

ENERGI NUKLIR SEBAGAI SUMBER ENERGI PANAS ALTERNATIF PADA KILANG MINYAK

Sunardi, Djati H Salimy, Edwaren Liun, Sahala M Lumbanraja
Center for Nuclear Energy Development (PPEN) – BATAN
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan, 12710
Telp./Fax.: 021-5204243, Email: sunardinia@yahoo.com

Masuk: 14 September 2012

Direvisi: 10 Oktober 2012

Diterima: 23 November 2012

ABSTRAK

ENERGI NUKLIR SEBAGAI SUMBER ENERGI PANAS ALTERNATIF PADA KILANG MINYAK.

Telah dilakukan studi aplikasi energi panas nuklir temperatur tinggi pada kilang minyak. Tujuan studi ini adalah untuk memahami karakteristik dan kemungkinan pemanfaatan energi panas reaktor nuklir temperatur tinggi untuk operasi kilang minyak. Dalam studi ini, kilang minyak dengan kapasitas pengolahan minyak mentah sebesar 126 MBSD digunakan sebagai acuan perhitungan. Diasumsikan energi panas nuklir temperatur tinggi akan memasok kebutuhan kukus dan listrik pada kilang tersebut, sedang operasi proses temperatur tinggi dianggap tetap menggunakan bahan bakar fosil. Reaktor nuklir yang digunakan adalah reaktor nuklir temperatur tinggi daya kecil HTR-PM 250. Dari neraca energi diperoleh bahwa pemanfaatan energi termal reaktor nuklir temperatur tinggi dengan daya sebesar 250 MWt terdistribusi sebagai berikut: 41,23 MWt untuk memproduksi uap kukus 1 (385°C, 40 kg/cm², 55,6 ton/jam), 101,47MWt untuk memproduksi uap kukus 2 (360°C, 15 kg/cm², 131,1 ton/jam), dan 60 MWt untuk memproduksi listrik sebesar 24 MWe. Energi panas yang tersisa sebesar 22,3 MWt dikonversi menjadi listrik sebesar 8,93 MWe untuk disambungkan ke jaringan. Penggunaan energi nuklir menggantikan sebagian bahan bakar fosil pada kilang minyak dengan kapasitas 126 MBSD memberi penghematan bahan bakar fosil sebesar 64,8 ribu ton/tahun, yang setara dengan pengurangan laju emisi gas CO₂ sebesar 182,4 ribu ton/tahun.

Kata kunci: minyak mentah, kilang, energi nuklir

ABSTRACT

NUCLEAR ENERGY AS AN ALTERNATIVE HEAT ENERGY SOURCE FOR OIL REFINERY. The study of high temperature nuclear heat application for oil refinery has been carried out. The goal of the study is to understand the characteristic and possibility of high temperature nuclear heat application for operation of oil refinery. In this study, the oil refinery plant with the capacity crude oil processing of 126 MBSD is used as a reference. It is assumed that high temperature of nuclear energy will supply steam and electricity to the plant, while the high temperature processes still fossil fuel firing utilizing. Nuclear reactor that used in this study is small high temperature nuclear reactor HTR-PM250. Energy balance calculations indicate that thermal energy from nuclear reactor with thermal power of 250MWt can be distributed as follow: 41,23 MWt to produce steam 1 (385°C, 40 kg/cm², 55,6 ton/hr), 101,47MWt to produce steam 2 (360°C, 15 kg/cm², 131,1 ton/jam), and 60 MWt to produce 24 MWe electricity. The rest, about 22,3 MWt is converted to electricity about 8,93 MWe, send to the public grid. Utilization nuclear energy to substitute steam and electricity production for oil refinery with capacity of 126 MBSD crude oil, give reduction of fossil fuel burning about 64,8 thousand ton/yr, equivalent to reduce CO₂ emission about 182,4 thousand ton/yr.

Keywords: crude oil, refinery, nuclear energy.

1. PENDAHULUAN

Secara umum, kebijakan pemanfaatan energi nuklir guna pembangkitan listrik dan kogenerasi di Indonesia adalah terwujudnya peran energi nuklir secara simbiotik dan sinergistik dengan sumberdaya energi tak terbarukan maupun terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi nasional guna mendukung pembangunan berkelanjutan. Untuk itu, disamping mendorong terwujudnya PLTN pertama di Indonesia, BATAN juga harus terus melakukan berbagai kajian reaktor nuklir masa depan seperti: konsep reaktor kogenerasi untuk produksi air bersih (desalinasi), penggunaan panas proses untuk operasi industri temperatur tinggi dan medium seperti produksi hidrogen, gasifikasi batubara, kilang minyak, dan lain-lain.

