

IDENTIFIKASI SKEMA OPTIMUM EKSTRASI UAP UNTUK INSTALASI DESALINASI PADA SISTEM KOGENERASI PLTN PWR

Dedy Priambodo, Erlan Dewita, Sudi Ariyanto
Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) BATAN
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710
Telp./Faks. (021) 5204243, Email : dedypriambodo@batan.go.id

Masuk: 8 April 2011

Direvisi: 11 Mei 2011

Diterima: 1 Juni 2011

ABSTRAK

IDENTIFIKASI SKEMA OPTIMUM EKSTRASI UAP UNTUK INSTALASI DESALINASI PADA SISTEM KOGENERASI PLTN PWR. Menurut *International Desalination Association 2009*, terdapat sekitar 14.400 instalasi desalinasi di seluruh dunia yang memproduksi air bersih 59,9 juta m³ per hari dan diperkirakan akan terus meningkat sebesar 12,3% per tahun. Pada umumnya, sebagai sumber penyedia panas digunakan bahan bakar fosil yang proses pembakarannya melepaskan emisi gas CO₂ dan gas rumah kaca lainnya. Meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi proses seperti unit desalinasi skala besar merupakan opsi jangka panjang yang tidak berkelanjutan dipandang dari segi dampak terhadap lingkungan. PLTN merupakan salah satu sumber energi baru yang dapat memproduksi energi skala besar dan juga berpotensi untuk tujuan kogenerasi dimana selain diproduksi listrik, panas nuklir juga dimanfaatkan untuk panas proses, seperti : desalinasi. Reaktor tipe PWR adalah tipe PLTN yang paling banyak digunakan di dunia. Dalam pemanfaatan panas PLTN tipe PWR untuk desalinasi diperlukan suatu pemilihan sumber uap dari siklus sekunder PLTN. Pemilihan titik ekstraksi uap yang tepat akan menghasilkan skenario kogenerasi yang optimum dalam hal terpenuhinya kebutuhan panas untuk desalinasi dengan pengurangan produksi listrik seminimal mungkin. Pada dasarnya terdapat 4 skenario skema yang berdasarkan dua lokasi ekstraksi uap, yaitu crossover pipe and extraction line. Optimasi dilakukan menggunakan program Cycle Tempo. Hasil simulasi menunjukkan bahwa skema 3 dari titik ekstraksi uap crossover pipe adalah yang terbaik dengan daya terbangkitkan 1039,1 MWe, kebutuhan listrik internal 34,5 MWe, kehilangan daya karena kogenerasi 149 MWe dan daya yang bisa ditransmisikan 1004,6 MWe.

Kata kunci: fosil, kogenerasi, desalinasi, ekstraksi, uap, PLTN, PWR

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF OPTIMUM STEAM EXTRACTION SCHEME FOR DESALINATION PLANT ON COGENERATION PURPOSE PWR TYPE NPP. According to *International Desalination Association 2009*, there are 14.400 desalination installations in the world which produced 59,9 million m³ per day and it was estimated to be increase continuously about 12,3% per year. Generally, fossil fuel has used as heat source which its combustion process will emitte of CO₂ gas and another greenhouse gases. Increasing of fossil fuel utilization as energy process source, in : large scale desalination plant is not sustainable longterm option in term of environmental impact viewpoint. Nuclear Power Plant (NPP) is one of energy source which can produce large scale energy and it is also potential for cogeneration purposes which it produce electricity, as well as nuclear heat is also used for heat process, such as : desalination. Among all NPP type, PWR is the most utilized. In the heat utilization of PWR type NPP for desalination is needed a steam source selection of NPP secondary cycle. The exact selection of steam extraction point will be resulting an optimum cogeneration system to fulfil heat requirement for desalination by reduction of electricity as minimal as possible. Basically, there are 4 scheme scenario which are based on 2 steam extraction points, namely crosspipe and extraction line. Optimization is conducted by using Cycle Tempo Programme. Result of this study showed that third scheme of crossover pipe of steam extraction point is the best scheme with 1039,1 MWe of power, 34,5 MWe of internal electricity needs and 149 MWe of power loss by cogeneration sistem and 1004,6 MWe of transmission power.

Keywords: fossil, cogeneration, desalination, extraction, steam, NPP, PWR

1. PENDAHULUAN

Sesuai dengan isi Perpres RI No.5 Tahun 2006, Pemerintah Indonesia telah menetapkan sasaran bauran energi primer optimal 2025 yang memberi kesempatan kepada sumber energi baru dan terbarukan (biomassa, nuklir, tenaga air, tenaga surya, tenaga angin) untuk berkontribusi lebih dari 5%. Kebijakan pemerintah tersebut memberi peluang dan tantangan terhadap penerapan dan pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Indonesia. PLTN bisa digunakan untuk pembangkit listrik, maupun sebagai sumber panas untuk aplikasi non-listrik yang dikenal dengan PLTN kogenerasi. Selain tingkat konsumsi energi dan kondisi infrastruktur jaringan listrik, pemilihan PLTN juga disesuaikan dengan tujuan aplikasinya seperti untuk proses dalam industri yang memerlukan temperatur tinggi, sedang atau rendah. Aplikasi panas nuklir untuk temperatur rendah adalah untuk proses desalinasi (~ 70°C), sehingga dengan kopling antara PLTN dan instalasi desalinasi akan diproduksi listrik dan air bersih secara simultan.

