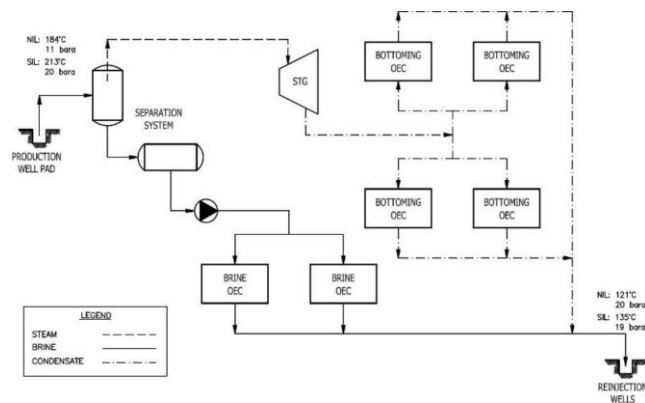


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Geothermal Combined Cycle*

Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) merupakan pembangkit listrik yang menggunakan energi panas yang berasal dari dalam bumi. Teknologi terbaru dalam dunia panas bumi dapat memanfaatkan energi keluaran dari PLTP konvensional menjadi listrik dengan menggunakan *binary plant*. Di Indonesia telah dibangun PLTP pertama yang menggunakan *binary plant* yang dikombinasikan dengan PLTP konvensional yaitu Sarulla *Geothermal Power Plant*. Skema prosesnya pembangkit ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Proses NIL dan SIL (Wolf, 2015)

Fluida panas bumi yang berasal dari sumur produksi melalui sistem separasi dalam separator untuk memisahkan fasa gas (*Steam*) dan fasa likuid (*Brine*). Uap disalurkan menuju STG (*Steam Turbine Generator*) untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik. Uap keluaran dari STG kemudian menuju *heat exchanger* pada Bottoming OEC untuk memanaskan fluida pentane yang memiliki titik didih rendah sebesar 36,1 °C. Pentane yang telah dipanaskan berubah fasa menjadi gas (*Vapour*) bertekanan yang kemudian disalurkan untuk memutar turbin generator dan menghasilkan listrik. *Brine* yang telah dipisahkan dari uap kemudian disalurkan menuju *heat exchanger* di Brine OEC untuk memanaskan pentane hingga menjadi *vapour* bertekanan yang kemudian memutar turbin generator dan menghasilkan listrik. Bottoming OEC dan Brine OEC memiliki prinsip kerja yang sama.

2.2 *Pemanfaatan Secara Langsung (Direct Use)*

Energi panas bumi dapat dimanfaatkan dengan dua cara, pertama dengan pemanfaatan secara tidak langsung yaitu merubah energi panas bumi menjadi energi lain dan yang kedua adalah memanfaatkan secara langsung energi panas bumi tersebut. Pemanfaatan energi panas bumi secara tidak langsung dapat dilakukan dengan mengubah energi panas bumi menjadi energi listrik melalui pembangkit listrik tenaga panas bumi. Sedangkan pemanfaatan energi panas bumi secara langsung dapat di implementasikan pada sektor agroindustri, agrowisata,

dan agrobisnis. Menurut Undang Undang No. 21 tahun 2014 tentang Panas Bumi (Sekretariat Negara Republik Indonesia, 2014) menyatakan bahwa pemanfaatan langsung adalah kegiatan pengusahaan pemanfaatan panas bumi secara langsung tanpa melakukan proses perubahan dari energi panas dan/atau fluida menjadi jenis energi lain untuk keperluan nonlistrik.

