

Studi Pengembangan Sistem Sirkulasi Bertekanan dalam Sistem Recovery Uap Bensin SPBU

I Made Astina, Wijaya Kesuma, dan Bagus Budiwanto

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung,
Jalan Ganesha 10 Bandung 40132
E-mail : astina@soon.com

Abstrak

Jumlah emisi uap bensin yang dilepaskan di stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU) sangat besar. Emisi ini terjadi karena adanya penguapan selama bongkar muat dan pengisian distribusi bensin. Prosentase penguapannya mencapai 0,78%. Bensin yang terdiri atas sejumlah campuran hidrokarbon utama sangat penting untuk dianalisis di dalam usaha mengurangi kerugian penguapan bensin sehingga kondisi yang optimal dapat diketahui dalam pengembangan sistem recovery uap bensin SPBU. Dari kajian analisis sistem dan studi pustaka tentang berbagai sistem recovery yang telah diusulkan orang, sebuah sistem dibahas dalam paper ini. Modifikasi terhadap sistem yang telah ada perlu dilakukan. Penambahan sejumlah komponen serta pembuatan sistem tertutup telah dipilih untuk memberikan kontribusi pada masalah tersebut. Bensin memiliki sifat mudah menguap jika berada pada udara bebas. Untuk menjaga agar bensin tetap pada fase cair maka tekanan harus berada di atas 2 bar. Penguapan dalam tangki pendam dikurangi dengan cara menjaga tekanan di dalam tangki pendam sebesar 1,5 bar. Tekanan ini dapat diperoleh dengan cara mengalirkan uap bensin bertekanan ke dalam tangki pendam. Analisis ekonomi menunjukkan sistem ini layak untuk diaplikasikan. IRR nya sebesar 23% dan payback period dalam 3 tahun 1 bulan.

Kata kunci: uap bensin, recovery, pengisian bensin, SPBU

Pendahuluan

Dari tahun ke tahun konsumsi bahan bakar minyak (BBM) nasional semakin meningkat. Salah satu parameter yang dapat dilihat adalah peningkatan penggunaan kendaraan bermotor di Indonesia. Peningkatan konsumsi bahan bakar akibat peningkatan jumlah kendaraan bermotor dewasa ini tidak sejalan dengan peningkatan jumlah produksi bahan bakar nasional. Kebutuhan bahan bakar di Indonesia dewasa ini telah mencapai 15.000.000 kL lebih. Permintaan bahan bakar yang tinggi terlihat dari jumlah Stasiun Pengisian Bahan Bakar (SPBU) yang ada, yaitu sekitar 3157 stasiun. Secara umum proses yang terjadi di SPBU dapat dibagi kedalam tiga kelompok besar:

- Pengisian tangki penyimpanan oleh truk pengirim BBM (*unloading process*),
- Penyimpanan bahan bakar di tangki penyimpanan,
- Penyaluran BBM dari tangki penyimpanan ke kendaraan konsumen (*dispensing*).

Bensin termasuk ke dalam *Volatile Organic Compounds (VOCs)* yaitu zat yang tersusun dari berbagai macam komponen organik (hidrokarbon) yang berbeda. Tekanan uap pada bensin ditentukan dari tekanan uap dan perbandingan komposisi penyusun bensin. Tekanan uap bensin dapat diubah-ubah dengan cara mengubah komposisi dari unsur-unsur penyusunnya. Sifat bensin yang mudah menguap bila terjadi kontak dengan udara mengakibatkan tingkat penguapan bensin di SPBU cukup tinggi [Hartono 1999a].

Penguapan ini terjadi pada periode bongkar muat (*unloading*) dan juga pada periode pengisian distribusi bahan bakar ke kendaraan konsumen (*dispensing*). Pada periode pengisian ke kendaraan konsumen, uap jenuh bensin dari tangki kendaraan konsumen terdesak keluar oleh bensin cair yang masuk. Dalam tangki penyimpanan, volume bensin cair berkurang karena penyaluran ke tangki kendaraan konsumen yang mengakibatkan ruang kosong di dalam tangki penyimpanan semakin besar sehingga tekanan total uap di atas bensin cair semakin rendah. Uap bensin yang semula sudah ada di dalam tangki pendam tidak setimbang lagi menuju ke kondisi kesetimbangan. Ekspansi uap bensin menyebabkan sistem uap-cair bensin menjadi tidak dalam kondisi kesetimbangan karena tekanan di dalam tangki pendam menurun. Agar kondisi kesetimbangan kembali tercapai, maka sebagian bensin cair menguap hingga tekanan di dalam tangki penyimpanan kembali ke kondisi setimbang. Uap di dalam

tangki pendam ini selanjutnya akan terbuang keluar pada periode bongkar muat. Gas-gas yang menguap selama proses bongkar muat dan pengisian distribusi terbuang begitu saja ke lingkungan.

