

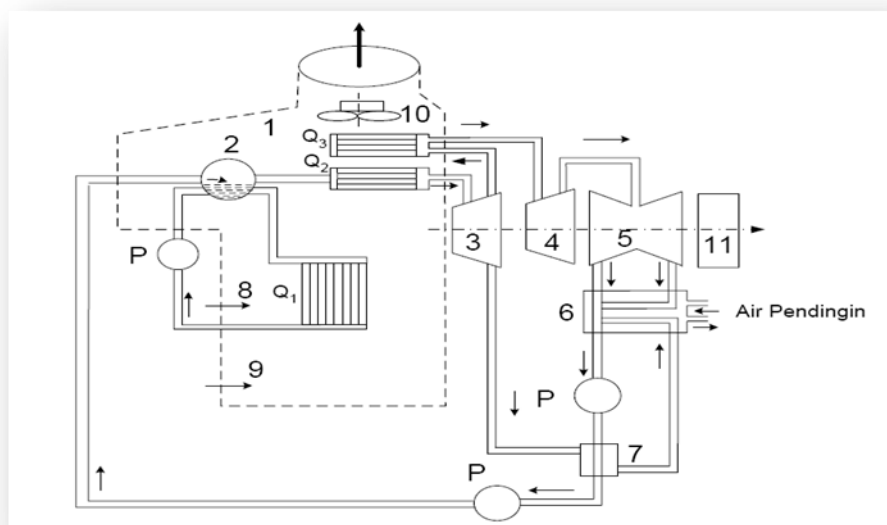
PLTU (PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP)

I. PENDAHULUAN

Pusat pembangkit listrik tenaga uap pada saat ini masih menjadi pilihan dalam konversi tenaga dengan skala besar dari bahan bakar konvensional menjadi daya dalam memenuhi kebutuhan permintaan beban yang besar. Pembangkit listrik ini menggunakan bahan bakar konvensional (batubara, minyak, atau gas alam) untuk membangkitkan panas dan uap pada boiler. Uap tersebut kemudian dipakai untuk memutar turbin yang dikopel langsung dengan generator sinkron, setelah melewati turbin uap, uap yang bertekanan dan bertemperatur tinggi yang berasal dari boiler tadi menjadi uap bertekanan dan bertemperatur rendah, kemudian uap ini masuk ke kondensor dan panas atau temperatur uap ini kemudian diserap oleh kondensor sehingga uap tersebut berubah menjadi air yang kemudian dipompakan kembali menuju boiler, sisa panas yang dibuang oleh kondensor tadi mencapai setengah dari jumlah panas semula yang masuk.

A. KOMPONEN-KOMPONEN UTAMA DALAM PLTU

Dalam menghasilkan listrik, suatu Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) membutuhkan suatu sinergi antara beberapa komponennya. Komponen-komponen utama dalam PLTU bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Komponen – komponen utama dalam PLTU

Keterangan :

1. Boiler
2. Drum
3. Turbin Tekanan Tinggi
4. Turbin Tekanan Menengah
5. Turbin Tekanan Rendah
6. Kondensor
7. Pemanas Awal
8. Pembakar Batubara
9. Kipas Udara Masuk
10. Kipas Udara Buang
11. Generator

P : Pompa

Q1 : Pipa-pipa Boiler

Q2 : Superhiter

Q3 : Pemanas Ulang

Sebuah drum berisi air dan uap bertekanan dan suhu tinggi menghasilkan uap yang diperlukan turbin. Drum itu juga menerima air pengisi yang diterima dari kondensor. Air pengisi boiler dipompakan dari luar masuk ke dalam boiler dengan menggunakan pompa air pengisian boiler (Boiler Feed Water Pump) dari tekanan 1 bar hingga mencapai tekanan kerja p bar di dalam boiler. Air yang digunakan untuk mengisi boiler adalah air hasil destilasi/penyulingan (air distiler) yang telah bebas dari zat-zat pencemar yang terkandung dalam air pada umumnya seperti debu padat, zat-zat terapung, garam, gas-gas terlarut, maupun koloid-koloid.

