

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Surya

Energi surya adalah energi yang berupa sinar dan panas dari matahari. Energi ini dapat dimanfaatkan dengan menggunakan serangkaian teknologi seperti pemanas surya, fotovoltaik surya, listrik panas surya, arsitektur surya, dan fotosintesis buatan.

Teknologi energi surya secara umum dikategorikan menjadi dua kelompok, yakni teknologi pemanfaatan pasif dan teknologi pemanfaatan aktif. Pengelompokan ini tergantung pada proses penyerapan, pengubahan, dan penyaluran energi surya. Contoh pemanfaatan energi surya secara aktif adalah penggunaan panel fotovoltaik dan panel penyerap panas. Contoh pemanfaatan energi surya secara pasif meliputi mengarahkan bangunan ke arah matahari, memilih bangunan dengan massa thermal atau kemampuan dispersi cahaya yang baik, dan merancang ruangan dengan sirkulasi udara alami.

Pemanfaatan energi surya sudah dilakukan sejak pertama kali kehidupan itu sendiri bermula. Matahari digunakan untuk mengeringkan buah-buahan dan mendapatkan garam dengan mengeringkan air laut. Mulai pada awal abad dua puluh kolektor sinar matahari digunakan untuk memanaskan air. Karena harga bahan bakar fosil semakin tinggi mulai pertengahan decade 70-an, energi matahari menjadi pusat perhatian sebagai salah satu sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) (Vries DKK, 2011).

Beberapa bidang studi dan pemanfaatan energi matahari yaitu antara lain; konversi langsung energi matahari menjadi energi listrik, kolektor energi matahari suhu tinggi yang cocok untuk menggerakkan pembangkit daya, kolektor energi matahari plat datar suhu rendah, dan rancang bangunan yang menggunakan energi matahari secara

pasif. Dalam waktu sehari energi matahari yang tersedia mungkin tidak mencukupi kebutuhan energi secara sempurna, maka dibutuhkan tempat penyimpan energi sebagai komponen yang tak terpisahkan dari suatu rancang bangun sistem energi matahari (Reynold dan Perkins, 1983).

Panjang gelombang radiasi matahari yang diterima di permukaan bumi berada pada daerah 0,29 sampai 2,5 μm . Emisi radiasi dari matahari ke bumi menghasilkan intensitas radiasi surya yang hampir tetap di luar atmosfer bumi. *Solar Constant* (konstanta surya) $G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$ (*World Radiation Center* (WRC)) merupakan energi dari matahari setiap satuan waktu yang diterima suatu satuan area permukaan tegak lurus dengan arah perambatan radiasi pada jarak rata-rata bumi-matahari di luar atmosfer.

Matahari dapat menjadi sumber energi yang cukup untuk keperluan tenaga listrik di seluruh dunia. Sayangnya energi yang berasal dari matahari tidak bersifat homogen. Nilainya tidak saja bergantung kepada cuaca setiap hari, namun berubah-ubah sepanjang tahun. Artinya, energi yang tersedia untuk mengoperasikan peralatan listrik juga akan berubah-ubah.

Energi matahari meningkat hingga mencapai puncaknya pada tengah hari (setengah rotasi antara terbit dan terbenam). Setelah itu (pada saat matahari bergerak ke arah barat), energi yang tersedia berkurang. Efek lain yang kita perlu ingat adalah bahwa bumi mengitari matahari sepanjang tahun. Pada belahan bumi selatan (dan tidak berada di garis katulistiwa) terjadi musim dingin karena jalur matahari akan rendah di ufuk utara. Sebaliknya pada saat musim panas, matahari akan berada pada jalur tinggi di ufuk utara. Saat berada di belahan bumi utara gerak matahari mengikuti jalur yang sama tetapi di ufuk selatan. Hal ini disebut sebagai gerak semu matahari (Vries DKK, 2011).

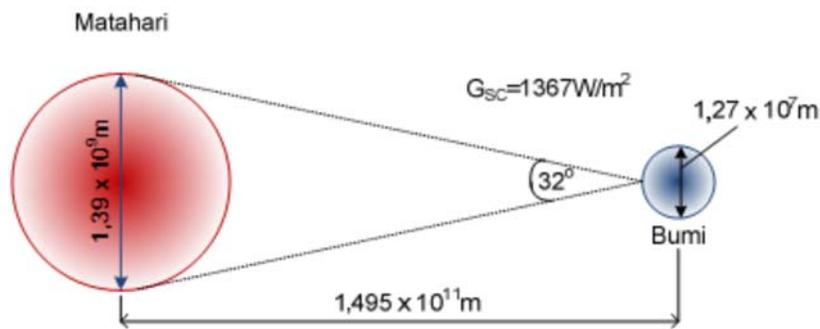
Disadari atau tidak disadari, gerak semu matahari ini mempengaruhi radiasi matahari yang masuk ke bumi. Gerak Semu Harian (Gerak Diurnal), terjadi akibat

rotasi Bumi. Periode menengahnya yakni 24 jam. Arah pergerakannya adalah dari timur ke barat. Kemiringan lintasan gerak harian Matahari tergantung letak geografis pengamat. Lintasan pada bagian ekuator Bumi adalah berupa lingkaran tegak, di bagian kutub mendatar, di belahan Bumi selatan terlihat miring ke arah utara dan sebaliknya di belahan Bumi utara terlihat miring ke selatan. Besar kemiringan tersebut berbanding lurus dengan besar lintangnya (Rachim, 1983).

2.2 Radiasi Surya

2.2.1 Teori Dasar Radiasi

Matahari mempunyai diameter $1,39 \times 10^9$ m. Bumi mengelilingi matahari dengan lintasan berbentuk ellipse dan matahari berada pada salah satu pusatnya. Jarak rata-rata matahari dari permukaan bumi adalah $1,49 \times 10^{11}$ m. Gambar 2.1 menunjukkan hubungan Matahari dan Bumi.



Gambar 2.1 Hubungan Matahari dan Bumi

(Sumber: Ambarita, 2011)

Dimana:

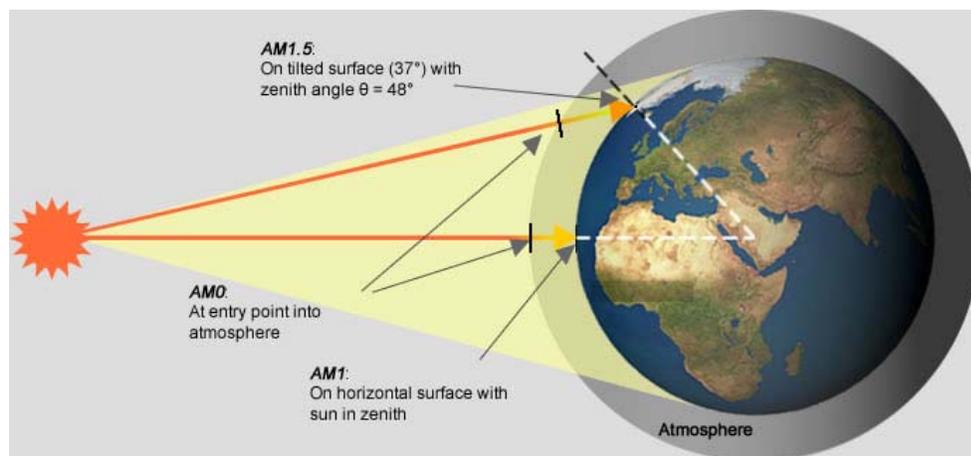
G_{sc} = Daya radiasi rata-rata yang diterima atmosfer bumi (W/m^2)

Lintasan bumi terhadap matahari berbentuk ellipse, maka jarak antara bumi dan matahari adalah tidak konstan. Jarak terdekat adalah $1,47 \times 10^{11}$ m yang terjadi pada tanggal 3 Januari 2011, dan jarak terjauh pada tanggal 3 Juli dengan jarak $1,52 \times 10^{11}$ m. Karena adanya perbedaan jarak ini, menyebabkan radiasi yang diterima atmosfer bumi juga akan berbeda.