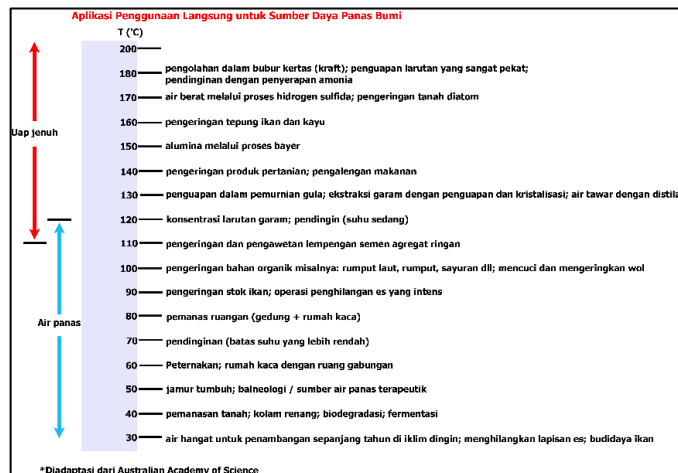
Tabel 1. Pemanfaatan Energi Panas Bumi Secara Langsung di Indonesia (Willemsen, 2016)

Pemanfaatan	Suhu	Tipe	Lokasi
Ikan Lele	40 °C	Komersial	Lampung
Pemandian Air Hangat	43-45 °C	Komersial	West/Central/East Java, Bengkulu
Budidaya Jamur & Kentang	60-65 °C	Perintis	Pangalengan
Budidaya Jamur	60-65 °C	Perintis	Kamojang
Pengering Kakao & Kelapa	60-80 °C	Perintis	Way ratai
Pengeringan Teh	98-120 °C	Perintis	Pangalengan
Pengolahan Gula Aren	107-110 °C	Komersial	Lahendong

*Diadaptasi dari Willensen

Pemanfaatan energi panas bumi secara langsung sudah dilakukan di beberapa daerah di Indonesia. Pada Tabel 1 menunjukkan jenis pemanfaatannya, suhu dari fluida energi panas bumi yang digunakan serta lokasi daerah pemanfaatan energi tersebut. Suhu fluida panas bumi yang dimanfaatkan yaitu antara 40°C hingga 110°C.

2.3 Lindal Diagram



Gambar 3. Lindal Diagram (Australian Academy of Science, 2015)

Gambar 3. Lindal Diagram menunjukkan bagaimana sumber energi panas bumi dengan berbagai perbedaan suhu dapat dimanfaatkan untuk skala yang lebih luas. Hal ini sangat memungkinkan pemanfaatan energi panas bumi untuk pemberdayaan masyarakat dalam berbagai jenis usaha seperti pengeringan kopi, tomat, ikan dan udang, padi, the, kacang polong, biji-bijian, kolam air panas,

budidaya jamur, peternakan sapi, peternakan ayam, peternakan udang, peternakan ikan lele dan lain lain.

2.4 Pengeringan Kopi

Kopi memiliki syarat mutu umum sesuai dengan SNI (Standar Nasional Indonesia). Syarat tersebut menetapkan persyaratan mutu, cara pengujian, penandaan dan pengemasan biji kopi untuk jenis robusta dan arabika. Persyaratan mutu umum tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 (SNI, 2008)

Tabel 2. Syarat Mutu Umum

No.	Kriteria	Satuan	Persyaratan
1	Serangga Hidup		Tidak ada
2	Biji berbau busuk dan atau berbau kapang		Tidak ada
3	Kadar air	% fraksi massa	Maks. 12,5
4	Kadar Kotoran	% fraksi massa	Maks. 0,5

Pengeringan kopi tradisional selama ini dilakukan dengan menjemur diatas lantai kering dengan beralaskan tikar seadanya. Akan tetapi, terdapat masalah baru dengan pengeringan menggunakan metode seperti ini, salah satunya adalah terpaparnya kopi dengan debu dan kotoran yang tertiuap. Masalah lain yang kerap timbul adalah terhambatnya pengeringan kopi saat hujan dan badai muncul dalam proses pengeringan, sehingga pengeringan tidak maksimal. Dibutuhkan bantuan tenaga kerja tambahan untuk mengangkat dari lokasi pengeringan ketika hujan dan sekaligus pengawasan dari pencurian. Sehingga metode pengeringan kopi dengan menggunakan pengeringan matahari tidak direkomendasikan (Ghosh & Venkatachalapathy, 2014).