Air dalam tersebut kemudian dipanaskan dengan menggunakan bahan bakar konvensional yang ada sehingga terbentuk uap bertekanan dan bertemperatur tinggi, uap tersebut kemudian mengalir ke turbin tekanan tinggi setelah melewati superheater guna meningkatkan suhu uap sampai dengan kira-kira $500^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$ dengan demikian uap juga menjadi kering dan efisiensi seluruh PLTU meningkat, menurut **Djokosetyoardjo (2003:304)** “superheater ialah alat untuk memanaskan uap kenyang menjadi uap yang dipanaskan lebih

lanjut (steam superheater). Uap yang dipanaskan lebih lanjut bila digunakan untuk melakukan kerja dengan jalan ekspansi di dalam turbin uap tidak akan cepat mengembun, sehingga mengurangi kemungkinan timbulnya bahaya yang disebabkan oleh terjadinya pukulan balik (back stroke) yang diakibatkan mengembunnya uap belum pada waktunya sehingga menimbulkan vakum di tempat yang tidak semestinya di daerah ekspansi.” Adapun istilah uap kenyang ialah uap yang dalam keadaan seimbang dengan air yang dibawahnya, maksudnya ialah uap yang mempunyai tekanan dan temperatur mendidih yang sama dengan tekanan dan temperatur mendidih air yang ada dibawahnya dan apabila didinginkan akan segera mengembun menjadi air.

Uap yang mengalir pada Turbin tekanan tinggi mengakibatkan Turbin tersebut berputar sehingga merubah energi panas menjadi energi mekanikal putaran Turbin tersebut dikopel pada sebuah generator sinkron yang merubah energi mekanik pada turbin menjadi energi listrik. Setelah melewati turbin, uap bertekanan dan bertemperatur tinggi tersebut mengalami penurunan suhu sehingga menjadi uap bertekanan dan bertemperatur rendah. Untuk meningkatkan efisiensi panas dan menghindari terjadinya kondensasi terlampau dini, uap ini kemudian dilewatkan kembali pada sebuah pemanas ulang (superheater), yang juga terdiri atas barisan-barisan pipa yang dipanaskan.

Uap yang meninggalkan pemanas ulang (hasil pemanasan ulang) dialirkan ke turbin tekanan menengah, sehingga memutar turbin tekanan menengah, turbin ini juga dikopel pada generator sinkron yang sama dengan turbin tekanan tinggi. Turbin tekanan menengah ini ukurannya lebih besar dari turbin tekanan tinggi, karena dengan, menurunnya tekanan uap, volume akan menjadi naik. Setelah melewati turbin tekanan menengah uap kemudian dialirkan ke turbin tekanan rendah dan memutar turbin tekanan rendah yang dikopel pada generator yang sama dengan kedua turbin sebelumnya, turbin tekanan rendah ini memiliki ukuran yang lebih besar lagi, uap yang telah melewati turbin tekanan rendah lalu dialirkan ke dalam kondensor.

Uap yang telah melewati turbin tekanan rendah kemudian memasuki kondensor dan didinginkan oleh air pendingin sehingga terjadi kondensasi yang menyebabkan uap tersebut menjadi air. Air pendinginnya biasanya berasal dari air laut, sungai atau danau terdekat. Air hangat yang meninggalkan kondensor kemudian dipompa ke sebuah pemanas awal sebelum kembali ke drum boiler. Pemanas awal memperoleh panas dari uap yang diambil dari turbin

tekanan tinggi. Menurut berbagai literatur, hal demikian meningkatkan efisiensi keseluruhan PLTU.