Desalinasi adalah proses untuk menghilangkan kandungan garam dari air laut sehingga dihasilkan air yang layak dikonsumsi (*potable water*). Proses desalinasi membutuhkan listrik dan/ atau panas yang dapat dipasok dari PLTN. Semua jenis reaktor nuklir mampu menyediakan panas proses untuk dikopel dengan instalasi desalinasi. Hingga saat ini jenis reaktor nuklir yang banyak digunakan sebagai pembangkit listrik adalah reaktor nuklir air bertekanan (*Pressurized Water Reactor* atau PWR). Reaktor ini menggunakan air (H₂O) sebagai pendingin sekaligus sebagai moderator dengan suhu pendingin keluar reaktor (~320°C). Panas yang dihasilkan oleh reaksi fisi pada bahan bakar uranium dioksida (UO₂) dalam bejana reaktor (*reactor vessel*) dipakai untuk memanaskan air pendingin primer bertekanan. Air pendingin primer selanjutnya dialirkan ke sistem pembangkit uap (*steam generator*) untuk memproses pertukaran panas dari sistem pendingin primer ke sistem pendingin sekunder, pertukaran panas ini menyebabkan air sistem pendingin sekunder mendidih dan menghasilkan uap panas yang selanjutnya dipakai untuk memutar turbin dan generator untuk menghasilkan tenaga listrik.^[1]

Dalam sistem PLTN yang dikopling dengan instalasi desalinasi, panas yang dibutuhkan untuk proses desalinasi diambil dari siklus sekunder. Uap yang dibangkitkan pada siklus sekunder PLTN tipe PWR dalam kondisi temperatur berkisar 250^o-285^oC (40-70 bar), untuk alasan efisiensi pembangkit. Sementara itu, uap buangan pada kondensor kurang lebih 40^oC (0,18 bar). Temperatur *Brine Maximum* untuk proses desalinasi termal berkisar 70- 120^o C, untuk alasan pencegahan *scaling*. Akibatnya, temperatur *brine maximum* adalah jauh lebih tinggi dari temperatur normal uap buang pada kondensor, di sisi lain temperatur *brine maximum* jauh lebih rendah dari pada uap keluar pembangkit uap. Hal ini menyebabkan, penyediaan panas yang *moderate* untuk proses desalinasi dapat dilakukan dengan mencerat uap dari turbin ekstrasi maupun dari turbin tekanan balik. Namun demikian, cara ini akan mengakibatkan berkurangnya produksi listrik walaupun berakibat meningkatnya efisiensi penggunaan panas. Oleh karena itu, pemilihan skema ekstrasi/ekstrasi uap yang tepat dari siklus sekunder PLTN sangat penting bagi optimalisasi kinerja sistem kogenerasi.^[2]

2. METODOLOGI

2.1. *Cycle Tempo*

Untuk menemukan skema ekstrasi yang optimum pada PLTN PWR untuk kogenerasi ini digunakan program komputer *Cycle Tempo*. Program tersebut adalah program komputasi neraca massa dan energi yang dikembangkan oleh *Delft University of Technology* Belanda sebagai program analisis termodinamika dan optimasi sistem pembangkit listrik, panas proses dan pendingin.

Program ini sesuai untuk pemodelan siklus turbin uap, unit STAG, siklus turbin gas, sistem pembakaran dan penukar panas, siklus kombinasi gasifikasi batubara dan biomassa, sistem *fuel cell*, siklus rankine organik, sistem pendingin dan *heat pump*. Dengan program ini hampir semua sistem yang telah ada ataupun yang masih desain dapat di modelkan, sehingga *cycle tempo* sangat cocok untuk mengevaluasi sistem kombinasi yang kompleks. Evaluasi dari sistem kombinasi panas dan listrik (*Combined Heat and Power* CHP) menjadi mudah dengan fitur-fitur yang ada dalam program ini.^[3]

2.2. Asumsi

Studi dilakukan terhadap skema ekstraksi uap yang mampu menyediakan uap tekanan rendah untuk proses desalinasi termal. Skenario skema ekstraksi uap disimulasikan terhadap PLTN PWR AP 1000 dikarenakan kelengkapan data siklus sekunder yang tersedia. Data siklus sekunder PLTN PWR AP 1000 dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Data Sistem Konversi Uap dan Listrik AP 1000
Sistem Konversi Uap dan Listrik ^[4]**

Parameter	Nilai
Laju panas pembangkit uap (MW_{th})	3.415
Tekanan uap keluar pembangkit uap (psig)	823
Temperatur air umpan pembangkit uap ($^{\circ}F$)	440
Temperatur uap keluar pembangkit uap ($^{\circ}F$)	523
Produksi listrik (kW)	1.199.500
Kecepatan turbin (rpm)	1.800

Selain itu, data tambahan lain adalah pada sistem sekunder AP 1000 memiliki sebuah pengering uap (*moisture separator*), dua unit pemanas ulang (*reheat*), dan enam unit regenerasi/pemanas air umpan (lima unit pemanas tertutup dan satu unit pemanas terbuka/*deaerator*). Sedangkan kebutuhan uap untuk proses desalinasi termal diinginkan pada kondisi uap jenuh dengan tekanan 1,9 bar, temperatur 118 $^{\circ}C$ (diasumsikan *condenser approach* 8 $^{\circ}C$ sehingga tempertur maksimum *brine* 110 $^{\circ}C$) dan laju panas yang diinginkan adalah 250, 500, dan 1000 MW_{th} .