Hasil penelitian *California Air Resource Board* (CARB) tahun 2004 dan *Environmental Protection Agency* (EPA) menunjukkan besarnya penguapan bahan bakar bensin di stasiun pengisian selama pengisian tangki pendam (*fugitive emission*) sebesar 0,45 kg setiap 3785,412 liter (1000 galon). Sedangkan penguapan selama pengisian ke konsumen (*transfer emission*) sebesar 3,8 kg setiap 3785,412 liter. Menurut laporan LEMIGAS Oktober 1999 [Hartono 1999a], penguapan bahan bakar minyak di Indonesia khususnya bensin yang terjadi selama pengisian tangki pendam (bongkar muat) oleh mobil truk pengangkut di tempat pendistribusian bahan bakar bensin ke masyarakat sebesar 0,78% dan uap bensin tersebut langsung dibuang ke lingkungan. Jumlah kerugian yang rinci untuk setiap jenis bahan bakar yang ada di pasaran disajikan Tabel I. Kerugian dari penguapan bensin dengan mengambil harga pasaran Oktober 2006, nilai kerugiannya lebih dari 380 Milyar Rupiah.

Tabel I. Kerugian Akibat Penguapan Tanpa Kendali [Hartono, 1999b]

No.	Jenis BBM	Konsumsi Nasional ¹ 1998/1999 (liter)	Faktor Rugi ¹ (%)	Harga ² (Rupiah/liter)	Kerugian (Rupiah)
1	Premium	11.014.322.000	0,78	1.750 ⁴	150.345.495.300
2	Solar	19.110.096.000	0,10	1.400 ⁴	26.754.134.400
3	Premix ³	360.758.000	0,78	2.300	6.471.998.520
4	Super TT ³	35.848.000	0,78	2.400	671.074.560
Jumlah					178.412.702.780

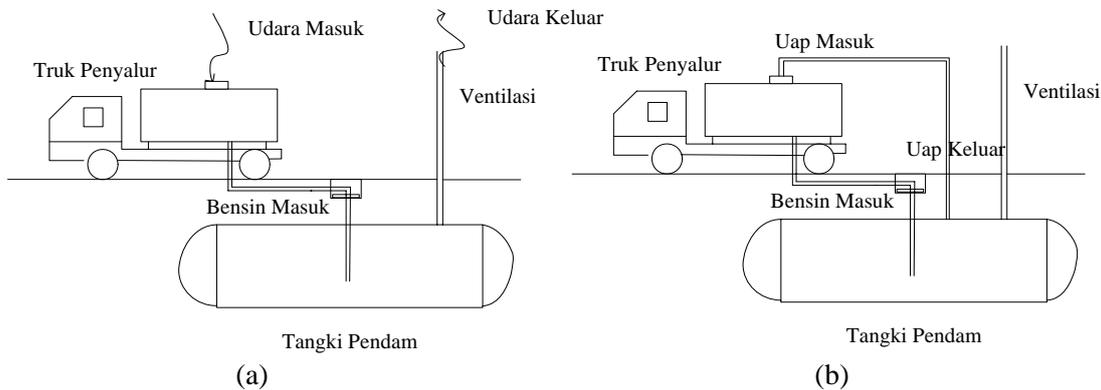
¹Data Pertamina, ²Harga BBM Mei 2002, ³Sudah tidak dipasarkan lagi; ⁴Harga premium dan solar pada Oktober tahun 2006 masing-masing Rp. 4.500,00 dan Rp. 4.300,00

Melihat kerugian yang ditimbulkan dari kebocoran uap bensin di SPBU, berbagai pihak yang berkepentingan dan pemerhati energi dan lingkungan telah melakukan banyak penelitian untuk menanggulangi hal tersebut. Beberapa dari hasil penelitian tersebut telah direalisasikan dan telah terbukti mampu mereduksi emisi dari SPBU. Beberapa penelitian telah dilakukan [Shie et al. 2003, Feryadi 2004, Sutanto 2005, Fadillah 2005, Abdi 2005, Kesuma 2006]. Produk serta paten yang berkaitan dengan penanggulangan permasalahan penguapan bensin yang terjadi di SPBU telah dihasilkan orang. Melihat pentingnya masalah ini, paper ini menguraikan pemikiran rancang bangun pengembalian uap pada tahap bongkar-muat di SPBU yang terintegrasi dengan tahap pengisian distribusinya. Untuk sampai pada pemikiran tuntas rancang bangun ini, beberapa tahapan analisis harus dilakukan dalam metodologi pengerjaannya. Sifat-sifat termofisik bensin berupa titik didih dan titik gelembung (*bubble point*) melalui analisis VLE (*vapour-liquid equilibrium*), analisis termofluida lainnya yang diperlukan untuk mencegah penguapan lebih lanjut di tangki pendam serta kebocoran uap bensin ke lingkungan, serta untuk desain komponen-komponen terkait sesuai dengan standar dan analisis ekonomi dalam menentukan *feasibility* sistem jika diaplikasikan juga harus dilakukan.