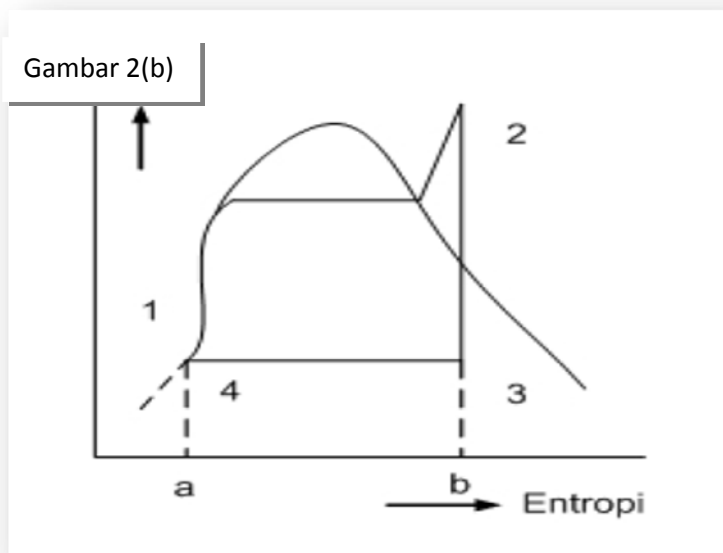
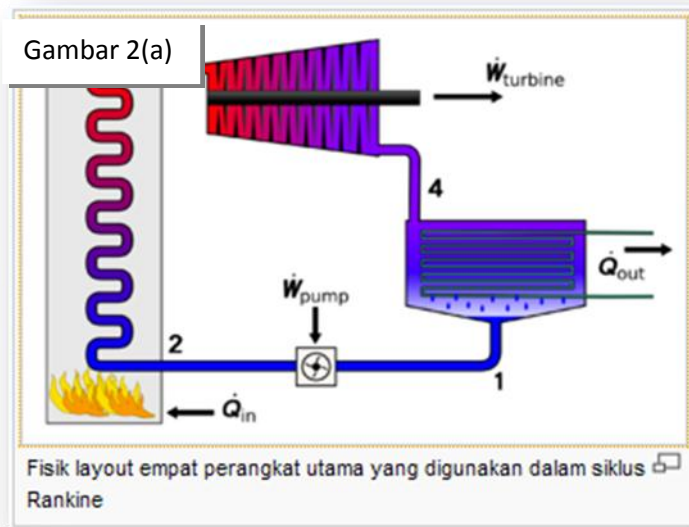
Bahan bakar yang dipakai biasanya terdiri atas batubara, minyak bumi, atau gas alam. Sebelum memasukkan ke pembakar boiler, batubara digiling terlebih dahulu. Demikian pula minyak bakar perlu dipanaskan, sebelum dapat dialirkan ke pembakar boiler. Sebuah kipas digunakan untuk mengatur masuknya udara ke dalam boiler dalam jumlah besar sebagaimana diperlukan guna pembakaran dan sebuah kipas lain mengatur agar semua gas buangan melewati berbagai alat pembersih sebelum dialirkan ke cerobong dan dilepaskan di udara bebas, kipas ini menciptakan isapan cerobong paksa sehingga terjadi perbedaan berat jenis yang cukup besar antara udara dan gas asap.

Cerobong digunakan untuk mengalirkan gas asap ke luar dari boiler dengan kecepatan tertentu, dan digunakan untuk mengatasi geseran yang terjadi terhadap aliran gas asap, mulai dari rangka bakar atau pembakar (burner), hingga keluar dari cerobong. Dengan kata lain : untuk menimbulkan isapan cerobong atau stack Draught, selain itu untuk membunag gas asap setinggi mungkin sehingga tidak mengganggu lingkungan sekitarnya. Timbulnya isapan ceobong asap disebabkan oleh perbedaan Berat Jenis, antara Berat jenis udara dengan berat jenis gas asap. Generator listrik terpasang pada poros sama dengan ketiga turbin.

