

Techno Economics Vapor Recovery Unit (VRU) at SPBU of Tangerang

Tekno Ekonomi Vapour Recovery Unit (VRU) di SPBU Tangerang

Aulia Fazlur Rachman^{1*}, Bambang Priyono²

¹Jurusan Teknik Sistem Energi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

²Departemen Metalurgi dan Material, Jurusan Teknik Sistem Energi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

E-Mail: ¹auliafazlur@gmail.com, ²bgpriyono@gmail.com

Received Sep 18th 2023; Revised Oct 27th 2023; Accepted Dec 15th 2023
Corresponding Author: Aulia Fazlur Rachman

Abstract

One of the facilities used to distribute fuel to the public is a Public Fuel Filling Station. Operational activities at gas stations have potential dangers that can cause work accidents, such as vapor from fuel which can cause fires and explosions (explosion range 1,4% to 7,6% v/v), and volatile organic compounds which can cause health problems for workers. The aim of this research to determine the emissions and vapor detected at the gas station environment and to determine the economic feasibility of installing a Vapor Recovery Unit. This research was conducted at 2 gas stations, which is: 1) measuring the emissions and concentration of vapor using a gas tester at the location, 2) economic feasibility analysis using the data obtained. The results of this research are that no vapor and other emissions were found when the VRU was operating and the economics of the Vapor Recovery Unit installed at the private public gas station Karang Tengah, Tangerang with unloading design capacity 3.000 kiloliters per year has a break even point at 8th year and compared with gas stations of State-Owned Enterprises with unloading design capacity 8,000 kiloliters per year will get a break even point in the 3rd year.

Keywords: Concentration of Vapor, Economic Feasibility, Emissions, Gas Stations, Vapor Recovery Unit

Abstrak

Salah satu fasilitas yang digunakan untuk mendistribusikan bahan bakar minyak kepada masyarakat adalah Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum. Kegiatan operasional di Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum mempunyai potensi bahaya yang dapat menimbulkan kecelakaan kerja, seperti uap bahan bakar yang dapat menimbulkan kebakaran dan ledakan (rentang ledakan pada konsentrasi 1,4% s/d 7,6% v/v), dan senyawa organik yang mudah menguap yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan. masalah bagi pekerja. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui emisi dan uap yang terdeteksi di lingkungan SPBU serta mengetahui kelayakan ekonomi pemasangan *vapor recovery unit*. Penelitian ini dilakukan terhadap 2 Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum, yaitu: 1) pengukuran emisi dan konsentrasi uap menggunakan *gas tester* di lokasi, 2) analisis kelayakan ekonomi dengan menggunakan data yang diperoleh. Hasil dari penelitian ini adalah tidak ditemukan uap dan emisi lainnya pada saat *vapor recovery unit* beroperasi serta analisis keekonomian *vapor recovery unit* yang terpasang di Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum Swasta di Karang Tengah, Tangerang berkapasitas desain penjualan 3.000 kiloliter per tahun mempunyai *break even point* pada saat tahun ke-8 dan dibandingkan dengan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum Badan usaha Milik Negara dengan kapasitas desain penjualan yaitu 8.000 kiloliter per tahun akan mendapat *break even point* pada tahun ke-3.

Kata Kunci: Emisi, Keekonomian, Konsentrasi Uap, Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum, *Vapor Recovery Unit*

1. PENDAHULUAN

Menurut UU Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, Bahan bakar minyak (BBM) adalah bahan bakar yang berasal dan/atau diolah dari minyak bumi. BBM yang dijual dipasaran pada umumnya berupa bensin dan solar dengan berbagai variasi bilangan oktan dan setana. Salah satu fasilitas yang digunakan untuk distribusi BBM ke masyarakat adalah Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU). SPBU di Indonesia

dioperasikan oleh BUMN dan Pihak Swasta. Menurut data Kementerian ESDM tahun 2020, jumlah SPBU yang terdaftar sebanyak 6.259 unit yang tersebar di seluruh penjuru Indonesia.