Pengembalian Uap pada Tahap Bongkar-Muat dan Tahap Pengisian Distribusi

Proses pengembalian uap (*vapour recovery*) pada tahap bongkar-muat adalah proses penangkapan uap selama terjadi proses pengisian tangki penyimpanan (bongkar muat) oleh truk pengirim. Pengembalian uap pada tahap ini mengacu pada sistem yang terpasang pada tangki penyimpanan, khususnya pada saluran masuk bahan bakar. Perbedaan antara sistem dengan dan tanpa unit pengembalian uap tahap bongkar-muat ditunjukkan pada Gambar 1. Adapun komponen-komponen vital yang perlu diperhatikan adalah saluran pengembalian uap, saluran pengisian ke tangki pendam, *drop tube*, penutup, dan *seal*. Penutup dan *seal* merupakan komponen yang memegang

peranan kunci dalam mengurangi jumlah uap yang terbebas ke atmosfer dengan cara menjaga sistem pengembalian uap tertutup dengan rapat.



Gambar 1. (a) Sistem bongkar-muat BBM tanpa pengembalian uap, (b) Sistem bongkar-muat BBM dengan pengembalian uap

Kedua sistem tersebut bekerja dengan prinsip perbedaan tekanan. Penyaluran bensin menyebabkan tekanan positif di tangki penyimpanan dan tekanan negatif di tangki truk pengirim. Uap secara alami bergerak dari tekanan positif ke tekanan negatif untuk mencapai keseimbangan. Uap akan mengambil jalan yang paling sedikit hambatan fluidanya, sehingga uap cenderung masuk ke dalam tangki truk dengan tekanan negatif daripada keluar melalui ventilasi dengan tekanan atmosfer.

Pengembangan sistem bongkar muat ini biasanya dilakukan dengan membuat bagian dan bentuk *hose* untuk jalur pengembalian uap. Truk tangki secara orisinil di Indonesia tanpa dilengkapi dengan jalur untuk pengembalian uap sehingga penambahan jalur ini harus dilakukan. Uap balik akan dikembalikan dari atas tangki truk dan kembali dalam keadaan uap jenuh. Pada saat ini ada dua macam peralatan yang sudah digunakan, yaitu peralatan dengan sistem titik ganda (*dual point*) dan sistem koaksial.

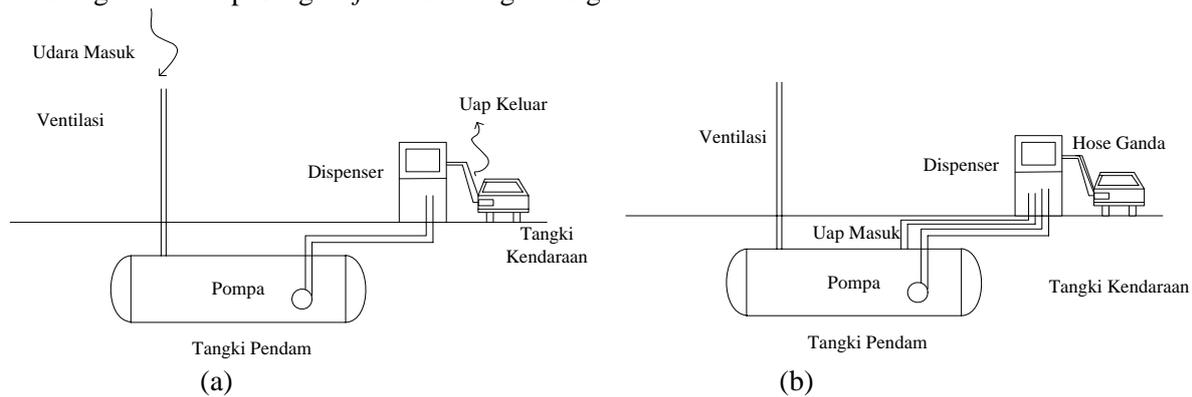
Sistem titik ganda adalah sistem pengembalian uap tahap bongkar muat yang mempunyai saluran masuk bahan bakar terpisah dengan saluran uap balik ke truk tangki. Sistem ini menggunakan dua *hose* yaitu *hose* untuk pengisian bensin ke tangki pendam dan *hose* untuk pengembalian uap dari tangki penyimpanan ke truk. Tangki pendam biasanya dilengkapi dengan riser dari tangki ke permukaan dimana ujung riser dipasang konektor pengembalian uap (*dry break*). Konektor ini mempunyai seal dan pegas yang akan terbuka ketika *hose* dihubungkan dengannya. Diameter *hose* untuk pengembalian uap berukuran 3 inci dan *hose* untuk pengisian bensin berukuran 4 inci.