Dalam penelitian ini identifikasi dilakukan terhadap empat skenario skema yang berdasarkan dua lokasi ekstraksi uap yaitu:

a. Ekstraksi uap dari turbin tekanan rendah

Skenario skema ekstraksi ini dipilih karena kondisi uap ekstraksi turbin tekanan rendah sesuai dengan kondisi uap yang diperlukan oleh proses desalinasi termal. Skenario skema untuk lokasi ekstraksi tersebut adalah:

- Skema 1

Uap diekstraksi dari aliran pipa ekstraksi turbin tekanan rendah untuk pemanas air umpan pembangkit uap. Uap yang diekstraksi kemudian dikirim ke instalasi desalinasi, memberikan panas latennya dan terkondensasi. Kondensat kemudian dikirim kembali ke PLTN dan bercampur dengan kondensat dari kondensor.

- Skema 2

Uap diekstraksi langsung dari turbin tekanan rendah, dan dikirim ke instalasi desalinasi. Kondensat dikirim kembali ke PLTN dan bercampur dengan kondensat dari kondensor. Pada skema ini satu buah pemanas air umpan pembangkit uap di hilangkan.

b. Ekstraksi uap dari keluaran turbin tekanan tinggi

Skenario skema ekstraksi ini dipilih karena kondisi uap keluaran crossover pipe mempunyai tekanan dan temperatur yang tinggi sehingga memungkinkan untuk menyediakan uap yang diperlukan oleh proses desalinasi termal. Skenario skema sebagai berikut:

- Skema 3

Uap diekstraksi dari aliran pipa keluaran turbin tekanan tinggi (crossover pipe) kemudian digunakan untuk memutar turbin tekanan balik. Kemudian uap tekanan rendah yang keluar dari turbin tekanan balik dikirim ke instalasi desalinasi dengan terlebih dahulu dikeringkan dalam pengering uap. Kondensat dikirim kembali ke PLTN dan bercampur dengan kondensat dari kondensor. Pada skema ini sebuah turbin tekanan balik ditambahkan dalam siklus sekunder PLTN.

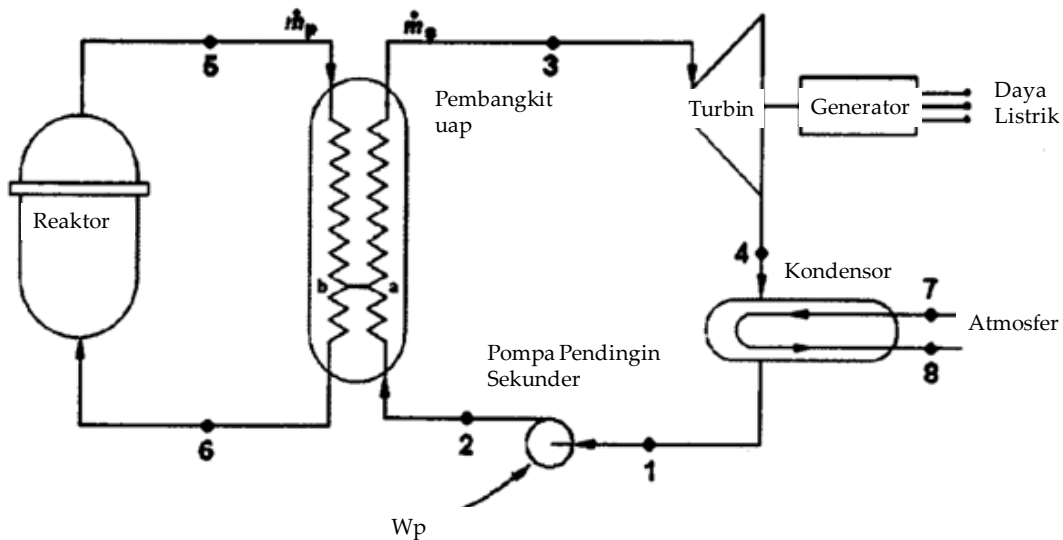
- Skema 4

Uap diekstraksi dari *crossover pipe* kemudian diturunkan tekanannya hingga sesuai dengan kondisi tekanan uap yang dibutuhkan untuk proses desalinasi termal. Uap kemudian dimanfaatkan sebagai media pemanas pada pemanas air umpan tambahan pembangkit uap. Uap keluar pemanas air umpan tambahan pada temperatur dan tekanan yang sesuai dengan kondisi yang dibutuhkan proses desalinasi termal.

