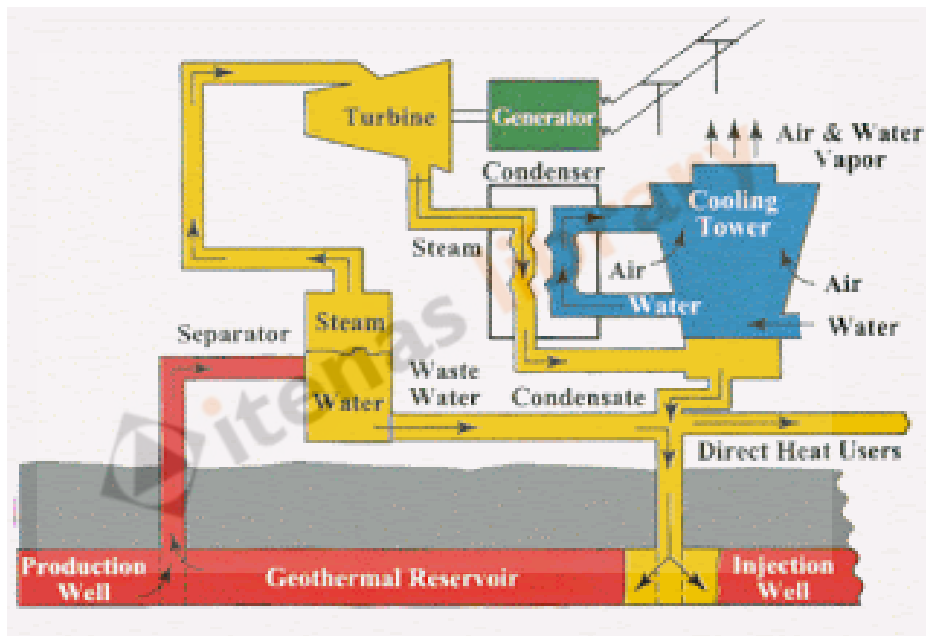


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Pembangkit listrik tenaga panas bumi adalah pembangkit listrik yang menggunakan panas bumi (*geothermal*) sebagai energi penggerak. Indonesia dikaruniai sumber panas bumi yang berlimpah karena banyaknya gunung berapi dari pulau-pulau besar yang ada. [Carin, 2011]. Dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini merupakan skema sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.



Gambar 2.1 Skema Sistem PLTP (Alyssa, 2008)

Keuntungan teknologi pada PLTP yaitu bersih, dapat beroperasi pada suhu yang lebih rendah daripada PLTN, dan aman, bahkan *geothermal* adalah yang terbersih dibandingkan dengan nuklir, minyak bumi dan batu bara. [Alyssa, 2008]

2.2 Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Siklus yang terjadi pada PLTP ini merupakan siklus uap terpisah (*Separated Cycle*). Pada siklus ini campuran uap air dan air yang didapatkan dari sumbu

produksi dipisahkan terlebih dahulu antara uap air dan airnya di separator. Berikut ini merupakan aliran proses yang terjadi pada PLTP siklus uap terpisah :

