

## PENENTUAN JARAK PLTN DENGAN SUMUR MINYAK UNTUK ENHANCED OIL RECOVERY (EOR) DITINJAU DARI ASPEK KEHILANGAN PANAS DAN KESELAMATAN

Erlan Dewita, Dedy Priambodo, Sudi Ariyanto

Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN)-BATAN

Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan, 12710

Phone/ Fax : (021) 5204243, E-mail : erland@batan.go.id

### ABSTRAK

**PENENTUAN JARAK PLTN DENGAN SUMUR MINYAK UNTUK ENHANCED OIL RECOVERY (EOR) DITINJAU DARI ASPEK KEHILANGAN PANAS DAN KESELAMATAN.** EOR merupakan teknik untuk peningkatan perolehan minyak bumi dengan cara menginjeksikan material atau bahan lain ke dalam sumur minyak. Terdapat 3 teknik EOR yang sudah digunakan di dunia, yaitu Thermal Injection, Chemical Injection dan Miscible. Metode termal merupakan metode yang paling banyak digunakan di dunia, namun salah satu kelemahannya adalah kehilangan panas selama distribusi kukus ke sumur injeksi. Di Indonesia, penerapan EOR telah sukses dilakukan di lapangan duri, Riau menggunakan teknik injeksi uap, namun masih menggunakan minyak bumi sebagai bahan bakar untuk produksi uap. Untuk menghemat cadangan minyak bumi, dilakukan introduksi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) kogenerasi untuk memasok sebagian panas PLTN untuk proses EOR. Pada PLTN kogenerasi, aspek keselamatan menjadi prioritas utama. Tujuan studi adalah untuk mengevaluasi jarak PLTN dengan sumur minyak dengan mempertimbangkan kehilangan panas dan aspek keselamatan. Metode yang dilakukan kajian dan perhitungan menggunakan program Cycle Tempo. Hasil studi menunjukkan bahwa jarak 400 meter yang merupakan asumsi untuk exclusion zone reaktor Pebble Bed Modular Reactor (PBMR), dengan ketebalan isolasi pipa 1 in, maka kehilangan panas 277, 883 kw, sedangkan apabila digunakan ketebalan isolasi pipa 2 in, kehilangan panas menjadi 162,634 kw dan dengan ketebalan isolasi pipa 3 in, kehilangan panas menjadi 120,767 kw. Kehilangan panas dapat diatasi memberikan isolator pipa dan memperbaiki kualitas kukus dari saturated menjadi superheated.

**Kata Kunci:** EOR, kogenerasi, sumur minyak, PLTN, uap, fluida, daerah eksklusi

### ABSTRACT

**DISTANCE DETERMINATION OF NPP AND OIL RESERVOIR ON ENHANCED OIL RECOVERY BASED ON HEAT LOSS AND SAFETY IN VIEW POINT.** EOR is a method used to increasing oil recovery by injecting material or other to the reservoir. There are 3 EOR technique have been used in the world, namely thermal injection, chemical injection dan Miscible. Thermal injection method is the method most widely used in the world, however, one drawback is the loss of heat during steam distribution to the injection wells. In Indonesia, EOR application has been successfully done in the field of Duri, Chevron uses steam injection method, but still use petroleum as a fuel for steam production. In order to save oil reserves, it was done the introduction of co-generation nuclear power plants to supply some of the heat of nuclear power plants for EOR processes. In cogeneration nuclear power plant, the safety aspect is main priority. The purpose of the study was to evaluate the distance NPP with oil wells by considering heat loss and safety aspects. The method of study and calculations done using Tempo Cycle program. The study results showed that in the distance of 400 meter as exclusion zone of PBMR reactor, with pipe insulation thickness 1 in, the amount of heat loss of 277, 883 kw, while in pipe isolation thickness 2 in, amount of heat loss became 162,634 kw and with isolation thickness 3 in, amount of heat loss 120,767 kw., heat loss can be overcome and provide insulation pipes and improve the quality of saturated steam into superheated.

**Keywords:** EOR, cogeneration, oil reservoir, NPP, steam, fluid, Exclusion Zone

## 1. PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak menjadi sumber energi utama di Indonesia maupun dunia. Kondisi ini terlihat dari jumlah konsumsi minyak yang ternyata terus meningkat. Sejak sekitar tahun 2004, Indonesia merupakan net impotir. Artinya jumlah minyak yang dipakai lebih banyak dari produksi. Sejak tahun 2005 - 2011, konsumsi BBM meningkat 297,807 juta barel menjadi 394,052 juta barel. Peningkatan cukup signifikan terjadi tahun 2006 yaitu menjadi 374,691 juta barel<sup>[1]</sup>. Sedangkan berdasarkan data BPS menunjukkan bahwa produksi minyak Indonesia dari tahun ke tahun mengalami penurunan. Rata-rata produksi minyak saat ini hanya mencapai 830.000-850.000 barel per hari. Sebagai perbandingan, pada tahun 1995, produksi minyak Indonesia pernah mencapai puncak rata-rata sebanyak 1,6 juta barel per hari. Jumlah tersebut terus merosot dari tahun ke tahun, meskipun dalam 5 tahun terakhir penurunan produksi minyak sudah bisa ditekan menjadi hanya 3%. Dengan kondisi yang demikian, Indonesia harus melakukan impor minyak untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Tercatat, pada tahun 2012 berdasarkan data Pertamina, total impor minyak mentah Indonesia mencapai 98.21 juta barel atau sekitar 300,000 barel per hari.<sup>[2]</sup>