Dalam Perpres RI No. 5 Tahun 2006^[2], Pemerintah telah menetapkan sasaran bauran energi (*energy mix*) 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%. Di samping itu, UU No. 17/2007^[3] dan 30/2007^[4] juga memuat tentang opsi pemanfaatan energi nuklir di Indonesia. Kebijakan pemerintah tersebut memberi peluang dan tantangan terhadap penerapan dan pengembangan reaktor nuklir di Indonesia.

Penerapan energi nuklir dalam waktu dekat akan diimplementasikan untuk memenuhi kebutuhan listrik skala industri di Jawa dalam bentuk penggunaan PLTN skala besar (1000 MWe per unit reaktor) untuk berkontribusi dalam memasok listrik pada jaringan JAMALI. Pada tahap berikutnya, era PLTN akan memasuki generasi baru (Generasi 4) yang sering juga disebut sebagai era Sistem Energi Nuklir (SEN)^[5]. Jika pada generasi sebelumnya PLTN didedikasikan sepenuhnya untuk memproduksi listrik, SEN didesain sebagai sistem pemasok energi nuklir yang aman, ekonomis, ramah lingkungan, dan berkelanjutan, serta dapat memasok energi untuk berbagai kebutuhan, baik untuk pembangkitan listrik maupun energi panas proses industri (meliputi produksi hidrogen, pencairan dan gasifikasi batubara, operasi kilang minyak, EOR dan desalinasi). Dengan beroperasinya SEN atau reaktor nuklir generasi ke-4, diharapkan berbagai kebutuhan energi untuk industri yang sebelumnya dipasok oleh energi fosil, oleh karena dampak lingkungan dan atau kelangkaan sumber energi fosil, dapat digantikan dengan energi nuklir.

Kilang minyak (*oil refinery*) adalah pabrik/fasilitas industri yang mengolah minyak mentah menjadi produk petroleum yang bisa langsung digunakan maupun produk-produk lain yang menjadi bahan baku bagi industri petrokimia^[6]. Produk-produk utama yang dihasilkan dari kilang minyak antara lain: minyak bensin (*gasoline*), minyak disel, minyak tanah (*kerosene*). Kilang minyak merupakan fasilitas industri yang sangat kompleks dengan berbagai jenis peralatan proses dan fasilitas pendukungnya. Temperatur operasi pada kilang minyak bervariasi dari temperatur rendah (kamar) sampai temperatur tinggi (800°C). Secara umum energi yang dibutuhkan pada kilang minyak meliputi energi panas, *process steam*, dan listrik. Energi panas diperlukan untuk menjalankan proses yang beroperasi pada temperatur tinggi (400-800°C), sedangkan *process steam* dan listrik digunakan untuk menjalankan proses yang beroperasi pada temperatur rendah. Secara konvensional, kebutuhan energi panas pada kilang minyak dipasok dari pembakaran langsung bahan bakar produk kilang itu sendiri. Sebuah studi mengindikasikan bahwa untuk mengoperasikan kilang minyak, sekitar 10-20% produk kilang harus dibakar sebagai sumber energi panas (termasuk kukus dan listrik). Jika energi nuklir dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi panas, diharapkan dapat diperoleh keuntungan dari pembakaran bahan bakar fosil, yang berimplikasi pada potensi penghematan emisi CO₂.

Makalah ini membahas aplikasi energi panas nuklir sebagai alternatif sumber energi panas untuk menjalankan operasi kilang minyak. Energi panas konvensional yang diganti