Beberapa Istilah yang biasanya dijumpai pada perhitungan radiasi adalah:

1. Air Mass (AM)

Adalah perbandingan massa udara sampai ke permukaan bumi pada posisi tertentu dengan massa udara yang dilalui sinar jika matahari tepat pada posisi zenit. Artinya pada posisi tegak lurus (zenit = 0) nilai AM = 1. Konsep *Air Mass* diperlihatkan pada gambar 2.2

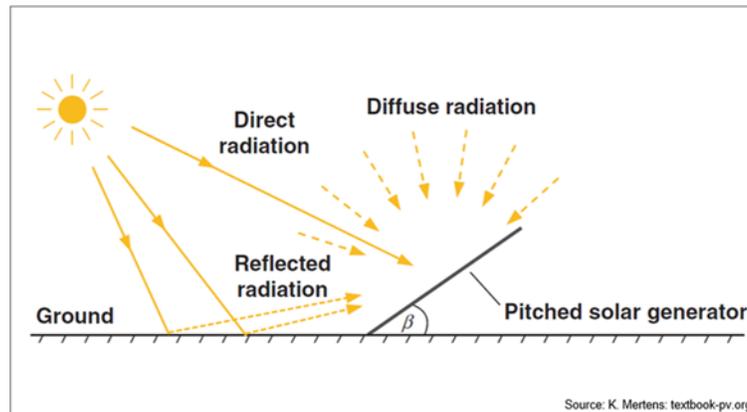


Gambar 2.2 *Air Mass*

(<http://www.greenrhinoenergy.com/solar/radiation/spectra.php>, 2016)

2. Beam Radiation

Radiasi energi dari matahari yang tidak dibelokkan oleh atmosfer. Istilah ini sering juga disebut radiasi langsung (*direct solar radiation*). *Beam radiation* dapat dilihat pada gambar 2.3

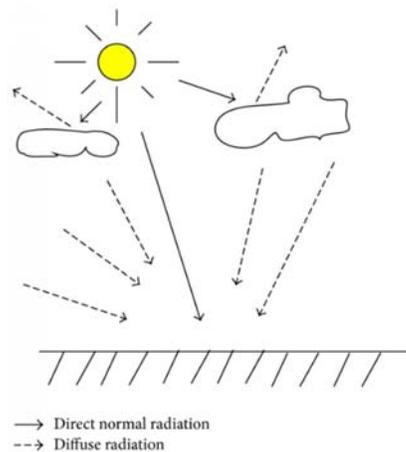


Gambar 2.3 *Beam Radiation*

(Mertens, 2018)

3. Diffuse Radiation

Radiasi energi surya dari matahari yang telah dibelokkan atmosfer. *Diffuse radiation* dapat dilihat pada gambar 2.4

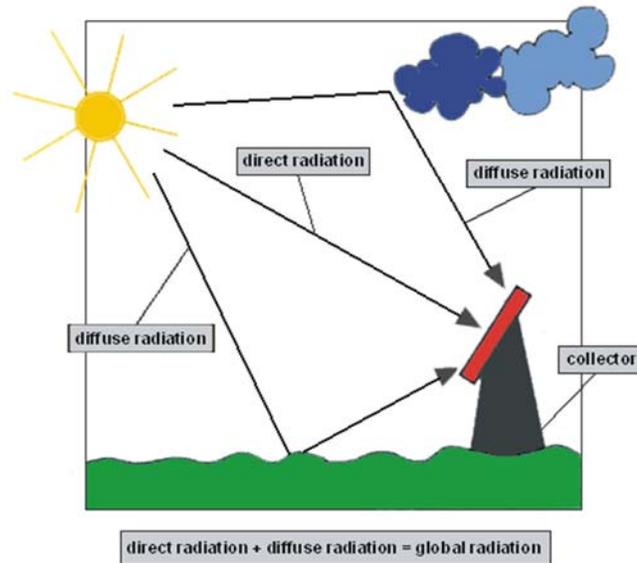


Gambar 2.4 *Diffuse Radiation*

(https://www.researchgate.net/figure/Direct-and-diffuse-solar-irradiation_fig10_295094869, 2019)

4. Total Radiation

Adalah jumlah *beam* dan *diffuse* radiation. *Total radiation* dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Total Radiation

(<http://nesal.uni-siegen.de/wwwextern/idea/keytopic/2.htm>, 2019)

5. Irradiance [W/m^2]

Adalah laju energi radiasi yang diterima suatu permukaan persatuan luas permukaan tersebut *Solar irradiance* biasanya disimbolkan dengan G . Dalam bahasa Indonesia besaran ini biasanya disebut dengan Intensitas radiasi.

6. Irradiation atau Radian Exposure [J/m^2]

Jumlah energi radiasi (bukan laju) yang diterima suatu permukaan dalam interval waktu tertentu. Besaran ini didapat dengan mengintegalkan G pada interval waktu yang diinginkan, misalnya untuk 1 hari biasa disimbolkan H dan untuk 1 jam biasa disimbolkan I .

7. *Solar Time* atau Jam Matahari

Adalah waktu berdasarkan pergerakan semu matahari di langit pada tempat tertentu. Jam matahari (disimbolkan ST) berbeda dengan penunjuk jam biasa (*standard time*, disimbolkan STD).