B. SIKLUS RANKINE

Siklus Rankine, atau siklus tenaga uap, merupakan siklus teoritis paling sederhana yang mempergunakan uap sebagai medium kerja sebagaimana pada sebuah pusat listrik tenaga uap. Gambar 2 memperlihatkan skema dari pusat listrik tenaga uap (PLTU) yang terdiri atas komponen-komponen terpenting yaitu : boiler, turbin uap, dan kondensor. Jumlah energi masuk sebagai bahan bakar melalui boiler adalah E_m , sedangkan energi efektif yang tersedia pada poros turbin adalah energi kerja E_k . energi yang terbuang melalui kondensor adalah E_b . dengan menganggap semua rugi-rugi lainnya termasuk E_b , maka dapat disimpulkan bahwa :

$$E_m = E_k + E_b$$



Sedangkan untuk efisiensi kerja dapat ditulis :

$$\eta = \frac{E_k}{E_M} = \frac{E_m - E_b}{E_m}$$

Dalam gambar 2(b), merupakan suatu diagram suhu entropi bagi konstelasi menurut gambar 2(a), luas 1-2-3-4 merupakan energi keluaran E_k , sedangkan luas a-b-3-4 merupakan energi terbuang E_b . luas wilayah a-b-2-1 mewakili jumlah masukan E_m . Untuk meningkatkan daya guna siklus ini dapat dilakukan dengan merunkan tekanan kondensor. Secara ideal tekanan kondensor yang terendah adalah tekanan jenuh sesuai suhu terendah

dari air pendingin atau udara yang dipakai sebagai penerima. Dalam diagram suhu-entropi hal ini berarti menurunkan garis suhu 4-3. hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan air pendingin pada kondensor yang mempunyai suhu yang lebih rendah. Akan tetapi hal ini sangat terbatas, karena air pendingin yang dapat dipakai hanyalah apa yang tersedia, yaitu air laut, air sungai, atau air danau yang ada.

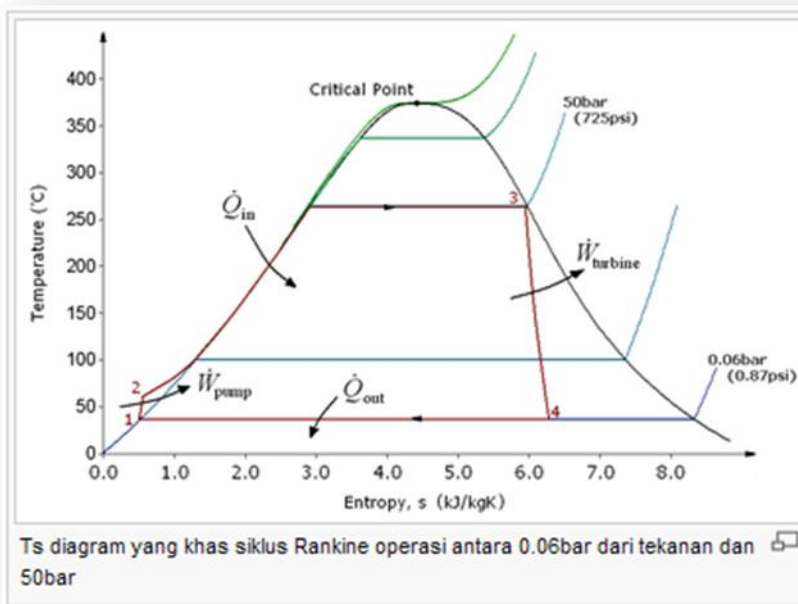
Efisiensi dari siklus Rankine biasanya dibatasi oleh pekerjaan cairan. Tanpa tekanan terjadi super kritis suhu rentang siklus dapat beroperasi lebih dari cukup, turbin masuk biasanya bersuhu 565°C (yang merayap batas stainless steel) dan suhu kondensator adalah sekitar 30°C . Ini memberikan sebuah teori Carnot efisiensi sekitar 63% dibandingkan dengan sebenarnya efisiensi dari 42% untuk batu bara modern-fired listrik. Ini masuk turbin

temperatur rendah (dibandingkan dengan turbin gas) adalah siklus Rankine mengapa sering digunakan sebagai bottoming siklus di gabungan siklus turbin gas daya stasiun.