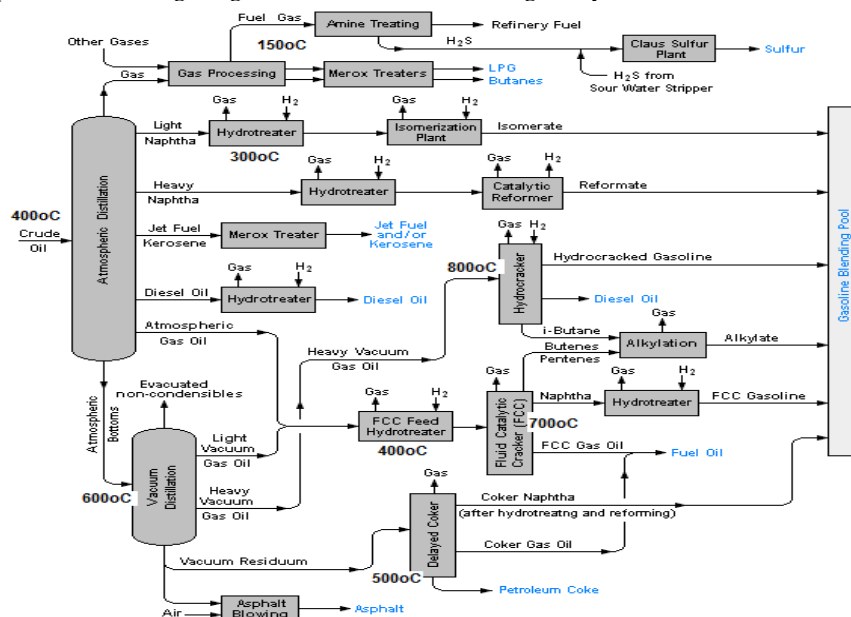
dengan energi nuklir dibatasi pada energi bentuk kukus dan listrik. Sedang energi dalam bentuk panas (*process heat*) untuk menjalankan proses, tetap mengandalkan bahan bakar fosil. Dalam analisis dilakukan perhitungan distribusi energi termal nuklir untuk dikonversi menjadi kukus untuk *process steam* berbagai proses yang beroperasi pada temperatur di bawah 385°C, kebutuhan energi nuklir untuk membangkitkan listrik, besarnya penghematan bahan bakar fosil, dan potensi penurunan emisi CO₂ yang diperoleh. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi bahan masukan pada para pemangku kepentingan dalam menyusun kebijakan pengembangan energi nuklir di Indonesia.

2. APLIKASI ENERGI NUKLIR PADA KILANG MINYAK

2.1 Kilang Minyak dan Energi Nuklir

Kilang minyak (*oil refinery*) adalah pabrik/fasilitas industri yang mengolah minyak mentah menjadi produk petroleum yang bisa langsung digunakan maupun produk-produk lain yang menjadi bahan baku bagi industri petrokimia. Temperatur yang terlibat dalam penghoperasian kilang minyak berkisar antara temperatur kamar sampai sekitar 800°C. Pada Gambar 1 terlihat skema tipikal kilang minyak dan kisaran temperatur operasinya. Bentuk energi panas yang dipakai untuk mengoperasikan kilang, meliputi: energi panas, kukus, dan listrik. Ketiga bentuk energi panas tersebut diperoleh dengan pembakaran langsung bahan bakar fosil. Jika sebagian energi panas dapat diganti dengan energi nuklir, diharapkan dapat diperoleh beberapa keuntungan: penghematan cadangan bahan bakar fosil, potensi penurunan emisi gas CO₂, serta diversifikasi energi nuklir.

Konsep aplikasi energi nuklir sebagai sumber energi (panas dan listrik) untuk industri telah dikaji lebih dari 50 tahun^[7]. Reaktor temperatur tinggi berpendingin gas (HTGR) yang beroperasi pada temperatur tinggi (~1000°C) merupakan jenis reaktor yang sangat potensial menyumbangkan produksinya untuk kebutuhan industri. Luaran pendingin reaktor yang temperaturnya sekitar 950°C dan dibawa medium pendingin reaktor helium gas, dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi panas untuk menjalankan proses pada industri temperatur tinggi. Berbagai studi terkait dengan aplikasi panas nuklir temperatur tinggi seperti: produksi hidrogen, gasifikasi batubara, kilang minyak dan lain-lain.



Gambar 1. Tipikal Proses Kilang Minyak^[6]

Studi aplikasi reaktor nuklir temperatur tinggi untuk industri kilang minyak dan petrokimia telah dilakukan di beberapa negara, salah satunya di Cina^[8]. Pada akhir dekade

1980, Cina bekerjasama dengan Jerman telah melakukan studi pemanfaatan reaktor nuklir temperatur tinggi untuk industri petrokimia (termasuk kilang minyak) di kawasan industri *Yan Shan Petrochemical General Corporation* (YSPGC). Konsumsi energi di kompleks industri ini secara konvensional dipasok dengan pembakaran minyak sebanyak 1,2 juta ton/tahun. Total kebutuhan kukus pada tekanan dan temperatur yang berbeda-beda, bervariasi sekitar 730 ton/jam pada musim panas sampai 1650 ton/jam pada musim dingin. Parameter kukus adalah: 118 bar/500°C, 47-50 bar/450°C, 34-39 bar/350°C, dan 8 – 13 bar/280°C, dengan pemasok energi utama berasal dari sistem kogenerasi uap – listrik berbahan bakar minyak. Hasil studi menunjukkan bahwa kebutuhan kukus untuk proses di atas dapat dipenuhi dengan mengoperasikan 4 unit reaktor nuklir temperatur tinggi masing-masing berdaya 200 MWt. Operasi secara kogenerasi ke empat unit reaktor nuklir tersebut dapat memasok:

Listrik 139 MWe.

Kukus untuk *process steam* 118 bar/500°C dengan laju 30 ton/jam.

