

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu.

Bernandes (2013) dalam penelitiannya tentang *On The Heat Storage in Solar Updraft Tower Collectors*. *Solar updraft tower* adalah teknologi pembangkit listrik yang didasarkan dengan tiga prinsip: efektifitas kolektor pada rumah kaca, aliran tekanan udara keatas menara (*tower*) dari pusat kolektor, energi kinetik dari turbin yang berada pada bagian akhir kolektor sebelum ke menara. Pembangkit listrik yang bekerja dengan menggunakan tenaga panas, kolektor merupakan alat yang paling penting dalam kinerja *solar updraft tower*.

Hammadi (2008) dalam penelitiannya tentang *Solar Updraft Tower Power Plant with Thermal Storage*. Sebuah model matematik yang disajikan untuk pembangkit listrik *solar updraft tower* dengan sistem penyimpanan panas pada air. Model ini dikembangkan untuk mengevaluasi efek parameter geometris dari pembangkit *solar updraft tower* serta kecepatan angin pada produksi listrik dari pembangkit tersebut. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa *water storage* penyimpanan energi panas tidak berpengaruh signifikan terhadap daya keluaran. Tinggi menara dan diameter kolektor memiliki dampak yang signifikan terhadap produksi listrik.

Bergermann (2005) dalam penelitiannya tentang *Design of Commercial Solar Updraft Tower Systems*. Penelitiannya yang rinci, didukung angin yang ektensif dengan percobaan pada bagian lorong, menunjukkan bahwa perhitungan termodinamika dari kolektor, menara, dan turbin sangat handal untuk pembangkit listrik yang baik. Meskipun membutuhkan tempat yang besar atau luas dan perbedaan volume antar pembangkit di Mazanares, faktor termodinamika merupakan kunci dalam menentukan suatu ukuran pembangkit tersebut. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan menunjukkan dalam periode empat hari pada saat musim panas dan musim dingin, pembangkit ini dengan kapasitas penyimpanan tambahan mencakup 25% dari total luas kolektor beroperasi selama 24 jam per hari, pada saat musim panas hampir mencapai keluaran nominal, dan keluaran menurun sangat signifikan pada musim dingin.

Ardian (2006) dalam penelitiannya tentang Panas Matahari Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik. Penggolongan teknologi konversi termal matahari menjadi energi listrik dibagi menjadi dua macam yaitu *mirror system* dan *moving air system*. Inti dari teknologi *mirror system* adalah cermin sebagai pemantul sinar matahari ke *receiver*, dan melalui *receiver* tersebut matahari akan berpindah panas hingga suhu 570 derajat *celcius*. Teknologi *moving air system* menggunakan prinsip perbedaan berat jenis udara pada suhu yang berbeda. Sirkulasi antara udara panas dan udara dingin akan menghasilkan aliran udara / angin.

2.2 Dasar Teori.

2.2.1 Energi Termal Matahari.

Matahari adalah sumber energi utama yang memancarkan energi yang luar biasa besarnya ke permukaan bumi. Pada keadaan cuaca cerah, permukaan bumi menerima sekitar 1000 watt energi matahari per-meter persegi. Sebagian dari energi tersebut dipantulkan kembali ke angkasa, sebagian lagi dikonversikan menjadi panas, yang lainnya digunakan untuk seluruh sirkulasi kerja yang terdapat di atas permukaan bumi, sebagian kecil ditampung angin, gelombang dan arus dan masih ada bagian yang sangat kecil disimpan melalui proses fotosintesis dalam tumbuh-tumbuhan yang akhirnya digunakan dalam proses pembentukan batu bara dan minyak bumi (bahan bakar fosil) yang saat ini digunakan secara ekstensif dan eksploratif bukan untuk bahan bakar.

Karena pembangkit listrik tenaga surya sanggup menyediakan energi listrik bersih tanpa polusi, tidak merusak lingkungan, dan ekosistem, dan utamanya lagi pembangkit listrik tenaga surya relatif efisien, tidak ada pemeliharaan yang spesifik dan bisa mencapai umur yang panjang serta mempunyai keandalan yang tinggi.

Surya Termal adalah teknologi konversi energi radiasi matahari menjadi energi panas / termal dengan menggunakan alat pengumpulan panas atau dikenal sebagai “Kolektor Surya”. Kolektor surya merupakan piranti utama dalam sistem surya termal yang berfungsi mengumpulkan dan menyerap radiasi sinar matahari yang kemudian mengkonversinya menjadi

energi panas. Ketika cahaya matahari menimpa absorber pada kolektor surya, sebagian cahaya akan dipantulkan kembali ke lingkungan dan sebagian besar lagi akan diserap dan diubah menjadi panas, panas tersebut dipindahkan kepada fluida (air atau udara) yang bersirkulasi di dalam kolektor surya kemudian dimanfaatkan untuk memutar kincir.

a. Kelebihan Pemanfaatan Energi Matahari.