Suhu ideal untuk pengeringan kopi menurut (Derisma et al., 2019) adalah pada suhu 51°C – 55°C. Apabila suhu pengering melebihi 55°C maka akan merusak permukaan dari biji kopi. Sedangkan berdasarkan (Prasetyo et al., 2018) pengeringan kopi arabika dilakukan pada suhu 40°C – 50°C sampai kadar air dalam kopi sekitar 12%. Suhu pengeringan diatur dibawah 60°C supaya tidak merusak cita rasa kopi. Pemanasan pada suhu 50°C juga untuk mencegah pengerasan yang merupakan fenomena dimana lapisan luar telah mengering tetapi bagian dalam kopi masih basah sehingga biji kopi berpeluang pecah dan menjadi tempat berkembangnya mikroorganisme pada kopi.

2.5 Energi dan Eksergi

Analisa kinerja suatu sistem membutuhkan konsep keseimbangan energi yang sesuai dengan hukum pertama termodinamika. Hukum pertama termodinamika menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan. Hukum tersebut sering dikenal dengan hukum kekekalan energi. Sebuah sistem yang berubah dari keadaan awal ke keadaan seimbang atau keadaan akhir, maka sistem dapat menyerap dan melepas energi ke lingkungan sistem tersebut. Ketika tidak terjadi lagi perubahan dalam sistem maka terciptalah

keadaan seimbang. Keadaan seimbang apabila tidak terjadi perubahan gaya tidak seimbang yang sedang bekerja. Energi yang terdapat pada keadaan awal dan akhir sangat sulit ditentukan hasil total kandungannya sehingga dilakukan pengukuran dengan mengukur perbedaan antara energi keadaan awal dan energi pada keadaan akhir serta energi yang dipertukarkan antara sistem dan lingkungannya (Abdulaziz, 2020).

Menurut (Rajput, 2012) Keseimbangan energi yang terjadi pada penukar kalor dapat ditentukan dengan asumsi bahwa tidak ada panas yang hilang pada lingkungan dan perubahan energi potensial dan kinetik dapat diabaikan, maka di dapat persamaan

$$Q_{hot} = m_h C_{ph} (T_{h, in} - T_{h, out}) \quad (2.1)$$

$$Q_{cold} = m_c C_{pc} (T_{c, out} - T_{c, in}) \quad (2.2)$$

Energi panas yang dilepas oleh Q_{hot} sebagai media panas memiliki nilai yang sama dengan energi panas yang diserap oleh Q_{cold} sebagai media penghantar panas, sehingga diberikan persamaan.

$$Q = m_h C_{ph} (T_{h, in} - T_{h, out}) = m_c C_{pc} (T_{c, out} - T_{c, in}) \quad (2.3)$$

Dimana, m adalah nilai laju aliran dalam kg/s, C_p merupakan nilai panas spesifik pada tekanan konstan dalam J/kg.K, T merupakan suhu fluida dalam kelvin atau celcius, sedangkan simbol h dan c mengacu pada fluida panas h (hot) dan fluida dingin c (cold). Perpindahan panas pada media penukar kalor bervariasi sepanjang area penukar kalor. Hal ini dapat ditentukan nilainya dengan LMTD (*logarithmic mean temperature difference*). LMTD untuk penukar kalor dengan pengaturan *counter-flow* ditentukan dengan persamaan :

$$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln\left(\frac{\theta_1}{\theta_2}\right)} \quad (2.4)$$

Dimana θ_m merupakan LMTD dalam satuan °C, θ_1 merupakan selisih antara $T_{h, in}$ yang merupakan suhu fluida panas masuk dengan $T_{c, out}$ yang merupakan suhu fluida dingin keluaran dalam satuan °C, θ_2 adalah selisih antara $T_{h, out}$ yang merupakan suhu fluida panas keluaran, sedangkan $T_{c, in}$ merupakan suhu fluida dingin masuk dalam satuan °C.

