

PENERAPAN PRODUKSI BERSIH UNTUK PENANGANAN AIR TERPRODUKSI DI INDUSTRI MINYAK DAN GAS

The Implementation Cleaner Production to Manage Produced Water in the Petroleum Industry

Sillak Hasiany^a, Erliza Noor^b, Moh. Yani^b

^a Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680 — sillak.hasiany@gmail.com

^b Departemen Teknik Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

Abstract. Produced water is the largest volume waste from oil and gas productions especially from old well and had a complex mixture of organic and inorganic compounds like BTX, phenol, and TDS. The untreated produced water discharges may be harmful to the surrounding environment, so is necessary to have produced water management that tend to have reduce a risk for the environment and human. Cleaner Production (CP) is a continuous application of an integrated, preventive, environmental management strategy to increase overall efficiency and to reduce risks to humans and environment. The aims of this research are (1) identify cleaner production opportunities from produced water management which can be implemented in company (2) solved a problem from existing produced water management. Research can be done by primary and secondary data collecting direct field observation, and laboratory analyze of produced water. Analysis were done by using Quick Scan that consisted in two phase, preparation and implementation, evaluation of Cleaner Production opportunities and evaluation of environmental and economic assessment. The result showed that Produced water is the largest volume waste from oil and gas production with a total value worth 3.939.370 barrel for 2012 and also water injection is the most effective and efficient technology to manage produced water than those other surface discharge methods for company. Replacement of produced water pipes from type B to type A is the application of Cleaner Production opportunities in companies that benefit from the economic and environmental.

Keywords: produced water, cleaner production, water injection

(Diterima: 25-02-2015; Disetujui: 20-04-2015)

1. Pendahuluan

Kegiatan produksi minyak dan gas bumi merupakan suatu rangkaian proses yang kompleks dengan melibatkan berbagai kegiatan industri minyak bumi, mulai dari hulu upstream sampai dengan hilir (downstream). Kegiatan hulu meliputi kegiatan eksplorasi (pencarian), eksploitasi (pengangkatan) melalui kegiatan pengeboran dan penyelesaian sumur, sarana pengolahan minyak mentah untuk pemisahan dan pemurnian minyak dan gas bumi di lapangan minyak. Kegiatan hilir (downstream) meliputi kegiatan pengolahan melalui kilang minyak (refinery) untuk memproduksi bahan bakar beserta turunannya dan marketing (pemasaran) serta distribusi melalui kegiatan penyimpanan (storage). Minyak bumi di lapangan minyak umumnya diproduksi dari beberapa sumur minyak (oilwell). Sumur-sumur minyak ini menghasilkan fluida yang mengandung campuran minyak bumi, gas bumi dan air.

Secara ekonomi kegiatan migas memberikan pengaruh yang besar dalam peningkatan pendapatan daerah dan juga masyarakat sekitarnya karena dapat menyerap tenaga kerja dari masyarakat setempat. Namun bila dilihat secara ekologi, kegiatan industri minyak dan gas bumi umumnya berpotensi menimbulkan dampak pada lingkungan. Baik pada proses produksi, pengolahan minyak bumi, penyimpanan maupun industri yang menggunakan minyak bumi, akan

dihasilkan bahan-bahan yang merupakan salah satu sumber pencemar lingkungan (Keputusan Menteri LH no.128 tahun 2003 tentang tata cara dan persyaratan teknis pengolahan limbah minyak bumi dan tanah terkontaminasi minyak bumi secara biologis; dan Keputusan Menteri LH no.129 tahun 2003 tentang baku mutu emisi usaha dan atau kegiatan minyak dan gas bumi). Bahan-bahan pencemar ini pada akhirnya akan masuk ke dalam lingkungan sehingga jika tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan masalah pada lingkungan.