Kegiatan operasi di SPBU dibutuhkan perhatian yang sangat besar karena memiliki potensi terhadap kecelakaan kerja. Ada beberapa bahaya yang mungkin terkait dengan SPBU antara lain kebakaran dan ledakan, tumpahan bahan bakar, dan paparan bahan kimia. Komponen berbahaya yang terdapat di SPBU pada umumnya adalah volatile organic compounds (VOC) yang biasanya terdiri dari benzene, toluene, dan xylene serta vapour yang terlepas pada saat kegiatan pembongkaran BBM dari truk tangki menuju tangki pendam ataupun pada saat kegiatan pengisian BBM dari dispenser menuju kendaraan [1].

Kecelakaan kerja berupa kebakaran SPBU disebabkan oleh tercapainya segitiga api (sumber bahan bakar, sumber panas, dan oksigen) [2]. SPBU memiliki potensi yang sangat tinggi sekali untuk terjadinya kebakaran dengan adanya bahan bakar yang bersifat flammable, explosive, dan mudah menguap [3]. Dari beberapa kecelakaan/kebakaran SPBU yang terjadi disebabkan adanya uap bahan bakar yang terlepas bebas sehingga mencapai konsentrasi yang menyebabkannya berada pada flammable range. Saat pengoperasian SPBU, uap bahan bakar bisa menyebar, jika konsentrasi uap bahan bakar tercapai didukung adanya oksigen dan sumber panas maka dapat menghasilkan kebakaran dan ledakan. Menurut Jon Wallace, bahan bakar jenis bensin memiliki flammable range 1,4% s.d. 7.4 % dari volum [4].

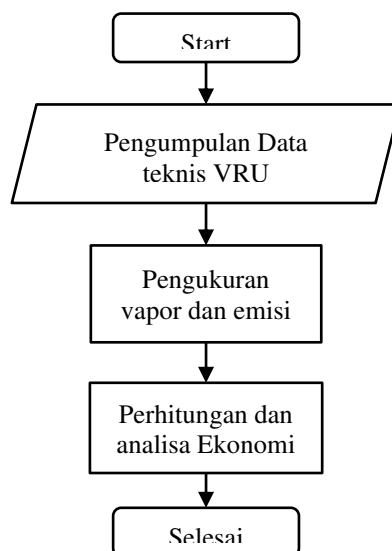
Selain itu, uap bahan bakar yang mengandung senyawa VOC juga dapat mengakibatkan menurunnya Kesehatan pada orang – orang yang berada di lingkungan SPBU terutama pekerja. VOC hadir di atmosfer perkotaan karena emisi gas buang dan evaporatif dari kendaraan dan outlet pengiriman bahan bakar (pompa bensin) [5]. VOC dari gasoline biasanya terlepas ke udara pada saat kendaraan mengisi bahan bakar di SPBU. Banyak penelitian yang telah dilakukan mengenai emisi uap bensin (VOC) dari SPBU di perkotaan. Variasi konsentrasi benzene yang dihasilkan dari kendaraan dan SPBU di Teheran dengan menggunakan GIS. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa tingkat konsentrasi benzene di Teheran jelas lebih besar dari tingkat standarnya. Hal ini terutama disebabkan oleh kurangnya sistem untuk mengendalikan uap bensin di SPBU [6].

Paparan jangka pendek (akut) terhadap banyak VOC konsentrasi tinggi dapat menyebabkan mual, pusing, tremor, atau masalah kesehatan lainnya. Paparan jangka panjang (kronis) terhadap beberapa VOC dapat menyebabkan kanker. Emisi seperti Benzene, Toluene, dan Xylene (BTX) dianggap sebagai polutan utama dan memiliki efek merugikan bagi kesehatan manusia dan lingkungan [7]. Risiko kanker meningkat pada pekerja yang bekerja di bidang elektrokimia, ini menunjukkan pentingnya penggunaan teknologi pengurangan VOC untuk mengurangi dampaknya terhadap Kesehatan pekerja [8]. VOC adalah toxic bagi saraf, menyebabkan kematian dan penurunan neuron viabilitas sel [9].