- a. Uap disuplai dari sumur produksi melalui sistem transmisi uap yang kemudian masuk ke dalam *steam receiving header* sebagai media pengumpul uap. *Steam receiving header* dilengkapi dengan *rupture disc* yang berfungsi sebagai pengaman terakhir unit. Bila terjadi tekanan berlebih (*over pressure*) di dalam *steam receiving* maka uap akan dibuang melalui *vent structure*.
- b. Dari *steam receiving header*, uap kemudian dialirkan ke *separator* yang berfungsi untuk memisahkan uap (*pure steam*) dari benda-benda asing seperti partikel berat.
- c. Kemudian uap masuk ke *demister* yang berfungsi untuk memisahkan *moisture* yang terkandung dalam uap, sehingga diharapkan uap bersih yang akan masuk ke dalam turbin lebih optimal.
- d. Uap masuk ke dalam turbin sehingga terjadi konversi energi dari energi kalor yang terkandung dalam uap menjadi energi kinetik yang diterima oleh sudu-sudu turbin. Turbin yang dikopel dengan generator akan menyebabkan generator ikut berputar saat turbin berputar sehingga terjadi konversi dari energi kinetik menjadi energi mekanik.
- e. Generator berputar menghasilkan energi listrik (*electricity*).
- f. *Exhaust steam* (uap bekas) dari turbin dikondensasikan di dalam *condensor* dengan sistem *jet spray*.
- g. NCG (*Non Condensable Gas*) yang masuk ke dalam *condensor* dihisap oleh *first ejector* kemudian masuk ke *intercondensor* sebagai media pendingin dan penangkap NCG. Setelah dari *intercondensor*, NCG dihisap lagi oleh *second ejector* masuk ke dalam *aftercondensor* sebagai media pendingin dan kemudian dibuang ke atmosfer melalui *cooling tower*.
- h. Dari *condensor* air hasil kondensasi dialirkan oleh *main cooling water pump* masuk ke *cooling tower*. Selanjutnya air hasil pendinginan

dari *cooling tower* uap kering disirkulasikan kembali ke dalam *condensor* sebagai media pendingin.

- i. *Primary cooling system* selain sebagai pendingin *secondary cooling system* juga mengisi air pendingin ke *intercondensor* dan *aftercondensor*.
- j. *Overflow* dari *cooling tower* akan ditampung untuk kepentingan *reinjection pump*.

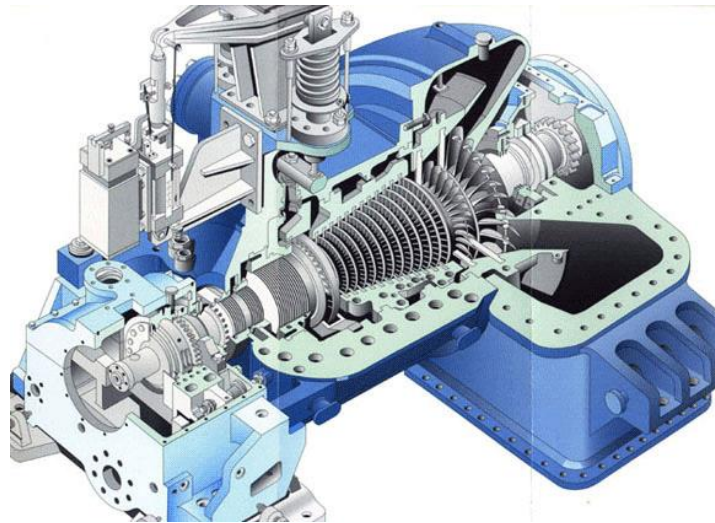
2.1 Bagian-Bagian Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Bagian utama yang terdapat pada suatu PLTP : [Subhan 2009]

- a. Turbin uap berfungsi mengonversikan energi panas yang dikandung oleh uap menjadi energi putar (energi mekanik). Poros turbin dihubungkan dengan poros generator sehingga ketika turbin berputar generator ikut berputar.
- b. Kondensor berfungsi untuk mengkondensasikan uap bekas turbin (uap yang telah digunakan untuk memutar turbin)
- c. Generator berfungsi untuk mengubah energi putar dari turbin untuk menjadi energi listrik

2.2 Turbin Uap

Turbin uap merupakan mesin rotasi yang berfungsi untuk mengubah energi panas yang terkandung dalam uap menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Turbin uap diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Turbin Uap (Reddy, 2016)