Cadangan minyak bumi Indonesia juga terus mengalami penurunan, sehingga dibutuhkan upaya untuk terus mencari cadangan minyak baru, karena potensi sumber daya minyak dan gas Indonesia masih sangat besar untuk dikembangkan terutama di kawasan timur Indonesia yang banyak memiliki sumur tua yang belum dieksplorasi secara intensif. Banyak ladang minyak tua dan minim produktivitas, karena kandungan air dalam minyak bertambah tinggi<sup>[3]</sup>. Menurut catatan Badan Pengelola Migas (BP Migas) cadangan minyak terbukti hingga tahun 2012 adalah sebesar 3.92 miliar barel atau hanya cukup digunakan selama 12-15 tahun. Asumsi ini berlaku apabila tidak ditemukan cadangan baru yang siap diproduksi, tingkat pengurusan minyak yang bertambah, meningkatnya jumlah konsumsi, dan tidak diterapkannya teknologi *lifting* minyak seperti *Enhanced Oil Recovery* (EOR) <sup>[4]</sup>. Teknologi EOR merupakan teknik untuk meningkatkan perolehan minyak dari lapangan yang sudah berproduksi menggunakan cara produksi primer. Ada 3 macam metode EOR yang umum digunakan yaitu *Thermal Injection*, *Chemical Injection* dan *Miscible*. Meskipun pemilihan metode EOR sangat tergantung pada karakteristik *reservoir*, namun metode *thermal injection* merupakan teknik EOR yang paling banyak digunakan, dan biasanya menggunakan air panas (*water injection*) atau kukus (*steam injection*). *Steam Flooding* yang merupakan salah satu teknik injeksi uap merupakan metode EOR dengan menginjeksikan uap ke dalam sumur minyak dengan tujuan dapat memproduksi minyak pada sumur yang sudah tidak memiliki tenaga pendorong dan tidak dapat diangkat menggunakan cara primer dan sekunder. Injeksi Uap dilakukan untuk mengurangi viskositas minyak supaya mobilitas minyak tinggi dan pendesakan minyak lebih efektif<sup>[5]</sup>. Namun, kelemahan metode *steam injection* adalah kehilangan panas dalam transmisi.

EOR menggunakan metode *thermal injection* sudah di aplikasikan di Chevron, Indonesia. Namun, panas untuk produksi *steam* masih menggunakan minyak bumi. Karena itu, untuk menghemat cadangan minyak bumi yang semakin menipis maka perlu dipertimbangkan introduksi PLTN kogenerasi dengan reaktor tipe HTGR (*High Temperature Gas Cooled Reactor*) untuk memanfaatkan panas nuklir menggantikan bahan bakar minyak bumi yang selama ini digunakan untuk produksi *steam*. Namun demikian, mengingat keselamatan merupakan prioritas utama dalam pengoperasian PLTN dan terkait dengan terjadinya kehilangan panas di seluruh transmisi, maka jarak antara PLTN dan sumur minyak perlu dilakukan perhitungan. Studi dilakukan dengan tujuan menentukan jarak antara PLTN dan sumur minyak yang dilakukan melalui perhitungan menggunakan program Cycle Tempo. Hasil studi diharapkan menjadi bahan masukan untuk studi lebih lanjut.

## 2. PROSES PEROLEHAN MINYAK MENGGUNAKAN TEKNIK EOR DENGAN METODE STEAM INJECTION

*Tertiary recovery* disebut juga dengan EOR merupakan istilah yang digunakan untuk teknik perolehan minyak tahap lanjut. EOR merupakan bagian dari *Improve Oil Recovery* (IOR). Konsep *perolehan minyak secara tersier* bertujuan untuk memobilisasi sisa minyak di sumur. Konsep ini dilakukan dengan menurunkan viskositas minyak atau mengurangi gaya kapiler (tegangan permukaan) agar minyak semakin mudah mengalir dan tersapu ke permukaan. Diperkirakan sekitar 60-70% cadangan sisa dapat diangkat ke permukaan dengan metode ini. Teknik EOR terdiri dari injeksi termal (*Thermal Injection*), Injeksi gas (*gas injection*), Injeksi mikroba (*Microbially Injection*), dan injeksi kimia (*Chemical Injection*)<sup>[5]</sup>.

### 2.1. Enhance Oil Recovery (EOR)

Sumur hidrokarbon setelah sekian lama diproduksi akan mengalami penurunan produksi. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah berkurangnya tekanan sumur sehingga daya dorong semakin berkurang. Berkurangnya daya pendorong dapat terlihat dengan dipasangnya pompa atau gas *lift* pada sumur sembur alami (*natural flow*) dimana minyak sudah tidak dapat mengalir dengan sendirinya atau dengan tahap *primary recovery*. Untuk menambah pengurasan lapangan dan daya pendorong, maka diterapkan metode *secondary* dan *tertiary recovery*. Proses produksi minyak dibagi menjadi 3 tahap, yaitu: *primary recovery*, *secondary recovery*, dan *tertiary recovery*. *Primary recovery* merupakan cara memproduksi minyak menggunakan tenaga dorong alami yang berasal dari tekanan sumur dan menggunakan pompa atau dengan gas *lift*. *Secondary recovery* dilakukan melalui pendorongan air (*water flood*) atau pendorongan gas (*gas flood*). Sementara itu *tertiary recovery* dilakukan dengan menambahkan bahan kimia pada air yang diinjeksikan, injeksi gas yang larut dalam minyak, injeksi uap air untuk menurunkan kekentalan, *In-situ Combustion*, dan injeksi mikroba. *Secondary* dan *tertiary recovery* biasa disebut EOR yang merupakan teknik lanjutan untuk mengangkat minyak jika berbagai teknik dasar sudah dilakukan tetapi hasilnya tidak seperti yang diharapkan atau tidak ekonomis.