Energi Matahari merupakan sumber daya yang tidak hanya berkelanjutan (sustainable), akan tetapi juga dapat diperbaharui terus menerus (setidaknya sampai matahari habis dalam miliaran tahun). Tenaga surya dapat digunakan untuk menghasilkan listrik, juga digunakan dalam teknologi yang relatif sederhana untuk memanaskan air (pemanas air matahari). Keuntungan lainnya adalah operasional tenaga surya sangat minim polusi udara sehingga sangat ramah lingkungan. Kecilnya dampak lingkungan, dengan polusi yang hampir tidak ada, dan sedikitnya noise yang dihasilkan setiap kilometer dapat mengurangi CO₂ sebanyak 150 sampai 250 kg.

b. Kelemahan Pemanfaatan Energi Matahari.

Kelemahan utama dari tenaga surya adalah bahwa jelas energinya bergantung pada cuaca, bila saat mendung maka energi surya kurang maksimal. Sistem hanya bisa digunakan saat matahari bersinar dan tidak bisa menghasilkan energi listrik di malam hari. Tingginya biaya awal pembangunan pembangkit listrik tenaga surya. Membutuhkan lahan yang

sangat luas untuk membangun sebuah *power plant*. Lapisan kolektor yang menyilaukan bisa mengganggu dan membahayakan, misalnya penerbangan.

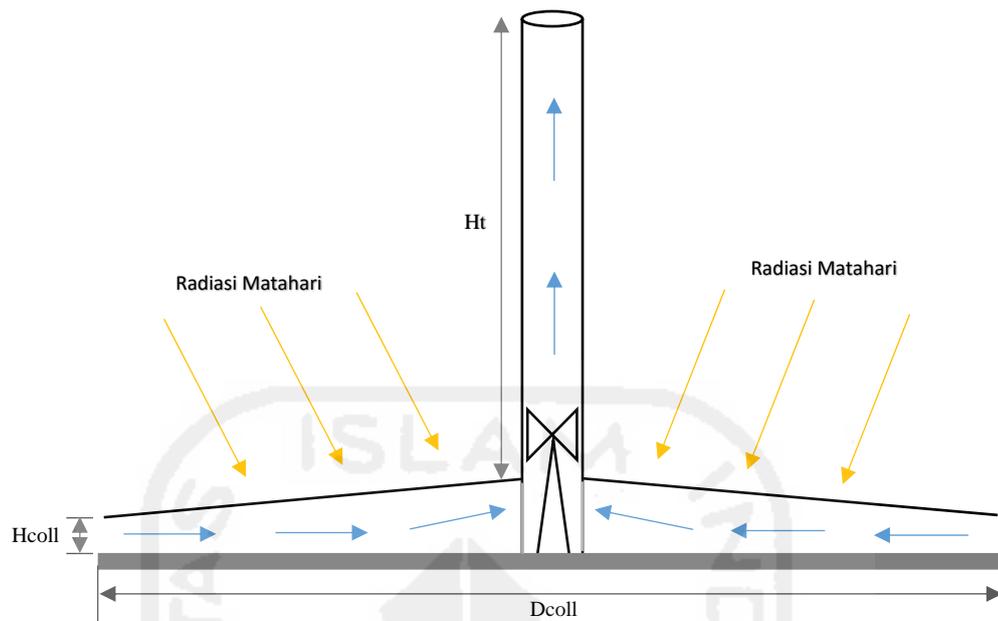
2.2.2 Solar Updraft Tower.

Solar updraft tower merupakan salah satu alat pengkonversi panas tidak langsung. Ada tiga kompoen utama dari pembangkit listrik SUT, yaitu:

1. Luasan dari kolektor.
2. Tinggi menara yang berada ditengah kolektor.
3. Posisi turbin yang dikopel dengan generator.

Teknologi pembangkit listrik *solar updraft tower* yang didasarkan dengan tiga prinsip: efektifitas kolektor pada rumah kaca, aliran tekanan udara keatas menara (*tower*) dari kolektor, energi kinetik dari turbin yang berada pada bagian akhir kolektor sebelum ke menara.