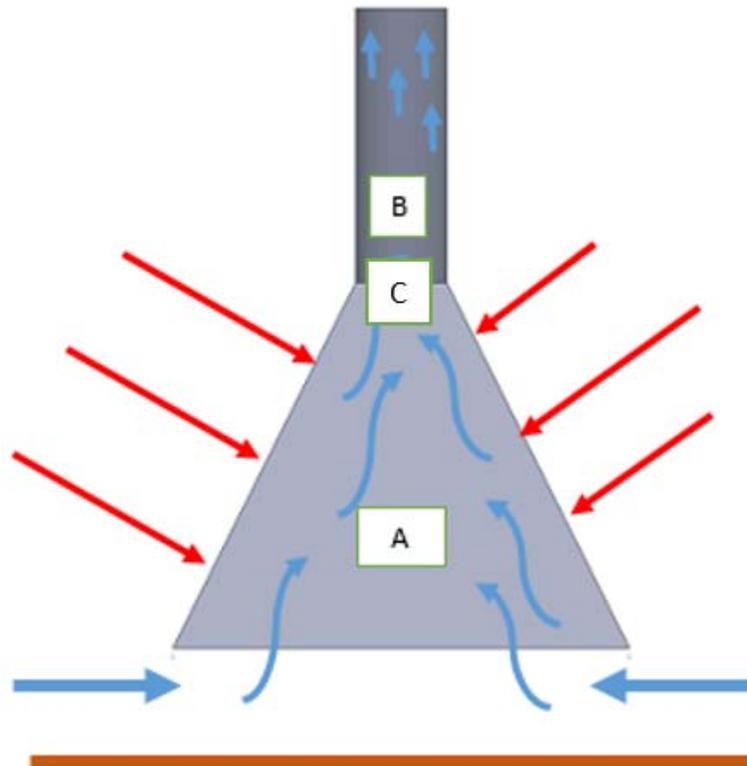
2.3 *Solar Chimney*

Solar chimney atau *solar tower* adalah sebuah pembangkit listrik energi terbarukan yang memanfaatkan radiasi dari sinar matahari sebagai sumber energinya untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik *solar chimney* tidak menimbulkan polusi terhadap lingkungan sekitar karena tidak menghasilkan gas buang seperti kebanyakan pembangkit listrik dengan bahan fosil. Pada tahun 1982, Prof. Dr. Ing. Jorg Schlaich, seorang *engineer* Jerman, dengan dukungan finansial dari pemerintah Jerman bekerjasama dengan Schaich Bergerman and *Partners* sebuah perusahaan konsultan di bidang struktural dan *engineering* membangun sebuah *prototipe* atau *working model* untuk *solar chimney power plant*. Proyek ini berlokasi di Manzanares (Spanyol), 150 km arah selatan dari Madrid, proyek ini beroperasi dengan sukses selama 8 tahun sebelum akhirnya rusak karena terpaan badai angin. Dengan cerobong setinggi 195 m dan diameter 10 m, *solar chimney power plant* ini menghasilkan listrik sebesar 50 kW (Jorg Schlaich et al 1990).

Berdasarkan ide dari Prof. J. Schlaich untuk membangun sebuah cerobong atau *chimney* setinggi 1000 m dengan penguat beton *reinforced concrete*, *Enviromission Ltd* Australia bersama *Solarmission technologies* USA memiliki rencana untuk membangun sebuah *Solar Chimney Power Plant* dengan kapasitas 200 MW berlokasi di Australia, yang akan memiliki cerobong setinggi 1000 m, diameter cerobong 130 m dan diameter *solar* kolektor sejauh 7 km.

2.3.1 Prinsip Kerja Sistem Pembangkit Listrik *Solar Chimney*

Prinsip kerja dari sistem pembangkit *solar chimney* pada penelitian ini tidak jauh berbeda dari prinsip kerja sistem pembangkit *solar chimney* pada umumnya, yaitu udara lingkungan yang masuk melalui *inlet collector* (A) akan dipanaskan oleh radiasi matahari, karena kolektor yang digunakan berbahan kaca transparan. Udara yang ada di dalam kolektor mengalami pemanasan sehingga massa jenisnya berkurang. Akibat dari kondisi ini udara mengalir keatas melalui cerobong (B), dan selanjutnya udara tersebut akan kembali ke lingkungan. Sebelum menuju cerobong, udara tersebut akan memutar turbin (C) yang terpasang diantara kolektor dan *chimney* (B). Turbin yang terhubung dengan generator akan menghasilkan listrik akibat adanya energi mekanik pada turbin. Prinsip kerja sistem pembangkit listrik *solar chimney* dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Prinsip kerja *solar chimney*

Keterangan:

a. Kolektor

b. Cerobong

c. Turbin

→: *Inlet*

→: *Solar Radiation*

—: *Ground*

Ilustrasi lain sebuah *solar chimney power plant* diperlihatkan pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Ilustrasi

(Sumber: Beneke; Fourie; Huan, 2016)

2.3.2 Komponen Utama Pembangkit Listrik *Solar Chimney*

Pembangkit listrik *solar chimney* terdiri dari beberapa komponen yaitu kolektor, cerobong dan turbin.

2.3.2.1 Kolektor

Kenaikan temperatur dari aliran udara dihasilkan oleh efek rumah kaca yang diakibatkan oleh kolektor yang menerima pancaran radiasi dari matahari kemudian diteruskan ke fluida kerja dan ketika mencapai permukaan *ground* radiasi tersebut direfleksikan atau di pantulkan kembali menuju dinding bagian dalam kolektor. Material dari kolektor biasanya berupa kaca atau plastic film yang membentang horizontal dengan ketinggian bervariasi di atas permukaan tanah. Material yang sering digunakan adalah kaca karena memiliki efisiensi paling tinggi dibandingkan dengan material lainnya yaitu mencapai 70% (Volkan, 2004).

Radiasi yang dapat ditangkap oleh luasan kolektor dengan asumsi efisiensi kaca 90%, intensitas radiasi diperoleh dari alat ukur, dan dihitung permenit, sehingga energi radiasi dapat di hitung menggunakan rumus (Duffie,2006):

$$Q_{\text{radiasi}} = I A_{\text{coll}} \Delta t 90\% \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- Q_{radiasi} = Energi Radiasi (MJ)
- I = Intensitas radiasi (W/m²)
- A_{coll} = Luas penampang kolektor (m²)
- Δt = Selang waktu perhitungan (s)

Ketinggian dari kolektor disusun semakin tinggi ketika mendekati *tower*. Hal ini dimaksudkan untuk mengalirkan udara ke cerobong dengan meminimalisir gesekan dari laju aliran udara terhadap dinding kolektor (Jorg Schlaich et al, 1990). Efisiensi dari kolektor adalah rasio dari jumlah panas udara dan jumlah iradiasi yang dipancarkan oleh matahari (Saeed Dehghani and Amir, 2014).

$$\eta_{\text{coll}} = \frac{Q}{A_{\text{coll}} G} = \frac{\dot{m} c_p \Delta T}{A_{\text{coll}} G} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana \dot{m} adalah laju aliran massa dan ΔT adalah beda temperatur *ambient* dengan Temperatur *outlet* dari kolektor.

$$\dot{m} = \rho V_2 A_{c\Box} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

\dot{m} = Laju aliran masa (kg/s)

ρ = Massa Jenis (kg/m³)

V_2 = Kecepatan aliran udara (m/s)

$A_{c\Box}$ = Luas penampang cerobong (m²)

$$\Delta T = T_2 - T_a \dots\dots\dots(2.4)$$

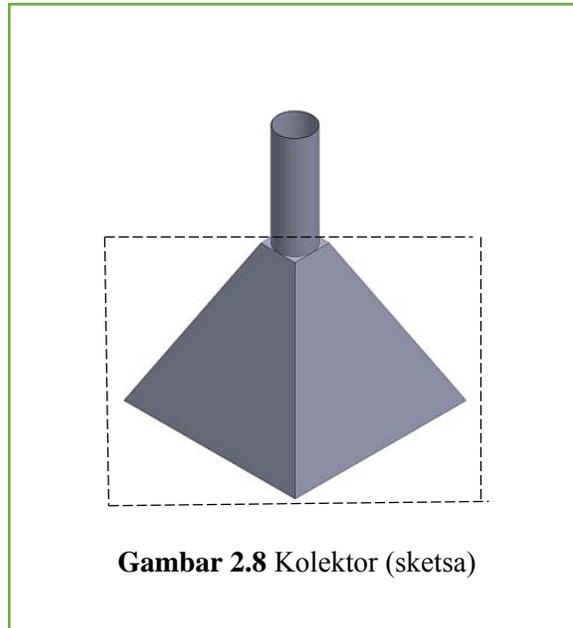
T_2 adalah temperatur pada *outlet* kolektor, alternatif lain efisiensi dari kolektor dapat dicari dengan berdasarkan pada efektif koefisien absorpsi pada kolektor (α) dan *convective loss* energi (β) (Saeed Dehghani and Amir, 2014) yang dinyatakan dengan:

$$\eta_{coll} = \alpha - \frac{\beta (T_{pm} - T_a)}{G} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan mengkombinasikan persamaan (2.2) dan (2.5), kecepatan udara pada *outlet* kolektor (V_2) dapat hitung dengan persamaan berikut:

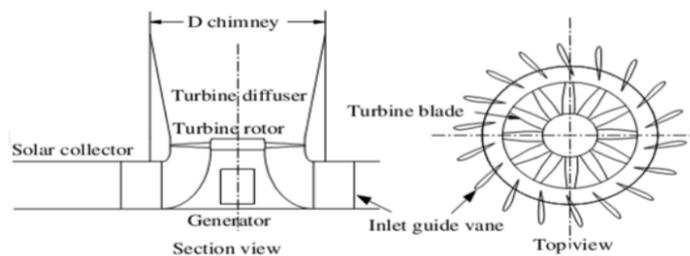
$$V_2 = \frac{\alpha A_{coll} G - \beta A_{coll} (T_{pm} - T_a)}{\rho_2 A_{ch} c_p (T_2 - T_a)} \dots\dots\dots(2.6)$$

Posisi pemasangan kolektor dapat dilihat pada gambar 2.8



2.3.2.2 Turbin

Adalah komponen yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik dari udara yang memiliki kecepatan (V) menjadi energi mekanik. Penempatan turbin dapat dilakukan dengan dua cara yaitu ditempatkan vertikal di dalam *tower* dan horizontal dalam rangka kolektor. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan energi maksimum dari aliran udara. Kipas atau *blade* dari turbin harus mencakup semua luas penampang dari *tower* jika diletakan secara vertical (Volkan, 2004). Posisi turbin dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.9 Turbin Propeller
(Sumber: Dhahri and Omri, 2013)

Daya listrik yang dihasilkan oleh turbin dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

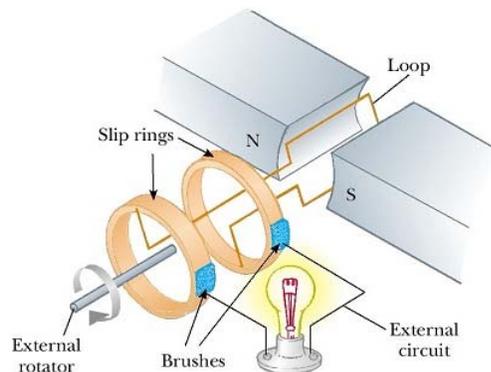
$$P_{electric} = \left(\frac{2}{3}\right) * \eta_t * \eta_{coll} * \left(\frac{g}{c_p * T_a}\right) * H_{ch} * A_{coll} \dots\dots\dots (2.7)$$

Untuk mengetahui daya yang dihasilkan tanpa turbin dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = \rho * g * (AV) * \frac{\Delta p}{\gamma} \dots\dots\dots (2.8)$$

2.3.2.3 Generator

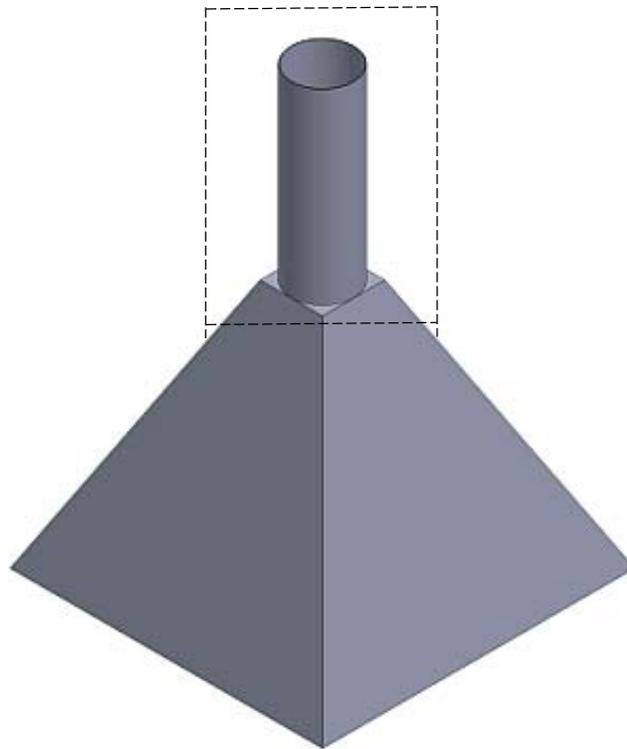
Adalah komponen yang mengubah energi mekanik dari putaran yang dihasilkan oleh turbin menjadi energi listrik. Cara kerja dari *generator* adalah induksi elektromagnet akibat adanya putaran kumparan dalam medan magnet. *Generator* terdiri dari 2 komponen utama yaitu rotor dan stator. Rotor adalah bagian yang berputar dan menyatu dengan poros sedangkan stator adalah bagian yang diam pada *casing* generator. Skematik dari generator dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.10 Scematic Diagram of an AC Generator
<http://www.kshitij-iitjee.com/Generators-and-Motors/>. 2019)

2.3.2.4 Tower/chimney (Cerobong)

Aliran udara panas setelah melewati turbin akan melalui *tower*. Setelah udara mengalir melewati *tower* maka akan terjadi vakum pada *tower* tersebut yang menyebabkan akan terjadi hisapan sehingga udara pada lingkungan akan terhisap masuk diseluruh sisi *inlet* kolektor. *Tower* yang dibutuhkan untuk pembangkit listrik *solar chimney* relatif tinggi sehingga dibutuhkan konstruksi yang kuat agar dapat berdiri kokoh. Posisi pemasangan cerobong dapat dilihat pada gambar 2.10



Gambar 2.11 Chimney (Tower)

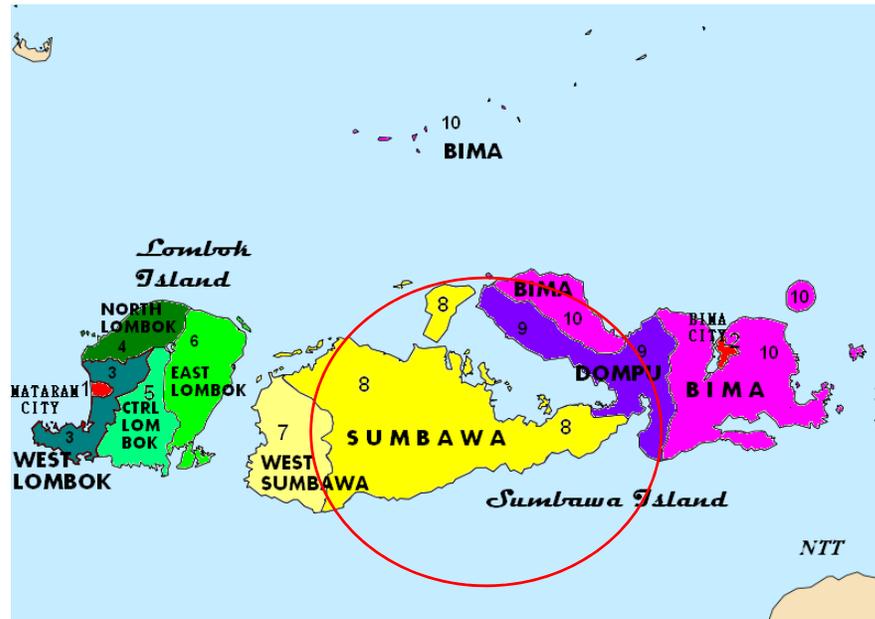
2.3.3 Parameter Utama Pada Solar Chimney Power Plant