Ada 4 macam teknik EOR yang umum<sup>[6]</sup>:

1. **Teknik *Thermal***, Menginjeksi fluida yang mempunyai temperatur tinggi ke dalam formasi untuk menurunkan viskositas fluida, sehingga minyak akan mudah mengalir ke permukaan. Umumnya yang digunakan adalah uap panas atau air panas.
2. **Teknik *Chemical***, menginjeksikan bahan kimia berupa surfactan atau bahan polimer untuk mengubah properti fluida atau minyak, sehingga lebih mudah untuk dialirkan ke atas permukaan.
3. **Proses *Miscible***, menginjeksikan fluida pendorong yang akan bercampur dengan minyak untuk diproduksi. Fluida yang digunakan misalnya gas hidrocarbon, CO<sub>2</sub> atau gas N<sub>2</sub>.
4. **MEOR, *Microbial Enhanced Oil Recovery***, menginjeksikan mikroba yang mempunyai kemampuan mensekresikan enzim ke dalam fluida sehingga akan merubah sifat dari fluida sehingga akan mudah diproduksi. Tentunya mikroba ini harus bisa beradaptasi pada lingkungan sumur.

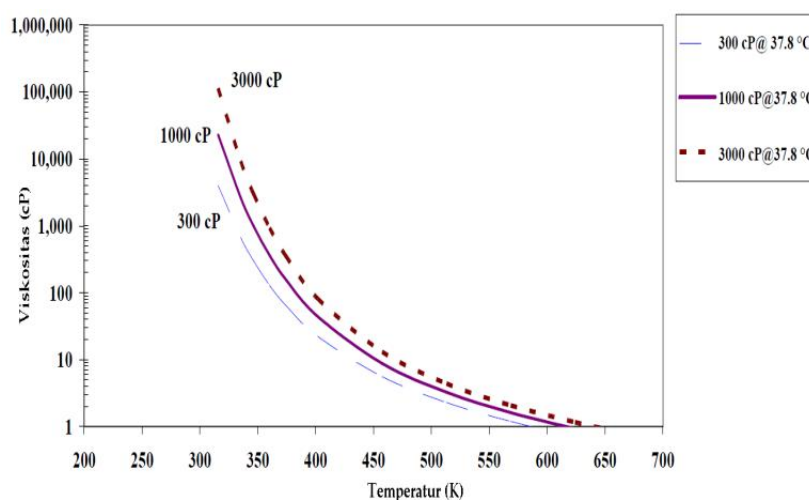
Diantara teknik EOR yang telah digunakan secara komersial menunjukkan bahwa jumlah minyak mentah dunia yang diproduksi menggunakan *thermal injection* adalah tertinggi dibanding teknik EOR lain yaitu 1129 kB/d, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1<sup>[7]</sup>. Sedangkan di Indonesia, produksi minyak dengan EOR hanya diperoleh dari *thermal*

injection dengan kapasitas 180 ribu barel/hari. Namun, penggunaan metode EOR harus disesuaikan dengan spesifikasi minyak dan sumur minyak.

**Tabel 1. Produksi Minyak Dengan EOR di Beberapa Negara (ribu barel/hari) tahun 1991<sup>[7]</sup>**

Negara	Termal	Gas	Kimia	Total
USA	468	298	7	773
Kanada	10	137	18	165
Venezuela	234	0	0	234
CIS	65	14	96	175
Indonesia	180	0	0	180
Cina	145	0	0	145
Lain-lain	27	280	1	308
Total Dunia	1129	729	122	1980

Metode *thermal injection* cocok digunakan untuk sumur yang mengandung minyak berat. Minyak bumi diklasifikasikan menjadi minyak berat jika memiliki *specific gravity* tinggi (nilai API > 20), viskositas tinggi hingga mencapai 100.000 cp, tingginya kandungan residual karbon, aspal menyebabkan berat molekul menjadi tinggi. Semakin rendah API minyak, semakin tinggi viskositasnya yang menyebabkan sulitnya fluida mengalir. Viskositas minyak dipengaruhi oleh temperatur, tekanan dan jumlah gas yang terlarut dalam minyak tersebut. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1, efek kenaikan temperatur akan menurunkan viskositas dari 3 jenis minyak berat dengan viskositas berbeda<sup>[8]</sup>.



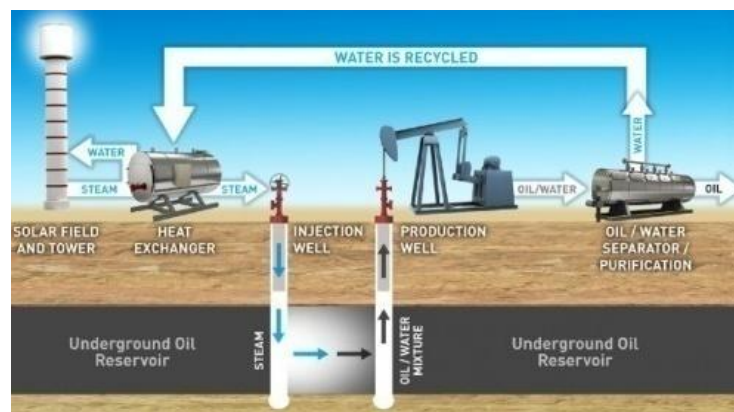
**Gambar 1. Pengaruh Temperatur Pada Viskositas Minyak<sup>[8]</sup>.**