Sistem koaksial punya prinsip yang sama dengan sistem dua titik, tetapi kedua *hose*-nya baik untuk produk maupun uap dihubungkan dengan satu konektor koaksial. Jadi sistem koaksial punya dua saluran yang berupa dua pipa yang tersusun secara koaksial. Rongga pada pipa bagian dalam digunakan untuk saluran bahan bakar dari truk tangki ke tangki pendam SPBU, sedangkan rongga antara pipa dalam dengan pipa luar digunakan untuk menyalurkan uap balik dari tangki penyimpanan ke truk tangki. Metode penyerapan gas seperti *termal oksidizer*, membran, adsorpsi atau *chemisorption* karbon aktif dapat diterapkan untuk pengembalian uap pada tahap bongkar muat.

Proses pengembalian uap tahap pengisian distribusi merupakan proses memasukkan uap yang sebelumnya dikeluarkan dari tangki bahan bakar kendaraan ke dalam tangki pendam ketika terjadi proses pengisian. Uap dikembalikan dari *fill neck* tangki kendaraan ke tangki pendam melalui jalur pengembalian uap. Gambar 2 menunjukkan perbedaan sistem dengan pengembalian uap dan tanpa pengembalian uap. Menurut klasifikasi prinsip kerjanya, ada dua jenis peralatan yang berupa nosel untuk sistem tahap pengisian distribusi, yaitu sistem penyetimbang uap (*vapour-balanced system*) dan sistem pembantu vakum (*vacuum-assist system*).

Sistem penyetimbang uap memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan sistem pada tahap bongkar muat. Penyaluran bensin dan uap karena gaya yang dihasilkan dari keseimbangan alam. Penyaluran bensin ke tangki kendaraan menyebabkan terjadinya tekanan positif di dalam tangki kendaraan. Pada saat yang sama, terjadi tekanan negatif atau pengurangan tekanan pada tangki pendam. Uap akan menyeimbangkan diri dan mengalir secara alami dari tekanan positif ke tekanan

negatif. Jalur pengembalian uap ke tangki pendam dibuat oleh nosel, *hose* dan *dispenser*. *Boot* koaksial digunakan untuk mengambil uap dari leher tangki kendaraan ketika bensin disalurkan. *Boot* koaksial adalah pegas dipasang ke nosel dengan suaian cukup dan pada ujungnya dipasang *seal*. Sedangkan *hose* koaksial dipasangkan untuk menyalurkan bensin ke nosel melalui tabung bagian dalam dan uap melewati tabung luarnya. Selain itu terdapat *spliter* pada *dispenser* yang digunakan untuk mengarahkan bensin dan uap. Bensin yang dipompa diarahkan melewati *hose* koaksial ke nosel dan pada saat yang sama uap dikembalikan dan diarahkan melewati jalur uap pengembalian ke tangki pendam. Nosel, *hose*, *spliter* dan pipa *dispenser* mengambil uap dari *fill neck* kendaraan ke *dispenser* membuat suatu jalur yang disebut saluran balik uap. Uap jenuh dari *dispenser* akan dikembalikan ke tangki pendam. *Boot* adalah pegas yang ujungnya diberi *seal* agar bensin tidak dapat disalurkan jika *boot* tidak ditekan. Untuk pengoperasian penyaluran bensin, *boot* harus ditekan kemudian nosel dimiringkan dan dipasang ke *fill neck* dengan tangan.



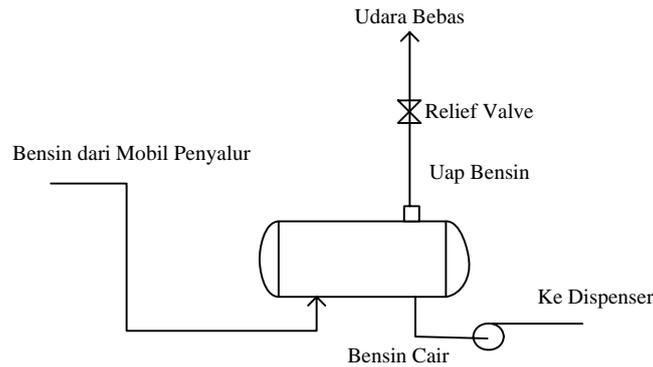
Gambar 2. (a) Sistem tanpa pengembalian uap dan (b) Sistem dengan pengembalian uap tahap pengisian distribusi

Sistem pembantu vakum menggunakan tekanan vakum untuk mengambil uap dari *fill neck* ke *dispenser*. Sebagian besar sistem yang dibuat pabrik seperti Gilbarco, Dresser/Wayne, Tokheim dan OPW menggunakan pompa vakum. Pompa ini dipasang di dalam atau di luar *dispenser* untuk menyediakan tekanan vakum ke nosel. Uap akan dikembalikan ke *dispenser* dan selanjutnya disalurkan ke tangki pendam dengan perlahan. Nosel pembantu memiliki bentuk yang hampir sama dengan nosel standar biasa, tetapi terdapat perbedaan mendasar yaitu aliran yang terjadi pada nosel pembantu adalah koaksial. Di samping itu, nosel ini mempunyai 10 sampai 15 lubang kecil di daerah ujung. Bensin disalurkan melalui lubang dalam dan uap dikembalikan melalui lubang di luar tabung koaksial. Nosel bantu tidak memerlukan penekanan, kemiringan atau aturan pemasangan lainnya pada saat dioperasikan.