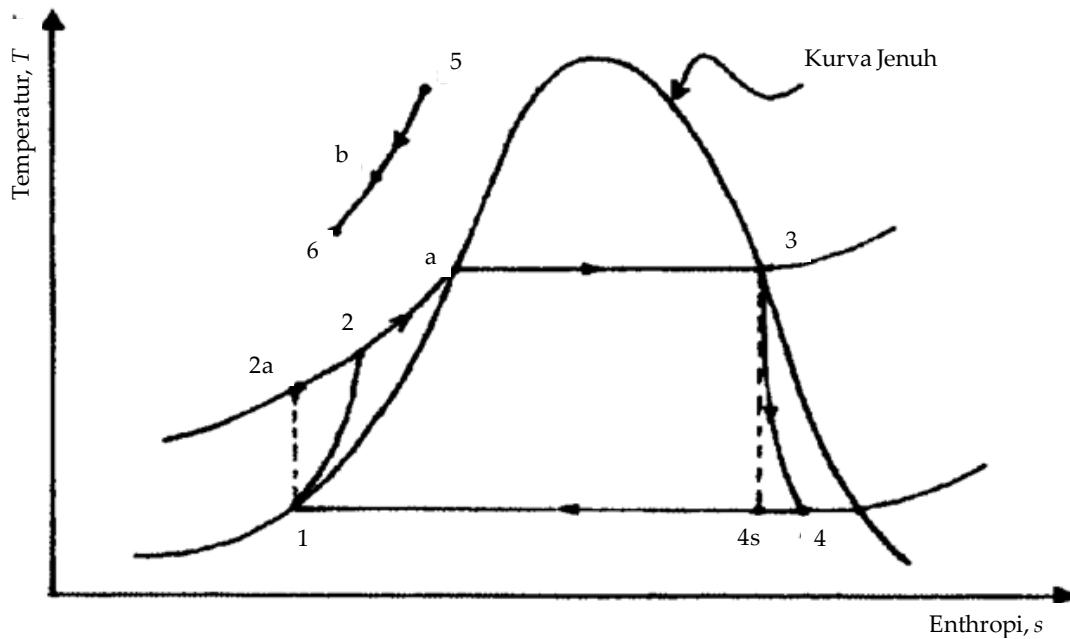
3. SIKLUS RANKINE PLTN PWR

Siklus Rankine adalah siklus yang digunakan sebagai standar untuk instalasi pembangkit daya yang menggunakan air sebagai fluida kerja. Siklus ini merupakan faktor utama dalam perancangan setiap instalasi daya yang menggunakan fluida uap (Gambar 1) dengan diagram siklus pada Gambar 2, terdiri atas proses-proses sebagai berikut:

- 1—2 : proses pemompaan secara adiabatic reversible dalam pompa
- 2—3 : proses perpindahan panas pada tekanan tetap di ketel
- 3—4 : proses ekspansi yang berlangsung secara adiabatic reversible dalam turbin
- 4—1 : proses perpindahan panas pada tekanan tetap di ketel di kondensor



Gambar 1. Skema Sederhana PLTN PWR^[6]



Gambar 2. Diagram T-S Siklus Rankine PLTN PWR^[6]

Persamaan-persamaan yang berlaku sesuai dengan proses-proses yang terjadi di dalam siklus tersebut adalah sebagai berikut^[6,7]:
 dengan h_1 dan h_2 adalah enthalpy keluar dan enthalpy masuk pompa, kerja pompa yang diperlukan per satuan massa fluida kerja (W_{pompa}):

$$W_{pompa} = h_2 - h_1 \tag{1}$$

Kondisi setelah keluar pompa secara berurutan dengan pertimbangan volume jenis (v_1) cairan yang konstan dan tekanan (p) pada proses isothermal enthalpy pada titik 2 (h_2) dapat dievaluasi sebagai berikut:

$$h_2 = h_1 + v_1 \frac{p_2 - p_1}{\eta_p} \tag{2}$$

Panas yang dimasukkan ke dalam sistem per satuan massa fluida kerja (q_{masuk}):

$$q_{masuk} = h_3 - h_2 \tag{3}$$

Kerja yang dihasilkan per satuan massa uap air dalam turbin (W_{turbin}):

$$W_{turbin} = h_3 - h_4 \tag{4}$$

Proses yang berlangsung di dalam turbin adalah entropi tetap ($s_3 = s_{4s}$) fraksi uap (x_{4s}) yang terjadi pada proses entropi tetap diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$x_{4s} = \frac{s_{4s} - s_f}{s_{fg}} \tag{5}$$

dengan s_{fg} adalah entropi penguapan.

Nilai entropi pada keadaan isentropik (h_{4s}) diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$h_{4s} = h_f - x_{4s} h_g \quad (6)$$

dengan menggunakan hasil dari persamaan tersebut dapat diperoleh nilai entalpi pada kondisi 4 (h_4) yaitu:

$$h_4 = h_3 - \eta_T (h_3 - h_{4s}) \quad (7)$$

Panas yang dilepas oleh kondensor (q_{keluar}):

$$q_{keluar} = h_4 - h_1 \quad (8)$$

Efisiensi termal siklus rankine (η):

$$\eta = \frac{W_{turbin} - W_{pompa}}{q_{masuk}} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{(h_3 - h_2)} \quad (9)$$