## 2.2. Metode Thermal Injection

Metode *thermal injection* merupakan salah satu teknik EOR yang menggunakan panas untuk meningkatkan perolehan minyak dari sumur minyak. Metode yang termasuk dalam *thermal injection* adalah *Hot Water Flood* dan metode *steam* seperti: *CSS*, *SAGD*, *steam flood (steam injection)* dan *in-situ combustion*. Diantara metode *thermal injection*, injeksi uap (*steam injection*) paling banyak digunakan untuk peningkatan perolehan minyak (EOR)<sup>[9]</sup>. Terdapat 2 faktor yang membatasi penggunaan teknik injeksi uap, yaitu kedalaman sumur (kurang dari 5000 ft) dan ketebalan sumur (lebih besar dari 10 ft)<sup>[10]</sup>. Karena itu, metode injeksi uap kurang efisien dan ekonomis bila digunakan pada sumur dalam, tipis dan mempunyai permeabilitas rendah. Di Indonesia, metode ini sudah digunakan di Chevron Pacific

Indonesia<sup>[7]</sup>. Lapangan yang mulai dioperasikan tahun 1958 itu, sempat mencapai puncak produksi sebesar 65 ribu barel per hari pada 1965. Namun, seiring penurunan tekanan alamiah pada reservoir, produksi terus menurun sebesar 13 persen per tahun. Sejak EOR berhasil diterapkan pada 1990, produksi lapangan duri meningkat drastis. Bahkan, setelah 20 tahun injeksi uap dilakukan, produksi lapangan tersebut masih diangka 180 ribu barel per hari.

*Thermal injection* dilakukan dengan mekanisme seperti ditunjukkan pada Gambar 2. dimana tahapan yang dilakukan adalah memilih sumur injeksi. Setelah sumur injeksi siap, dilakukan produksi kukus menggunakan *steam generator*. Hingga saat ini, panas yang digunakan berasal dari pembakaran gas alam. Kukus dihasilkan dengan kualitas 60-80% pada tekanan 880–2200 psig. Kukus yang dihasilkan didistribusikan ke sumur injeksi melalui rangkaian pipa dan minyak yang didesak akan diproduksi melalui sumur lain yang berdekatan (sumur produksi). Kukus yang diinjeksikan memiliki temperatur tinggi sehingga minyak dalam sumur dengan viskositas tinggi akan berkurang viskositasnya. Uap yang diinjeksikan akan membentuk suatu zona uap jenuh (*steam saturated zone*) disekitar sumur injeksi. Temperatur zona ini sama dengan temperatur uap yang diinjeksikan. Kemudian uap bergerak menjauhi sumur, temperaturnya berkurang secara kontinyu karena terjadi penurunan tekanan. Pada jarak tertentu dari sumur (tergantung dari temperatur uap dan kaju penurunan tekanan), uap akan mencair dan membentuk *hot eater bank*.



Gambar 2. Proses Perolehan Minyak Menggunakan *Steam Injection*<sup>[9]</sup>.

Pada zona uap, minyak tergiring oleh destilasi dan pendorongan kukus. Pada zona *hot water*, perubahan sifat-sifat fisik minyak dan batuan sumur berpengaruh dalam perolehan minyak. Perubahan tersebut adalah ekspansi panas dari minyak, penurunan viskositas, saturasi minyak sisa, dan merubah permeabilitas relatif. Minyak mentah yang keluar dari sumur produksi mengandung air. Karena itu, untuk mendapatkan minyak murni harus dilakukan pemisahan untuk untuk memisahkan air yang terkandung dalam minyak untuk selanjutnya di daur ulang dan kembali ke *heat exchanger*. Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa kehilangan panas bisa terjadi pada pipa distribusi dan dalam sumur injeksi.

### 2.2.1. Kelemahan Metode *Thermal Injection*

Injeksi Uap (*Steam injection*) merupakan salah satu metode *thermal injection* dimana kukus (*steam*) diinjeksikan ke dalam sumur. Panas yang dibawa kukus akan dihantarkan ke dalam sumur minyak yang berdampak pada berkurangnya viskositas minyak. Kehilangan panas merupakan kelemahan metode injeksi uap, karena itu cocok digunakan untuk sumur dangkal dan viskositas tinggi. Kehilangan panas dapat terjadi melalui pipa transmisi dan

distribusi. Untuk meminimalisasi kehilangan panas, maka hal penting yang perlu diperhitungkan adalah penentuan jarak efektif antara *steam generator* dan sumber minyak dengan memperhatikan keselamatan. Hal ini diperhitungkan untuk mendapatkan efisiensi termal tinggi sehingga dapat menambah nilai ekonomi dari perolehan minyak dengan EOR. Kehilangan panas dalam injeksi uap terjadi di 2 lokasi<sup>[11]</sup>, yaitu :

- Kehilangan panas di permukaan  
Disebabkan oleh konduksi melalui pipa dan isolasinya, dan konveksi pada bagian dalam dan bagian luar pipa. Besarnya laju kehilangan panas dipermukaan tergantung dari temperatur udara, kecepatan angin, tebal pipa, tebal isolasi, letak pipa, kondisi *steam* dalam pipa.
- Kehilangan panas di dalam sumur injeksi  
Seiring mengalirnya uap dalam sumur maupun *reservoir* maka akan mengalami penurunan tekanan yang mengakibatkan *steam* kehilangan panasnya.

### 3. TEKNOLOGI REAKTOR HTGR DAN SISTEM KESELAMATAN

Reaktor HTGR merupakan reaktor dengan suhu pendingin keluar tinggi (~ 900°C) dan efisiensi termal tinggi serta mempunyai sistem keselamatan pasif dan melekat. Reaktor dikarakterisasi dengan penggunaan grafit sebagai moderator dan reflektor, gas helium sebagai pendingin yang bersifat *inert* dan mempunyai fase tunggal, bahan bakar partikel berlapis dan teras berdensitas daya rendah. Penggunaan bahan teras yang bersifat tahan panas dikombinasi dengan pendingin helium menyebabkan suhu pendingin dapat mencapai 900°C. Suhu pendingin keluar reaktor yang tinggi menyebabkan reaktor HTGR sangat potensial untuk tujuan kogenerasi, hal ini terkait kemampuan memasok panas proses industri dalam jangkauan yang lebih luas dibanding reaktor tipe lain, seperti tipe LWR.