Sistem Terpasang di SPBU dan Pengembangan Sistem Alternatif

Pada instalasi sistem yang sudah ada, bensin dari mobil tangki langsung disalurkan ke tangki pendam. Pompa submersibel digunakan untuk memompa bensin cair dari tangki pendam ke dispenser. Pompa submersibel diperlukan karena tekanan di dalam tangki pendam sebesar 1 atm tidak cukup untuk mengalirkan bensin dengan sendirinya ke *dispenser*. Skema sistem yang sudah ada ditampilkan pada Gambar 3

Dari analisis VLE diketahui bahwa dalam kondisi atmosfer bensin cenderung menguap. Oleh karena itu, untuk mencegah atau minimal mengurangi jumlah bensin yang menguap, bensin harus disimpan dalam tempat dengan tekanan yang tinggi. Hal ini menyaratkan suatu sistem yang dibuat untuk mencegah terjadi kontak antara bensin dengan udara luar. Setelah sifat-sifat termofisik bensin diketahui dan mengulas hasil penelitian mengenai pengembangan sistem pengembalian uap, kriteria desain perlu ditentukan sebagai panduan dan batasan dalam mendesain. Berikut adalah beberapa kriteria yang perlu untuk diperhatikan dalam mendesain sebuah sistem pengembalian uap. Kriteria harus meliputi aman, biaya investasi tidak terlalu tinggi sehingga *break even point* dapat segera tercapai, mudah dalam pemasangan dan pengoperasian. Sedang kriteria harapan meliputi dapat menekan jumlah emisi hingga 0%, dapat digunakan di SPBU yang telah beroperasi.



Gambar 3. Skema sistem yang sudah ada

Bensin merupakan senyawa yang tersusun dari banyak senyawa organik. Masing-masing senyawa tersebut memiliki sifat-sifat fisik yang berbeda. Salah satu sifat fisik yang penting adalah tekanan uap murni. Tekanan uap menunjukkan tekanan yang terjadi pada saat sistem dalam keadaan setimbang dimana jumlah molekul yang lepas membentuk gas sebanding dengan jumlah molekul gas yang berkondensasi menjadi cairan. Untuk itu perlu diketahui terlebih dahulu senyawa-senyawa hidrokarbon penyusun bensin. Komposisi senyawa utama penyusun bensin diberikan pada Tabel II.

Tabel II. Sifat-Sifat Termofisik Senyawa Penyusun Bensin [Shie et al. 2003, Assael et al. 1998]

Senyawa	Faktor aksentris, ω	P_c , MPa	T_c , K	Fraksi Mol, Z
1. Propana	0,153	4,247	369,85	0,1735
2. Butana	0,199	3,792	425,25	0,2180
3. Pentana	0,251	3,375	469,80	0,1187
4. Benzena	0,212	4,895	562,06	0,1260
5. Hexana	0,285	3,170	504,00	0,0104
6. Hexena	0,299	3,035	507,90	0,2451
7. Toluena	0,263	4,108	591,75	0,0503
8. Heptana	0,349	2,735	540,15	0,0421
9. Xylena	0,310	3,732	630,30	0,0128
10. Ethylbenzena	0,302	3,609	617,16	0,0023
11. Oktana	0,398	2,490	568,95	0,0002

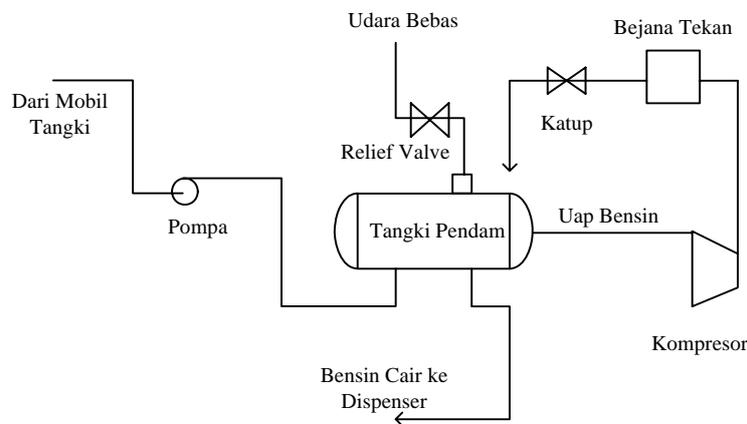
Bensin dari mobil tangki disalurkan dalam keadaan cair. Ketika masuk ke dalam tangki pendam, sebagian bensin menguap dan membentuk kesetimbangan sesuai dengan kondisi sistem (tangki pendam) karena perubahan temperatur dan tekanan. Komposisi bensin dalam fraksi uap dan cair ditentukan untuk tekanan dan temperatur operasi pada tangki pendam. Tangki pendam dianggap sebagai *flash chamber*. Titik embun dan titik gelembung untuk temperatur 23°C-27°C dari hasil analisis VLE campuran disajikan di Tabel III.