Pembangkit listrik yang bekerja dengan menggunakan tenaga panas, kolektor merupakan alat yang paling penting dalam kinerja *solar updraft tower*. Panas terkumpul di dalam kolektor dan akan mengalir dengan udara, dan ada yang dipantulkan kembali ke langit dan terserap ke dalam tanah. Secara alami panas yang tersimpan ke dalam tanah bagian bawah SUT kolektor dapat juga untuk menyimpan energi panas. Listrik yang dihasilkan SUT tergantung dengan volume dari ketinggian tower dan area kolektornya. Bagian-bagian pada SUT antara lain:



Gambar 2.1. Model Pembangkit Listrik *Solar Updraft Tower*.

a. Kolektor.

Kolektor berfungsi untuk menangkap radiasi sinar matahari. Udara panas yang mengalir pada *solar updraft tower* dihasilkan dari efek rumah kaca (*greenhouse effect*) melalui sebuah kolektor yang berupa lembaran diletakan secara horizontal diatas permukaan tanah. Kolektor ini menangkap radiasi sinar matahari, kemudian meneruskannya untuk memanaskan tanah dibawahnya. Tanah ini kemudian juga mengalirkan panasnya pada udara diatasnya yang mengalir secara radial dari luar menuju cerobong. Semakin luas area kolektor, semakin tinggi temperatur udara yang dihasilkan, dan semakin besar daya listrik yang dapat dihasilkan.

Besarnya masukan energi matahari Q_{solar} yang diserap oleh kolektor bisa didapat dengan persamaan berikut, dengan radiasi matahari global G_h dan area kolektor A_{coll} :

$$Q_{\text{solar}} = G_h \cdot A_{\text{coll}} \quad (2.1)$$

Dimana:

G_h : Radiasi matahari (W/m^2)

A_{coll} : Area kolektor (m^2)

Aliran masa udara melalui kolektor sebagai aliran antara plat parallel yang lebarnya terbatas, dari kolektor menuju ke menara dengan persamaan sebagai berikut:

$$\dot{m}_a = \rho_{a,o} \frac{\pi}{4} D_t^2 U_t = \rho_a \pi D_{\text{coll}} H_{\text{coll}} U_{\text{coll}} \quad (2.2)$$

Dengan:

$$\rho_a = \frac{\rho_{a,i} + \rho_{a,o}}{2} \quad (2.3)$$

Dimana:

\dot{m}_a : Laju aliran masa udara (kg/s)

ρ_a : Kerapatan udara (kg/m^3)

$\rho_{a,o}$: Kerapatan udara diluar kolektor (kg/m^3)

$\rho_{a,i}$: Kerapatan udara didalam kolektor (kg/m^3)

D_t : Diameter menara (m)

U_t : Kecepatan angin dimenara (m/s)

π : Phi (3.14)

D_{coll} : Diameter kolektor (m)

H_{coll} : Tinggi kolektor (m)

U_{coll} : Kecepatan kolektor (m/s)

Kecepatan udara rata-rata melalui kolektor dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\bar{U}_{coll} = \frac{\dot{m}_a}{2\pi\rho_a(r_{coll}-r_t)} \ln \frac{r_{coll}}{r_t} \quad (2.4)$$

Dimana:

$r_{coll} = (D_{coll} / 2)$: Jari-jari kolektor (m)