Sebagai bagian dari peralatan di kegiatan usaha minyak dan gas bumi, solusi umum untuk mengurangi emisi perkotaan adalah VRU. Saat ini, banyak penelitian terkait VRU bertujuan untuk mencari metode untuk mengurangi biaya operasi dari VRU. Diharapkan metode tersebut dapat meningkatkan efisiensi ekonomi proyek VRU, yang akan mempengaruhi luas distribusi unit VRU di masa depan. Efeknya implementasi VRU secara luas akan memiliki dampak positif terhadap lingkungan di kawasan terminal dan meningkatkan citra perusahaan [10].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Berikut adalah diagram penelitian yang digunakan



Gambar 1. Diagram penelitian

2.1. Pengukuran Vapor dan emisi lainnya

Pengukuran komposisi emisi seperti CO dan H₂S serta jumlah konsentrasi LEL di area sekitar dispenser pengisian bahan bakar dan area bongkar BBM dengan menggunakan gas tester model SKY 2000-M4 (YUANTE) yang telah terkalibrasi.

2.2. Analisa Ekonomi

Pada analisis ekonomi VRU di SPBU, terdapat yaitu mengetahui kelayakan ekonomi nilai uap yang berhasil diperoleh kembali dari VRU di SPBU, membandingkan kapasitas penjualan BBM dengan SPBU lain sehingga VRU menguntungkan secara ekonomi.

Berikut adalah metode yang digunakan untuk melakukan analisis ekonomi yang umum digunakan, yaitu:

Net Present Value (NPV) dan Internal Rate of Return (IRR)

Melakukan evaluasi berbagai proyek merupakan bagian penting dari investasi modal untuk kesuksesan masa depan perusahaan. Di antara beberapa metode evaluasi, metodologi NPV (lihat persamaan 1) mempunyai prevalensi tertinggi. Metode NPV memungkinkan investor untuk mengevaluasi secara objektif kemandirian dan daya tariknya, serta membandingkan proyek investasi yang berbeda dalam cakupan, durasi, atau prediksi keuntungan [11].

$$NPV = -CF_0 + \frac{CF_1}{(1+r)} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} \quad (1)$$

CF_n = arus kas per tahun pada tahun ke-n

CF₀ = investasi awal pada tahun ke-0

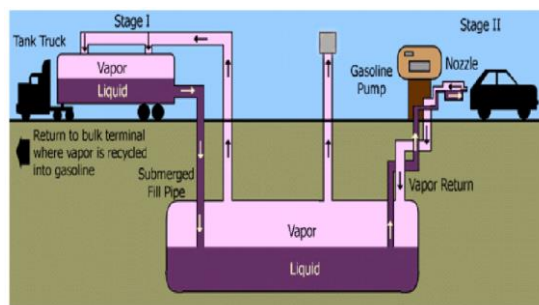
r = suku bunga

IRR didapatkan dari tingkat bunga yang menyamakan *present value cash inflow* dengan jumlah initial investment dari proyek yang sedang dinilai, atau tingkat bunga yang akan menyebabkan NPV sama dengan nol. Perhitungan untuk menemukan nilai IRR dilakukan dengan cara trial and error terlebih dahulu, sampai pada akhirnya diperoleh tingkat bunga yang akan menyebabkan NPV sama dengan nol.

$$0 = NPV = -CF_0 + \frac{CF_1}{(1+IRR)} + \dots + \frac{CF_n}{(1+IRR)^n} \quad (2)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada umumnya penerapan pemasangan VRU terdapat 2 stage, yaitu Stage I dan II. Stage I dapat berlangsung di terminal distribusi dengan proses umum mengembalikan uap BBM dari mobil tangki ke tangki timbun. Proses ini berlangsung selama pengisian mobil tangki. Uap BBM diproses menggunakan VRU sebelum kembali ke tangki timbun. Pada saat pembongkaran BBM di SPBU, stage 1 juga dapat diterapkan untuk mengendalikan uap BBM. Stage I menangkap vapor yang dilepaskan ketika BBM disalurkan dari truk tangki menuju underground storage tank (UST) yang biasa disebut tangki pendam. Vapor dikembalikan lagi ke truk tangki selama pengisian BBM ke tangki pendam sehingga vapor tidak dilepaskan begitu saja ke udara bebas. Selanjutnya stage II berlangsung yaitu saat penyerahan BBM ke konsumen dengan metode perpindahan uap dari tangki BBM kendaraan konsumen ke tangki pendam stasiun pengisian.