Tabel III. Titik Embun dan Gelembung Uap Bensin

Temperatur, K	Dew Point, MPa	Bubble Point, MPa
296	0,200	0,0146
297	0,207	0,0155
298	0,212	0,0160
299	0,230	0,0170
300	0,236	0,0180

Tangki pendam dikubur pada kedalaman 1 m. Untuk kedalaman 1 m temperatur tanah mendekati konstan. Oleh karena itu, temperatur bensin di dalam tangki pendam juga diasumsikan konstan. Data operasi yang digunakan dalam analisis adalah: temperatur bahan bakar dalam tangki. Tangki pendam dikubur pada kedalaman 1 m. Variasi temperatur pada tanah terjadi pada kedalaman kurang dari 1 m, sedangkan untuk kedalaman lebih dari 1 m temperatur konstan. Untuk kondisi daerah Bandung pada musim hujan diambil temperatur tanah 296 K [Arifin 1996]. Karena tangki pendam dikubur pada kedalaman 1 m, temperatur bensin di dalam tangki pendam diasumsikan sama dengan temperatur tanah yaitu 296 K. Dengan demikian sistem dianalisis dengan asumsi *isothermal flash* pada tekanan dan temperatur konstan.

Di samping kontak dengan udara luar, perubahan volume bensin cair di dalam tangki pendam juga mengakibatkan terjadinya penguapan lebih lanjut. Pengembangan sistem bertekanan tangki pendam konstan pada suatu harga tekanan tertentu merupakan hal yang menjadi perhatian dalam studi pengembangan ini. Gambar 4 menunjukkan gambar skematik sistem yang diusulkan.



Gambar 4. Skematik sistem yang dirancang

Komponen dari sistem yang dirancang terdiri atas pompa, kompresor, bejana tekan, katup dan sistem kontrol, disamping juga tangki pendam. Bensin cair dari mobil tangki harus dipompa terlebih dahulu, karena tekanan di dalam tangki pendam sebesar 1,5 bar. Kompresor berfungsi untuk mengkompresikan uap bensin agar tekanan meningkat. Uap bensin bertekanan setelah dikompresi kemudian disimpan di dalam bejana tekan, kemudian dipasok ke tangki pendam jika diperlukan. Katup digunakan sebagai pengatur aliran uap bensin dari bejana tekan ke tangki pendam. Jika tekanan tangki pendam turun dari tekanan desain maka katup akan membuka. Jika telah tercapai tekanan desain, katup akan ditutup sehingga pasokan uap terhenti. Sistem kontrol berguna untuk mengatur waktu katup membuka dan menutup. Sensor tekanan adalah bagian dari sistem kontrol, digunakan untuk mendeteksi besar tekanan di tangki pendam.

Bensin cair dari mobil tangki dipompa terlebih dahulu sebelum masuk ke tangki pendam. Hal ini perlu dilakukan karena tekanan tangki pendam lebih besar dari tekanan atmosfer. Setelah berada di tangki pendam maka bensin cair akan membentuk kesetimbangan dengan sistem di tangki pendam. Jika kemudian terjadi penjualan bensin cair maka volume bensin cair akan berkurang. Hal ini akan mengakibatkan penurunan tekanan di dalam tangki pendam. Jika hal ini dibiarkan maka bensin cair akan menguap lagi hingga tekanan dalam tangki pendam kembali ke kondisi semula. Pada sistem rancangan ini, hal tersebut akan segera diantisipasi dengan cara memasok uap bensin bertekanan dari bejana tekan ke dalam tangki pendam.

Sebuah sensor dipasang pada sistem untuk mendeteksi jika tekanan tangki pendam turun supaya katup segera membuka. Setelah tekanan tangki pendam mencapai kondisi semula, katup menutup. Dengan kontrol ini, penguapan lebih lanjut pada bensin cair tidak terjadi. Untuk mengantisipasi hal-hal yang tak terduga, ketika tekanan di dalam tangki pendam melebihi tekanan rancang, sebuah *relief valve* dipasang untuk melepaskan uap bensin ke atmosfer.