Nilai LMTD menurut (Kreith et al., 2011) dapat digunakan untuk menentukan koefisien perpindahan panas keseluruhan pada penukar kalor dengan persamaan :

$$q = UA\overline{\Delta T} \quad (2.5)$$

Dimana q merupakan energi panas dalam satuan W, dan U merupakan koefisien perpindahan panas keseluruhan pada penukar kalor dalam satuan $W/m^2.K$, A merupakan luas permukaan perpindahan panas dalam satuan m^2 , dan $\overline{\Delta T}$ merupakan LMTD (θ_m). Dari persamaan 2.5 didapatkan persamaan :

$$A = \frac{q}{(U)(\Delta T)} \quad (2.6)$$

Persamaan 2.6 dapat digunakan untuk menentukan luas permukaan perpindahan panas pada penukar kalor secara keseluruhan dalam satuan m^2 .

Perhitungan eksergi menurut (Moran et al., 2014) dilakukan dengan mengevaluasi perubahan total aliran eksergi dari aliran masukan ke aliran keluaran pada penukar kalor dengan mengabaikan energi kinetik dan energi potensial. Penentuan perubahan eksergi dapat ditentukan dengan persamaan :

$$m(e_2 - e_1) = m(h_2 - h_1) + T_o(s_2 - s_1) \quad (2.7)$$

Dimana $m(e_2 - e_1)$ merupakan eksergi pada aliran fluida panas dalam satuan W, $m(h_2 - h_1)$ adalah selisih nilai entalpi fluida panas keluaran dengan entalpi fluida panas masukan dikali dengan m sebagai massa, $T_o(s_2 - s_1)$ merupakan selisih antara entropi fluida panas keluaran dengan entropi fluida panas masukan dikali dengan T_o sebagai suhu referensi lingkungan dalam satuan $^{\circ}C$. Simbol angka 2 mengacu pada fluida panas keluaran dan angka 1 mengacu pada fluida panas masukan. Persamaan 2.7 memiliki prinsip yang sama dalam menentukan nilai eksergi untuk fluida dingin dengan menggunakan persamaan :

$$m(e_4 - e_3) = m(h_4 - h_3) + T_o(s_4 - s_3) \quad (2.8)$$

Dimana angka 4 mengacu pada fluida dingin keluaran dan angka 3 mengacu pada fluida dingin masukan. Nilai penghancuran eksergi pada penukar kalor dapat ditentukan dengan persamaan :

$$E_d = m(e_2 - e_1) + m(e_4 - e_3) \quad (2.9)$$

Dimana E_d merupakan nilai penghancuran eksergi dalam satuan W, sedangkan $m(e_2 - e_1)$ merupakan eksergi pada aliran fluida panas dalam satuan W, dan $m(e_4 - e_3)$ merupakan eksergi pada aliran fluida dingin dalam satuan W.

2.6 Software Simulasi

Perancangan penelitian menjadi lebih mudah apabila dibantu dengan penggunaan bantuan perangkat lunak atau *software* komputer. Perancangan simulasi proses kimia dapat memanfaatkan perangkat lunak untuk mendapatkan gambaran secara visual. DWSIM merupakan perangkat lunak *open source* yang dapat digunakan untuk mensimulasikan proses kimia (Andry & Hasnan, 2020).

Persamaan neraca energi pada penukar kalor pengering kopi dihitung menggunakan rumus *heat rate* untuk mendapatkan nilai kalor yang dihasilkan

$$q = m C_p \Delta T \quad (2.10)$$

Dimana m adalah masa fluida yang mengalir, C_p adalah panas spesifik dalam satuan (kJ/kg.K) dan ΔT merupakan perbedaan suhu dalam satuan ($^{\circ}C$). Dari persamaan keseimbangan energi tersebut dapat dihitung suhu keluaran (T_{out}) fluida dan energi yang dihasilkan pada penukar kalor.