Kukus untuk *process steam* 48 bar/450°C dengan laju 73 ton/jam.

Kukus untuk *process steam* 36 bar/350°C dengan laju 310 ton/jam.

Kukus untuk *process steam* 10 bar/280°C dengan laju 500 ton/jam.

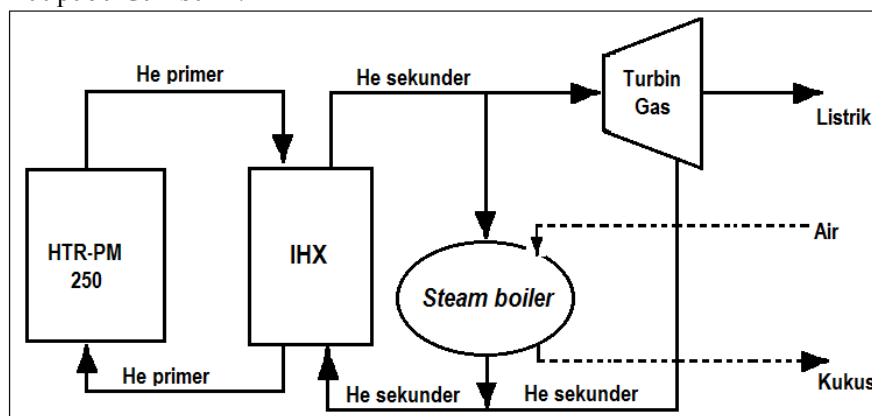
2.2 Data, Asumsi, dan Perhitungan

Dalam studi ini diasumsikan reaktor nuklir yang digunakan sebagai pemasok energi panas adalah reaktor HTR-PM250 (*High Temperature Reactor – Pebble bed Module*) rancangan Cina yang saat ini sedang memasuki tahap konstruksi. Reaktor ini mempunyai daya termal sebesar 250 MWt. Karakteristik reaktor HTR – PM 250 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter desain HTR-PM250^[9]

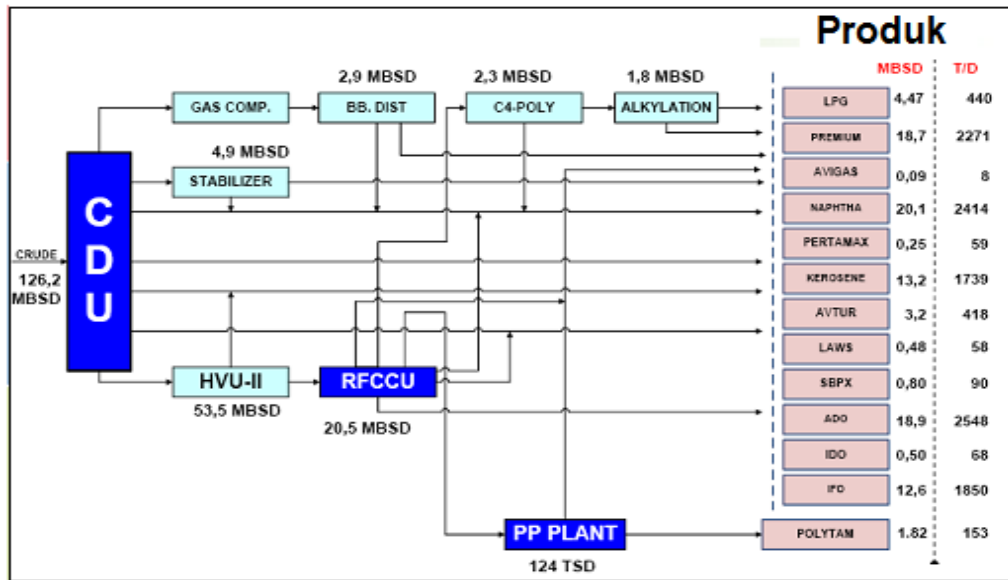
Daya Termal	250 MWt
Eff termal ke listrik	40%
Pendingin	Gas Helium
Kerapatan Daya	~3,22 MW/m ³
Temperatur/Tekanan	
Inlet	250oC / ~7 MPa
Outlet	750oC / ~7 Mpa

Dalam studi ini diasumsikan reaktor HTR-PM dioperasikan dengan skema kogenerasi untuk menghasilkan kukus dan listrik. Jumlah kukus disesuaikan dengan permintaan kukus yang digunakan untuk operasi kilang. Diagram reaktor yang dioperasikan secara kogenerasi dapat dilihat pada Gambar 2.



