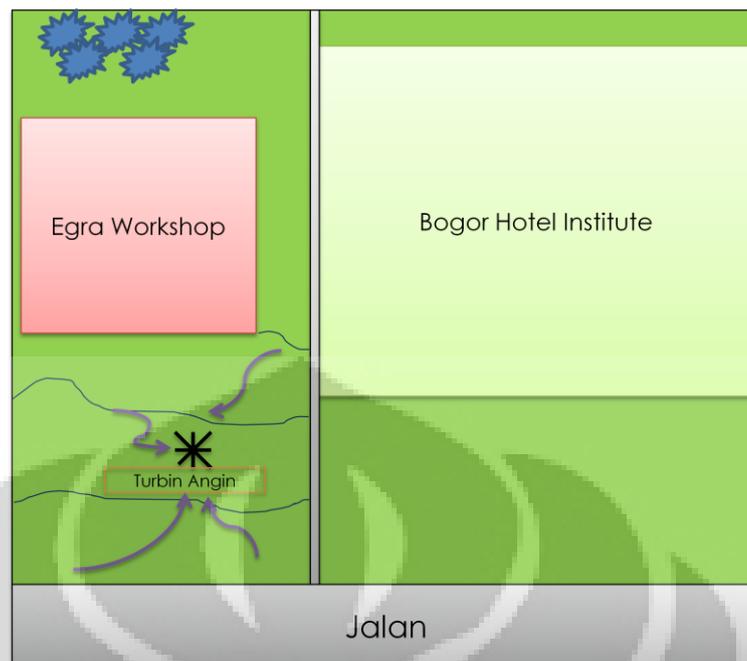
Egra Workshop Bogor

Lokasi workshop Egra adalah di Bogor, di Jl. Curug Mekar no.6, sebelah gedung Bogor Hotel Institute (BHI). Di tempat inilah Egra menjalankan workshop dan penelitian untuk teknologi turbin/kincir angin dan produk biodiesel. Belakangan di dalam bangunan ini juga dilakukan produksi cat tembok.

Di area workshop egra ini diterapkan turbin angin yang berfungsi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di dalam bangunan. Meski tidak penghasil energi listrik yang pokok untuk bangunan, namun turbin ini cukup efektif untuk penerangan pada malam hari dan beberapa penggunaan listrik skala kecil. Untuk mengetahui cara kerja turbin angin dapat dilihat dari percakapan hasil wawancara saya dengan operator yang ada di workshop Egra pada lampiran2.

Egra Workshop tepat berada di samping gedung BHI. Lahan tanah egra workshop berkontur dan bangunannya lebih rendah dari permukaan jalan. Turbin angin diletakkan di depan bangunan. Turbin angin ditopang pada tiang dengan ketinggian tiang 18 meter. Menurut operator yang bekerja di sana, arah angin berasal dari mana saja sehingga turbin dibuat dapat berputar sejauh 360^0 mengikuti arah angin.

Tidak ada persentase yang pasti untuk berapa energi yang dihasilkan dari turbin ini terhadap kebutuhan total energi bangunan, namun menurut operator turbin ini cukup efektif untuk penerangan di waktu malam dan digunakan pada saat listrik padam. Karena sistem turbin yang menyimpan energi dalam aki (lihat lampiran2), jadi energi tidak pernah habis jika turbin terus mendapat putaran dari angin.



Gambar 3.17. Zoning Egra Workshop . Angin berasal dari segala arah.
(Sumber : Ilustrasi Pribadi)

Yang menarik dari turbin di Egra workshop ini adalah komponen dan materialnya yang berasal dari barang-barang bekas. Seperti dinamo yang digunakan berasal dari dinamo mobil yang sudah tidak terpakai, begitu juga dengan *gear* dan beberapa komponen lainnya berasal dari onderdil mobil atau kendaraan yang tidak terpakai.

Meskipun tidak menarik secara estetika, namun turbin ini memiliki potensi yang baik dalam menghasilkan energi dan komponen penyusunnya berasal dari barang-barang *recycle* yang mana memberi keuntungan juga secara ekonomi yaitu penekanan biaya pembuatan turbin dan biaya penggunaan energi listrik. Turbin ini memang tidak dirancang dari segi keindahan namun pengembangan turbin ini yang menggunakan komponen-komponen *recycle* dan inovasi turbin angin jenis TASV yang bisa menangkap angin dari berbagai arah, serta dapat dikondisikan dengan potensi angin yang sesuai daerah yang ingin diterapkan, ada baiknya dipertimbangkan untuk menggunakan turbin ini dalam merancang sebuah karya arsitektur.

BAB IV

STUDI KASUS

4.1. Bahrain World Trade Center



Gambar 4.1. Panoramic view BWTC

Sumber : <http://www.designbuild-network.com/projects/bahrain-world-trade-centre/>

4.1.1. Data

Arsitek	: <i>Atkins Architects</i>
Lokasi	: The King Faisal street, Manama, Bahrain
Ketinggian Bangunan:	240m
Jumlah Lantai	: 50 lantai setiap menara ⁴⁴

Bahrain World Trade Center adalah pengembangan (peremajaan) dari kompleks Hotel Bintang 5 Sheraton di Bahrain. Bangunan yang terdiri dari 3 lantai podium dan 2 buah menara ini berfungsi sebagai perkantoran komersial. Dua menara yang terintegrasi di atas sebuah podium ini

⁴⁴ designbuild-network, “Bahrain World Trade Cente, Bahrain”, <http://www.designbuild-network.com/projects/bahrain-world-trade-centre/>, 20 April 2012 (07:00)

mengakomodasi pusat perbelanjaan moda baru dengan merek-merek terkenal, restoran mahal, *food court*, pusat bisnis, klub kesehatan dan spa, serta parkir dengan kapasitas 1700. Menara ini secara resmi dibuka pada pertengahan tahun 2008.⁴⁵

Bangunan tertinggi ke-2 di Bahrain⁴⁶ ini merupakan yang pertama sekaligus menjadi pelopor pengguna turbin angin skala besar dalam bangunan tinggi di dunia. Tidak hanya turbin angin, bangunan ini juga memiliki fitur-fitur yang berkonsep *sustainable* lainnya, sehingga desainnya disebut sangat cerdas dan responsif terhadap lingkungan. Dengan keunggulan dari konsep *sustainable* ini, Atkins dan Bahrain World Trade Center ini mendapat beberapa penghargaan, diantaranya sebagai berikut :