Kegiatan eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi menghasilkan limbah kegiatan yang berbentuk padat, cair, dan gas dengan komposisi 80% merupakan limbah cair bahkan pada lapangan minyak yang menua mencapai nilai 95%. Air terproduksi merupakan limbah cair terbesar yang dihasilkan oleh kegiatan tersebut. air terproduksi akan terus menerus dihasilkan selama lapangan minyak itu berproduksi.arena sifatnya yang seperti itu maka berpotensi untuk menciptakan pengelolaan air terproduksi yang bersifat berkelanjutan dan menguntungkan baik secara ekonomi dan lingkungan (Igunu & Chen 2012).

Tindakan pengelolaan lingkungan dalam sistem pengelolaan lingkungan diprioritaskan pada usaha pengurangan limbah pada sumbernya. Pendekatan tersebut memunculkan konsep produksi bersih. Produksi bersih adalah strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif tidak hanya untuk mengurangi polu-

si yang dihasilkan tetapi juga untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari penggunaan dan pembuangan produk. Proses produksi bersih merupakan suatu pendekatan yang mengarah kepada peningkatan efisiensi proses produksi, penggunaan teknik-teknik daur ulang dan pakai ulang, kemungkinan substitusi bahan baku yang lebih ekonomis dan tidak berbahaya serta perbaikan sistem operasi dan prosedur kerja. Penerapan produksi bersih pada industri dapat dilakukan dengan aplikasi minimasi limbah dan teknologi bersih. Pendekatan produksi bersih ini akan menurunkan biaya produksi, meningkatkan efisiensi dan produktivitas serta memperbaiki citra lingkungan dan hubungan dengan stakeholders lainnya. Dengan demikian tujuan perusahaan yaitu laba, pertumbuhan dan keberlanjutan usaha akan tercapai.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) Mengidentifikasi proses air produksi dari awal terbentuk sampai dengan pembuangannya di perusahaan migas, (2) Mengidentifikasi upaya produksi bersih yang telah dilakukan dalam pengelolaan limbah air terproduksi, (3) Menawarkan solusi atau rencana alternatif dalam konsep produksi bersih untuk pengelolaan limbah air terproduksi.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini secara keseluruhan dilaksanakan selama bulan Januari 2013 hingga Juni 2013. Metode pengumpulan data dilakukan mengumpulkan data primer yang terkait dalam pemilihan peluang produksi bersih yaitu data proses dari unit operasi yang ada dalam perusahaan, bahan baku, pembantu, utilitas, limbah, pengelolaan lingkungan yang sudah dilakukan, data sekunder terdiri dari pustaka, internet, catatan-catatan yang ada di perusahaan

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan pengamatan lapangan, pengukuran dan analisa laboratorium serta wawancara. Analisis data dengan melakukan Quick Scan yaitu, suatu analisis singkat yang diselenggarakan untuk menentukan proses yang paling utama mengenai aliran arus bahan dan energi suatu perusahaan dan untuk menilai kualitas dari proses produksi dengan langkah-langkah sebagai berikut: (1) Persiapan yaitu, Pengumpulan data dari industri terkait terutama yang berkaitan dengan proses produksi dan sektor spesifik Produksi bersih (2) Pelaksanaan yaitu, Wawancara dan observasi lapangan (Indrasti 2012). Selain itu analisis juga menggunakan peluang produksi bersih dievaluasi dari kemungkinan pengurangan limbah langsung pada sumber, kemungkinan pemanfaatan serta pencegahan pencemaran limbah. Evaluasi lingkungan dimana sebagai tolak ukur evaluasi dengan menggunakan baku mutu limbah dan menghitung beban pencemaran (BP) dengan rumus:

$$L = C \times Q$$

Ket : L = beban pencemar kegiatan dalam satuan kg
C = Kadar parameter air limbah, dalam satuan mg/L

Q = Kuantitas air limbah, dalam satuan m³
Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup (2013)

Analitycal Hierarchy Process AHP digunakan untuk tujuan pemilihan teknologi bersih yang akan diterapkan untuk memutuskannya diperlukan beberapa Faktor sehingga model AHP dirasa tepat dalam pengambilan keputusan. Untuk memperoleh pertimbangan-pertimbangan yang objektif maka digunakan pendekatan dengan metode AHP dengan responden dari para pakar yang dianggap kompeten dalam bidang yang dimaksud.