Kerja cairan dalam siklus Rankine berikut lingkaran tertutup kembali dan digunakan terus. Air uap dan sering terlihat tetesan entrained kepuh dari stasiun adalah daya yang dihasilkan oleh sistem pendinginan (tidak tertutup dari lingkaran siklus Rankine daya) dan mewakili limbah panas yang tidak dapat dikonversi menjadi berguna bekerja. Perlu diketahui bahwa pendinginan menara beroperasi menggunakan latent panas uap dari cairan pendinginan. Kepuh awan putih yang formulir di menara operasi adalah hasil tetesan air yang entrained di menara aliran udara; itu tidak, karena umumnya pikiran, uap. Walaupun banyak bahan dapat digunakan dalam siklus Rankine, air biasanya merupakan cairan pilihan karena baik properti, seperti nontoxic dan unreactive chemistry, kelimpahan, dan biaya rendah, serta para thermodynamic properti.

Salah satu keunggulan utama ia berpendapat melalui siklus lainnya adalah bahwa selama tahap kompresi relatif sedikit kerja diperlukan untuk mendorong pompa, karena pekerjaan yang cairan dalam fase cair pada saat ini. Condensing oleh cairan ke cair, pekerjaan yang diperlukan oleh pompa akan hanya mengkonsumsi sekitar 1% hingga 3% dari turbin dan daya sehingga memberikan efisiensi yang lebih tinggi untuk sebuah siklus. Keuntungan ini akan hilang sedikit karena semakin rendah suhu panas itu. Gas turbines, misalnya, ada turbin masuk mendekati suhu 1500 ° C. Namun, dengan efisiensi dari siklus uap dan gas yang

Gambar 3



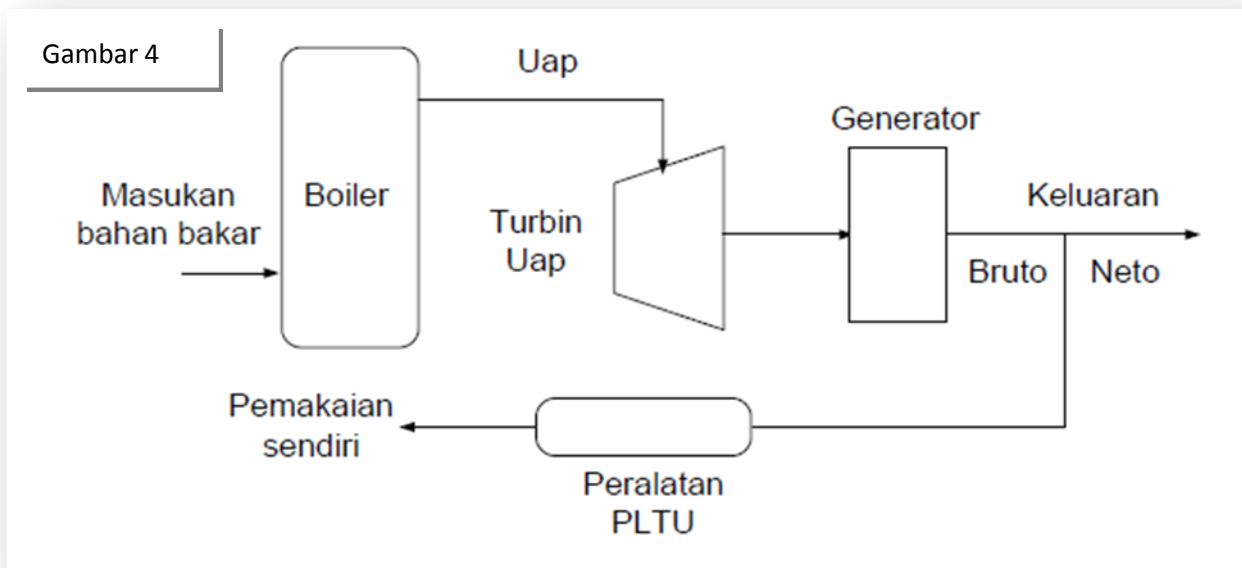
cukup baik turbines cocok.