- Penghargaan NOVA 2009 dalam inovasi teknologi terintegrasi untuk meningkatkan kualitas dan mengurangi biaya pembangunan
- Pada tahun 2008 mendapat Penghargaan Gedung Tinggi Terbaik daerah Mena
- Award Edie 2007 untuk keunggulan lingkungan
- Penghargaan DAUN 2006 untuk Teknologi Terbaik Dalam Skema Besar
- Atkins memenangkan penghargaan pada tahun 2008 dari *Building Design Awards* untuk WTC Bahrain

4.1.2. Pertimbangan Lingkungan dan Fitur-fitur *Sustainability*

Seperti yang disebutkan sebelumnya, Bahrain WTC ini memiliki desain yang cerdas dan responsif terhadap lingkungan. Beberapa bentuk pengaplikasian dari desain bangunan yang cerdas dan responsif terhadap lingkungan sebagai fitur pendukung konsep *sustainability* dapat dilihat sebagai berikut.

⁴⁵ designbuild-network, "Bahrain World Trade Center, Bahrain", *Ibid*

⁴⁶ Wikipedia, "Bahrain World Trade Center" (Tanpa Tahun), http://en.wikipedia.org/wiki/Bahrain_World_Trade_Center, 19 Mei 2012 (14:00)

Untuk menjaga kestabilan suhu termal, bangunan ini menggunakan beberapa inovasi desain. Ruang *buffer* diletakkan di antara lingkungan eksternal dengan ruang internal ber-AC untuk mengurangi radiasi panas pada bangunan. Dua dek parkir mobil di atas dan di sisi selatan bangunan dapat menahan radiasi panas matahari pada bangunan. Kaca surya berkualitas tinggi dengan koefisien rendah shading dapat menurunkan suhu udara bangunan. Balkon yang disusun pada fasad bangunan memberi shading yang sesuai mengikuti bentuk bangunan yang miring dan melengkung. Selain itu elemen-elemen material yang buram pada bangunan diberi untuk meningkatkan isolasi termal.⁴⁷



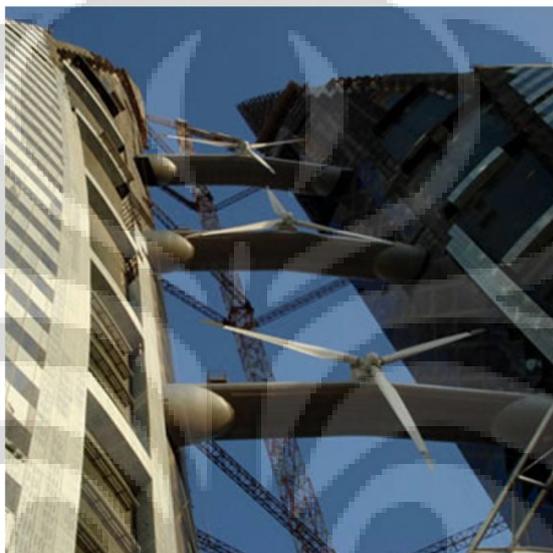
Gambar 4.2. Fasad Bangunan dilapisi dengan material yang dapat menahan radiasi panas matahari dan *shading* bangunan yang bermanfaat untuk menurunkan temperatur udara dalam bangunan
Sumber :

http://en.wikiarquitectura.com/index.php/File:Bahrain_WTC_1.jpg

⁴⁷ designbuild-network, “Bahrain World Trade Center, Bahrain”, *Op. Cit.*

Atkins Architect juga menciptakan koneksi ke sistem pendingin distrik, yang bekerja mendinginkan air permukaan laut atau mencegah pemanasan. Air dingin digunakan untuk mendinginkan bangunan dan seluruh kompleks. Terdapat juga kolam refleksi di titik masuk gedung, memberikan evaporasi pendinginan lokal.

4.1.3. Turbin Angin BWTC



Gambar 4.3. Tiga buah turbin angin dipasang pada jembatan yang menghubungkan kedua menara
 Sumber : <http://www.ecogeek.org/architecture/938>

- Turbin angin** : 3 buah turbin angin tipe TASH diameter 29m, masing-masing dipasang pada ketinggian 60m, 98m, 136m
- Energi** : Menghasilkan antara 1.100 MWh dan 1.300 MWh per tahun, memenuhi 11%-15% kebutuhan listrik gedung
- Daya** : 225 kW pada masing-masing turbin
- Interval angin** : 15m/s sampai 20m/s
- Masa Aktif** : 20 tahun
- Generator** : Tipe *asynchronous induction* dengan 4 tiang daya 400V⁴⁸
- Berat** : 65 ton setiap turbin⁴⁹

⁴⁸ designbuild-network, "Bahrain World Trade Center, Bahrain", *Ibid.*

Pada mulanya, Atkins Architect melihat rancangan dari bentuk bangunan ini tidaklah cukup, perlu rasanya untuk menggabungkan fitur *sustainability* ke dalam rancangan sehingga muncul ide untuk melakukan percobaan menggunakan solar panel. Namun, kondisi suhu di Bahrain yang sangat ekstrim sehingga dianggap penggunaan solar panel kuranglah layak. Kemudian, mereka mencoba pilihan kedua yaitu dengan memunculkan penampakan yang lebih menantang, penggunaan turbin angin berdiameter 29m yang diletakkan pada jembatan sepanjang 30m di antara kedua menara.⁵⁰

Terinspirasi dari menara angin Arab, menara yang berbentuk seperti dua buah layar ini membantu menyalurkan angin laut ke 3 buah turbin. Turbin didukung oleh jembatan yang menghubungkan kedua menara. Jembatan bertindak sebagai *aerofoils*, yang berfungsi untuk menyalurkan dan mempercepat kecepatan angin antara keduanya.⁵¹

Turbin angin dipasang pada bulan Maret 2007 dan dioperasikan pada Oktober 2007, kemudian pada April 2008 ketiga turbin berputar bersama-sama untuk pertama kalinya. Masing-masing turbin menghasilkan 225kW dan total keseluruhan energi yang dihasilkan menjadi 675kW⁵², atau setiap tahun menghasilkan energi sekitar 1100MW-1300MW.⁵³

⁴⁹ Alternative Energy, "Bahrain WTC Wind Turbines Completed"(2008), <http://www.alternative-energy-news.info/bahrain-wtc-wind-turbines/>, 20 Mei 2012 (10:00)