Gambar 2. Stage I dan II pada VRU [12]

VRU stage II tidak memiliki performa yang baik karena beberapa kendala teknis dan ekonomis antara lain: a) pelaksanaan VRU stage II mensyaratkan lokasi SPBU digali lagi untuk pemasangan sistem perpipaan. b) diperlukan nozel dan dispenser khusus untuk mendukung stage II, yang juga sangat mahal. c) untuk melakukan stage II, pintu khusus harus dirancang untuk tangki kendaraan dan diproduksi oleh pabrik mobil, karena merupakan proyek jangka panjang dan mahal [13].

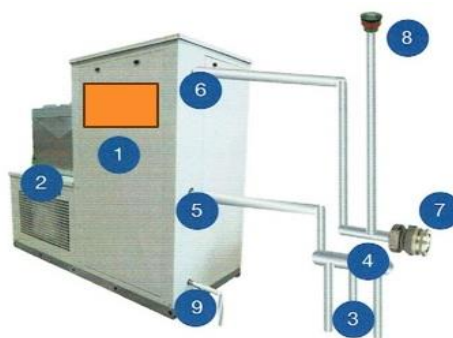
Penelitian yang dilakukan K.Saha mendemonstrasikan metode pemulihan uap bertekanan rendah dari tangki kondensat di gas Bibiyana field. Metode ini menggunakan gas ejector sebagai alat untuk memampatkan gas alam bertekanan rendah dari tangki kondensat ke tekanan menengah, yang kemudian akan diumpankan ke tahap perantara dari VRU yang ada. Dengan demikian gas alam akan disimpan yang seharusnya dibakar. Pembakaran gas alam (flaring) adalah masalah yang menimbulkan kerugian ekonomi dan masalah lingkungan. Diperkirakan, rata-rata uap berkapasitas 190 MSCFD uap dari tangki penimbun dapat dipulihkan dengan menggunakan metode yang melibatkan ejector gas. Jadi penghematan tahunan akan menjadi sekitar 68 MMSCF gas alam. Penghematan energi panas yang setara adalah sekitar 74,55X109 BTU. Dalam hal emisi gas rumah kaca, ini Proyek ini akan mengurangi sekitar 1.112 ton emisi CO₂ per tahun di lokasi pabrik gas. [14].

Jae Hyuck Kim melakukan penelitian terhadap SPBU dengan menggunakan VRU *stage II* dengan hasil penurunan konsentrasi BTEX yang cukup besar yang berkisar dari 78% s.d. 89% pada saat pengoperasian VRU *stage II* [13]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Eisaei, dengan menggunakan VRU *stage I* serta metode pengukuran VOC dilakukan pada saat sebelum dan sesudah bahan bakar ditransfer dari petrol tanker ke tangki penimbun SPBU menghasilkan efisiensi pengurangan emisi VOC dan BTX adalah 99,99 %. Jumlah emisi VOC dan BTX hanya sekitar 0,01 ppm dan 87 % masyarakat yang berada di sekitar SPBU tidak pernah mengeluh lagi terkait masalah akibat VOC [15].

Pannucharoenwong, melakukan penelitian terkait dengan penggunaan heat exchanger sebagai VRU Analisis computational fluid dynamic (CFD). U-tube heat exchanger dapat menjadi pilihan yang ideal untuk digunakan sebagai VRU karena U-tube heat exchanger bisa mengkondensasi semua uap Pentane yang masuk sistem VRU menjadi minyak kembali [16].