2.3 Bagian - Bagian Turbin Uap

Turbin uap terdiri dari beberapa bagian utama seperti, rumah turbin (*casing*), bagian yang berputar (*rotor*), sudu-sudu yang dipasang pada *rotor* maupun *casing*, dan bantalan untuk menyangga *rotor*. [Subhan 2009]

a. *Stator*

Stator turbin pada dasarnya terdiri dari dua bagian, yaitu *casing* dan sudu diam (*fixed blade*). Namun untuk tempat kedudukan sudu-sudu diam dipasang diaphragma

b. *Casing*

Casing merupakan rumah turbin yang membentuk ruangan (*chamber*) di sekeliling *rotor* sehingga memungkinkan uap mengalir melintasi sudu-sudu.

c. *Rotor*

Rotor turbin terdiri dari poros beserta cincin-cincin yang terbentuk dari rangkaian sudu-sudu yang dipasangkan sejajar sepanjang poros. *Rotor* adalah bagian dari turbin yang mengubah energi yang terkandung dalam uap menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros.

d. Sudu

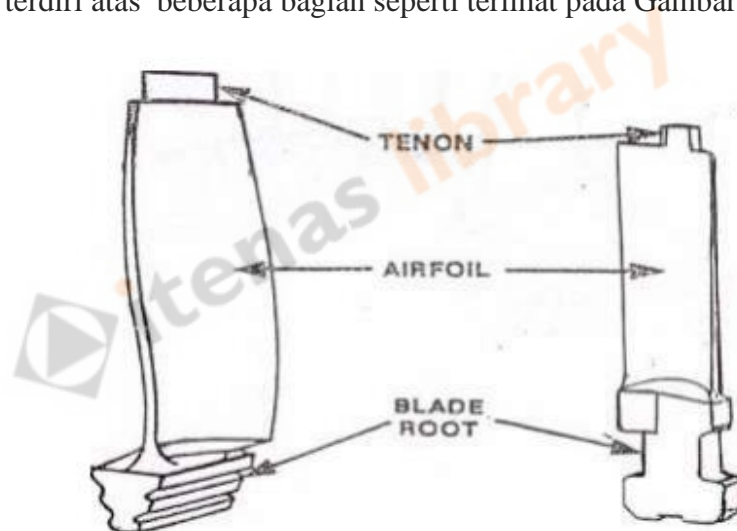
Sudu adalah bagian dari turbin dimana konversi energi terjadi. Sudu sendiri terdiri dari bagian akar sudu, badan sudu dan kepala sudu.

e. Bantalan

Sebagai bagian yang berputar, rotor memiliki kecenderungan untuk bergerak baik dalam arah radial maupun dalam arah aksial. Karena itu rotor harus ditumpu secara baik agar tidak terjadi pergeseran radial maupun aksial yang berlebihan. Komponen yang dipakai untuk keperluan ini disebut bantalan (*bearing*).

2.4 Bagian-bagian Sudu

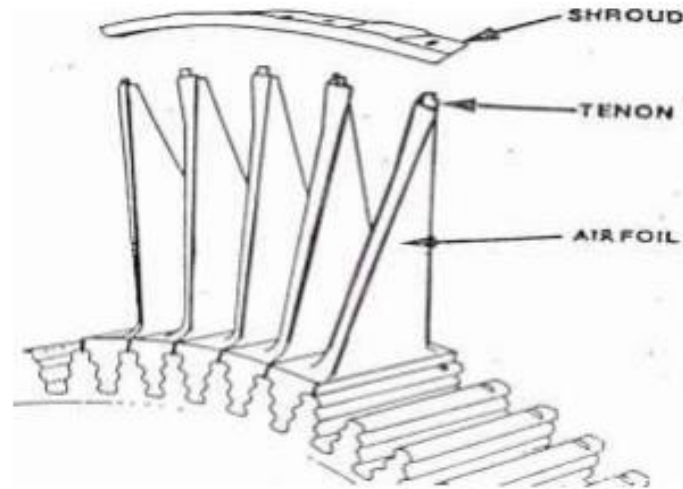
Sudu terdiri atas beberapa bagian seperti terlihat pada Gambar 2.3 :