Ada empat proses dalam siklus Rankine, masing-masing mengubah keadaan bekerja cairan. Keadaan ini ditunjukkan oleh nomor dalam diagram di sebelah kanan.

- **Proses 1-2:** Cara kerjanya adalah cairan dipompa dari tekanan rendah sampai tinggi, karena cairan yang cair pada tahap ini yang memerlukan sedikit input pompa energi.
- **Proses 2-3:** Tingginya tekanan cairan yang masuk boiler adalah air panas di mana pada tekanan konstan oleh sumber panas eksternal menjadi uap jenuh kering.
- **Proses 3-4:** Uap kering jenuh memperluas melalui turbin, menghasilkan listrik. Ini menurun suhu dan tekanan dari uap, dan beberapa kondensasi dapat terjadi.
- **Proses 4-1:** uap basah yang kemudian memasuki sebuah kondensator tempat itu kental pada suhu dan tekanan konstan untuk menjadi cair jenuh. Tekanan dan suhu yang ditetapkan oleh kondensator adalah suhu dari cooling coils cairan sebagai proses yang tahap-ubah.

II. KARAKTERISTIK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP

Ada banyak parameter yang dapat digunakan dalam analisis masalah-masalah yang terkait dengan pengendalian operasi sebuah sistem tenaga listrik. Salah satu parameter penting pengoperasian secara ekonomis adalah karakteristik masukan dan keluaran satuan pembangkit listrik termal. Skema satuan boiler-turbin-generator terlihat pada gambar 4.1. satuan ini terdiri atas boiler tunggal yang menghasilkan uap untuk menggerakkan satu set turbin generator tunggal. Keluaran satuan ini adalah energi listrik yang dihubungkan tidak hanya pada sistem umum pemakaian tenaga listrik, akan tetapi juga pada sistem peralatan pusat tenaga listrik itu sendiri. Suatu turbin uap memerlukan 2 hingga 6 persen dari keluaran bruto guna keperluan berbagai peralatan seperti pompa, kipas, lampu, dan lain sebagainya. Dengan demikian erdapat masukan bruto dan keluaran neto. Masukan bruto adalah bahan bakar persatuan waktu, berupa nilai panas H kCal/jam. Keluaran neto merupakan daya listrik P MW yang disediakan guna keperluan jaringan.

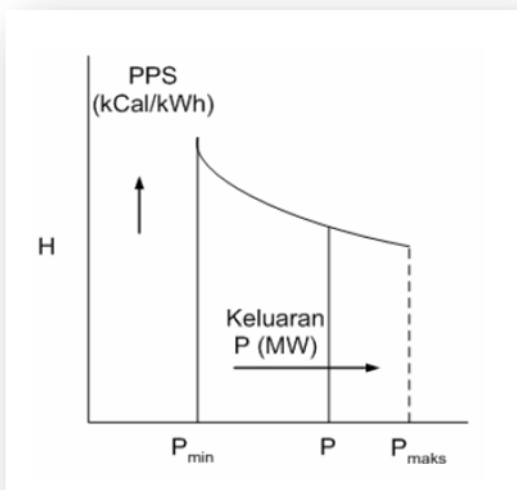


Gambar Satuan BOILER – TURBIN – GENERATOR

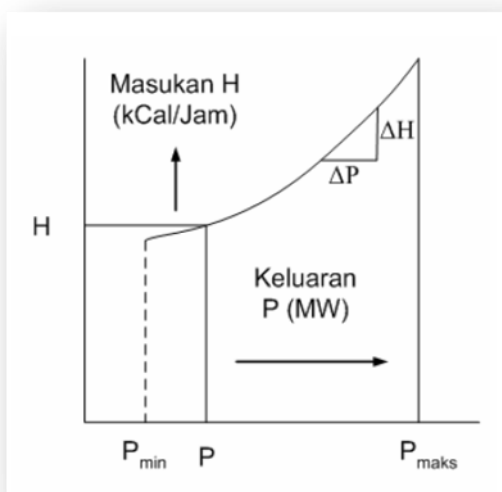
Gambar di atas memperlihatkan grafik masukan-keluaran sebuah satuan uap dalam bentuk ideal. Masukan berupa bahan bakar (kCal/jam) dan keluaran dalam bentuk daya listrik P MW. Dapat juga dilihat adanya daya minimum dan daya maksimum. Batas minimum beban ditentukan oleh stabilitas pembakaran bahan bakar serta kendala-kendala desain mesin.