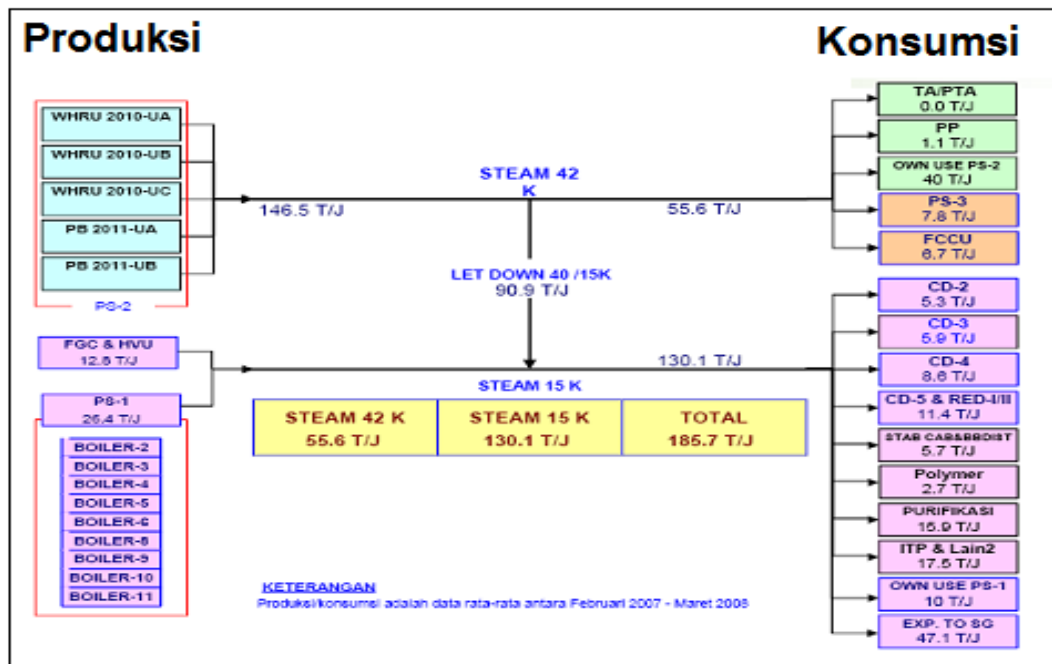
Gambar 2. Skema Kogenerasi kukus-listrik reaktor HTR-PM250.

Sebagai kilang minyak referensi, digunakan salah satu kilang minyak yang dioperasikan oleh Pertamina (selanjutnya disebut Kilang Minyak Referensi). Konfigurasi proses dan produksinya dapat dilihat pada Gambar 3. Terlihat pada Gambar 3 bahwa kilang beroperasi dengan kapasitas 126 MBSD minyak mentah dan mampu memproduksi berbagai bahan bakar transportasi dan produk lainnya dengan kapasitas seperti terlihat pada bagian kanan gambar.

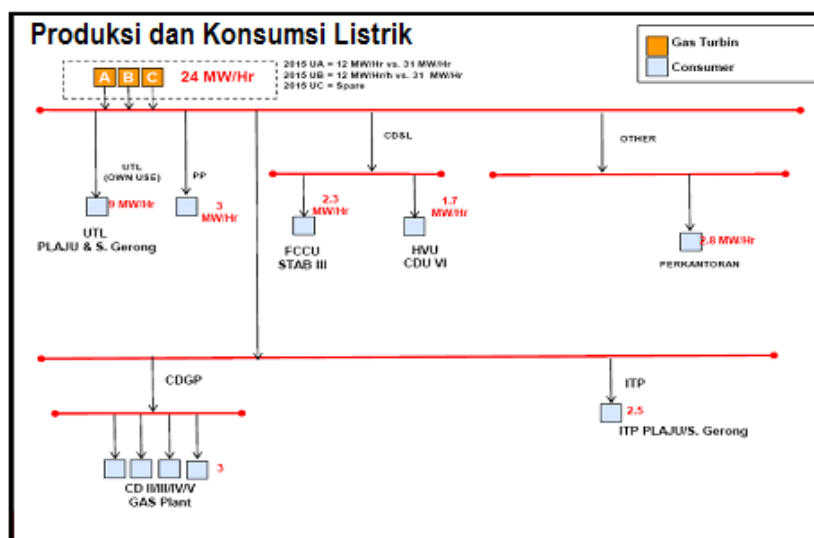


Gambar 3. Konfigurasi Kilang minyak referensi [10]

Kebutuhan dan konsumsi energi dalam bentuk kukus (untuk *process steam*) dan listrik, dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Sedangkan neraca masa kebutuhan dan konsumsi kukus dan listrik dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 4. Produksi dan konsumsi kukus [10]



Gambar 5. Produksi dan konsumsi listrik^[10]

Tabel 2. Data konsumsi dan produksi kukus dan listrik^[10]