Gambar 2.3 Sudu Turbin (Subhan, 2009)

Sudu kemudian dirangkai membentuk satu lingkaran penuh. Rangkaian sudu tersebut ada yang difungsikan sebagai sudu jalan dan ada yang difungsikan menjadi sudu tetap. Rangkaian sudu jalan dipasang disekeliling *rotor* sedang rangkaian sudu tetap dipasang disekeliling *casing* bagian dalam. Rangkaian sudu jalan berfungsi untuk kinetik uap menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Sedangkan sudu tetap, selain ada yang berfungsi untuk mengubah energi panas menjadi energi kinetik, tetapi ada juga yang berfungsi untuk membalik arah aliran

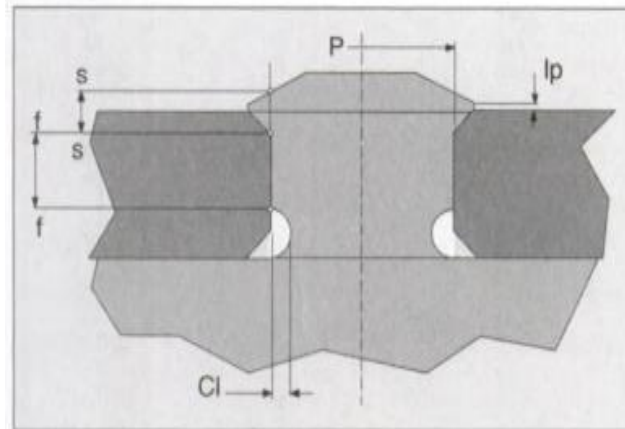
uap [Subhan 2009]. Contoh dari rangkaian sudu jalan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sudu Jalan (Subhan, 2009)

2.5 Proses Penyambungan *Tenon* dan *Shroud* Sudu Turbin

Proses penyambungan yang dilakukan pada sudu turbin khususnya bagian *tenon* dan *shroud* yaitu *rivetting*. Sambungan *rivet* merupakan metode penyambungan yang digunakan untuk mengikat suatu bagian dengan bagian lainnya. Sambungan ini merupakan sambungan yang bersifat permanen atau tetap, sehingga sambungan *rivet* tidak dapat dilepas kembali atau dibongkar pasang kecuali dengan cara merusaknya. Keuntungan sambungan *rivet* adalah tidak adanya perubahan struktur pada logam yang disambung. Sedangkan kekurangan sambungan *rivet* adalah diperlukannya pekerjaan awal, yaitu pembentukan geometri *tenon* dan *shroud* agar *riveting* dapat dilakukan dengan baik. Geometri hasil proses *riveting* ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Rivetting (William, 2002)

Proses *riveting* terbagi dalam 3 metode :

a. *Hand Riveting*

Metode penyambungan *tenon head* ini dilakukan secara konvensional dengan memanfaatkan energi tangan manusia untuk mengunci *shroud* pada *tenon* dengan menggunakan palu. Panas dialirkan pada *tenon head*, sehingga deformasi akibat palu banyak terjadi hanya pada bagian *tenon head*.

b. *Pneumatic Riveting*

Proses *rivetting* ini memanfaatkan tekanan dari teknologi pneumatik. Metode ini membentuk *rivet* dengan konduksi panas yang konsisten dialirkan pada seluruh bagian *tenon*. Sehingga kontrol tekanan dapat konstan dan optimal dalam mendeformasi seluruh bagian *tenon*. Namun, perlu operator yang terampil pada proses ini.

c. *The Rolled Rivet Head*

Proses ini dilakukan dengan *roll* pada bagian *tenon head* sehingga pengendalian *riveting* lebih konsisten, begitu pula hasilnya. Peralatan khusus diperlukan pada proses ini, dan memerlukan kalibrasi dimensi untuk setiap *tenon head*.