Ketika tangki pendam sudah kosong waktu pengisian bensin cair dilakukan oleh mobil tangki, pada saat yang bersamaan kompresor akan bekerja menyedot uap yang berada di tangki pendam untuk

dikompresi lagi dan kemudian ditampung di dalam bejana tekan. Dengan cara ini, maka secara teoritis tidak akan ada uap bensin yang keluar melalui *free-vent* kecuali pada kondisi-kondisi ekstrim yaitu temperatur lingkungan tinggi sehingga tekanan di atas tekanan rancangan.

Analisis Desain dan Diskusi

Fraksi uap yang terbentuk dalam kondisi normal cukup besar (0,7%) sehingga harus dipilih tekanan operasi yang baru yang lebih tinggi. Beberapa hal yang menjadi bahan pertimbangan adalah tekanan operasi masih mampu ditahan oleh tangki pendam yaitu lebih kecil dari 4 kgf/cm^2 (3,92 bar), frekuensi desing bunyi yang dihasilkan dari uap bensin yang dilepaskan oleh *relief valve* masih diambang frekuensi aman pendengaran manusia. Tekanan di tangki pendam cukup untuk mengalirkan bensin ke dispenser tanpa menggunakan pompa dengan debit aliran bensin sebesar 12 gpm (45,42 lpm). Debit aliran minimal bensin sesuai standar adalah 12 gpm. Tekanan yang diperlukan untuk menghasilkan debit tersebut pada SPBU sekitar 1,46 bar. Dengan pemilihan tekanan 1,5 bar dan satu unit pompa, pompa digunakan untuk mengalirkan bensin cair dari mobil tangki ke dalam tangki pendam bertekanan. Sedangkan untuk pengisian distribusi dispenser ke kendaraan konsumen tidak diperlukan pompa.

Bejana tekan digunakan untuk menyimpan uap bensin terkompresikan kompresor dari tangki pendam. Kapasitas tangki pendam yang akan dianalisis sebesar 20 kL dengan volume penjualan rata-rata setiap hari sebanyak 16 kL. Untuk tekanan sistem dijaga sebesar 1,5 bar, ukuran tangki penyimpanan uap bensin diperlukan sebesar 16 kL. Untuk menghemat tempat maka uap bensin tersebut akan dimampatkan agar massa jenisnya meningkat sehingga volume bejana tekan yang diperlukan untuk menyimpan uap bensin dapat direduksi. Jika uap bensin dengan tekanan awal sebesar 1,5 bar dan temperatur 23°C dikompresikan menjadi 10 bar, maka massa jenisnya meningkat menjadi $19,7 \text{ kg/m}^3$ dari $3,37 \text{ kg/m}^3$. Volume bejana yang diperlukan menjadi sekitar 2800 L. Temperatur akhir bensin setelah dikompresi meningkat menjadi $99,78^\circ\text{C}$ dan ini masih jauh di bawah temperatur nyala sendiri bensin yaitu sebesar $257,22^\circ\text{C}$, sehingga proses kompresi tersebut masih tergolong aman. Temperatur bensin pun akan turun karena panasnya dilepaskan ke lingkungan sekitar. Metode yang digunakan dalam mendesain komponen di atas mengikuti ASME Section VIII Division 1, 2001 Edition, A05 Addenda. Untuk desain *saddle*, metode perhitungannya menurut metode Zick [Zick 1971]. Analisis kekuatan struktur lebih rinci diberikan dalam pustaka [Kesuma 2006].

Karena penguapan juga terjadi pada tahap pengisian distribusi bensin ke kendaraan konsumen, maka komponen-komponen unit pengembalian uap bensin pada tahap ini yang terdiri atas nosel pengembalian uap dan kompresor harus dimasukkan dalam analisis. Biaya investasi sistem tersebut mengikuti pustaka [Fadillah 2005] terdiri atas biaya pembelian komponen sebesar Rp. 42.000.000,00, biaya listrik/hari sebesar Rp. 7.660,00, total biaya instalasi sistem biaya instalasi: Rp. 20.000.000,00. Sedangkan besar biaya operasional per hari jika sistem hasil rancangan studi ini diimplementasikan dapat diberikan pada Tabel IV. Pendapatan dari penghematan kebocoran uap/hari terdiri atas jumlah bensin terjual = 16.000 L sehingga besar penguapan yang dicegah adalah $0,78\% \times 16.000 \text{ L} = 124,8 \text{ L}$ dan nilai finansialnya menjadi $124,8 \text{ L} \times \text{Rp } 4500/\text{L} = \text{Rp } 561.600,00$. *Investment return ratio* (IRR) alternatif sistem adalah sebesar 23% dan *payback* period 3 tahun 1 bulan.