Pada PLTN kogenerasi, panas reaktor selain digunakan untuk produksi listrik dengan turbin gas siklus langsung atau tak langsung, panas sisa reaktor dapat diaplikasikan untuk memasok panas proses untuk industri, seperti untuk produksi hidrogen dengan metode *steam reforming* yang memerlukan suhu tinggi (800°C), proses pencairan/ gasifikasi batubara dan proses EOR. Pada PLTN kogenerasi diperlukan sistem kopling antara reaktor dengan industri untuk tujuan keselamatan sehingga tidak ada kemungkinan adanya kontaminasi radioaktif yang masuk ke area industri. Sesuai pengalaman operasi, reaktor HTGR dapat menggunakan bahan bakar berbasis uranium atau thorium, atau bahkan dapat membakar plutonium dan minor aktinida yang radioaktivitasnya berumur sangat panjang.

Keselamatan merupakan hal penting yang harus diperhatikan dalam mendisain PLTN kogenerasi dengan tujuan untuk melindungi dari bahaya yang mungkin terjadi akibat pengoperasian suatu sistem baik pada kondisi normal maupun kecelakaan. Namun, terdapat perbedaan filosofi keselamatan untuk sebagian besar industri kimia dan PLTN. Perbedaan mendasar filosofi desain keselamatan antara PLTN dan instalasi industri kimia (pencairan/ gasifikasi batubara ataupun produksi hidrogen) disebabkan oleh perbedaan sifat bahan berbahaya yang akan ditangani, yaitu bahan radioaktif dan bahan kimia.

Pada dasarnya, tidak sama seperti dalam produksi listrik dari reaktor nuklir, panas temperatur tinggi hanya dapat ditransfer dengan jarak yang terbatas, hal ini disebabkan transmisi listrik lebih mudah dibanding transfer panas temperatur tinggi, sehingga reaktor dan instalasi EOR lebih baik diletakkan berdekatan satu sama lain. Reaktor nuklir dirancang harus mempunyai tingkat keselamatan sangat tinggi, karena reaktor memuat material bahan bakar nuklir yang sangat radioaktif dan untuk melepas ke pendingin hanya pada kondisi yang sangat terkontrol. Reaktor tertutup dalam struktur beton besar dan responnya terhadap beberapa kondisi transien adalah dengan menutup semua akses untuk pelepasan material radioaktif. Hal ini bertentangan dengan sebagian besar industri kimia khususnya

yang memproses material mudah terbakar dimana industri akan dibangun pada lokasi terbuka. Konstruksi udara terbuka ini adalah untuk mencegah akumulasi bahan yang eksplosif dan mudah terbakar, namun demikian kebocoran kecil dari katup diijinkan apabila sesuai batasan-batasan dalam peraturan.

HTGR yang mempunyai fitur keselamatan pasif yang melekat akan menjaga reaktor tetap dalam kondisi terkendali dalam berbagai kondisi, baik kondisi normal maupun kecelakaan. Fitur keselamatan melekat reaktor tipe HTGR adalah sebagai berikut:<sup>[12]</sup>

- Pendingin helium, yang merupakan media yang mempunyai fase tunggal, inert, hanya mempunyai efek reaktivitas kecil dan tidak menjadi radioaktif.
- Teras grafit yang menyediakan kapasitas panas besar, respon panas yang lambat dan mempunyai stabilitas tinggi pada temperatur sangat tinggi.
- Kapasitas panas yang besar dari struktur teras grafit merupakan sebuah karakteristik melekat penting yang secara signifikan menjaga temperatur bahan bakar agar dibawah batas kerusakan selama kejadian kehilangan pendingin.
- Bahan bakar partikel berlapis, yang mempunyai kemampuan menahan produk fisi pada temperatur lebih tinggi dari pada kondisi operasi normal maupun kondisi kecelakaan terpostulasi.
- Koefisien reaktivitas temperatur negatif sehingga dapat melakukan shutdown reaktor secara pasif bila temperatur teras diatas temperatur operasi normal.
- Sebuah annular, teras dengan densitas daya rendah (6,5 watts/cc) dalam bejana reaktor baja dikelilingi oleh sistem pendingin kavitas reaktor sirkulasi alam (RCCS = *Natural Circulation reactor cavity Cooling System*).

Kombinasi reaktor nuklir dengan proses kimia membutuhkan kopleng antara sirkuit primer dan sirkuit sekunder, karena alasan berikut<sup>[13]</sup>:

- Pemisahan pembangkit nuklir untuk alasan keselamatan (kontaminasi)
- Pembatasan kontaminasi radioaktif dari produk (i.e., tritium)
- Eksklusi masuknya media korosif kedalam sirkuit primer.
- Kemudahan pemeliharaan dan perbaikan sistem pemanfaatan panas.
- Eksklusi kontaminasi dari kontaminasi industri tinggi

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Meningkatkan efisiensi termal merupakan salah satu cara untuk meningkatkan keekonomian reaktor daya nuklir (PLTN). Peningkatan efisiensi termal pembangkit salah satunya dapat dilakukan melalui penerapan sistem kogenerasi. Pada sistem kogenerasi, maka panas reaktor setelah digunakan untuk pembangkitan listrik, panas sisanya dapat dimanfaatkan untuk panas proses industri. Pada dasarnya, setiap jenis reaktor mempunyai efisiensi termal yang berbeda, reaktor jenis LWRs mempunyai efisiensi dibawah 33% dan pembangkit gas dengan *combined cycle* mempunyai efisiensi termal antara 50- 60%. Sedangkan, sebagian besar sistem kogenerasi memiliki efisiensi keseluruhan antara 65-85%<sup>[14]</sup>. Untuk mengoptimalkan efisiensi termal reaktor kogenerasi dilakukan cara dengan meminimalisir kehilangan panas yang terjadi pada saat *steam* dihantarkan dari *boiler/ steam generator* menuju industri.