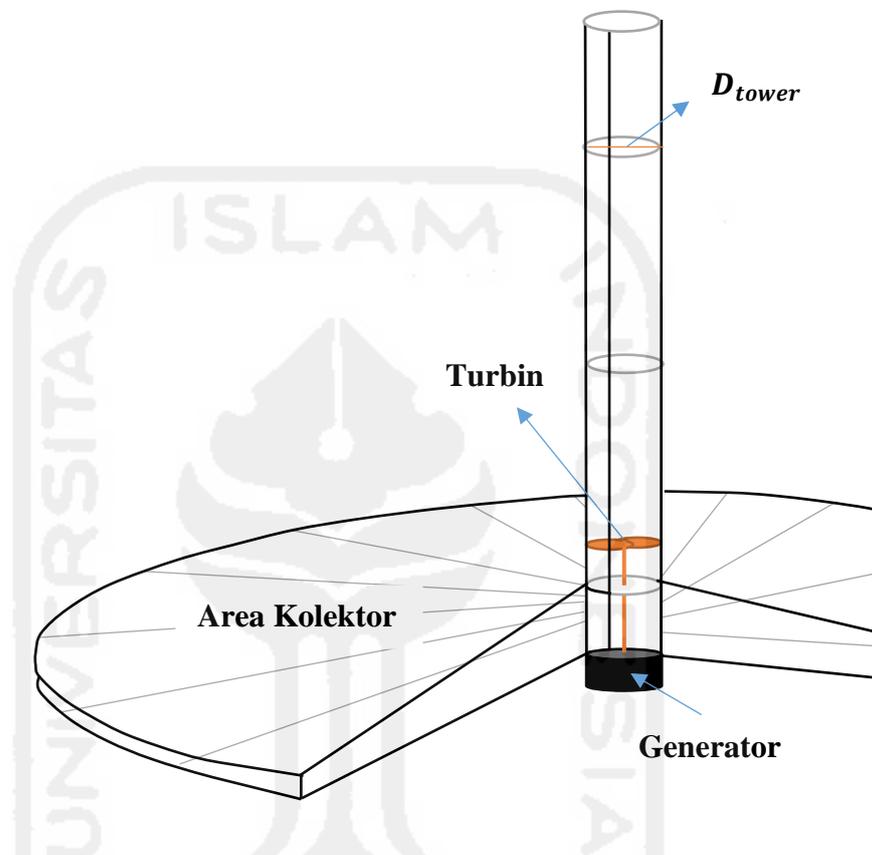
$r_t = (D_t / 2)$: Jari-jari menara (m)

b. Tower.

Tower atau Menara adalah salah satu komponen utama dari pembangkit listrik *solar updraft tower*. Peningkatan suhu udara pada kolektor untuk pembangkit listrik ini berskala besar, dapat menghasilkan kecepatan aliran udara pada *tower* atau menara. Semakin tinggi menara akan menghasilkan kecepatan aliran udara yang semakin besar.

Untuk mendapatkan nilai kecepatan laju aliran udara panas di menara dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$U_t = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{a,o}}} \quad (2.5)$$



Gambar 2.2 Komponen kolektor dan menara dari *Solar Updraft Tower*.

Dan perbedaan tekanan udara antara didasar menara surya dan udara sekitar ditentukan oleh:

$$\Delta p = g(T_{a,o} - T_{\infty})H_t \quad (2.6)$$

Dimana:

Δp : Perbedaan tekanan udara

H_t : Tinggi menara (m)

g : gravitasi (9.81) (m/s²)

$T_{a,o}$: Suhu keluaran dari kolektor (°C)

T_{∞} : Suhu lingkungan (°C)

Dengan demikian, persamaan (2.5) dapat ditulis dalam jangka waktu perbedaan suhu sebagai berikut:

$$U_t = \sqrt{\frac{2gH_t(T_{a,o} - T_{\infty})}{T_{\infty}}} \quad (2.7)$$

Efisiensi menara dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\eta_{tower} = \frac{g \cdot H_t}{c_p \cdot T_{\infty}} \quad (2.8)$$

Dimana:

η_{tower} : Efisiensi menara

c_p : Konstanta turbin angin (0.592)

2.2.3 Turbin.

Turbin adalah alat yang digunakan untuk merubah energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik. Sehingga dari energi mekanik tersebut akan menghasilkan putaran poros yang akan terhubung langsung dengan generator. Pemasangan turbin pada pembangkit *solar updraft tower* terdapat dua teknis pemasangan, yaitu secara horizontal dan vertikal.

1. Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH).

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil

diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan.

2. Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. VAWT mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Dengan sumbu yang vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. Drag (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar.

Sistem Konversi Energi Angin (SKEA)

Sistem konversi energi angin merupakan suatu sistem yang bertujuan untuk mengubah energi potensial angin menjadi energi mekanik poros oleh rotor untuk kemudian diubah lagi oleh alternator menjadi energi listrik. Prinsip utamanya adalah mengubah energi angin menjadi energi kinetik poros. Besarnya energi yang dapat ditransferkan ke rotor tergantung pada massa jenis udara, luas area dan kecepatan angin.

Daya yang dihasilkan dari pembangkit solar updraft tower, setelah dipasang dengan turbin:

$$P_{turbin} = \frac{1}{2} \dot{m}_a U_t^2 \quad (2.9)$$

Dimana:

P_{turbin} : Daya turbin (watt)

2.2.4 Generator

Generator adalah alat untuk merubah energi meknik atau putaran rotor menjadi energi. Generator dalam pembangkit ini penempatannya dibawah kolektor. Generator yang digunakan pada pembangkit listrik *solar updraft tower* terdapat 2 jenis yaitu:

1. Generator AC

Generator AC adalah generator arus bolak-balik yang berfungsi mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik arus bolak-balik.