Penelitian yang dilakukan V.S Vlasenko, mengusulkan system pemulihan pendinginan uap untuk mengurangi kehilangan penguapan “pernapasan kuat”. Sistem dengan gas-dinamis aktif berdasarkan efek vortex tube Ranque-Hilsch dapat diterima efektivitas tertentu. Sistem seperti ini membagi aliran masuk menjadi dua aliran: aliran dingin dan aliran panas. Vortex tube dalam sistem pemulihan memiliki beberapa keunggulan: akses cepat ke mode operasi, tidak adanya cairan pendingin yang berbahaya, kekompakan, sedikit bagian yang bergerak. Penelitian tersebut menggunakan asumsi 1000 liter gasoline dapat menghasilkan 0,88 kg / vapor-aerial mixture (VAM), dengan simulasi menghasilkan Efisiensi kondensasi meningkat seiring dengan penurunan suhu lingkungan dan mencapai maksimum pada suhu 273 K, dengan range 25 s.d. 42% hidrokarbon terkondensasi berdasarkan massa [17].

VRU memiliki biaya modal yang sangat tinggi. Sebagai tambahan biaya modal, biaya operasi juga dialokasikan, yang meliputi: biaya listrik yang dikonsumsi, pemeliharaan dan biaya perbaikan, serta penggantian adsorben atau nitrogen cair [18]. Dalam hal ini, cukup berisiko untuk menginvestasikan aset moneter dalam implementasi VRU proyek, karena membutuhkan waktu lama untuk melunasinya (lebih dari 5 tahun). VRU ditandai dengan biaya operasi yang tinggi karena konsumsi energi yang signifikan [19]. Fakta ini menimbulkan tantangan untuk mengembangkan metode untuk mengurangi konsumsi energi listrik VRU. Berikut ini adalah penjelasan terkait proses operasi pada peralatan VRU di SPBU swasta Karang Tengah:



Gambar 3. VRU di SPBU swasta Karang Tengah, Tangerang

VRU pada SPBU swasta Karang Tengah, Tangerang memiliki sistem proses seperti berikut, sistem proses selama operasi normal di lokasi dan pada saat pembongkaran BBM dari truk pengangkutan BBM, uap bensin bergerak dari tangki pendam (3) melalui *manifolded vents* (5) ke dalam VR *processing chamber* (1). *Multi phase processing chamber* dijaga pada temperatur yang sangat rendah dengan menggunakan modul kontrol VR (2) yang menggabungkan teknologi pendinginan yang mutakhir. Uap terkondensasi di dalam *chamber* menjadi bahan bakar cair yang disimpan di dasar *chamber*. Sisa uap dari bahan bakar yang sangat sedikit dihilangkan terus melalui pipa outlet menuju *breather vent* (8) dan ke truk pengangkutan BBM (7) jika dipasang. Bahan bakar proses disimpan, diukur dan kemudian dikembalikan ke tangki pendam untuk segera

dijual kembali melalui *fuel return line* (9). Berikut adalah spesifikasi peralatan VRU yang digunakan di SPBU swasta Karang Tengah, Tangerang.

Tabel 1. Spesifikasi VRU di SPBU swasta Karang Tengah, Tangerang

Parameter	Nilai
Voltage/Frequency	380 V
Power	4 KW
Security Breaker	32 Amp
Capacity	3000 LPM
Ambient Temperature	-20 s.d. 50°C
Noise	43 Db saat beroperasi
Weight	600 Kg
Dimesions	2300 × 900 × 1910 mm

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan penelitian, maka tujuan penelitian ini antara lain adalah untuk mengetahui uap bahan bakar dan emisi yang terdeteksi di lingkungan SPBU serta kelayakan ekonomi pemasangan VRU sehingga pada saat nanti diharapkan VRU dapat dipasang pada seluruh SPBU yang ada di Indonesia. Penelitian ini dilakukan terhadap SPBU swasta di Karang Tengah, Tangerang karena SPBU ini merupakan SPBU satu-satunya di Indonesia yang menerapkan VRU dengan sistem uap dari bahan bakar/bensin dikondensasikan kembali menjadi liquid sehingga dapat dijual kembali.