⁵⁰ Jorge Chapa, "Bahrain World Trade Center has Giant Wind Turbine" (2007), <http://inhabitat.com/bahrain-world-trade-center-has-wind-turbines/>, 20 Mei 2012 (10:00)

⁵¹ designbuild-network, "Bahrain World Trade Center, Bahrain", *Op. Cit.*

⁵² Wikipedia, "Bahrain World Trade Center" (Tanpa Tahun), *Op. Cit.*

⁵³ WikiArquitectura, "Bahrain World Trade Center", http://en.wikiarquitectura.com/index.php/Bahrain_World_Trade_Center, 20 Mei 2012 (15:00)

4.1.4. Analisis Desain

Lokasi WTC Bahrain ini berada tepat di pesisir teluk Arab yang merupakan salah satu faktor penunjang utama dalam kesuksesan penerapan turbin angin ini. Angin yang berasal dari Teluk Arab memiliki berpotensi untuk memutarakan ketiga turbin tersebut, seperti yang disebut pada Bab II tentang jenis-jenis angin dimana salah satunya adalah angin laut (lihat hlm.21).



Gambar 4.4. Blok Plan

Lokasi BWTC berada di kawasan Hotel Sheraton, posisinya menghadap ke Teluk Arab
 Sumber : Google Earth, 19 Mei 2012

Turbin angin mengarah ke teluk Arab tempat berasalnya angin laut yang terjadi pada siang hari. Turbin yang digunakan pada bangunan ini adalah turbin jenis TASH, dimana turbin untuk jenis ini terdiri dari 2 macam yaitu turbin tipe *upwind* dan tipe *downwind* (lihat hlm.30).



Gambar 4.5. Arah angin dari teluk. Pada siang hari angin datang dari teluk dan dari pergerakan kendaraan di jalan yang berada di depan WTC Bahrain, turbin angin berputar lebih konstan

Sumber : http://www.jetsongreen.com/2007/03/skyscraper_sund_3.html
(telah diolah kembali)

Menurut pengamatan saya dari beberapa video rekaman yang dipublikasi di media internet tentang Bahrain WTC ini saya melihat turbin angin berputar dengan konstan pada siang hari, meskipun turbin yang terletak paling bawah tidak berputar secara maksimal. Jika dilihat dari sifat angin yang menyebabkan kecepatan angin semakin kuat salah satunya adalah ketinggian, semakin tinggi dari permukaan tanah kecepatan angin semakin besar karena angin yang lebih di atas lebih leluasa bergerak, tidak ada hambatan atau gesekan.



Gambar 4.6. Arah angin darat. Pada malam hari angin datang dari arah belakang
 Sumber : <http://www.flickrriver.com/photos/zurba/popular-interesting/>
 (telah diolah kembali)

Jika mengamati turbin dari beberapa video, kemungkinan turbin angin yang diterapkan di sini adalah jenis turbin angin adalah tipe *upwind*, yang menerima angin dari arah depan, yaitu angin dari teluk yang cenderung banyak pada siang. Sementara jika diamati dari suara yang dihasilkan dari turbin angin ini (berdasarkan video yang diamati) tidak terlalu mengganggu kenyamanan, bahkan terkadang tertutupi oleh suara kendaraan yang berlalu lintas di jalan. Suara yang dihasilkan lebih seperti suara angin yang berhembus dari pantai sehingga tidak menimbulkan kebisingan yang terlalu meresahkan.

Meskipun turbin ini tidak berfungsi maksimal selama 24 jam penuh namun kebutuhan listrik bangunan dapat dipenuhi sebanyak 11%-15% dari kebutuhan listrik total. Hal ini jelas memberi keuntungan mengingat fungsi bangunan sebagai bangunan komersil dimana jika sebagian kebutuhan listrik dipenuhi juga akan mengurangi biaya penggunaan listrik.

Secara **arsitektur biologik**, penerapan turbin angin pada bangunan WTC Bahrain ini adalah salah satu bentuk perwujudan arsitektur biologik yang mengacu terhadap alam. Dengan pertimbangan energi yaitu dengan mentransformasi energi angin menjadi energi listrik, WTC Bahrain mencoba mengurangi paling tidak sedikit beban terhadap lingkungan, seperti yang disebutkan di halaman 9 paragraf terakhir bahwa penggunaan energi seminim mungkin juga merusak lingkungan meski dalam skala kecil.

Di dalam arsitektur biologik untuk menciptakan harmoni kehidupan dan menentukan sebuah kualitas lingkungan adalah dengan membuat keseimbangan antara manusia-alam-lingkung buatan. Lingkung buatan diciptakan untuk memenuhi kepentingan manusia dan lingkung buatan berdiri di atas alam dimana cenderung mengeksploitasi kekayaan alam dan merusak yang ada di alam tanpa memperhitungkan eksistensi alam akan rusak. Jika turbin angin dapat mengurangi penggunaan energi terbatas dan mengurangi pembuangan gas hasil pembakaran, hal ini akan mempertahankan peredaran alam yang tertutup tadi sehingga keberlangsungan hidup di alam dapat terus berjalan. Selain itu juga jika mengambil dari sifat alam, turbin angin menjadikan bangunan ini bersifat seperti tumbuhan yaitu sebagai produsen dimana tumbuhan dapat memenuhi kebutuhan dirinya sendiri dan bangunan ini juga mencoba untuk memenuhi kebutuhan di dalam bangunannya meski tidak terpenuhi secara total.

Jika dilihat dari segi ekonomi memang penggunaan turbin angin ini membuat biaya pembangunan lebih besar, bisa mencapai 30% biaya pembangunan, namun WTC Bahrain berani membuktikan bahwa penerapan 3 buah turbin angin pada bangunan tersebut hanya memakan biaya sekitar 3,5% dari biaya pembangunan⁵⁴ sementara biaya untuk penggunaan energi bisa dikurangi selama turbin angin aktif berfungsi.

⁵⁴ designbuild-network, "Bahrain World Trade Center, Bahrain", *Op. Cit.*

Sejalan dengan paham arsitektur biologik, **ekologi arsitektur** juga menekankan pada desain yang ramah lingkungan terutama penataan energi. WTC Bahrain yang memiliki desain cerdas dan responsif terhadap lingkungan mewujudkan sebuah karya arsitektur dengan fitur-fitur yang sejalan dengan prinsip eko-arsitektur. Desain bangunan tidak hanya dibuat sedemikian rupa untuk meminimalkan penggunaan energi namun juga memaksimalkan produksi energi untuk kemudian membantu memenuhi kebutuhan energi bangunan. WTC Bahrain mencoba menyatukan sebuah desain eko-arsitektur yang berlandaskan alam dan teknologi, dimana meskipun desainnya yang modern namun tetap menggunakan teknologi yang sudah disesuaikan dengan kondisi lingkungan dan bermanfaat tidak hanya untuk bangunan tetapi juga tidak membebani ataupun merusak alam.