Parameter geometris utama dari *SCPP* (*Solar Chimney Power Plant*) adalah: diameter kolektor (D_{coll}), tinggi *tower* (H_{ch}), diameter *tower* (D_{ch}), dan tinggi *inlet* kolektor. Kendala yang sering muncul biasanya adalah keterbatasan fisik karena

kendala tekno-ekonomi. Dilihat dari segi konstruksinya, *chimney* atau *tower* yang menjadi perhatian utama dalam sistem pembangkit listrik *solar chimney* karena ketinggian yang dibutuhkan relatif tinggi oleh karenanya dibutuhkan teknologi yang mumpuni serta biaya yang relatif besar untuk bisa membangun sistem pembangkit *solar chimney* (Deghgani and Amir, 2014).

2.4 Kajian Daerah Objek Studi

Daerah yang akan dikaji dalam studi kasus tugas akhir ini adalah Kabupaten Sumbawa. Kabupaten Sumbawa adalah sebuah kabupaten di provinsi Nusa Tenggara Barat (Ibukotanya adalah Sumbawa Besar) dengan letak geografis $116^{\circ} 42'$ - $118^{\circ} 22'$ Bujur Timur dan $8^{\circ} 8'$ - $9^{\circ} 7'$ Lintang Selatan. Kabupaten ini terletak di sebagian besar bagian barat Pulau Sumbawa. Batas-batas wilayahnya adalah: Laut Flores dan Teluk Saleh di utara, Kabupaten Dompu di timur, Samudera Hindia di selatan serta Kabupaten Sumbawa Barat di barat. Kabupaten Sumbawa memiliki luas wilayah 664.398ha dengan jumlah penduduk sekitar 426.128 jiwa. Wilayah Kabupaten Sumbawa juga mencakup sejumlah pulau-pulau di sebelah utara Pulau Sumbawa, termasuk Pulau Moyo (pulau terbesar), Pulau Medang, Pulau Panjang, Pulau Liang, Pulau Ngali dan Pulau Rakit (Badan Pusat Statistik Kabupaten Sumbawa, 2014). Letak dari kabupaten sumbawa dapat dilihat pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 Peta Sumbawa

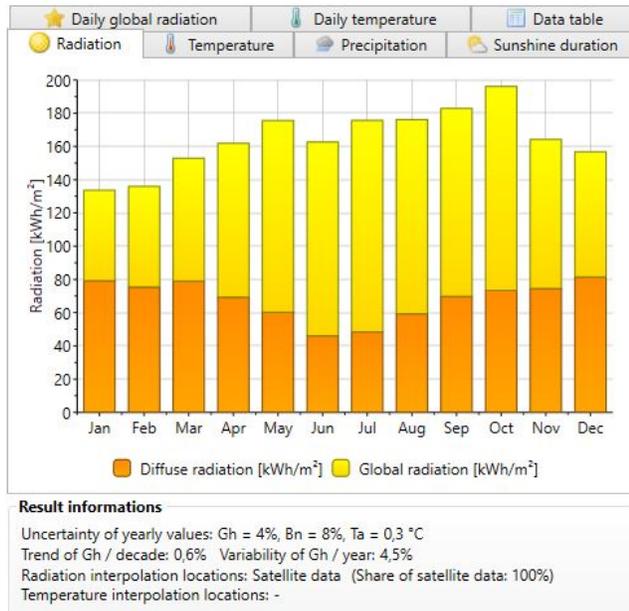
(<https://gpswisataindonesia.info/2018/01/peta-tenun-nusa-tenggara-barat-ntb/>, 2019)

Kabupaten Sumbawa merupakan daerah yang mendapatkan radiasi sinar matahari tertinggi di Indonesia yaitu rata-rata per bulan 164,66 KWh/m² (Meteonorm7). Dengan potensi radiasi yang cukup besar namun penggunaannya masih sedikit sekali dimana berdasarkan data dari statistic PLN tahun 2014 provinsi NTB hanya terdapat 5 dari 135 pembangkit tenaga surya dan menghasilkan daya 0,98 MW dari total 165,39 MW. Dari total energi listrik yang ada masih terdapat 30% di kabupaten Sumbawa yang belum mendapatkan pasokan energi listrik (PLN Persero, 2014; Badan Perencanaan Pembangunan Daerah NTB dan Badan Pusat Statistik NTB, 2014).

2.4.1 Keadaan Cuaca di Sumbawa

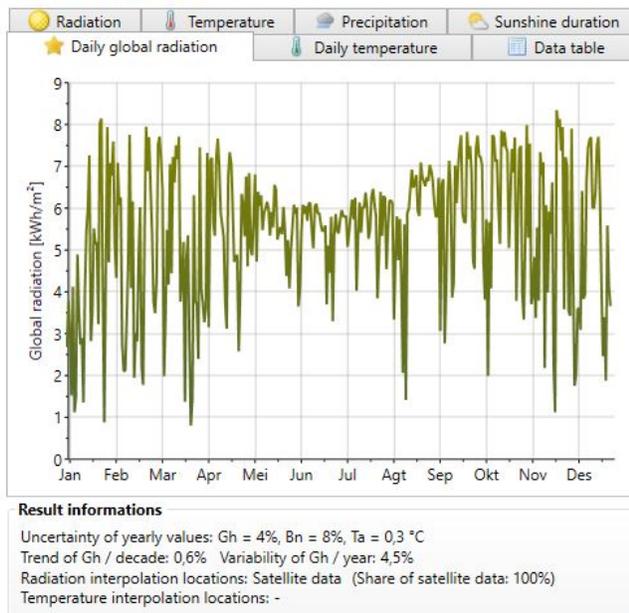
Keadaan cuaca dan perolehan radiasi matahari di Sumbawa dapat dilihat pada gambar 2.13 – 2.18 dan tabel 2.1 – tabel 2.2 (meteonorm versi 7).