	Daya		Produksi
	Daya Mampu	Daya Aktual	
Produksi kukus 1 (T 385°C, P 40kg/cm ²)			
Package Boiler 2011 UA, (ton/jam)	45	42	
Package Boiler 2011 UB, (ton/jam)	45	42	146,5
WHRU 2010 UA, (ton/jam)	60	40	
WHRU 2010 UB, (ton/jam)	60	40	
WHRU 2010 UC, (ton/jam)	60	40	
Produksi kukus 2 (T 360°C, P 15 kg/cm ²)			
Boiler 2, 3, 4, 5, 6, 8 (ton/jam)	6x14	6x10	55,6
Boiler 9, 11 (ton/jam)	2x22	2x15	
Produksi Listrik			
Gas Turbine 2015 UA/UB/UC, MWe	3x19	3x12	24
Konsumsi Bahan bakar (fuel gas, field gas, fuel oil)			
Boiler dan Packed Boiler, (ton/jam)			2,3 – 2,3
WHRU, (ton/jam)			0,5 – 0,7
Pembangkit listrik, (ton/jam)			4 – 4,5
Konsumsi kukus (lihat Gambar 4)			
Penggerak pompa yang menggunakan steam turbine, Pemanas / coil steam di tanki, Pemanas di reboiler PP, Stripping steam di kolom distilasi, Kebutuhan proses seperti: dearator, regenerasi absorbent, steam stripping di FCC, dsb.			
Konsumsi listrik (lihat Gambar 5)			
Utilities 30%, perumahan, perkantoran dan pabrik (70%)			

Analisis Permintaan Energi (kukus dan listrik)

Terlihat pada Gambar 4 bahwa kukus yang dibutuhkan untuk proses adalah sebagai berikut:

- Kukus 1 (dengan temperatur 385°C dan tekanan 40 kg/cm²) sebesar 55,6 ton/jam
- Kukus 2 (dengan temperatur 360°C dan tekanan 15 kg/cm²) sebesar 131,1 ton/jam

Untuk memenuhi kebutuhan kukus tersebut, dilakukan pembangkitan kukus dengan pola sebagai berikut:

- Menggunakan WHRU dan Packed Boiler (PB) diproduksi kukus 1 sebesar 146,5 ton/jam. Sebanyak 55,6 ton/jam dimanfaatkan langsung untuk proses, sedang sisanya sebanyak 90,9 ton/jam dikonversi menjadi kukus 2.
- Kekurangan kukus 2 sebesar (131,1 - 90,9) = 55,6 ton/jam diproduksi menggunakan Boiler.

Kebutuhan listrik baik untuk proses di pabrik, utilitas, perkantoran dan perumahan dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 2. Untuk membangkitkan listrik sebesar 24 MWe, digunakan pembangkit listrik jenis Gas Turbin dengan bahan bakar *fuel gas* dengan laju pemakaian sebesar 4 – 4,5 ton/jam.

Analisis Pasokan Energi Nuklir

Pemenuhan kebutuhan kukus dan listrik dengan energi nuklir dipasok menggunakan reaktor nuklir temperatur tinggi HTR-PM250 dengan daya termal 250 MWt. Diasumsikan efisiensi IHX (*intermediate heat exchanger*) sebesar 90%, sehingga energi termal yang dapat dimanfaatkan sebesar 225 MWt. Dengan prinsip keseimbangan perpindahan panas dan termodinamika, kebutuhan energi termal nuklir dapat ditentukan sebagai berikut:

- Kukus 1, sebanyak 55,6 ton/jam dapat diproduksi dengan energi panas nuklir yang dibawa gas helium sebesar 41,23 MWt.
- Sedang untuk memproduksi kukus 2 sebesar 131 ton/jam membutuhkan panas nuklir sebesar 101,47 MWt.
- Total kebutuhan energi termal nuklir untuk kukus = 41,23 + 101,47 = 142,67 MWt.
- Sisanya sebesar (225 - 142,67) = 82,33 MWt digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik.
- Jika diasumsikan pembangkitan listrik menggunakan turbin gas dengan efisiensi termal sebesar 40%, diperoleh listrik sebesar 32,93 MWe.
- Listrik yang dibutuhkan untuk kilang minyak sebanyak 24 MWe, sehingga masih diperoleh sisa listrik sebesar (32,93 - 24) = 8,93 MWe untuk dijual ke PLN.