WTC Bahrain memiliki caranya sendiri untuk menunjukkan desain yang peduli dengan lingkungan. Dengan fitur-fitur yang secara langsung dipaparkan sebagai fitur-fitur yang *sustainable* menunjukkan bahwa memang desain bangunan ini adalah desain yang patut menjadi preseden sebagai bangunan yang *green* dan *sustainable* dalam menghadapi kondisi kritis alam. Turbin angin adalah salah satu fitur yang ditonjolkan dari desain bangunan ini yang membuktikan bahwa bangunan ini memiliki sistem yang tidak hanya menggunakan sumber energi terbatas secara besar-besaran tanpa memikirkan bahwa energi terbarukan seperti angin dapat menjadi sebuah potensi alam yang menguntungkan.

Dari beberapa data dan analisa yang dipaparkan tadi, dapat dilihat bahwa turbin angin dari WTC Bahrain memiliki potensi sebagai berikut :

- **Menghemat energi**, penggunaan energi terbarukan untuk memenuhi sebagian kebutuhan energi di dalam bangunan dapat mengurangi beban penggunaan energi dari sumber energi terbatas.
- **Menghemat biaya**, meskipun WTC Bahrain menambah sedikit biaya pembangunan untuk pemasangan turbin angin ini, namun biaya untuk penggunaan energi dapat dihemat dari energi yang dihasilkan turbin.

- **Mengurangi beban lingkungan**, dengan turbin angin ini energi yang dihasilkan tidak membuang gas hasil pembakaran yang menyebabkan efek rumah kaca atau yang lainnya
- **Menjadi unsur yang iconic dan interaktif**, peletakan turbin angin pada fasad bangunan di antara 2 buah menara yang berbentuk unik seperti layar kapal menjadikan bangunan ini berbeda dengan bangunan-bangunan di sekitarnya. Tidak jarang negara Bahrain dikenal dengan bangunan yang berkipas ini. (Lihat Gambar 4.1.)
- **Menjadi preseden**, keberhasilan WTC Bahrain mengaplikasikan turbin angin ke dalam desain bangunan dengan biaya yang minim membuka wawasan untuk arsitek bahwa mengeksplorasi tenaga angin menjadi energi yang dapat digunakan di dalam merancang sebuah karya arsitektur tidak harus selalu menggunakan biaya yang besar. Tidak hanya turbin angin, fitur-fitur *sustainable* yang diterapkan di dalam desain WTC Bahrain menjadikannya sebagai sebuah bangunan yang layak menjadi preseden.

Selain potensi yang disebut di atas, turbin ini juga masih memiliki kekurangan seperti:

- Energi yang dihasilkan tidak maksimal kerana bekerja efektif hanya pada siang hari
- Turbin yang diletakkan hanya pada fasad bangunan ke arah teluk menjadikan turbin tidak terlihat dari sisi lain seperti dari sisi belakangnya
- Ukuran yang besar dan letaknya yang tinggi serta bilahnya yang tidak terlihat ketika berputar dapat menjadi 'ranjau' untuk burung yang melewatinya
- Membutuhkan perawatan yang intensif agar turbin dapat bekerja efektif

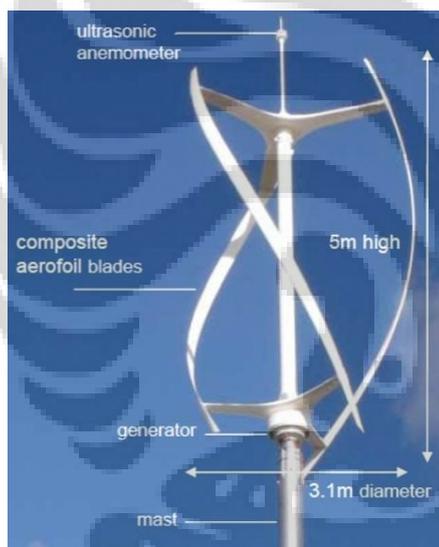
4.2. Quiet Revolution qr5



Gambar 4.7. qr5 Wind Turbine

(Sumber : Maxime,

http://www.all-energy.com.au/userfiles/file/Philippa_Rogers_presentation.pdf)