Seperti dijelaskan pada bab sebelumnya, bahwa diantara metode EOR, *thermal injection* merupakan teknik EOR yang paling banyak digunakan di dunia. Teknik ini juga sudah digunakan di Indonesia yaitu di PT. Chevron, Riau. Pada dasarnya pemilihan teknik EOR harus memperhatikan beberapa faktor, seperti spesifikasi/ kondisi sumur minyak yaitu temperatur, tekanan, kedalaman, netpay, permeability, minyak residu dan kejenuhan air, porositas sumur minyak dan sifat fluida seperti gravity API dan viskositas minyak.

*Thermal injection* cocok digunakan pada sumur dengan parameter: kedalaman 500-3000 ft, ketebalan > 10 ft, permeabilitas >50 md, gravity minyak >10 ( $^{\circ}$ API), viskositas minyak > 20 cP, dan saturasi minyak > 40-50 % serta dalam pasir dan batuan dengan porositas tinggi. Karena itu, *steam flooding* sesuai digunakan untuk sumur dengan kandungan minyak dengan viskositas tinggi dan sumur dengan kedalaman yang rendah. Pada studi ini digunakan teknik *thermal injection* karena panas temperatur tinggi dari reaktor (PLTN) digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk memproduksi kukus) yang akan diinjeksikan ke dalam sumur.

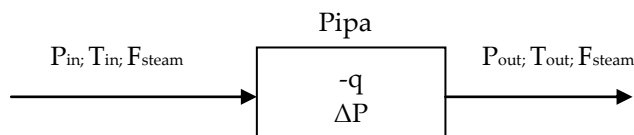
Walaupun *thermal injection* merupakan metode yang paling banyak digunakan di dunia, namun metode ini memiliki beberapa kelemahan. Kelemahan utama metode tersebut adalah kehilangan panas (*heat loss*) selama distribusi kukus. Kehilangan panas dapat terjadi selain melalui pipa distribusi, juga terjadi melalui pipa injeksi, *wellbores* dan formasi. Untuk meminimalisir kehilangan panas, biasa digunakan isolator pipa dengan material yang biasa digunakan adalah kalsium silikat dengan dilapisi aluminium. Kehilangan panas terjadi dengan cara konduksi melalui material isolasi menuju lapisan aluminium, dengan cara radiasi dan kombinasi konveksi alam dan konveksi paksa. Karena itu, metode *thermal injection* cocok diaplikasikan pada sumur yang tidak terlalu dalam, yaitu dengan kedalaman < 3000 ft. Hal ini disebabkan makin jauh jarak hantaran panasnya maka kemungkinan kehilangan panas juga makin tinggi.

Hal utama yang perlu diperhatikan untuk PLTN kogenerasi adalah tata letak, karena hal ini terkait dengan keselamatan dan kehilangan panas. Untuk mengakomodasi aspek keselamatan dan kehilangan panas maka perlu diperhitungkan jarak. Makin jauh jarak yang diberikan, ditinjau dari keselamatan tidak bermasalah namun dampak kehilangan panas makin besar dan biaya konstruksi untuk pemipaan makin tinggi. Karena itu, perlu dilakukan perhitungan karena tanpa diperoleh jarak optimum akan menyebabkan *overdesign* yang berdampak meningkatnya biaya kogenerasi.

Untuk PLTN kogenerasi dengan instalasi EOR, pertama kali ditinjau dari aspek keselamatan PLTN melalui adanya *exclusion zone* (daerah yang dikendalikan). *Exclusion zone* untuk PLTN tergantung pada jenis dan daya reaktor. Jenis reaktor yang digunakan untuk kogenerasi dengan EOR adalah HTGR, karena itu pada studi ini digunakan asumsi PLTN jenis HTGR yaitu reaktor *Pebble Bed Modular Reactor* (PBMR) yang memiliki *exclusion zone* dengan radius 400 m<sup>[15]</sup>. Perhitungan kehilangan panas dilakukan menggunakan program *cycle tempo* menggunakan data input sebagai berikut:<sup>[13]</sup>

- Tekanan kukus ( $P_{in}$ ) 59,6 bar,
- Temperatur ( $T_{in}$ ) 460 $^{\circ}$ C,
- Kualitas kukus Lewat Jenuh
- Aliran kukus 2500 kg/j,

Blok diagram pengerjaan simulasi dengan *Cycle Tempo* dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 3. Diagram Pengerjaan Simulasi Pada Program Cycle Tempo.

Dengan

- $P_{out}$  = tekanan uap di mulut sumur injeksi
- $T_{out}$  = Temperatur uap di mulut sumur injeksi
- $F_{steam}$  = Laju alir uap



Jarak *steam generator* dengan sumur injeksi : 200 m, 400m, 600m dan 800 m, dengan Spesifikasi Pipa

*Pipe grade* : JIS-STPG Sch 60  
*Pipe Size* : 80 A  
*Pipe ID* : 75.9 mm

Pada studi ini digunakan nilai kehilangan panas per satuan panjang seperti pada tabel dibawah ini sesuai dengan ketebalan isolasi yang digunakan. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 2.