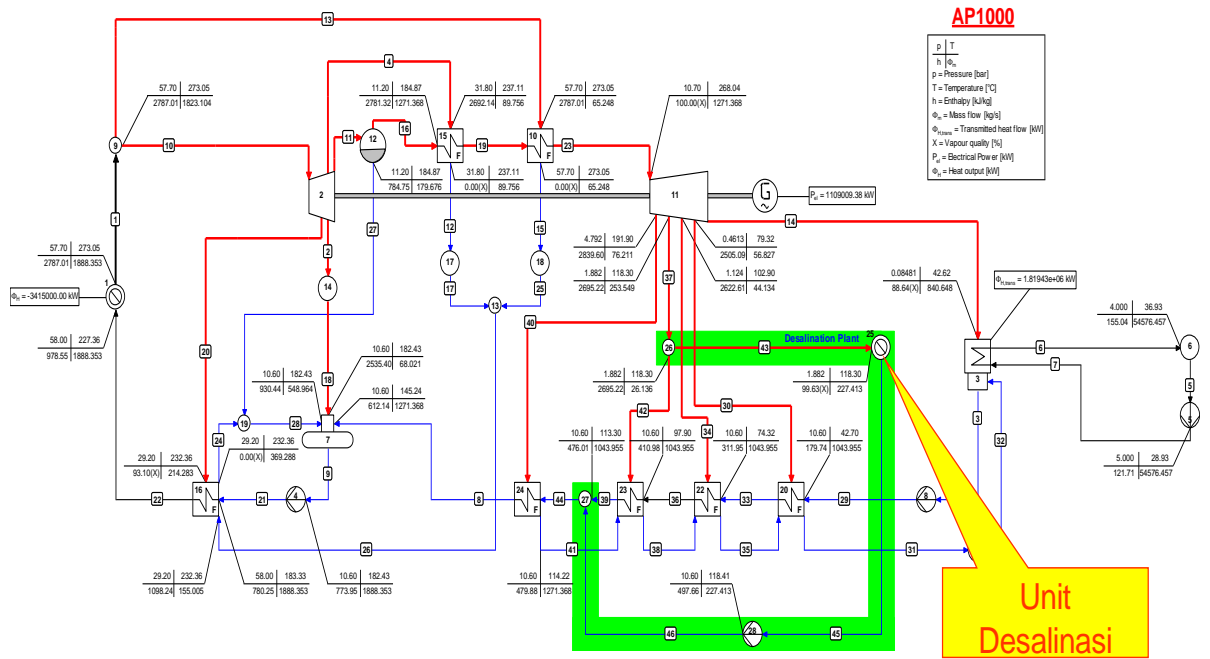
Untuk memperbaiki efisiensi pada siklus Rankine sederhana, pembangkit uap pada PLTN umumnya menerapkan sistem regenerasi dan *reheat*/pemanasan ulang. Pokok pemikiran regenerasi ialah pemberian panas dilakukan secara isotermis (garis 2-3), dan pembuangan panas juga secara isotermis (garis 4-1), sehingga siklus berlangsung diantara 2 isotermis dan 2 isentropis. Siklus ini dikenal dengan siklus Carnot, dimana telah diketahui bahwa siklus Carnot merupakan siklus dengan efisiensi tertinggi yang mungkin dicapai. Ini dilakukan dengan mengeluarkan steam sedikit dari turbin pada titik-titik yang berbeda. Uap ini digunakan untuk memanaskan air umpan 1 – 2. Sedangkan pembangkit uap hanya memberikan panas pada garis 2 – 3.

Sedangkan *reheat* dilakukan dengan mengekspansi uap menggunakan dua turbin, yang diantara dua turbin tersebut uap dipanaskan hingga temperatur meningkat (bahkan hingga kondisi lewat jenuh). Tahapannya adalah uap masuk turbin diekspansikan pertama kali (turbin tekanan tinggi, sampai tekanannya menengah), uap keluar turbin dipanaskan ulang (menggunakan uap dari pembangkit uap, pada tekanan tetap) kemudian diekspansikan terakhir kali (turbin tekanan rendah).

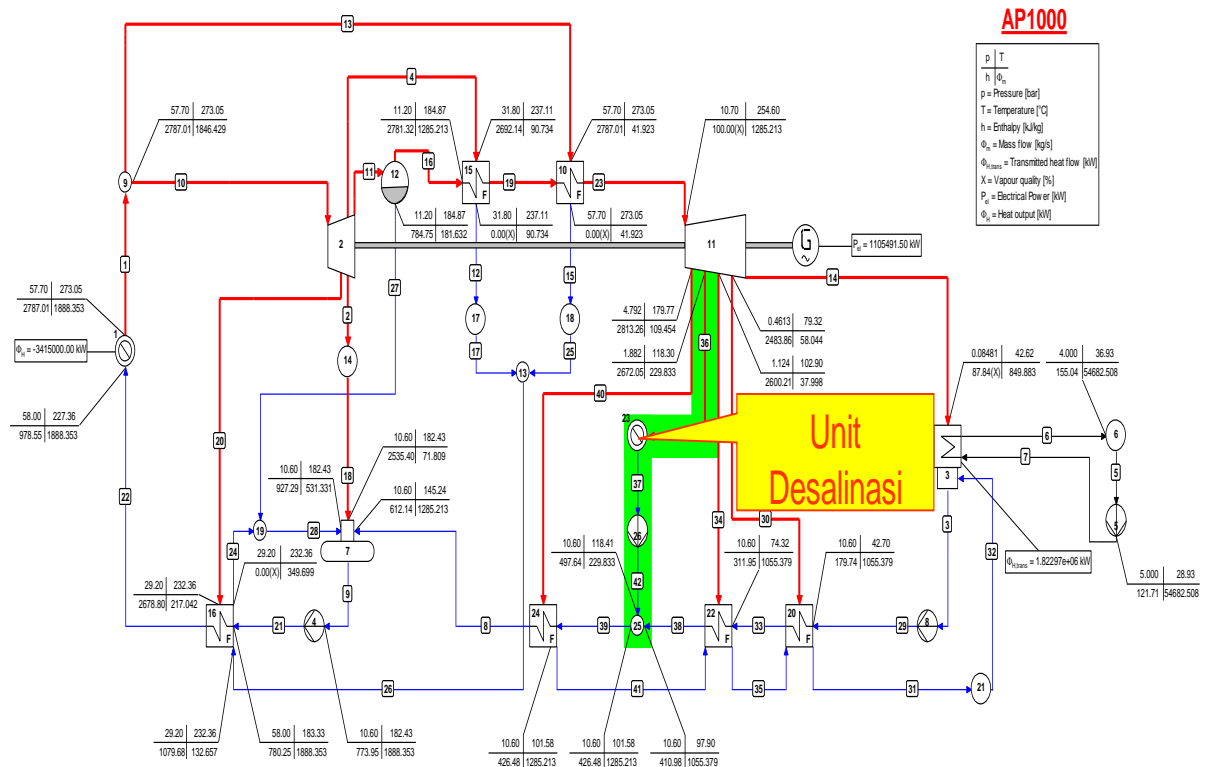
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam rangka untuk mendapatkan efisiensi panas dari sistem kogenerasi, maka perlu dilakukan analisis terhadap titik ekstraksi uap yang terbaik terkait dengan kehilangan daya dalam sistem kogenerasi. Dalam studi ini dilakukan analisis terhadap 4 skenario skema dari 2 titik ekstraksi uap yaitu turbin tekanan rendah dan *crossover pipe*. Dengan menggunakan program *cycle tempo* masing-masing skenario skema ekstraksi uap disimulasikan dengan hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 – 8.