Gambar 4.8. Komponen dan dimensi

qr5 Wind Turbine

(Sumber : Maxime,

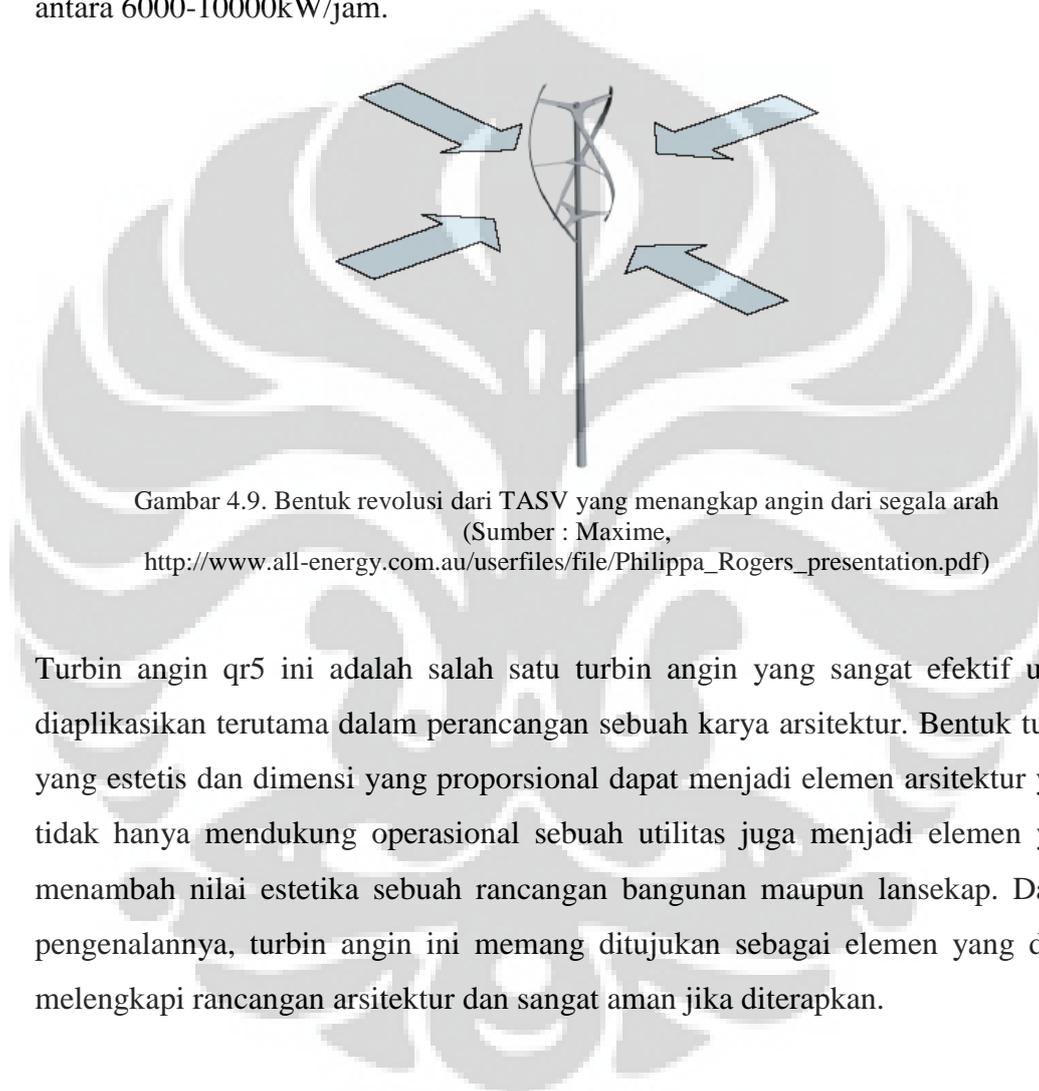
http://www.all-energy.com.au/userfiles/file/Philippa_Rogers_presentation.pdf)

Dimensi	: 5m tinggi x 3.1m diameter
Konstruksi	: Karbon dan kipas kaca komposit dan kisi-kisi
Generator	: <i>Direct Drive</i> , Magnet Permanen, Puncak 6kW
Pengendalian	: <i>Peak Power Tracking</i> dan <i>remote-monitoring</i>
Operasi	: 4.5m/s sampai 16m/s
Tinggi Tiang	: 3m, 6m, 9m, 15m
Energi	: 4,000-11,000kWh/tahun (tergantung kecepatan angin) ⁵⁵

Turbin angin qr5 ini adalah salah satu turbin angin yang berkembang di London dan kini diperjual-belikan ke negara-negara di seluruh dunia. Turbin angin ini dikembangkan untuk menjawab kondisi energi angin lokal yang tidak terlalu kuat (lingkungan yang berpotensi angin seperti di daerah pesisir tidak menjadi

⁵⁵ Philippa Rogers, "An introduction to quietrevolution and the qr5 wind turbine", http://www.all-energy.com.au/userfiles/file/Philippa_Rogers_presentation.pdf, 11 Mei 2012(23:00)

patokan). Turbin angin ini dirancang untuk diterapkan di bangunan atau dekat dengan bangunan/lingkungan karena rancangannya bebas polusi suara dan sangat peforma dalam turbulen sehingga tidak meresahkan. Berbeda dengan turbin tradisional, turbin ini dapat menangkap angin dari berbagai arah dan merupakan bentuk inovasi dari TASV. Energi yang dihasilkan dari turbin ini sangat bergantung dari tenaga angin, namun rentang energi yang dihasilkan berkisar antara 6000-10000kW/jam.

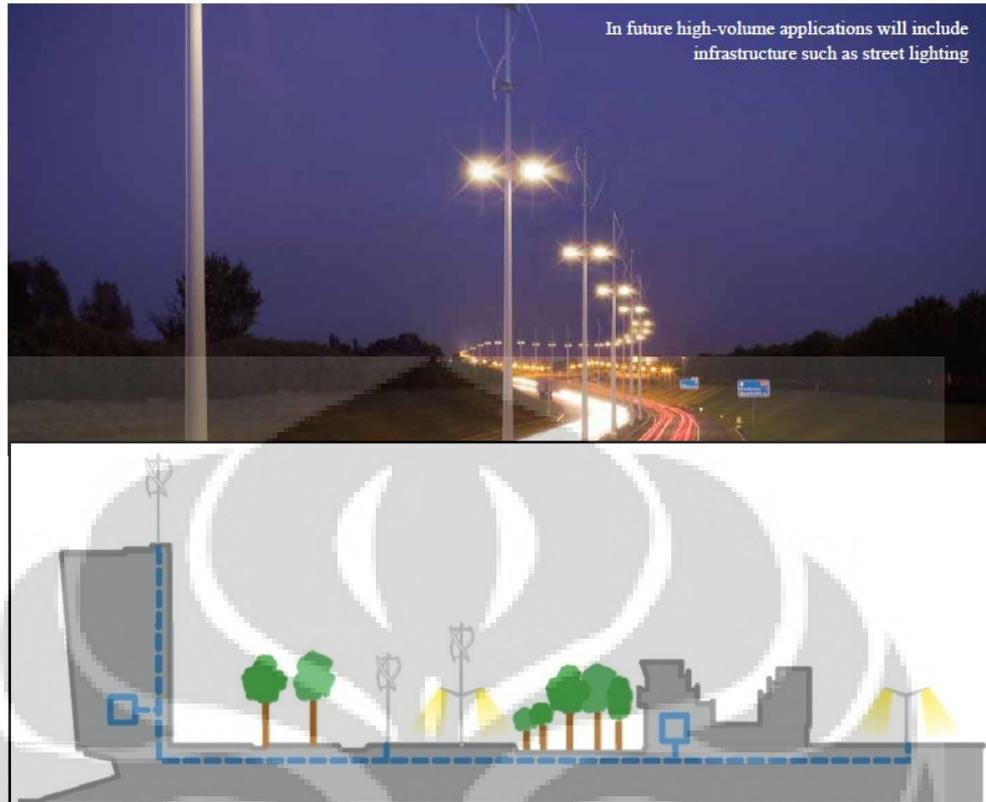


Gambar 4.9. Bentuk revolusi dari TASV yang menangkap angin dari segala arah
(Sumber : Maxime,
http://www.all-energy.com.au/userfiles/file/Philippa_Rogers_presentation.pdf)

Turbin angin qr5 ini adalah salah satu turbin angin yang sangat efektif untuk diaplikasikan terutama dalam perancangan sebuah karya arsitektur. Bentuk turbin yang estetik dan dimensi yang proporsional dapat menjadi elemen arsitektur yang tidak hanya mendukung operasional sebuah utilitas juga menjadi elemen yang menambah nilai estetika sebuah rancangan bangunan maupun lansekap. Dalam pengenalannya, turbin angin ini memang ditujukan sebagai elemen yang dapat melengkapi rancangan arsitektur dan sangat aman jika diterapkan.