Generator arus bolak-balik sering disebut juga sebagai alternator atau generator AC (*alternating current*) atau juga generator sinkron.

1. Generator arus bolak-balik 1 fasa.
2. Generator arus bolak-balik 3 fasa.

2. Generator DC

Generator DC adalah sebuah perangkat mesin listrik dinamis yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator DC dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan dari rangkaian belitan magnet atau penguat eksitasinya terhadap jangkar (anker), jenis generator DC yaitu:

1. Generator penguat terpisah.
2. Generator shunt.
3. Generator kompon.

Generator bekerja berdasarkan hukum *faraday* yakni apabila suatu penghantar diputar dalam sebuah medan magnet sehingga memotong garis gaya magnet maka pada ujung penghantar tersebut akan timbulkan ggl (garis gaya listrik). Besar tegangan generator bergantung pada: Kecepatan putaran (N), Jumlah kawat pada kumparan yang memotong fluk (Z), banyaknya fluk magnet yang dibangkitkan oleh medan magnet (f).

Pada tabel 2.1 berikut ditunjukkan data putaran nominal generator sinkron untuk beberapa jenis generator yang berbeda kutub. Dengan persamaan putaran generator sebagai berikut:

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (2.10)$$

Dimana:

n : Putaran generator (rpm)

p : pole

f : Frekuensi (Hz)

Tabel 2.1 Putaran Generator Sinkron (rpm)

Jumlah Kutub	Frekuensi 50 Hz
2	3000
4	1500
6	1000
8	750

Persamaan energi listrik yang dihasilkan pada generator bisa didapat dengan persamaan dibawah ini:

$$P_{generator} = \frac{1}{3} \rho_{a,o} A_t U_t^3 \quad (2.11)$$

Dimana:

$P_{generator}$: Daya generator (watt)

A_t : Area menara (m²)

2.2.5 *Gearbox* atau transmisi.

Gearbox adalah alat yang digunakan untuk meningkatkan kecepatan untuk nilai yang jauh lebih tinggi, diperlukan oleh sebagian besar generator untuk menghasilkan listrik. Sebagai contoh: Jika rasio *Gearbox* adalah 1:80 dan jika kecepatan rotor 15 rpm maka *gearbox* akan meningkatkan kecepatan sampai $15 \times 80 = 1.200$ rpm yang diberikan untuk generator poros.

2.2.6 Pengertian Matlab

Matlab (*Matlab Laboratory*) merupakan salah satu bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh *MathWork*. Matlab tidak hanya berfungsi sebagai bahasa pemrograman, tetapi sekaligus sebagai alat visualisasi, yang berhubungan langsung dengan ilmu matematika. Matlab merupakan bahasa pemrograman yang hadir dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan bahasa pemrograman lain yang sudah ada lebih dahulu seperti Delphi, Basic maupun C++.

Didalam Matlab terdapat kemampuan perhitungan, visualisasi, dan pemrograman. Kegunaan MATLAB secara umum adalah untuk: visualisasi, pemodelan, perhitungan matematis, program aplikasi, pembuatan grafis, pendesain algoritma, analisis data, pembuatan prototipe, simulasi, dan eksplorasi. Beberapa bagian dari window Matlab:

1. Current Directory.

Window ini menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan matlab. Kita dapat mengganti direktori ini sesuai dengan tempat direktori kerja yang diinginkan. Default dari alamat direktori berada dalam folder works tempat program files Matlab berada.

2. Command History.

Window ini berfungsi untuk menyimpan perintah-perintah apa saja yang sebelumnya dilakukan oleh pengguna terhadap matlab.

3. Command Window.

Window ini adalah window utama dari Matlab. Disini adalah tempat untuk menjalankan fungsi, mendeklarasikan variable, menjalankan proses-proses, serta melihat isi variable.

4. Workspace.

Workspace berfungsi untuk menampilkan seluruh variabel-variabel yang sedang aktif pada saat pemakaian matlab.

GUI (Graphical User Interface)

GUI merupakan tampilan grafis yang memudahkan user berinteraksi dengan perintah teks. Dengan GUI, program yang dibuat menjadi lebih *user Friendly*, sehingga user mudah menjalankan suatu aplikasi program. Lembar kerja atau *figure* yang digunakan untuk mendesain adalah *blank* GUI. Dalam lembar kerja ini, nantinya perancangan matematis *solar updraft tower* dibuat.