Potensi Penghematan Bahan bakar

Dari Tabel terlihat bahwa untuk menghasilkan listrik dan kukus dibutuhkan bahan bakar campuran (*fuel gas, field gas, fuel oil*) sebesar 7,5 ton/jam atau 64800 ton/tahun. Jumlah ini merupakan bahan bakar yang dapat dihemat karena pemanfaatan reaktor nuklir. Jika diasumsikan komposisi pemakaian bahan bakar adalah: 40% *fuel oil* dan masing-masing 30% untuk *fuel gas* dan *field gas*, maka potensi pengurangan emisi CO₂ dapat dihitung.

Kandungan karbon rata-rata pada *fuel oil* (FO) adalah sebesar 2,77 kg/galon = 0,7944 kg karbon/kg FO. Emisi yang dapat dikurangi sebesar:

$$\frac{BM \text{ CO}_2}{BAC} \times 0,7944 \times 0,4 \times 64800 = 75499,78 \text{ ton/tahun}$$

Fuel gas dan *field gas* mempunyai kesetaraan dengan CH₄ karena terususun oleh unsur utama metana, sehingga emisinya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\frac{BM \text{ CO}_2}{BM \text{ CH}_4} \times 0,6 \times 64800 = 106920 \text{ ton/tahun}$$

Sehingga total emisi CO₂ yang dapat dihemat adalah 182,4 ribu ton/tahun.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rekapitulasi hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil perhitungan neraca energi

Pasokan Energi	
Daya reaktor nuklir HTR_PM250	250 MWt
Efisiensi termal IHX	90%
Daya keluaran IHX	225 MWt
Permintaan Energi	
Kukus 1 (385°C, 40 kg/cm ² , 55,6 ton/jam)	41,23 MWt
Kukus 2 (360°C, 15 kg/cm ² , 131,1 ton/jam)	101,47 MWt
Listrik (24 MWe)	60 MWt
Total permintaan	202,7 MWt
Kelebihan energi panas nuklir	22,3 MWt ~ 8,93 MWe

Dari Tabel 3 terlihat bahwa reaktor nuklir dengan daya termal sebesar 250 MWt, dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan kukus dan listrik pada kilang minyak dengan kapasitas pengolahan minyak mentah sebesar 126 MBSD, dengan kelebihan energi termal sebesar 22,3 MWt yang dapat dikonversi menjadi listrik sebesar 8,93 MWe untuk disambungkan ke jaringan PLN. Penggantian bahan bakar fosil untuk produksi kukus dan listrik pada kilang minyak tersebut, memberikan penghematan pembakaran bahan bakar fosil sebesar 64800 ton/tahun. Penghematan ini berimplikasi pada potensi pengurangan emisi CO₂ sebesar 182,4 ribu ton/tahun.

Studi aplikasi energi nuklir untuk kilang minyak pernah dilakukan di Perancis, dengan menggantikan sekitar 80% kebutuhan energi untuk kilang minyak dengan energi nuklir^[11]. Di sini, nuklir digunakan untuk memasok listrik dan *process steam*. Dengan asumsi bahwa semua unit proses di bawah temperatur 600°C dapat diganti energinya dengan nuklir, untuk kilang minyak kapasitas 180 MBSD sebagai referensi memberikan penghematan emisi CO₂ sebesar 350 ribu ton/tahun.

Dalam studi ini, aplikasi nuklir dibatasi hanya untuk memenuhi kebutuhan kukus dan listrik pada kilang minyak kapasitas 126 MBSD guna mengoperasikan proses-proses yang beroperasi pada temperatur di bawah 385°C. Hasil studi menunjukkan adanya penghematan emisi CO₂ sebesar 182,4 ribu ton/tahun. Jika mempertimbangkan kapasitas kilang dan temperatur operasi yang dapat digantikan, hasil pengurangan emisi yang lebih rendah pada studi ini dianggap cukup masuk akal.

Dalam studi ini, energi nuklir sebagai *process heat* untuk mengoperasikan unit proses untuk temperatur di atas 400°C tidak dilakukan, karena pemanfaatan energi panas dengan media pemanas helium memerlukan modifikasi peralatan proses secara khusus. Sebagai contoh, pemanfaatan panas nuklir untuk proses *steam reforming* gas alam^[12,13]. Tanpa melakukan modifikasi *reformer*, proses konvensional yang efisiensi termalnya dapat mencapai 85%, dengan panas nuklir hanya dapat dicapai efisiensi sebesar 50%. Dengan

sejumlah modifikasi *reformer*, efisiensi termal dapat ditingkatkan menjadi 78%. Hal ini dapat dipahami karena pemanfaatan panas nuklir melalui media gas helium, pola perpindahan panas yang terjadi dari pemanas ke zona reaksi didominasi oleh perpindahan panas konveksi yang menghasilkan fluks lebih rendah dibanding penggunaan energi panas konvensional yang didominasi perpindahan panas radiasi.