4.2.1. Pengaplikasian

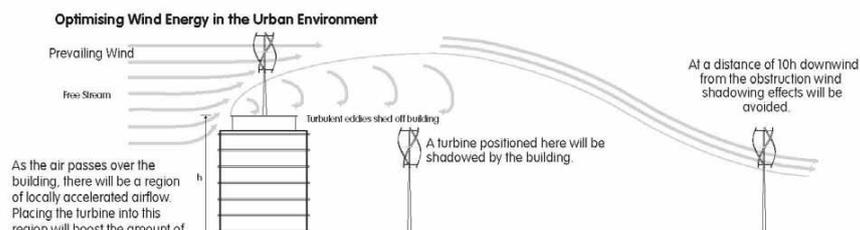
Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, turbin angin ini memang ditujukan salah satunya adalah untuk melengkapi rancangan arsitektur baik diterapkan pada bangunan maupun di lingkungan. Rencananya, turbin ini dijadikan sebagai elemen infrastruktur kota yaitu untuk penerangan jalan.



Gambar 4.10. *Qr5* direncanakan sebagai komponen infrastruktur kota untuk penerangan jalan dan juga komponen pelengkap dalam arsitektur (Sumber : Maxime, http://www.all-energy.com.au/userfiles/file/Philippa_Rogers_presentation.pdf)

Jika dilihat potensi angin yang terjadi di jalan akibat pergerakan kendaraan jelas turbin angin ini sangat berpotensi memutar bilah turbin yang memang dirancang untuk menangkap angin yang memiliki kekuatan rendah. Dengan pertimbangan dari segi keamanan dan jarak yang efektif, turbin qr5 ini sangat kompeten untuk diterapkan pada kondisi seperti jalan di atas.

Sementara jika dilihat pada kondisi urban yang terdiri dari bangunan dan jalan, aliran angin dapat diilustrasikan sebagai berikut.



Gbr.4.11. Aliran angin terjadi di kawasan urban. Angin tidak terputus hanya di atas bangunan (Sumber : Maxime, http://www.all-energy.com.au/userfiles/file/Philippa_Rogers_presentation.pdf)

Jika memanfaatkan aliran angin seperti yang dilustrasikan seperti gambar di atas maka turbin angin ini sangat optimalkan diterapkan di kawasan urban sehingga tidak heran jika turbin ini kini menjadi sangat populer dan diterapkan di berbagai bangunan. Salah satu bangunan yang menggunakan turbin ini adalah *City House* di Croydon, UK.



Gbr.4.12. City House di Croydon dengan 8 Turbin qr5 di atapnya
(Sumber : <http://www.vebra.com/vebra/buying/directory/London/Norwood>)

Berbeda dengan Bahrain WTC, City House ini menggunakan turbin angin setelah bangunan berdiri. Peletakkannya diposisikan di atap bangunan untuk mendapat angin yang maksimal dan menghadap ke depan sehingga terlihat dari fasad bangunan. Jika dilihat dari kasus City House ini, turbin angin tetap menjadi elemen yang menarik meskipun tidak terlihat selaras dengan rancangan bentuk bangunan. Meskipun turbin angin dipasang sebagai elemen tambahan namun bangunan ini menjadi bangunan yang cukup dikenal salah satunya karena kehadiran turbin angin ini.

Perbedaan mendasar dari kedua kasus ini memang pada alur pengaplikasian turbin angin ke dalam arsitektur. Kasus pertama, turbin angin memang menjadi objek perancangan bangunan, sementara pada kasus kedua turbin dirancang sedemikian rupa agar dapat diterapkan ke dalam karya arsitektur. Meskipun demikian, kedua kasus menunjukkan bagaimana turbin angin bisa menjadi elemen yang mendukung kualitas dari sebuah karya arsitektur dan lingkungannya.

BAB V SIMPULAN

Maraknya isu-isu kerusakan lingkungan dan perdebatan tentang eksistensi alam yang semakin terguncang diakibatkan oleh salah satunya adalah pekerjaan di bidang arsitektur memunculkan paham-paham arsitektur yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas lingkungan. Paham-paham arsitektur yang berlandaskan terhadap lingkungan diantaranya adalah arsitektur biologik, ekologi arsitektur, *green architecture and sustainable architecture*, dan efisiensi energi dalam arsitektur. Paham-paham ini memiliki prinsip yang sama yaitu sangat tanggap terhadap lingkungan dan alam secara global, meskipun dengan konsep yang berbeda-beda.

Dari seluruh paham-paham yang dipaparkan tersebut, satu hal yang sangat penting yang perlu diperhatikan dalam arsitektur adalah penataan energi. Arsitektur memiliki andil besar dalam mengkonsumsi energi terutama di era yang serba modern dan canggih seperti ini. Namun, untuk menghambat penggunaan energi secara berlebihan dari sumber energi terbatas seperti migas, teknologi-teknologi bermunculan untuk menghasilkan energi alternatif. Salah satu yang dikenal adalah teknologi kincir angin atau turbin angin. Teknologi ini memanfaatkan sumber energi terbarukan yaitu angin dan mengkonversinya menjadi sumber energi yang lebih bermanfaat seperti sumber energi listrik. Seiring perkembangan zaman, teknologi juga terus berkembang guna memenuhi kebutuhan manusia secara lebih efektif, dan teknologi ini masuk ke dalam dunia arsitektur sebagai elemen yang menunjukkan sisi ramah lingkungan dalam sebuah desain.