SUMBAWA BESAR



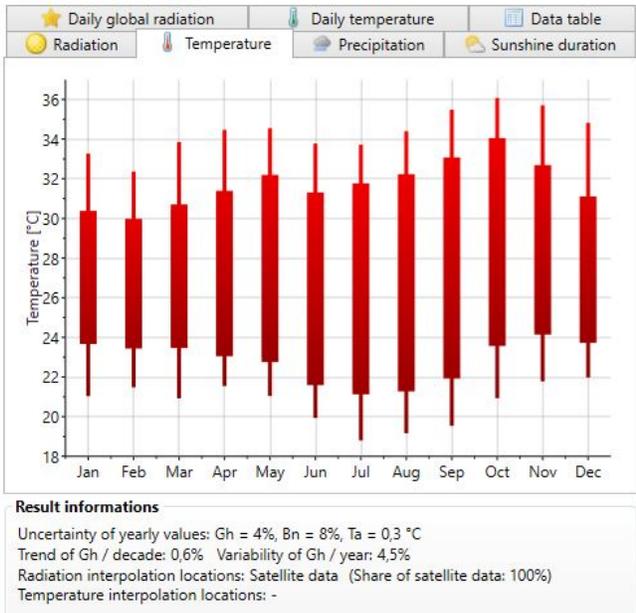
Gambar 2.13 Nilai *Global* radiasi dan *Diffuse* radiasi tiap bulan

SUMBAWA BESAR



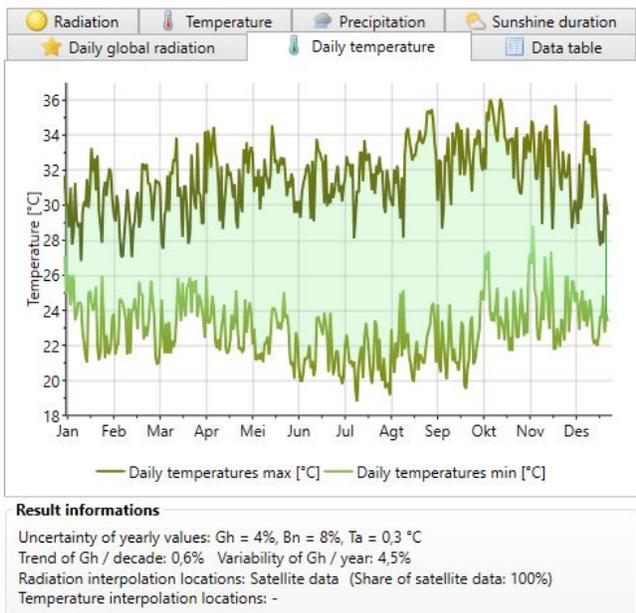
Gambar 2.14 *Daily Global Radiation*

SUMBAWA BESAR



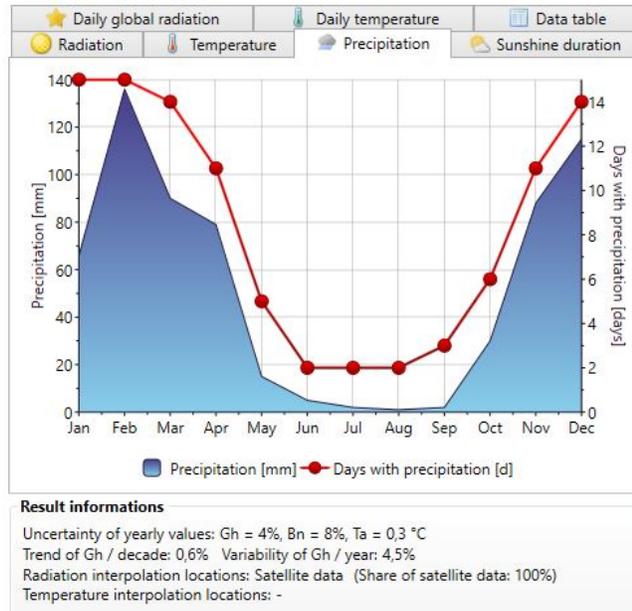
Gambar 2.15 Temperatur tiap bulan

SUMBAWA BESAR



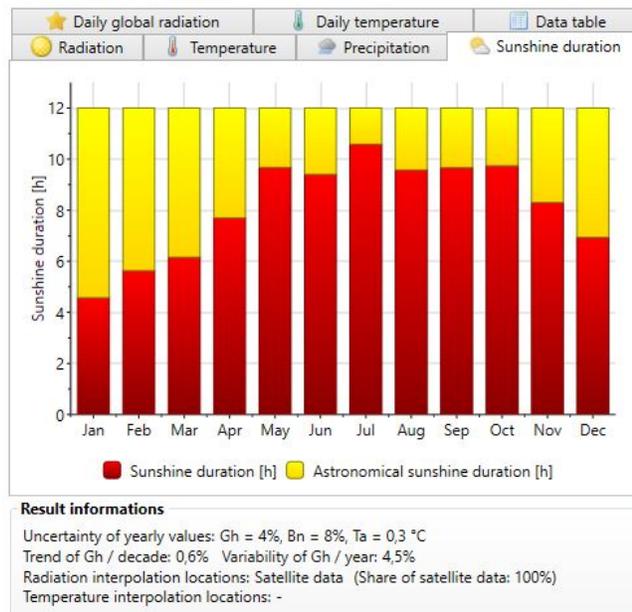
Gambar 2.16 Daily Temperature

SUMBAWA BESAR



Gambar 2.17 Precipitation

SUMBAWA BESAR



Gambar 2.18 Lama Penyinaran Matahari

Tabel 2.1 Potensi Radiasi Matahari

SUMBAWA BESAR

☀ Radiation		🌡 Temperature		☁ Precipitation		☀ Sunshine duration	
★ Daily global radiation			🌡 Daily temperature			📄 Data table	
	Gh kWh/m ²	Dh kWh/m ²	Bn kWh/m ²	Ta °C	Td °C	FF m/s	
January	134	79	75	26,9	23,8	1,6	
February	136	75	83	26,7	23,9	2,1	
March	153	79	103	27	23,7	1,7	
April	162	69	134	27,4	23,3	1,6	
May	176	60	169	27,3	22,1	1,9	
June	163	46	178	26,6	20,7	2,4	
July	176	48	199	26,2	19,3	2,4	
August	176	59	172	26,5	19,1	2,5	
September	183	70	160	27,7	20,2	2,5	
October	196	73	177	28,6	21,9	2,4	
November	164	74	133	28,6	23,3	2,1	
December	157	81	111	27,3	23,6	1,6	
Year	1973	815	1694	27,2	22,1	2,1	

Result informations
 Uncertainty of yearly values: Gh = 4%, Bn = 8%, Ta = 0,3 °C
 Trend of Gh / decade: 0,6% Variability of Gh / year: 4,5%
 Radiation interpolation locations: Satellite data (Share of satellite data: 100%)
 Temperature interpolation locations: -

(Sumber: Meteonorm 7)*

* Meteonorm 7 adalah sebuah *software* yang memberikan informasi tentang perolehan radiasi di suatu daerah. Data yang ada di meteonorm 7 sebagian yang diperoleh langsung dari stasiun dan sebagian lagi hasil dari interpolasi dari stasiun terdekat.

Data yang tersedia pada Meteonorm diambil pada rentang waktu tahun 1991-2010. Dari data tersebut didapatkan hasil-hasil sebagai berikut:

- *Global radiation* tertinggi pada bulan October dengan nilai 196 kWh/m².
- *Temperatur* tertinggi pada bulan October dan November dengan nilai 28.6 °C.
- Lama penyinaran matahari pada bulan Juli dengan nilai ± 11 Jam.