Selanjutnya dalam penelitian ini dilakukan analisis kelayakan keekonomian pemasangan VRU di SPBU swasta Karang Tengah dengan kapasitas *unloading* per tahun 3.000 kiloliter, Tangerang milik swasta, kemudian dianalisis kembali secara kelayakan keekonomian apabila VRU diterapkan pada SPBU BUMN dengan kapasitas *unloading* per tahun adalah 8.000 kiloliter. Pengukuran jumlah vapor dan emisi lainnya dilakukan pada beberapa titik yang dianggap sebagai sumber terlepasnya vapor dan emisi lainnya yaitu pada empat lokasi area di sekitar SPBU swasta Karang Tengah, Tangerang. pengukuran dilakukan pada saat VRU dalam keadaan beroperasi.

Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran jumlah vapor dan emisi lainnya pada beberapa area dengan menggunakan gas tester yang telah terkalibrasi.

Tabel 2. Hasil pengujian jumlah emisi dan konsentrasi LEL

No	Area	Parameter			
		CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	LEL (%)
1	Area VRU	0	0	20.93	0
2	Area PV Vent	0	0	20.93	0
3	Dispenser 1	0	0	20.93	0
4	Dispenser 2	0	0	20.93	0

Dari hasil pengukuran *gas tester* yang dilakukan pada beberapa titik lokasi di area SPBU menunjukkan bahwa VRU berfungsi dengan baik dalam hal menangkap *vapor* dari BBM baik itu pada saat kegiatan discharge dari truk tangki ke tangki pendam, maupun juga pada saat kegiatan penyaluran BBM dari dispenser BBM ke kendaraan. Hal ini ditunjukkan pada hasil pengujian emisi dengan menggunakan *gas tester* yang telah dikalibrasi yang menunjukkan nilai 0 pada jumlah emisi CO dan H2S yang terlepas, serta nilai konsentrasi LEL yang menunjukkan nilai 0 dimana batas rentang explosive dari bensin adalah 1,4% s.d. 7,6% konsentrasi LEL [20]. Pengujian terhadap jumlah emisi dan konsentrasi LEL yang ada di lingkungan SPBU swasta Karang Tengah, Tangerang mendapat hasil penelitian yang sama dengan dilakukan oleh Eisaei, H.R, et al, dengan menggunakan VRU *stage* I dimana efisiensi pengurangan emisi adalah 99,99 % di lingkungan SPBU.

Berikutnya adalah jumlah *liquid* yang diperoleh dari VRU pada SPBU swasta Karang Tengah, Tangerang akan dibandingkan dengan kapasitas *unloading* BBM pada setiap tahun untuk mendapatkan rasio jumlah liquid yang diperoleh per kapasitas *unloading* BBM sehingga rasio tersebut akan digunakan dalam perhitungan sebagai nilai atau konstanta tetap untuk mendapatkan liquid yang diperoleh dari VRU setiap tahunnya.

Dari data yang didapat langsung dari sistem *monitoring* VRU yang ada di SPBU swasta Karang Tengah, Tangerang pada periode 2019 s.d. 2021 seperti yang ditunjukkan pada tabel di atas menunjukkan ratio antara *liquid* yang diperoleh dari VRU (BBM yang didapat dari hasil uap yang terkondensasi dari VRU) dengan kapasitas *unloading* BBM (BBM yang dikeluarkan dari truk tangki menuju ke tangki pendam) dari tahun 2019 s.d. 2021 pada rentang nilai 0,0067 s.d. 0,0076 dengan rata-rata nilai adalah 0,0072, sehingga nilai rasio 0,0072 akan digunakan untuk menghitung liquid yang diperoleh dari VRU setiap tahunnya.

Dengan besarnya rasio *discharge/liquid yield* yang didapatkan di SPBU swasta Karang Tengah, Tangerang adalah disebabkan dari banyaknya uap yang ditimbulkan akibat dari frekuensi *unloading* BBM dari truk tangki ke tangki pendam dalam jumlah kecil (2000 liter per hari) dibandingkan dengan volume dari tangki

pendam (30.000 liter) sehingga terdapat banyak ruang kosong yang menyebabkan percepatan penguapan dari fluida yang disimpan ditambah lagi dengan fluida yang disimpan adalah tipe bensin yang memiliki laju penguapan yang cepat.