\*perhitungan *pressure drop* menggunakan persamaan sebagai berikut <sup>[16]</sup>:

$$\Delta P = \frac{f \cdot L_p \cdot V_s^2}{2 \cdot d \cdot v''}$$

$$V_s = \frac{F_s \cdot v''}{\left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi}$$

Keterangan :

$\Delta P$  : Kehilangan tekanan (*Pressure Loss*) (Pa)  
*f* : *Coefficient of friction*  
*L<sub>p</sub>* : Panjang Pipa (*Pipe length*) (m)  
*V<sub>s</sub>* : Kecepatan Aliran (*Flow velocity*) (m/detik)  
*d* : Diameter dalam pipa (*Inner diameter of pipe*) (m)  
*v''* : Volume spesifik (*Specific volume*) (m<sup>3</sup>/kg)  
*F<sub>s</sub>* : Laju Alir Uap (*Steam flow rate*) (kg/detik)  
 $\pi$  : 3,1415

Tebal isolasi (in)	Kehilangan panas (kWh/m)
1	0,694
2	0,406
3	0,302

**Tabel 2. Kehilangan panas pada kopling antara PLTN tipe HTGR dengan sumur injeksi.**

- Tebal isolasi 1 inchi

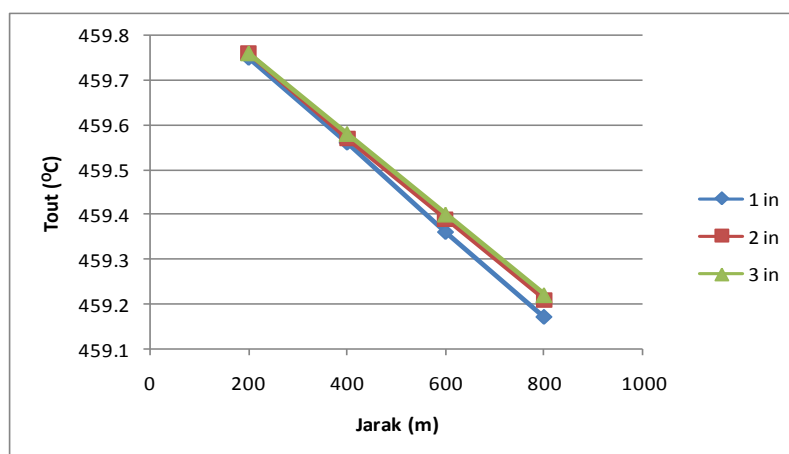
Jarak (m)	Kehilangan panas, (kw)	<i>Obstructed flow valve</i>	<i>Through flow valve</i>	<i>Check Valve</i>	<i>Elbow</i>	Kecepatan (m/detik)	Panjang <i>Equivalent</i> Pipa (m)	$\Delta P$ * (bar)	T <sub>out</sub> Uap (°C)	Pout (bar)
800	555,787	1	1	1	1	8,1	856,86	1,3	459,17	58,3
600	416,835	1	1	1	1	8,1	656,86	1,0	459,36	58,6
400	277,883	1	1	1	1	8,1	456,86	0,7	459,56	58,9
200	138,952	1	1	1	1	8.1	256,86	0,4	459,75	59,2

- Tebal isolasi 2 inchi

Jarak (m)	Kehilangan panas, (kw)	<i>Obstructed flow valve</i>	<i>Through flow valve</i>	<i>Check Valve</i>	<i>Elbow</i>	Kecepatan (m/detik)	Panjang <i>Equivalent</i> Pipa (m)	$\Delta P$ * (bar)	T <sub>out</sub> Uap (°C)	Pout (bar)
800	325,828	1	1	1	1	8,1	856,86	1,3	459,21	58,3
600	243,958	1	1	1	1	8,1	656,86	1,0	459,39	58,6
400	162,634	1	1	1	1	8,1	456,86	0,7	459,57	58,9
200	81,323	1	1	1	1	8.1	256,86	0,4	459,76	59,2

- Tebal isolasi 3 inchi

Jarak Kehilangan panas, (m) (kw)	Obstructed flow valve	Through flow valve	Check Valve	Elbow	Kecepatan (m/detik)	Panjang Pipa (m)	$\Delta P^*$ (bar)	Tout Uap ( $^{\circ}C$ )	Pout (bar)
800	241,544	1	1	1	8,1	856,86	1,3	459,22	58,3
600	181,156	1	1	1	8,1	656,86	1,0	459,40	58,6
400	120,767	1	1	1	8,1	456,86	0,7	459,58	58,9
200	60,388	1	1	1	8,1	256,86	0,4	459,76	59,2



Gambar 4. Grafik fungsi jarak PLTN dengan Instalasi EOR dan Temperatur kukus keluar pipa.

Pada Tabel 2 terlihat bahwa kehilangan panas merupakan fungsi dari jarak dan ketebalan isolasi dimana makin panjang jarak antara *steam generator* dengan sumur injeksi maka kehilangan panas makin tinggi dan dengan ketebalan isolasi makin tinggi maka kehilangan panas makin kecil. Hal ini juga dapat dikonfirmasi dengan Gambar 4, dimana makin tinggi ketebalan isolasi dan pada jarak yang sama maka suhu steam keluar pipa makin rendah, berarti kehilangan panas makin kecil. Dari tabel tersebut terlihat bahwa pada jarak 400 m (asumsi jarak yang digunakan dalam studi ini), dengan ketebalan isolasi 1 in, maka kehilangan panas 277, 883 kw, sedangkan apabila digunakan ketebalan isolasi 2 in, maka kehilangan panas menjadi 162,634 kw dan dengan ketebalan isolasi 3 in, kehilangan panas menjadi 120,767 kw. Karena itu, upaya yang dilakukan untuk mengatasi kehilangan panas yang pasti terjadi melalui pipa distribusi, maka perlu dilakukan isolasi pipa dengan memperhitungkan keekonomian. Isolasi pipa yang umum dilakukan adalah menggunakan bahan kalsium silikat dengan tebal 1 in (2,54 cm). Makin panjang pipa distribusi (jarak antara *steam generator* dengan sumur injeksi), maka makin tebal isolasi yang digunakan.