2.6 Kriteria Pemilihan Material Sudu Turbin Uap

Dalam pemilihan material sudu turbin uap ada beberapa hal yang harus diperhatikan dan diperhitungkan, yaitu sifat dari material sudu, kondisi operasi turbin uap, dan kualitas dari uap. Hal tersebut diperhatikan agar meminimalisir terjadinya kegagalan yang terjadi pada sudu, yang nantinya akan berdampak pada sistem dari turbin uap itu sendiri.

Dalam sejarahnya, material sudu turbin uap pertama adalah *Catridge Brass* (72Cu, 28Zn), *Nickel Brass* (50Cu, 10Ni, 40Zn), dan Monel (biasanya 66Ni, 31Cu, 1,3Fe). Lalu ketika turbin mulai berkembang pada tahun 1920, kekuatan dan ketahanan korosi yang lebih baik sangat dibutuhkan, dan 5% Ni *steel* umum digunakan pada saat itu. Tetapi bagaimanapun ketahanan terhadap korosi masih sangat dibutuhkan. Pada tahun 1930, 12% Cr *stainless steel* menjadi material yang digunakan pada saat itu hingga kini, dimana kelas 12% Cr memiliki spesifikasi AISI 403, 410, 410-Cb, 422. Dalam beberapa tahun terakhir hingga saat ini bahkan untuk 12% Cr *stainless steel* masih belum cukup untuk perkembangan turbin uap, dan titanium paduan menjadi material pilihan untuk sifat material yang lebih baik.

Di bawah ini merupakan kriteria material dalam desain sudu turbin uap, yaitu sebagai berikut :

- a. Pertimbangan pertama dalam kriteria material sudu turbin uap adalah ketahanan terhadap korosi, kekuatan untuk menahan gaya sentrifugal dan tegangan *bending*.
- b. Keuletan (*ductility*) dan kekuatan impak (*impact strength*) pun menjadi bagian yang sangat penting untuk sifat material yang harus dimiliki sudu turbin uap.
- c. Kekuatan *fatigue* dan ketahanan terhadap *corrosion fatigue*, memegang peranan penting sifat yang harus dimiliki material sudu turbin uap, karena pada sudu turbin uap bekerja beban dinamis dan beroperasi pada kondisi kerja yang korosif.
- d. Adanya aliran *steam* pada sudu maka material sudu harus memiliki sifat ketahanan terhadap erosi. Karena pada aliran *steam* tidak selalu

memiliki kualitas atau kemurnian (*purity*) yang baik, terlebih apabila umur operasi turbin yang sudah lama dan *maintenance* yang kurang diperhatikan, maka kualitas *steam* akan menurun.

Pemilihan material dari sudu turbin merupakan aspek yang sangat penting apabila ditinjau dari beberapa hal tersebut. Maka dari itu kebutuhan akan material yang memenuhi spesifikasi sudu turbin uap semakin hari semakin berkembang.

2.7 Material Sudu Turbin yang Digunakan

Material yang digunakan adalah *Stainless Steel 17-4 Precipitation Hardening* (SS 17-4 PH) atau biasa disebut juga dengan AISI 360. SS 17-4 PH ini dipilih karena memiliki ketahanan korosi dan ketangguhan yang baik [Upmet, 2019]. Komposisi kimia ditunjukkan pada Tabel 2.1 dan sifat mekanik ditunjukkan pada Tabel 2.2 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Stainless Steel 17-4 PH (Upmet, 2019)

	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>Ni</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>C</i>	<i>Cu</i>	<i>Cb+Ta</i>
MIN	15	-	-	3	-	-	-	3	0.15
MAX	17.5	1	1	5	0.04	0.03	0.07	3.5	0.45

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Stainless Steel 17-4 PH (Upmet, 2019)

<i>Ultimate Tensile Strength (MPa)</i>	<i>Yield Strength (MPa)</i>	<i>Elongation % in (51mm)</i>	<i>Hardness Rockwell C</i>
1103	1000	5	35