Tabel IV. Biaya Operasional per Hari

Komponen	Daya (hp)	Daya (kW)	Pemakaian /hari	kWh	Harga Listrik, Rp.
Pompa	0,75	0,5595	0,25 jam	0,139875	55,95
Kompresor	7,5	5,595	0,25 jam	1,39875	559,50
Sistem kontrol+katup	2	1,492	24 jam	35,808	14323,20
Total biaya operasional (ditambah unit pengembalian uap bensin tahap pengisian distribusi)					Rp 22.598,65

Sistem kontrol diperlukan untuk mengatur katup membuka dan menutup. Tekanan tangki pendam dijaga agar tetap sebesar 1,5 bar. Namun hal ini akan mengakibatkan katup menjadi cepat rusak karena terlalu sering buka dan tutup. Oleh karena itu suatu rentang tekanan di dalam tangki

pendam perlu ditetapkan. Tekanan minimal yang diijinkan pada bejana tekan adalah 1,55 bar. Jika di bawah tekanan ini maka katup harus membuka. Proses pengisian bensin dari bejana tekan ke tangki pendam akan dihentikan jika tekanan di tangki pendam sudah mencapai 1,7 bar. Agar kondisi tersebut tercapai maka digunakan sebuah mikro-kontroller.

Kesimpulan

Beberapa kesimpulan dari studi pengembangan sistem sirkulasi bertekanan pengembalian uap ini adalah:

- Analisis VLE Bensin menyimpulkan bensin mudah menguap jika berada pada udara bebas dan untuk menjaga agar bensin tetap pada fase cair maka tekanan harus berada di atas 2 bar.
- Penguapan di tangki pendam dikurangi dengan cara menjaga tekanan di dalam tangki pendam sebesar 1,5 bar.
- Proses kompresi uap bensin hingga 10 bar masih aman karena temperatur akhir uap bensin adalah 100°C dan jauh di bawah temperatur nyala bensin 257,22°C.
- Analisis ekonomi menegaskan sistem ini layak untuk diaplikasikan dengan IRR sebesar 23% dan *payback period* dalam 3 tahun 1 bulan.

Daftar Pustaka

- Abdi, Zainal, 2005, *Analisis Sistem Up-loading Vapor Recovery pada SPBU dengan Pengembangan Desain Relief Valve*, Tugas Sarjana, Teknik Mesin ITB.
- Arifin, M., 1996, *Kunci Taksonomi Tanah (Soil Survey Staff, 1994)*, Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran.
- Assael, M.J., Trusler, J.P.M., dan Tsolakakis, T.F., 1998, *Thermophysical Properties of Fluids*, Imperial College Press, London.
- California Air Resources Board, 2004, *Enhanced Vapor Recovery*.
- Fadillah, A.Y., 2005, *Perancangan dan Analisis Sistem Gasoline Vapor Recovery Stage II*, Tugas Sarjana, Teknik Mesin ITB.
- Feryadi, Bambang, 2004, *Analisis dan Pengembangan Desain Sistem Unloading BBM Curah di SPBU yang Dilengkapi dengan Uploading Vapor Recovery*, Tugas Sarjana, Teknik Mesin ITB.
- Firoozabadi, 1999, *Thermodynamics of Hydrocarbon Reservoir*, McGraw-Hill, New York.
- Hartono, H., 1999a, *Laporan LEMIGAS*, Jakarta.
- Hartono, H., 1999b, *Laporan Hasil Pengukuran Gas Keluar dari Ventilasi Tangki Timbun SPBU*, Cikokol Tangerang.
- <http://www.containmentsolution.com>, 26 Januari 2006
- http://www.cdphe.state.co.us/ap/sbap_gasoline_guidance.pdf, 28 Januari 2006.
- http://www.pertamina.com/indonesia/head_office/hupmas/news/Bpertamina/2002/Februari/25Februari_2002/BP250202M416.html, 5 Desember 2005.
- <http://www.pricepump.com>, 26 Januari 2006.
- Kesuma, Wijaya, 2006, *Pengembangan Closed-Loop Compressed Gasoline Vapour System Terintegrasi dengan Vapour Recovery Stage II*, Tugas Sarjana, Teknik Mesin ITB.
- Moss, D.R., 2004, *Pressure Vessel Design Manual*, GPP, Oxford.
- Pertamina, 2001, *Bahan Bakar Minyak LPG dan BBG*.
- Shie, Je-Lueng, Lu, Chen-Yu, dan Chang, Ching-Yuan, 2003, *Recovery of Gasoline Vapor by a Combined Process of Two-Stage Dehumidification and Condensation*, *J. Chin. Inst. Chem. Engrs.*, Vol. 34, No.6, 605-616.
- Sutanto, Ferry, 2005, *Perancangan Sistem Gasoline Vapor Recovery Stage I dengan Metode Kompresi dan Penyimpanan Uap BBM*, Tugas Sarjana, Teknik Mesin ITB, 2005.
- Zick, L.P., 1971, *Stresses in Large Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports*, The Welding Research Supplement.