Tabel 2.2 Prakiraan Cuaca BMKG



ID WMO : 97260
 Nama Stasiun : Stasiun Meteorologi Sultan Muhammad Kaharudin
 Lintang : -8.48845
 Bujur : 117.41336
 Elevasi : 10

Tanggal	Tn	Tx	Tavg	ss	ff_x	ff_avg
01-10-2018	23.4	33.8	27.8	10.9	6	3
02-10-2018	23.0	34.8	28.3	10.2	6	3
03-10-2018	23.4	35.4	28.7	10.7	5	3
04-10-2018	23.5	34.5	28.3	9.8	6	2
05-10-2018	22.2	34.0	27.7	10.6	5	2
06-10-2018	23.1	36.4	28.6	10.9	5	3
07-10-2018	24.2	36.3	29.3	10.6	6	3
08-10-2018	24.5	37.0	30.0	11.0	7	3
09-10-2018	23.8	37.0	29.2	11.0	6	3
10-10-2018	22.8	36.2	28.1	11.2	6	2
11-10-2018	22.5	37.2	28.7	11.4	6	3
12-10-2018	23.8	36.7	29.1	10.9	8	3
13-10-2018	21.8	36.8	28.9	11.0	7	3
14-10-2018	24.0	36.4	29.1	10.9	8	3
15-10-2018	25.4	37.3	30.3	10.7	6	3
16-10-2018	24.9	36.0	29.4	9.6	7	4
17-10-2018	25.5	33.8	28.5	10.6	7	4
18-10-2018	24.6	35.0	28.5	10.7	7	4
19-10-2018	24.6	35.8	29.6	10.2	6	3
20-10-2018	23.8	36.2	29.8	9.4	7	4
21-10-2018	25.8	35.4	29.3	10.5	5	3
22-10-2018	24.9	36.5	29.6	10.6	5	4
23-10-2018	25.6	34.0	29.3	8.5	6	3
24-10-2018	23.0	33.1	28.5	9.9	6	3
25-10-2018	23.2	35.2	29.0	10.7	7	3
26-10-2018	25.8	36.9	30.5	10.5	6	3
27-10-2018	25.7	37.1	30.2	10.6	7	4
28-10-2018	25.0	34.8	29.4	10.3	6	3
29-10-2018	25.5	36.2	29.2	11.3	5	3
30-10-2018	25.0	37.8	30.2	11.2	6	3
31-10-2018	23.4	36.4	28.8	11.6	6	3

Keterangan :
 8888: data tidak terukur
 9999: Tidak Ada Data (tidak dilakukan pengukuran)
 Tn: Temperatur minimum (°C)
 Tx: Temperatur maksimum (°C)
 Tavg: Temperatur rata-rata (°C)
 ss: Lamanya penyinaran matahari (jam)
 ff_x: Kecepatan angin maksimum (m/s)
 ff_avg: Kecepatan angin rata-rata (m/s)

2.5 Computational Fluid Dynamic (CFD)

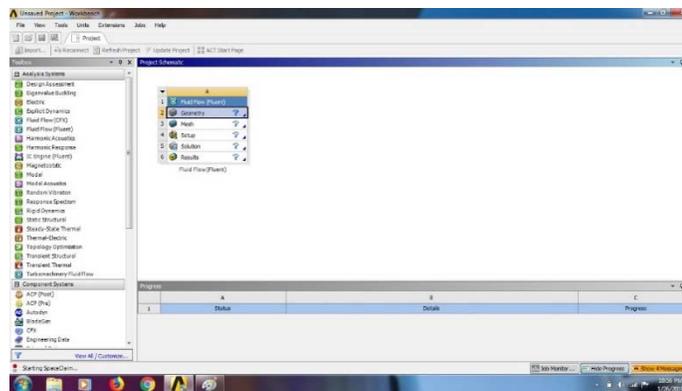
Akhir-akhir ini, penggunaan *CFD* dalam mempelajari aliran fluida dan kinerja dari *SCPP* (*Solar Chimney Power Plant*) meningkat. Hal ini disebabkan hasil yang

akurat dan aliran visualisasi yang ditawarkan oleh perangkat lunak *CFD*. Upaya pertama yang diketahui dibuat untuk mensimulasikan aliran dalam *SCPP* menggunakan *CFD* dilakukan oleh Bernardes dkk. Di mana mereka melakukan analisis numerik pada konveksi alami dalam pemanas matahari radial untuk memprediksi perilaku termo-hidrodinamik pada *SCPP*. Kirstein dan Backstrom melakukan analisis numerik untuk mempelajari aliran udara yang terjadi pada *SCPP* menggunakan *software CFD* komersial, *Fluid Flow CFX*. Salah satu *software* yang memberikan fitur analisis dalam bidang *CFD* adalah *ANSYS* (Patel, 2014)

ANSYS adalah sebuah perangkat lunak yang komprehensif yang mencakup seluruh rentang fisika, menyediakan akses ke hampir semua bidang simulasi rekayasa yang memerlukan proses desain. *ANSYS* memberikan keuntungan terhadap efisiensi, mendorong inovasi dan mengurangi kendala fisik, memungkinkan tes simulasi untuk hasil yang lebih nyata. *ANSYS* dapat digunakan untuk membuat prototipe virtual yang lengkap dari produk yang kompleks dan analisis sistem yang mencakup *structural*, *Fluid flow*, *magnetic* dan gabungan ketiganya (Lawrence, 2006).

2.5.1 Fluid Flow CFX

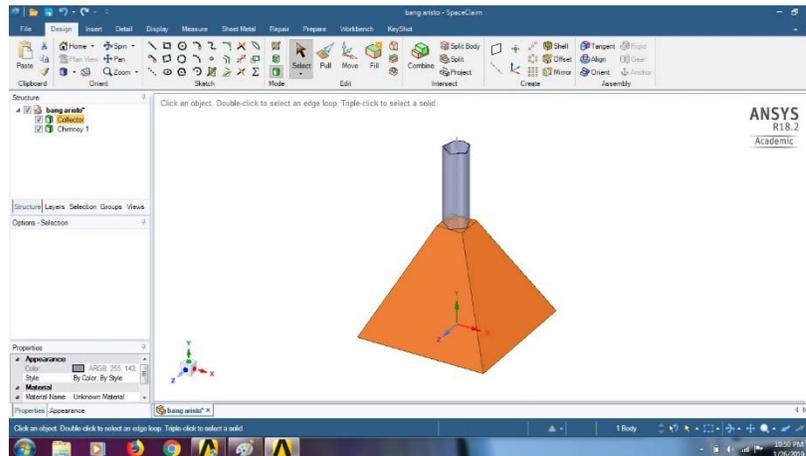
Fluid flow CFX merupakan bagian analisis sistem dari *ANSYS* yang digunakan untuk analisis aliran fluida. Komponen dari *Fluid Flow CFX* adalah *geometry*, *mesh*, *set up*, *solution* dan *result*. Tampilan awal *ANSYS* dapat dilihat pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 Tampilan Awal CFX

2.5.1.1 Geometry

Geometry adalah tahap pemberian bentuk dan ukuran dari objek yang akan disimulasikan. Pada komponen geometri sistem terintegrasi dengan *CAD*, *Solid Work*, *Inventor* dan *software Drawing* lainnya sehingga pemodelan tidak harus menggunakan komponen *ANSYS CFX*. Jika pemodelan dibuat dengan *software Drawing* seperti yang telah disebutkan di atas, maka proses simulasi dengan menggunakan *Fluid Flow CFX* dapat langsung ke tahap *meshing* dengan cara *import geometry*. Tampilan *geometry* pada *ANSYS* dapat dilihat pada gambar 2.20.