Pemanfaatan reaktor nuklir temperatur tinggi HTR-PM250 yang skala dayanya relatif kecil dipandang cukup menarik. Reaktor yang didesain di Cina, dan saat ini memasuki tahap konstruksi hanya berkapasitas 250 MWt. Dibanding reaktor komersial yang kapasitas per unitnya 1000 MWe (~3000 MWt), reaktor daya kecil mempunyai peluang introduksi yang lebih besar. Berbagai studi sebelumnya menyebutkan bahwa PLTN skala besar hanya layak untuk jaringan interkoneksi yang besar. Untuk Indonesia, PLTN besar hanya cocok untuk disambungkan ke jaringan JAMALI, sehingga penentuan lokasinya agak terbatas. Sedang PLTN kecil, dapat memanfaatkan pada industri skala besar (kilang minyak, petrokimia, pupuk) sebagai pasar permintaan energi nuklir utama, sehingga tidak harus masuk ke jaringan sistem kelistrikan.

4. KESIMPULAN

Dari studi dan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Energi termal yang dipasok dari reaktor nuklir temperatur tinggi dengan daya 250 MWt dapat mencukupi kebutuhan kukus (untuk operasi proses temperatur rendah) dan listrik pada kilang minyak dengan kapasitas pengolahan minyak mentah sebesar 126 MBSD.
- b. Kebutuhan energi termal nuklir pada pabrik kilang minyak adalah sebesar 41,23 MWt untuk menghasilkan kukus 1 (385°C, 40 kg/cm², 55,6 ton/jam), 101,47 MWt untuk menghasilkan kukus 2 (360°C, 15 kg/cm², 131,1 ton/jam), dan 60 MWt untuk dikonversi menjadi listrik sebesar 24 MWe. Energi yang tersisa sebesar 22,3 MWt kemudian dikonversi menjadi listrik sebesar 8,93 MWe untuk disambungkan ke jaringan PLN.
- c. Penggantian sumber panas konvensional dengan nuklir mampu menghemat bahan bakar fosil sebanyak 64.8 ribu ton/tahun yang setara dengan potensi pengurangan laju emisi CO₂ sebesar 182,4 ribu ton/tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. SOENTONO, S., *"Peran BATAN dalam Alih Teknologi Energi Nuklir di Indonesia"*, Seminar Nasional ke-12 Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir, Yogyakarta, 2006.
- [2]. _____, *"Nuclear Hydrogen Society established in Japan"*, International Journal of Hydrogen Energy 26, 2001.
- [3]. SOENTONO, S., *"Peran BATAN dalam Alih Teknologi Energi Nuklir di Indonesia, Seminar Nasional ke-12 Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir"*, Yogyakarta, 2006.
- [4]. _____, Kebijakan Energi Nasional, Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006.
- [5]. _____, Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional, Undang-undang RI Nomor 17 Tahun 2007.
- [6]. _____, Energi, Undang-undang RI Nomor 30 Tahun 2007.
- [7]. PURWADI, M. D., *"Desain Konseptual Sistem Reaktor Daya Maju Kogenerasi berbasis RGTT"*, Prosiding Seminar Nasional ke-16 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir,
- [8]. _____, Oil Refinery, http://simple.wikipedia.org/wiki/Oil_refinery diunduh tanggal 12 Januari 2012.
- [9]. MASAO, H., SHIOZAWA, S., *"Research and Development for nuclear production of*

- hydrogen in Japan*", OECD/NEA 3rd Information Exchange Meeting on the Nuclear Production of Hydrogen, Oarai, 2005.
- [10]. _____, *"Hydrogen as an Energy Carrier and Its Production by Nuclear Power"*, IAEA Publication, IAEA TECDOC 1085, Vienna, 1999.
- [11]. _____, *"Very High Temperature Reactor (VHTR) Proliferation Resistance and Physical Protection (PR&PP)"*, Oak Ridge National Laboratory, 2010.
- [12]. Pertamina UP III, Komunikasi Pribadi, 2011.
- [13]. RUER, J., *"Potential Use of Nuclear Energy in the Future Oil and Gas Industry"*, 4th International Freiberg Conference on IGCC & XtL Technologies, Dresden, May 2010.
- [14]. SALIMY, D. H., *"Aspek Keselamatan pada Aplikasi Reaktor Nuklir Suhu Tinggi untuk Proses Steam Reforming Gas Alam"*, Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, PPEB-BATAN, Jakarta. Vol. 10, No. 1, Juni 2008.
- [15]. HADA, K., FUJIMOTO, N., SUDO, Y., *"Design of Steam Reforming Hydrogen and Methanol Co-production System to be Connected to the HTTR"*, Technical Committee Meeting on High Temperature Application of Nuclear Energy, Oarai, Japan, 1992.