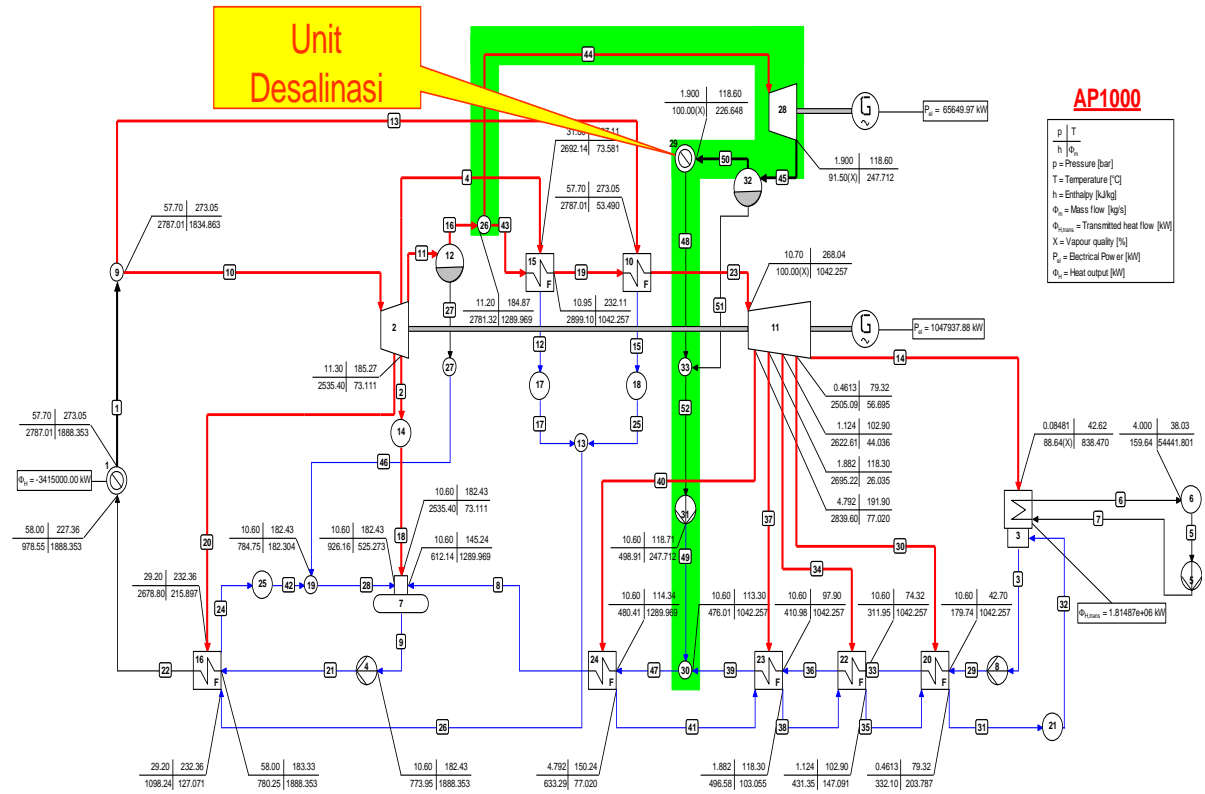
*Identifikasi Skema Optimum Ekstraksi Uap
untuk Instalasi Desalinasi pada Sistem Kogenerasi PLTN PWR
(Dedy Priambodo, Erlan Dewita, Sudi Ariyanto)*