Misalnya, terdapat banyak satuan superkritikal tidak dapat beroperasi di bawah 30 persen kemampuan desain. Suatu arus minimum 30 persen diperlukan guna mendinginkan pipa-pipa dalam tungku boiler. Turbin umumnya tidak banyak memiliki kemampuan untuk memikul beban lebih.

Karakteristik pemakaian panas, yaitu H/P (kcal/jam) terhadap daya P (MW) terlihat pada gambar 5 grafik ini merupakan kebalikan karakteristik efisien sebuah mesin. Satuan-satuan turbin uap biasanya memiliki efisiensi sekitar 35 persen, atau kira-kira 2500 hingga 3000 kCal/Jam.



Gambar 5 Grafik Masuk-Keluaran Turbin Uap & Generator



Gambar 6 Karakteristik Pemakaian Panas

III. PERKEMBANGAN PEMBANGKIT LISTRIK DI INDONESIA

Meningkatnya konsumsi listrik nasional turut memicu peningkatan penggunaan beberapa jenis bahan bakar dalam pembangkitan tenaga listrik adapun jenis bahan bakar yang digunakan oleh pembangkit listrik yang mengalami peningkatan tertinggi selama periode tersebut adalah bahan bakar gas bumi, kemudian diikuti pemakaian panas bumi yang mengalami peningkatan sebesar, batubara, minyak solar, dan tenaga air. Adapun pemakaian minyak diesel dan minyak bakar untuk pembangkit listrik selama kurun waktu 12 tahun terjadi penurunan. Penurunan pemakaian minyak diesel ini terutama terjadi di pulau Jawa dan Sumatera dimana di kedua wilayah tersebut telah terdapat jaringan transmisi, sehingga diperlukan pembangkit dengan kapasitas besar dalam memenuhi kebutuhan listriknya. Kebutuhan listrik pada beban puncak di Jawa dan Sumatera saat ini sebagian besar dipenuhi oleh ,PLTG, PLTU dan PLTGU, serta sebagian kecil oleh PLTD dan tenaga air.

IV. KAPASITAS PEMBANGKIT LISTRIK

Seperti diketahui bahwa kebutuhan listrik nasional diperkirakan terjadi peningkatan. Peningkatan kebutuhan listrik tersebut memerlukan dukungan kapasitas pembangkit listrik. Menurut hasil analisis BPPT menggunakan Model MARKAL, kapasitas pembangkit listrik diperkirakan tumbuh dari 23,26 GW pada tahun 2003 menjadi 63,16 GW pada tahun 2020. Jenis pembangkit listrik terbesar pada tahun 2003 adalah PLTU-B (Pembangkit Listrik Tenaga Uap – Batubara) dengan kapasitas sekitar 5,32 GW atau sekitar 23%. Peranan PLTU-B dalam memenuhi kebutuhan listrik pada tahun 2020 cukup signifikan yang mencapai sekitar 24% terhadap total kapasitas pembangkit nasional atau sekitar 15,19 GW. Peningkatan kapasitas PLTU-B relatif terbatas karena dalam kajian prakiraan kapasitas pembangkit listrik nasional jangka panjang sudah mempertimbangkan kendala infrastruktur pelabuhan penerima batubara di Jawa.