Keberhasilan turbin angin dalam arsitektur ternyata tidak hanya dalam menghasilkan energi, namun juga menjadi elemen arsitektur yang memberi nilai tambahan estetika dan ekonomi dalam sebuah rancangan. Hal ini terbukti dari desain WTC Bahrain yang mampu mempertontonkan ke mata dunia bahwa desainnya menggunakan turbin angin sebagai elemen yang atraktif pada fasadnya dan juga mengurangi beban biaya penggunaan energi dan beban pengrusakan

lingkungan. Meskipun demikian masih ada beberapa hal yang menjadi kekurangan dari desain turbin dan WTC Bahrain ini yang mesti dapat dieksplor dan dikembangkan lebih baik lagi.

Terkait faktor biaya yang cukup besar dan potensi angin yang tidak terlalu menjamin mungkin menjadi penyebab mengapa turbin angin kurang begitu populer di Indonesia menurut salah seorang pihak penyedia energi alternatif di Indonesia. Perusahaan Egra sebagai pembuat turbin lebih dikenal di kalangan pertanian dan masyarakat di daerah yang tidak terjangkau sumber energi listrik, sementara arsitektur di perkotaan seperti Jakarta hampir tidak ada yang mengembangkan teknologi turbin ini. Padahal jika dibandingkan dengan negara Bahrain sebagai salah satu negara penghasil minyak bumi terbesar di dunia, arsitektur Bahrain lebih peka melirik energi alternatif seperti tenaga angin untuk dijadikan elemen arsitektur yang menyatu dengan lingkungannya, sementara arsitektur di Indonesia tidak tertarik untuk menerapkannya.

Turbin angin sebagai sebuah inovasi teknologi yang memiliki potensi untuk mendukung kualitas lingkungan menjadi elemen yang tepat disandingkan dalam desain arsitektur, tidak hanya bangunan tetapi juga lanskap. Turbin angin ini dikembangkan sesuai kebutuhan dan sesuai kondisi daerah dengan karakter anginnya sehingga banyak turbin angin berfungsi dengan maksimal di tempat turbin tersebut dirancang.

LAMPIRAN 1

Wawancara (Rabu, 28 Maret 2012)

Tema Skripsi : Teknologi Terapan pada Hunian
Fokus Bahasan : Kincir Angin sebagai Pemompa Air
Narasumber : Hasim Hanafie

Pertanyaan : Apa latar belakang atau ide pemikiran untuk membuat kincir angin ini?

Jawab : *Awalnya saya bersama teman-teman yang lain memiliki kebun sebesar 10ha. Kondisi air di sana sangatlah sulit sementara kebun tersebut harus diari secara rutin. Sudah berbagai cara kami lakukan untuk mengairi kebun tersebut dengan mencari sumber listrik. Namun biaya yang dikeluarkan pastinya tidak sedikit untuk memompa air ke seluruh bagian kebun sehingga muncullah ide untuk membuat kincir angin ini. Dengan memanfaatkan energi angin untuk memompakan air maka dapat menghemat energi sekaligus biaya.*

Pertanyaan : Sebenarnya apa tujuan dari PT.Egra ini, apakah peduli energi atau untuk komersil saja? Karena yang saya dapat ternyata Egra ini sekarang menjual kincir angin dan menyediakan pemasangan.

Jawaban : *Awalnya kami memang memikirkan bagaimana agar menciptakan alat yang dapat memompa air tanpa memakai energi listrik karena yang seperti saya ceritakan bahwa untuk memompa air untuk mengairi seluruh kebun membutuhkan energi yang tidak sedikit. Namun setelah sukses membuat kincir angin ini kami mencoba untuk menjualnya, karena selain memberi keuntungan untuk pemilik kebun yang memiliki masalah seperti kami, juga memberi keuntungan untuk kami pastinya.*

Pertanyaan : Boleh saya tahu apa latar belakang pendidikan Bapak?

Jawaban : *Saya lulusan S1 Teknik Mesin UI dan lulusan S2 Teknik Industri UI*

Pertanyaan : Apakah kincir angin ini diterapkan untuk perkebunan saja atau sudah diterapkan di dalam permukiman perumahan? Daerah mana saja yang sudah diterapkan kincir angin ini?

Jawaban : *Kincir angin ini tidak hanya untuk perkebunan, sudah ada yang diterapkan di daerah permukiman juga. Daerah yang paling jauh yang sudah ada kincir angin ini adalah di Sumatera Utara itu untuk perkebunan, sedangkan untuk permukiman diterapkan di ujung Nusa Tenggara.*

- Pertanyaan : Bagaimana prosesnya kincir angin ini diterapkan di permukiman?
- Jawaban : *Awalnya pasti dari permintaan masyarakat di permukiman itu. Mereka mengajukan kepada pemerintah setempat untuk menyediakan sumber air bersih untuk daerah mereka. Pemerintah pastinya sudah mencoba berbagai macam cara sampai akhirnya memilih untuk memakai energi alternatif yaitu dengan kincir angin ini. Dari pemerintah tersebut yang meminta kepada kami dan kemudian pihak kami baru bergerak memasang kincir angin ke daerah yang disebutkan. Namun sebelumnya kami sudah mengatakan bahwa pemasangan kincir angin di permukiman cukup berbahaya karena keadaan cuaca yang tidak dapat diatur memungkinkan kincir tidak beroperasi dengan normal.*
- Pertanyaan : Jadi masalah terbesar untuk penerapan kincir angin ini adalah cuaca yang buruk?
- Jawaban : *Ya tentu saja cuaca yang buruk, lebih tepatnya alam sebenarnya. Keadaan alam tidak dapat kita atur prediksi, misalnya saja gempa. Kalau terjadi gempa tentu saja kincir angin ini tidak seimbang atau mungkin terjatuh. Alam adalah masalah terbesar yang Egra hadapi pastinya.*
- Pertanyaan : Bagaimana dengan pertimbangan site dalam menerapkan kincir angin ini?
- Jawaban : *Angin yang paling cocok sebenarnya adalah daerah pantai. Angin di pantai umumnya konstan. Namun untuk tetap mendapatkan angin yang cukup untuk menggerakkan kincir ini maka kami memasang kincir dengan ketinggian standar 20m dari permukaan.*
- Pertanyaan : Dari cerita sebelumnya, sepertinya pihak Egra memang mengkondisikan kincir angin ini untuk kepentingan komersil. Namun, apakah tidak mencoba untuk mengembangkan kincir angin ini agar bisa diterapkan di permukiman atau dapat memacu masyarakat untuk peduli terhadap pemanfaatan energi alternatif tidak hanya energi listrik seperti yang masyarakat kenal?
- Jawaban : *Hal itu tentunya sulit. Masalah untuk itu pastinya adalah biaya. Karena biaya untuk membangun sebuah kincir mencapai 100juta. Sementara untuk menghasilkan air dengan ukuran yang setara dengan kincir tersebut mungkin memerlukan pompa yang harganya tidak sampai 10jt. Tapi kelebihanannya adalah setelah menggunakan kincir tidak memerlukan listrik dan biaya lagi, sementara untuk pompa seukuran itu pastinya memakan listrik cukup besar.*

Pertimbangan harga ini yang menyebabkan masyarakat pastinya enggan memasang kincir. Jika tidak dengan subsidi pemerintah, masyarakat pasti akan merasa terbebani dengan harga yang mahal seperti itu.