3. Hasil dan Pembahasan

Air terproduksi adalah air formasi yang naik ke permukaan tanah melalui sumur gas atau minyak dan juga air yang dihasilkan dari proses produksi gas dan minyak. Air terproduksi merupakan limbah cair terbesar yang dihasilkan oleh industri minyak dan gas dalam proses produksinya. Pada tahun 2012 volume air terproduksi yang dihasilkan perusahaan di lapangan Badak sebesar 3.939.370 barel sedangkan produksi minyak dan gasnya sebesar 240.860 barel untuk minyak dan 26.051.815 Juta Standar Kaki Kubik (MMSCF) untuk gas (Gambar 1).

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa jumlah air terproduksi yang dihasilkan jauh lebih besar dibandingkan dari jumlah produksi minyak dan kondensat perusahaan. Jumlah air terproduksi yang dihasilkan di Lapangan Badak rata-rata perbulannya sebesar 328.281 barel.

3.1. Komposisi Air Terproduksi

Air terproduksi memiliki komposisi yang kompleks, tapi dapat dibagi menjadi dua kategori utama yaitu senyawa organik dan anorganik. Secara umum air terproduksi mempunyai komposisi yang terdiri dari komponen *dissolved and dispersed oil*, mineral, senyawa kimia adiktif dalam proses produksi, gas, dan senyawa-senyawa yang bersifat padat cair, mikroorganisme dan juga oksigen (Chen & Igunu 2012).

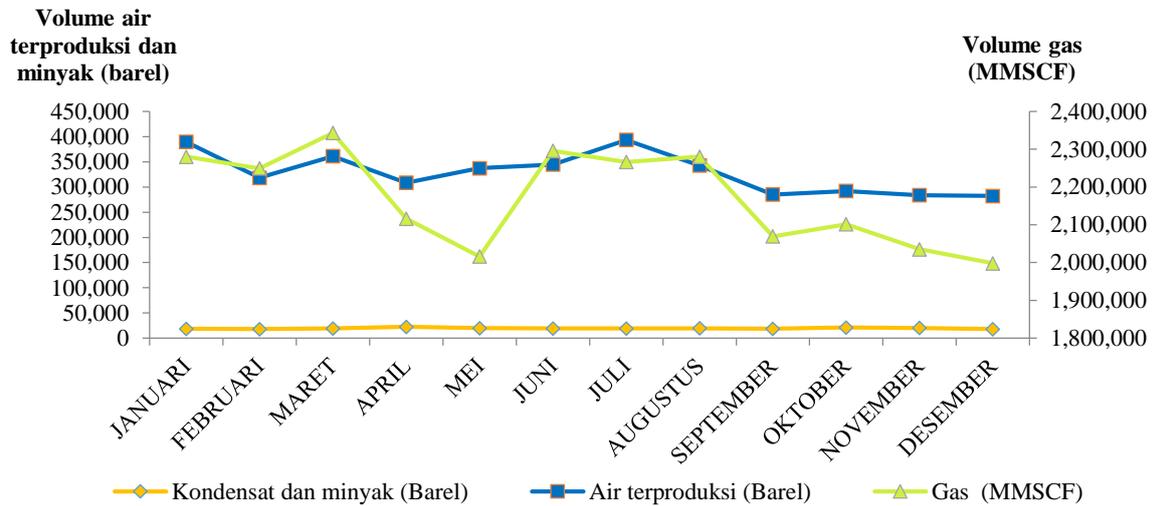
Tabel 1 menyatakan bahwa komposisi air terproduksi terdiri dari berbagai macam senyawa yang masing-masing mempunyai sifat kimia dan baku mutu yang berbeda. Senyawa-senyawa yang terkandung dalam air terproduksi umumnya merupakan senyawa pencemar bagi lingkungan sehingga jika nilainya melebihi dari baku mutu yang telah ditetapkan maka potensi pencemaran bagi lingkungan semakin besar. Kadar minyak merupakan campuran dari senyawa Dispersed and dissolved oil yang didalamnya terkandung senyawa BTEX (benzene, toluene, and xylene), PAHs (polyaromatic hydrocarbons) dan fenol. Senyawa BTEX khususnya senyawa Benzene dan Toluen diketahui sebagai senyawa yang bersifat karsinogenik (Cheremisinoff & Rosenfeld 2009), sedangkan efek utama yang dapat timbul dari