Selain PLTU-B, jenis pembangkit yang diperlukan untuk memenuhi peningkatan kebutuhan listrik tersebut adalah pembangkit listrik berbahan bakar gas bumi, seperti PLTG dan PLTGU. Total kapasitas PLTG-G pada tahun 2020 diperkirakan mencapai 11,51 GW, sedangkan kapasitas PLTGU-G mencapai 8,36 GW. Tingginya kapasitas PLTG-G dan PLTGU-G tersebut disebabkan karena dalam kajian prakiraan kapasitas pembangkit listrik nasional jangka panjang kendala pasokan gas untuk pembangkit listrik dianggap tidak ada. Namun, seperti diketahui bahwa pemanfaatan gas bumi nasional lebih difokuskan untuk

memenuhi kebutuhan sektor industri baik sebagai bahan bakar maupun sebagai bahan baku. Pemanfaatan gas bumi pada sektor industri adalah sebagai substitutor BBM. Berbeda dengan PLTU-B, PLTG-G, dan PLTGU, kapasitas PLTD diperkirakan akan meningkat relatif terbatas namun secara total pangsaanya menurun. Penurunan pangsa PLTD karena semakin berkembangnya jaringan transmisi nasional, terutama di Kawasan Timur Indonesia, sehingga diperlukan pembangkit skala besar yang lebih ekonomis.

V. KEUNGGULAN DAN KELEMAHAN PLTU

Keunggulan PLTU

- Dapat melayani beban dasar karena waktu start dan stop nya yang lama.
Biaya operasional relatif lebih rendah dibanding pembangkit listrik lainnya.
- Tidak bergantung pada alam seperti halnya PLTA sehingga dapat beroperasi sepanjang waktu selama tersedianya bahan bakar konvensional.
- Dapat dibangun pada tempat yang memang memiliki potensi beban yang tinggi.
- Kemungkinan bahaya pencemaran lingkungan relatif kecil.

Kelemahan PLTU

- Dengan digunakannya bahan bakar konvensional, maka adanya kemungkinan PLTU akan sulit dioperasikan dimasa depan karena persediaan bahan bakar konvensional yang semakin menipis.
- Tidak mampu melayani beban puncak dengan baik karena waktu start nya yang lama.

VI. KESIMPULAN

Dari gambaran tentang analisis pemanfaatan energi pada pembangkit listrik nasional dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Secara umum, pola pemakaian jenis bahan bakar di Indonesia sama seperti di Jawa, karena produksi listrik di Jawa mencapai 75% terhadap produksi listrik nasional. Dapat dikatakan bahwa dengan telah tersedianya jaringan transmisi tegangan tinggi di Jawa, hampir seluruh pembangkit listrik berskala besar dipasang di Jawa termasuk

PLTU sehingga Pulau Jawa merupakan tempat dengan potensi terbesar untuk pembangunan PLTU.

2. Hasil kajian menunjukkan bahwa pangsa batubara di Jawa yang sebelumnya mendominasi pembangkitan listrik dari tahun 2003 sampai tahun 2020 menurun, dan peranannya digantikan oleh gas alam dimana pangsa dalam pembangkitan listrik tahun 2003 sebesar 24% menjadi 45% pada tahun 2020. Penurunan pangsa batubara tersebut karena adanya kendala keterbatasan infrastruktur pelabuhan batubara di Jawa. Sehingga potensi PLTU yang tepat adalah PLTU-G (Pembangkit Listrik Tenaga Uap – Gas), yaitu PLTU dengan bahan bakar Gas.
3. Kebutuhan bahan bakar untuk pembangkit listrik di luar Jawa diperkirakan meningkat. Peningkatan kebutuhan bahan bakar untuk pembangkit listrik di luar Jawa lebih tinggi daripada Jawa, sehingga pangsa bahan bakar di luar Jawa pada tahun 2020 meningkat terhadap total konsumsi bahan bakar untuk pembangkit listrik nasional. Peningkatan kebutuhan batubara terutama berlangsung di hampir seluruh wilayah di luar Jawa mengingat pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar PLTU-B akan menghasilkan biaya produksi listrik yang relatif lebih murah dibanding bahan bakar lainnya. Jadi secara umum daerah-daerah di Indonesia memiliki potensi yang cukup besar dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), terlebih lagi PLTU-B.