Selanjutnya dalam penelitian ini adalah akan membandingkan analisis kelayakan keekonomian pemasangan VRU di SPBU swasta Karang Tengah dengan kapasitas *unloading* per tahun 3.000 kiloliter, Tangerang milik swasta dengan SPBU BUMN dengan kapasitas *unloading* per tahun adalah 8.000 kiloliter.

Tabel 3. Hasil analisis kelayakan ekonomi

No.	Paramater	SPBU Swasta	SPBU BUMN
1	Total CAPEX VRU (Rp)	1.500.000.000	1.500.000.000
2	OPEX per tahun (Rp)	989.370	1.978.740
3	<i>Interest</i> (%)	6,92	6,92
4	Umur layan desain VRU (tahun)	20	20
5	Depresiasi (Rp, garis lurus 20 tahun)	150.000.000	150.000.000
6	Kapasitas <i>unloading</i> (liter per tahun)	3.000.000	8.000.000
7	Rasio <i>liquid</i> yang diperoleh VRU / kapasitas <i>unloading</i>	0,0072	0,0072
8	Total perolehan <i>liquid</i> BBM (liter per tahun)	21.811	58.160
9	Total pendapatan per tahun (Rp)	275.054.270	572.121.260
10	NPV (tahun ke-20)	1.432.135.293	4.598.930.734
11	BEP	Tahun ke- 8	Tahun ke-3
12	IRR	18%	38%

Dari hasil analisis keekonomian VRU yang terpasang pada SPBU swasta Karang Tengah, tangerang didapatkan BEP pada tahun ke-8 dengan total NPV pada tahun ke-20 sebesar Rp 1.432.135.293 dan IRR 18%, BEP yang didapat lebih dari 5 tahun disebabkan oleh kapasitas pembongkaran pada SPBU swasta Karang Tengah, Tangerang sangat kecil, yaitu sekitar 3.000 kiloliter per tahun dimana umumnya kapasitas pembongkaran pada SPBU BUMN adalah 4.400 s.d. 20.000 kiloliter per tahun (Area Jawa Timur). Selain itu, mahal biaya investasi awal pemasangan VRU, yaitu Rp 1.500.000.000 membuat biaya yang harus dikeluarkan oleh SPBU dengan kapasitas pembongkaran yang kecil menjadi sangat tinggi. Pada SPBU BUMN dengan kapasitas *unloading* per tahun 8.000 kiloliter per tahun didapatkan BEP pada tahun ke-3 dengan NPV pada tahun ke-20 sebesar Rp. 6.458.923.552 dan IRR 50%.

4. KESIMPULAN

Pemasangan VRU membuktikan bahwa emisi dan LEL dari vapour BBM dapat dihilangkan di area sekitar SPBU (jumlah emisi dan konsentrasi LEL adalah 0) sehingga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja dan meningkatkan taraf kesehatan pekerja. Pemasangan VRU pada SPBU kapasitas *unloading* per tahun dengan jumlah kecil, misal 3.000 kiloliter pertahun akan menghasilkan BEP yang lama dicapai yaitu pada tahun ke-8 sehingga pemasangan VRU akan lebih layak secara keekonomian apabila dipasang pada SPBU dengan kapasitas *unloading* per tahun dalam jumlah yang besar.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami dengan tulus ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dan memberikan kontribusi berharga dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada seluruh individu dan lembaga yang telah memberikan bantuan serta dukungan yang luar biasa dalam memperlancar jalannya penelitian ini. Adapun kepada semua yang telah memberikan dukungan, nasihat, dan bantuan teknis selama proses penelitian, kami ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya atas kontribusi yang berarti bagi kelancaran penyelesaian penelitian ini.