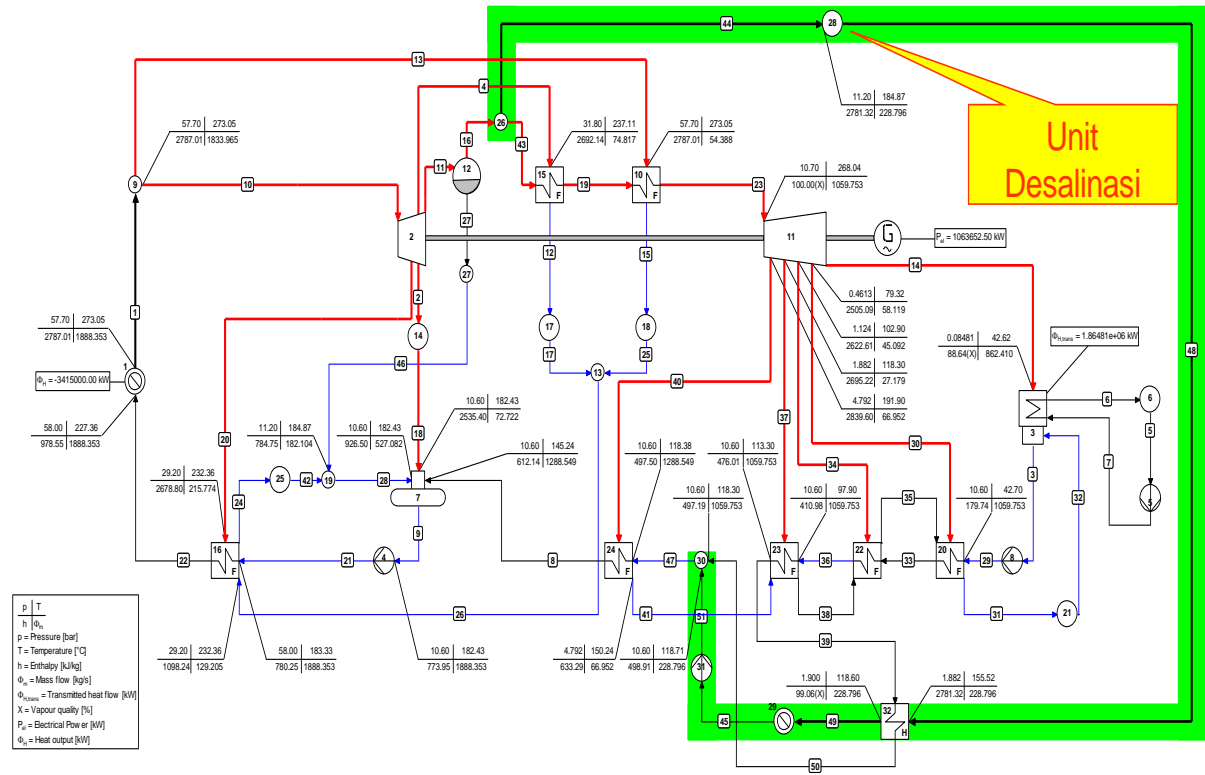
Gambar 5. Skenario Skema 1



Gambar 6. Skenario Skema 2



Gambar 7. Skenario Skema 3



Gambar 8. Skenario Skema 4

Selanjutnya masing-masing skema mempunyai unjuk kerja kogenerasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2, 3, dan 4:

Tabel 2. Unjuk Kerja Reaktor Kogenerasi dengan Daya 250 MW_{th} untuk Desalinasi

Parameter	Satuan	Skema				
		Acuan	1	2	3	4
Laju panas pembangkit uap	MW _{th}			3415,0		
Daya terbangkitkan	MW _e	1188,1	1148,5	1144,6	1150,8	1125,5
Kebutuhan listrik internal	MW _e	47,1	44,0	44,1	44,0	44,4
Daya hilang karena kogenerasi	MW _e	0,0	39,5	43,5	37,2	62,5
Daya yang bisa ditransmisikan	MW _e	1140,9	1104,5	1100,5	1106,8	1081,2

Tabel 3. Unjuk Kerja Reaktor Kogenerasi dengan Daya 500 MW_{th} untuk Desalinasi

Parameter	Satuan	Skema				
		Acuan	1	2	3	4
Laju panas pembangkit uap	MW _{th}			3415,0		
Daya terbangkitkan	MW _e	1188,1	1109,0	1105,5	1113,6	1063,7
Kebutuhan listrik internal	MW _e	47,1	40,9	40,9	40,8	41,6
Daya hilang karena kogenerasi	MW _e	0,0	79,1	82,6	74,5	124,4
Daya yang bisa ditransmisikan	MW _e	1140,9	1068,1	1064,5	1072,8	1022,1

Tabel 4. Unjuk Kerja Reaktor Kogenerasi dengan Daya 1000 MW_{th} untuk Desalinasi

Parameter	Satuan	Skema				
		Acuan	1	2	3	4
Laju panas pembangkit uap	MW _{th}			3415,0		
Daya terbangkitkan	MW _e	1188,1	1029,9	1027,3	1039,1	939,9
Kebutuhan listrik internal	MW _e	47,1	34,6	34,7	34,5	36
Daya hilang karena kogenerasi	MW _e	0,0	158,1	160,8	149,0	248,2
Daya yang bisa ditransmisikan	MW _e	1140,9	995,3	992,6	1004,6	903,9

Dari skema hasil simulasi (Gambar 4 – 7) dan tabel 2 – 4 yang menggambarkan unjuk kerja kogenerasi terlihat bahwa skema sistem kogenerasi menyebabkan produksi listrik berkurang. Hal ini dikarenakan pada skema sistem kogenerasi sebagian uap yang harusnya dimanfaatkan untuk memutar turbin dialirkan untuk memenuhi kebutuhan panas proses desalinasi. Sesuai dengan persamaan 4 (kerja turbin persatuan massa) dengan berkurangnya massa uap maka kerja turbin pun akan berkurang. Selain itu temperatur uap juga berpengaruh terhadap kerja turbin karena akan menentukan nilai entalpi dari uap tersebut.