menghirup uap xylen adalah depresi pada sistem syaraf pusat, dengan gejala seperti sakit kepala, pusing-using, mual dan muntah (Haen & Oginawati 2013).

Garam bukanlah senyawa yang berbahaya bagi lingkungan dan dibutuhkan oleh makhluk hidup, tetapi jika melebihi baku mutunya maka akumulasi garam dapat menyebabkan penurunan kualitas air permukaan dan air tanah (Guerra *et al.* 2011). Fenol merupakan

senyawa organik yang bersifat toksik dan merupakan polutan yang bersifat persisten di dalam air. Fenol dapat bersifat karsinogenik bagi manusia pada konsentrasi 5-25 mg/L (Akmal 2010).

Data komposisi air terproduksi di Lapangan Badak selama tahun 2012 yang diukur berdasarkan delapan parameter dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Produksi gas, kondensat dan air terproduksi di Lapangan Badak tahun 2012

Tabel 1. Komposisi air terproduksi di Lapangan Badak

Bulan	Kadar Minyak (ppm)	Salinitas (ppm)	COD (ppm)	Fenol (ppm)	pH	Amonia (ppm)	Sulfida (ppm)	TDS (ppm)
Januari	330,4	1945	1032,5	13,62	7,98	10,618	0,126	-
Februari	224,8	3187	1157,5	12,73	8,1	13,233	1,405	-
Maret	171,3	1651	781,1	17,023	7,61	10,26	0,0475	-
April	130,8	1598	830,6	16,05	7,98	7,796	0	-
Mei	266,0	1317	1230,0	27,303	7,45	8,805	1,055	-
Juni	309,3	1935	660,5	10,007	8,05	7,72	1,8755	-
Juli	524,2	1847	692,2	17,07	8,08	8,06	0,132	-
Augustus	759,8	2104	1376,9	7,745	8,11	7,663	0,1525	-
September	689,6	1558	1251,2	14,626	8,11	10,342	0,54	-
Oktober	945,8	1773	513,3	11,703	7,64	9,955	0,27	3571
November	1024,2	1163	1120,3	11,31	7,67	10,71	0,36	3675
Desember	1215,4	2186	1887,4	8,79	7,84	10,69	1,19	3823
Rata-rata	549,3	1855	1044,5	13,998	7,89	9,654	0,5961	3690
Baku Mutu	* 25		* 300	2	06-Sep	* 10	* 1	

Sumber: Laboratorium VICO

*KEP. 42/MENLH/10/96/TERBIT

Tabel 2 menyatakan rata-rata nilai beban pencemaran perbulan untuk senyawa-senyawa pencemaran yang melebihi ambang batas baku mutu adalah untuk kadar minyak sebesar 27453 ton, untuk

COD 53704,57 ton dan untuk fenol sebesar 738,8999 ton. Selain itu juga dapat diketahui bahwa air terproduksi rata rata perbulannya memiliki nilai beban pencemaran sebesar 347281,8 ton berdasarkan dari

penjumlahan nilai beban pencemaran 8 parameter senyawa penyusunnya.