Karena itu solusi yang mungkin dilakukan untuk mengatasi perbedaan kehilangan panas apabila menggunakan panas nuklir agar sama dengan *thermal injection* konvensional maka ketebalan isolator ditambah. Selain itu, untuk mengantisipasi kehilangan panas yang berefek pada menurunnya kualitas kukus maka kukus yang digunakan harus kualitas *superheated*. Temperatur dan kualitas *steam* yang mencapai sumur injeksi dipengaruhi oleh interaksi yang kompleks antara kehilangan panas dan friksi dari aliran *steam*.

## 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk PLTN kogenerasi diperlukan jarak antara PLTN dengan instalasi EOR. Pada PLTN kogenerasi digunakan teknik thermal (*steam injection*). Kelemahan teknik EOR ini adalah kehilangan panas yang salah satunya terjadi selama distribusi kukus<sup>2</sup> dari boiler

menuju sumur injeksi. Kehilangan panas merupakan fungsi dari jarak dan ketebalan isolasi dimana makin panjang jarak antara *steam generator* dengan sumur injeksi maka kehilangan panas makin tinggi dan dengan ketebalan isolasi makin tinggi maka kehilangan panas makin kecil. pada jarak 400 m (asumsi jarak yang digunakan dalam studi ini), dengan ketebalan isolasi 1 in, maka kehilangan panas 277, 883 kw, sedangkan apabila digunakan ketebalan isolasi 2 in, maka kehilangan panas menjadi 162,634 kw dan dengan ketebalan isolasi 3 in, kehilangan panas menjadi 120,767 kw. Kehilangan panas yang terjadi dapat diatasi dengan isolator pipa dan dengan meningkatkan kualitas kukus yang diinjeksikan dari *saturated steam* menjadi *superheated steam*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. \_\_\_\_\_, [www.slideshare.net/020708/statistik-minyak-bumi](http://www.slideshare.net/020708/statistik-minyak-bumi), Siapakah Konsumen BBM Terbanyak di Indonesia?, diakses tanggal 8 Januari 2013.
- [2]. \_\_\_\_\_, Produksi Minyak Kuartal I Capai 830.000 Barel Per Hari, diakses tanggal 3 Desember 2013.
- [3]. \_\_\_\_\_, <http://nationalgeographic.co.id/berita/2013/05/rapuh-ketahanan-energi-indonesia>), diakses tanggal 10 September 2013.
- [4]. \_\_\_\_\_, [teknologi.kompasiana.com/.../prediksi-produksi-minyak-indonesia-](http://teknologi.kompasiana.com/.../prediksi-produksi-minyak-indonesia-), diakses tanggal 24 September 2013.
- [5]. Ronald E.Terry, Enhanced Oil Recovery, Encyclopedia of Physical Science 3rd Edition, Vol. 18, Robert A. Meyers Ed., Academic Press (2001) pp. 503-518.
- [6]. Hamid Rashedi, Fatemeh Yazdian, Simin Naghizadeh, Microbial Enhanced Oil Recovery, [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com), diakses 24 Oktober 2013.
- [7]. H.J. De Haan, "Introduction", geological society, London, special publications 1995, v.84, p 1-4.
- [8]. J.L.M.Barillas, T.V.Dutra Jr., W.Mata,"Improved Oil Recovery Process for Heavy Oil : A Review", Brazilian Journal of Petroleum And Gas, v. 2, p.45-54, 2008.
- [9]. \_\_\_\_\_, <http://chenected.aische.org/energy/chevron-could-employ-solar-energy-for-enhanced-oil-recovery-in-saudi-arabia/>Chevron Could Employ Solar Energy for Enhanced Oil Recovery in Saudi Arabia, Juni 2012, diakses tanggal 12 September 2013
- [10]. Don W.Green, G. Paul Willhite," Enhanced Oil Recovery", SPE Text Book Series Volume 6, 1998.
- [11]. \_\_\_\_\_, [http://memberfiles.freewebs.com/.../Enhanced%20Oil%20Recovery\\_EOR-1.pdf](http://memberfiles.freewebs.com/.../Enhanced%20Oil%20Recovery_EOR-1.pdf) "Enhanced Oil Recovery", diakses tanggal 14 Agustus 2013.
- [12]. M.P. Labar, A.S.Shenoy, W.A.Simon, E.M.Campbell,"Status of GTMHR for electricity production", World Nuclear Association Annual Symposium 3-5 September 2003 – London.
- [13]. \_\_\_\_\_, [http://dspace.nwu.ac.za/.../Schalkwyk\\_GP\\_Chapter\\_2.p](http://dspace.nwu.ac.za/.../Schalkwyk_GP_Chapter_2.p)"Nuclear Reactor-and Hydrogen Production Technologies" diakses tanggal 20 Agustus 2013.
- [14]. \_\_\_\_\_, <http://www.eurelectric.org/Download/Download.aspx?>"Efficiency in electricity generation", diakses tanggal 20 Agustus 2013.
- [15]. \_\_\_\_\_, [www.eolss.net/sample-chapters/.../E3-06-02-08.pdf](http://www.eolss.net/sample-chapters/.../E3-06-02-08.pdf), Pebble Bed Modular Reactor, diakses tanggal 15 September 2013.
- [16]. \_\_\_\_\_, <http://www.tlv.com/global/TI/calculator/steam-pressure-loss-through-piping.html> *Steam Pressure Loss through Piping*, diakses tanggal 15 September 2013.