- Pertanyaan : Lalu, apakah tidak ada cara untuk meminimalisir harga tersebut?
Jawaban : *Kami sudah mencoba dengan memimalisir material untuk rangkanya dengan mengurangi ketinggian kincir, dari 20meter menjadi 10meter. Tapi hal ini justru tidak membuat kincir bekerja secara maksimal. Karena dengan ketinggian 10meter, angin yang datang tidak konstan, sehingga tidak heran penghuni yang menggunakan kincir ini sering berharap-harap datangnya angin. Kalau tidak ada angin maka air pun tidak mengalir.*
- Pertanyaan : Kira-kira untuk satu kincir angin dapat mensupply air rata-rata berapa banyak?
Jawaban : *Untuk permukiman, satu kincir angin dapat mengalirkan air 1 sampai 2 kubik per-jam.*
- Pertanyaan : Berapa lama kincir angin akan bertahan, atau berapa lama masa aktif kincir pada umumnya?
Jawaban : *Jika maintanancenya bagus maka kincir angin dapat beroperasi lebih dari 5 tahun dan waktu itu pastinya tidak ada bencana alam yang mengkhawatirkan, seperti gempa bumi dan semacamnya.*

LAMPIRAN 2

Wawancara (Jumat, 18 Mei 2012)

Judul Skripsi : “ **WIND POWER ARCHITECTURE : Paradigma Turbin Angin dalam Arsitektur** ”

Narasumber : Zarkasi (Operator)
Ika Kartika (Operator)

Lokasi : Workshop Egra Bogor, sebelah BHI

Pertanyaan : Sumber listrik untuk tempat workshop ini berasal dari mana?

Jawaban : *Bangunan ini masih menggunakan sumber listrik dari PLN, namun kami juga menggunakan energi alternatif dari turbin angin dan solar panel untuk kemudian disimpan di dalam accumulator (Aki)*

Pertanyaan : Kapan energi dari turbin angin dan solar panel ini digunakan?

Jawaban : *Biasanya digunakan untuk penerangan di malam hari, atau jika mati lampu saja.*

Pertanyaan : Bagaimana mekanisme kerja turbin angin ini secara garis besar?

Jawaban : *Sistemnya ngecas Aki, jadi setiap putaran kipas yang diterima dari tenaga angin dikonversi menjadi energi listrik melalui alat yang dinamakan dinamo yang kemudian energi tersebut disimpan di dalam Aki, dari Aki energi baru dapat digunakan. Namun dari Aki ini arus listrik yang dihasilkan masih berupa arus AC sehingga harus diubah terlebih dahulu ke arus DC karena arus DC umumnya yang digunakan untuk perabotan listrik. Alat yang digunakan untuk mengubah arus listrik ini disebut inverter, alat ini kami letakkan dalam panel listrik.*

Pertanyaan : Kenapa masih menggunakan sumber listrik dari PLN?

Jawaban : *Ada beberapa hal yang menjadi faktor mengapa kami masih menggunakan sumber energi listrik dari PLN, salah satunya adalah pekerjaan di workshop ini menggunakan tegangan dan energi listrik yang lebih besar dari sekedar energi yang di simpan di dalam Aki, seperti pekerjaan pembuatan cat. Energi yang disimpan di dalam Aki sifatnya terbatas dan butuh beberapa waktu untuk untuk ngecas kembali.*

Pertanyaan : Berapa besar energi yang dihasilkan dari satu turbin angin ini?

Jawaban : *Dari satu turbin angin ini menghasilkan 700Watt untuk satu dinamo, jika menggunakan 2 buah dinamo energi yang dihasilkan sekitar 1700Watt. Waktu itu pernah dicoba untuk menggunakan 2 dinamo namun angin di sini kurang kuat untuk memutar gearbox jika dipasangkan pada kedua dinamo.*

Pertanyaan : Berapa kecepatan angin rata-rata di daerah ini? Apakah angin tetap diperhitungkan ketika turbin akan dipasang?

Jawaban : *Untuk di tempat workshop ini kecepatan angin di sini rata-rata 9m/s, tetapi kami tidak begitu yakin karena pengecekan terakhir dilakukan tahun lalu. Biasanya sebelum dipasang, ada dari tim kami yang bertugas sebagai surveyor untuk mengecek kondisi lingkungan dan mengukur kecepatan angin di daerah yang ingin dipasang turbin.*

Pertanyaan : Apakah komponen turbin angin berasal dari onderdil bekas mobil?

Jawaban : *Benar, komponen penyusun turbin ini sebagian besar menggunakan barang-barang yang sudah tidak dipakai, seperti onderdil mobil, ada gearbox dan dynamo.*

Pertanyaan : Adakah alat yang mengatur kecepatan angin, atau parameter kecepatan angin untuk memutar kipas?

Jawaban : *Untuk mengatur kecepatan angin kami menggunakan alat yang disebut potensio.*

Pertanyaan : Bagaimana arah angin di daerah sini? Bagaimana arah kipas terhadap arah angin?

Jawaban : *Untuk turbin yang digunakan di sini menggunakan poros yang dapat berputar 360° sehingga berputar mengikuti arah angin. Ini lebih praktis untuk turbin jenis horizontal seperti ini.*

LAMPIRAN 3

Foto-foto EGRA WORKSHOP :



Gearbox, dinamo, dan komponen-komponen lainnya.(posisi sedang tidak terpasang)



Miniatur Turbin Angin



Komponen Panel Listrik



Tiang tempat menyangga kipas turbin dan komponen-komponen di dalam gearbox.
Tinggi tiang 18 meter.



Alat-alat untuk pengelolaan pembuatan cat