REFERENSI

- [1]. Johnson, K. (2013). Volatile Organic Compounds. Report to the Legislature, Wisconsin Groundwater Coordinating Council
- [2]. NFPA, "National Fire Alarm and Signaling Code", The National Fire Protection Association. 2022
- [3]. ESDM, "Keselamatan SPBU Pedoman Teknis dan Pembelajaran dari Kejadian", Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi. 2021
- [4]. Wallace, J. (2016) Flammable and Combustible Liquids: Storage and Handling (Rev 9-2013). Workplace Safety, Inc.

- [5]. Singh, A.K., Tomer, N. and Jain, CL, "Concentration of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Urban Atmosphere of National Capital Delhi, India", *Int. J. Pharmaceut*, 159-165, 2012
- [6]. Atabi, F., Moattar, F., Mansouri, N., Alesheikh, A.A. and Mirzahosseini, S.A.H, "Assessment of variations in benzene concentration produced from vehicles and gas stations in Tehran using GIS", *Int. J. Environ. Sci. Technol*, Jan. 2013
- [7]. Franco, M., Chairez, I., Poznyak, T. and Poznyak, A, "BTEX decomposition by ozone in gaseous phase", *J. Environ. Manage*, 95 (Supplement), S55-S60, Mar. 2012
- [8]. Lerner Colman J.E, Sanchez E.Y, Sambeth J.E, Porta A.A, "Characterization and health risk assessment of VOCs in occupational environments in Buenos Aires, Argentina", 2012
- [9]. Kevin Fournier, Emmanuel Baumont, Philippe Glorennec, Nathalie Bonvallot, "Relative toxicity for indoor semi volatile organic compounds based on neuronal death. *Toxicology Letters*", 279, pp.33-42, Ags. 2017
- [10]. Lee K., Boufadel M., Chen B., Foght J., Hodson P., Swanson S., Venosa A. Expert panel report on the behaviour and ecological impacts of crude oil released into aqueous environments, Royal Society of Canada, Ottawa, ON. ISBN 978-1-928140-02-3, Nov. 2015
- [11]. Tianle Shou, "A Literature Review on The Net Present Value (NPV) Valuation Method", pp. 827-828, 2022
- [12]. TCEQ Regulatory Guidance, Program Support and Environmental Assistance Division, "Gasoline Vapor Recovery", 2019 (<https://www.tceq.texas.gov/downloads/assistance/publications/rg-475j.pdf>)
- [13]. Eisaei, H.R., Ahmadi Dehrashid, S.S., Khani, M.R. and Hashemi, S.M, "Assessment and control of VOCs emitted from gas stations in Tehran, Iran", April. 2015[2].
- [14]. Saha PK and Rahman M, Vapor Recovery from Condensate Storage Tanks Using Gas Ejector, *Technology Journal of Chemical Engineering, IEB; Vol. ChE*, 27 (1): 37-41.2012
- [15]. Jae Hyuck Kim, Seok Hyeon Jung, Hyung-Seok Kim, Tae-Hyuk Jang and Kyung Seun Yoo, "Evaluation of Air Quality with and without Vapor Recovery System of Stage II", Ags. 2013
- [16]. Nattadon Pannuchaoenwong, Totsaphon Chabuanoi and Chatchai Benjapiyaporn, Snunkhaem Echaroj, "The Optimal Design of Prototype to Replace the Vapor Recovery Unit (VRU) Using Computational Fluid Dynamic Analysis", pp 1623-1627, 2018
- [17]. V S Vlasenko et al, "Vapor Recovery Unit of Gasoline from the Tanks of Filling Stations with Gas-Dynamic Cooling", 2020[12]. V S Vlasenko et al, "Vapor Recovery Unit of Gasoline from the Tanks of Filling Stations with Gas-Dynamic Cooling", 2020
- [18]. Chahartaghi M., Sheykhi M. *Energy*, "Environmental and economic evaluations of a CCHP system driven by Stirling engine with helium and hydrogen as working gases", *Energy*, Mar. 2019
- [19]. Ahn H., Freihaut J.D., Rim D., "Economic feasibility of combined cooling, heating, and power (CCHP) systems considering electricity standby tariffs", *Energy* 169, 420–432, Feb. 2019
- [20]. Pertamina Persero. "Safety Data Sheet". 2017