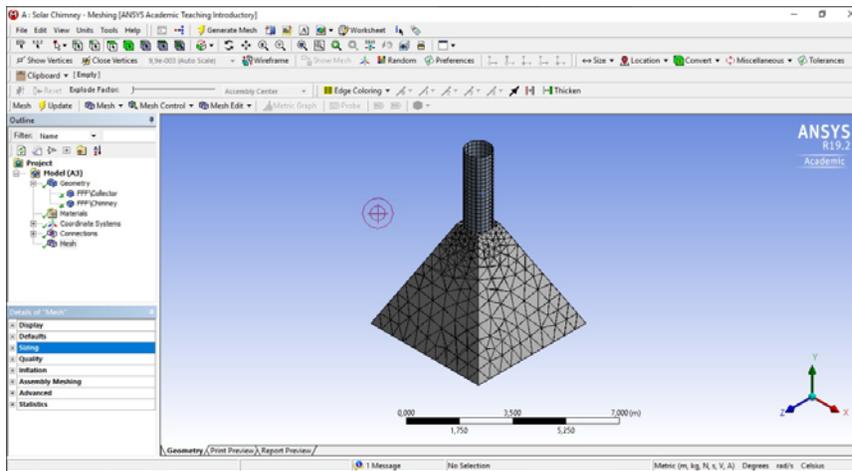


Gambar 2.20 Tampilan *Geometry*

2.5.1.2 Mesh

Untuk melakukan simulasi *CFD* maka gambar kerja yang sudah dibuat harus dilakukan proses *meshing*. Proses *meshing* adalah suatu proses penyatuan setiap segmen-segmen gambar sehingga seluruh bagian gambar dapat dilakukan simulasi *CFD*. Hal ini dikarenakan ketika simulasi *CFD* sedang berlangsung, software melakukan perhitungan di setiap elemen-elemen. Oleh karena itulah proses *meshing* dilakukan terlebih dahulu sebelum simulasi *CFD* dijalankan.

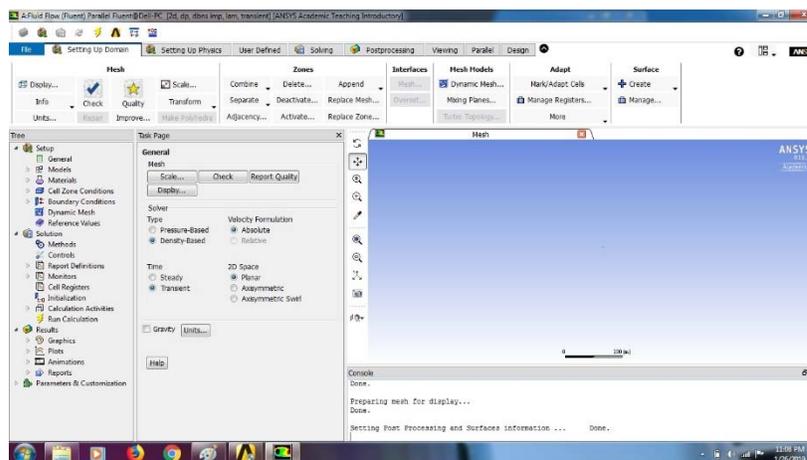
(Narutomo, 2012)



Gambar 2.21 Tampilan Meshing

2.5.1.3 Set up

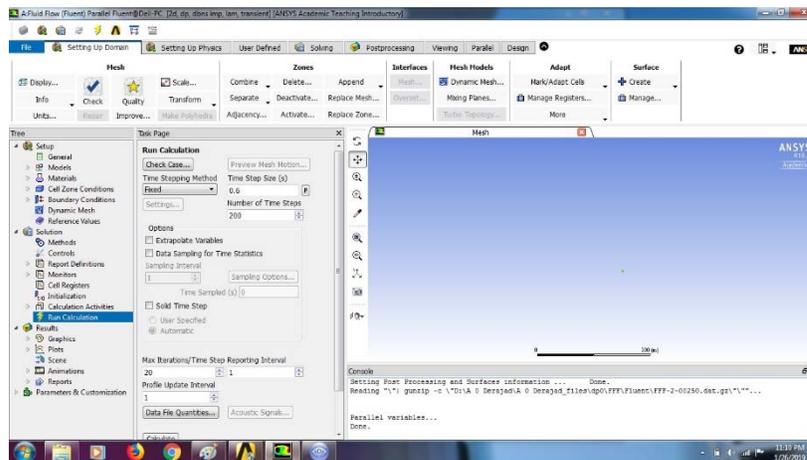
Set up adalah proses penentuan kondisi dari *domain* model dan *boundary* nya serta *input* parameter yang dibutuhkan dalam simulasi seperti tekanan, kecepatan, temperatur, radiasi, massa jenis dll. *Domain* adalah model dari satu kesatuan utuh sedangkan *boundary* adalah bagian dari *domain* seperti *inlet*, *outlet*, *wall*, dan lain sebagainya. Model dapat terdiri dari satu atau lebih *domain* dengan kombinasi *fluid-fluid*, *fluid-solid* dan *solid-solid*. Tampilan *meshing* dapat dilihat pada gambar 2.22.



Gambar 2.22 Tampilan Setup

2.5.1.4 Solution

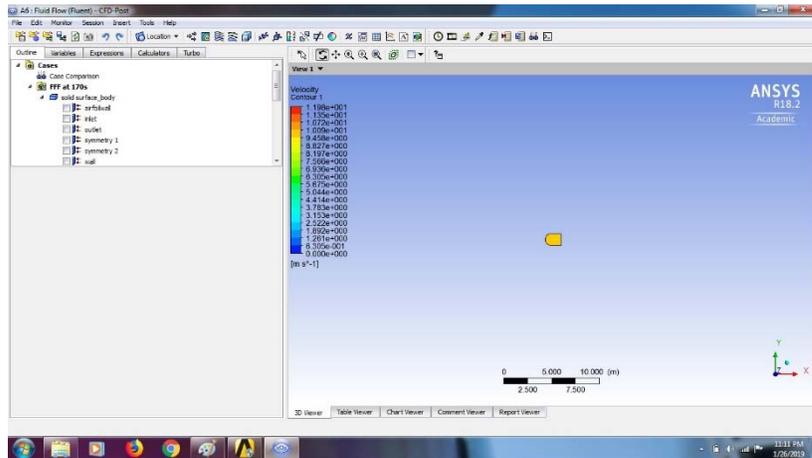
Solution adalah komponen sistem yang melakukan perhitungan dari parameter-parameter yang telah di *input* pada model. *Solution* sangat bergantung pada *input* parameter pada saat *set up*. Jika terdapat parameter yang salah atau tidak semestinya maka *solution* akan memberikan sinyal berupa pesan yang berisi kesalahan yang terjadi. *Solution* juga sangat bergantung pada iterasi dimana semakin banyak iterasi maka hasil yang diperoleh akan semakin akurat, akan tetapi akan memakan waktu lebih lama. Tampilan *solution* dapat dilihat pada gambar 2.23.



Gambar 2.23 Tampilan *Solution*

2.5.1.5 Result

Result adalah komponen sistem yang menampilkan hasil dari simulasi. Hasil yang ditampilkan diantaranya adalah profil dari temperatur, kecepatan, tekanan, *heat flux*, massa jenis dll. Pada komponen ini juga dapat dilihat simulasi, *vector* dan grafik. Tampilan *result* dapat dilihat pada gambar 2.24.



Gambar 2.24 Tampilan *Result*