Skema 3 dimana uap diekstraksi dari aliran pipa keluaran turbin tekanan tinggi (*crossover pipe*), menunjukkan hasil yang terbaik dibanding dengan skema 1, 2 dan 4. Pada skema 3 uap yang diekstraksi dari *crossover pipe* dimanfaatkan terlebih dahulu energinya untuk memutar turbin tekanan balik yang mana kondisi keluaran turbin tersebut disesuaikan dengan kondisi yang diinginkan instalasi desalinasi. Hal ini berbeda dengan skema lainnya (1, 2 dan 4) yang mana uap yang diekstraksi energinya tidak dimanfaatkan (skema 4) ataupun tidak mungkin dimanfaatkan (skema 1 dan 2). Pemanfaatan katup ekspansi pada skema 4, berakibat pada terbuangnya energi uap berenergi tinggi (*live steam*) yang diekstrak dari *crossover pipe*. Sementara ekstraksi uap pada skema 1 dan 2 tidak memungkinkan untuk dimanfaatkan energinya karena kondisi uap pada skema tersebut sudah mendekati kondisi yang diinginkan pada instalasi desalinasi. Ekstraksi skema 1 dan 2 berpengaruh pada berkurangnya massa uap yang digunakan untuk memutar kisi-kisi turbin pada tahap selanjutnya.

Dari skema kogenerasi di atas juga terlihat bahwa kebutuhan listrik internal PLTN lebih rendah dari skema acuan. Hal ini dikarenakan jumlah kondensat dari kondensor pada skema kogenerasi lebih kecil dari skema acuan, sehingga kebutuhan daya pompa skema kogenerasi lebih rendah dari skema acuan.

Hasil simulasi dari skema 3 pada kebutuhan panas desalinasi 1000 MWth menunjukkan daya terbangkitkan 1039,1 MWe, kebutuhan listrik internal 34,5 MWe, kehilangan daya karena kogenerasi 149 MWe dan daya yang bisa ditransmisikan 1004,6 MWe. Skema ini memberikan pengurangan produksi listrik yang paling kecil dibandingkan dengan skema yang lain. Selain itu hasil simulasi juga menunjukkan bahwa makin tinggi daya reaktor kogenerasi, maka makin rendah daya terbangkitkan dan makin besar daya yang hilang karena kogenerasi.

5. KESIMPULAN

Hasil identifikasi skema optimum ekstraksi uap pada sistem kogenerasi PLTN tipe PWR menunjukkan bahwa skema 3 dimana uap diekstraksi dari aliran pipa keluaran turbin tekanan tinggi (*crossover pipe*), menunjukkan hasil yang terbaik dibanding dengan skema 1, 2 dan 4. Hasil simulasi terhadap skema 3 pada pada kebutuhan panas desalinasi 1000 MWth menunjukkan daya terbangkitkan 1039,1 MWe, kebutuhan listrik internal 34,5 MWe, kehilangan daya karena kogenerasi 149 MWe dan daya yang bisa ditransmisikan 1004,6 MWe. Selain itu hasil simulasi juga menunjukkan bahwa makin tinggi daya reaktor kogenerasi, maka makin rendah daya terbangkitkan dan makin besar daya yang hilang karena kogenerasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ahli IAEA bidang *Non-Electrical Application* Dr. Ibrahim Khamis dan Konsultan IAEA Konstantinos C. Kavvadias dan Ignacio Garcia Sanchez-Cervera yang telah membimbing dan memberikan *hand on training* software untuk menunjang analisis terhadap sistem kogenerasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. _____, "Nuclear Power Plants in the World", www.icjt.org/an/tech/jesvet/jesvet.htm, diakses tanggal 24 Maret 2011.
- [2]. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Status of Nuclear Desalination in IAEA Member States", TECDOC 1524, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Vienna, 2007.
- [3]. _____, "Cycle-Tempo: Introduction", Delft University of Technology (TU Delft), Faculty of Mechanical, Maritime and Materials Engineering (3MSE), Energy Technology Section, The Netherlands, 2007
- [4]. _____, "AP 1000 Design Control Document", Westinghouse AP1000, Westinghouse, 2004.
- [5]. _____, "Nuclear Energy: Myth or Future", www.coms_363_nuclear.weebly.com/, diakses tanggal 24 Maret 2011.
- [6]. TODRES, N. and KAZMI, M.S., "Nuclear System 1, Thermal Hydraulic Fundamentals", McGraw Hill, Inc., New York, 1990.
- [7]. SMITH, J.M., VAN NESS, H.C. and ABBOTT, M.M., "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics", McGraw Hill International Editions, 1996.