3.2. Peluang Produksi Bersih dalam Pengelolaan Air Terproduksi

Karakteristik atau komposisi air terproduksi bervariasi dari satu tempat dengan tempat lainnya dan juga dari waktu ke waktu yang dipengaruhi dari perbedaan lokasi, iklim, kebijakan hukum, dan juga ketersediaan infrastruktur. Hasilnya adalah banyaknya variasi dari pilihan teknologi yang digunakan dalam pengelolaan air terproduksi yang sifatnya spesifik bergantung dari lokasi. Teknologi dan strategi Pengelolaan air terproduksi dapat diurutkan menjadi 3 langkah pengelolaan atau tingkatan dalam pencegahan polusi, yaitu minimisasi, *recycle/re-use*, dan pembuangan (Tabel 3).

Perusahaan menerapkan tingkatan ketiga yaitu, pembuangan air terproduksi dengan cara reinjeksi ke dalam sumur-sumur yang tidak terpakai lagi. Sistem injeksi merupakan sarana pembuangan air terproduksi yang paling sesuai menurut perusahaan, dikarenakan secara ekonomi membutuhkan biaya yang tidak mahal, perawatannya mudah, serta secara teknologi tidak sulit untuk digunakan. Hal ini didukung dengan kondisi di Lapangan dimana banyak tersedia sumur-sumur minyak yang sudah tidak berproduksi lagi dan secara teknis cocok untuk dijadikan sumur injeksi. Al-Hubail dan El-Dash (2006) menyatakan, injeksi air terproduksi ke dalam sumur-sumur dalam mempunyai keuntungan dari segi lingkungan dan efisiensi bagi perusahaan daripada teknologi pembuangan air terproduksi lainnya dan secara ekonomi merupakan teknologi yang paling murah biayanya.

Tabel 2. Nilai beban pencemaran air terproduksi di Lapangan Badak

Bulan	Kadar Minyak (ton)	Salinitas (ton)	COD (ton)	Fenol (ton)	Amonia (ton)	Sulfida (ton)	TDS (ton)
Januari	20465,94	120491,4	63956,07	843,6626	657,71	7,8048086	-
Februari	11377,21	161343,8	58594,52	644,4132	669,8759	71,123376	-
Maret	9835,092	94818,9	44861,23	977,6512	589,244	2,7279816	-
April	6416,368	78409,2	40744,92	787,3296	382,4312	0	-
Mei	14265,87	70645,55	65966,23	1464,29	472,2217	56,580794	-
Juni	16953,03	106049	36208,5	548,582	423,2091	102,81459	-
Juli	32779,59	115522,7	43285,07	1067,432	504,0128	8,2543042	-
Augustus	41416,24	114681,7	75057,84	422,2031	417,733	8,3132303	-
September	31261,14	70627,69	56719,75	663,0299	468,8265	24,479432	-
Oktober	43927,04	82326,92	23838,81	543,5667	462,3777	12,540631	165873,1
November	46208,36	52447,97	50541,8	510,268	483,1981	16,241953	165803,3
Desember	54530,1	98088,23	84680,04	394,3719	479,6172	53,390507	171522,6
Rata-rata	27453	97121,08	53704,57	738,8999	500,8714	30,355967	167733

3.3. Re-Injeksi Air Terproduksi

Injeksi air terproduksi memerlukan suatu sistem yang dimulai dari proses pre-treatment air terproduksi sampai dengan penginjeksian ke dalam sumur-sumur injeksi menggunakan pompa (Maulina 2011). Sistem injeksi air terproduksi pada perusahaan terintegrasi untuk lapangan Badak, Nilam, Semberah dan tersentralisasi di Lapangan Badak, hal ini dikarenakan sumur-sumur injeksi terletak di Lapangan Badak, sehingga air terproduksi yang dihasilkan di Lapangan Nilam dan Semberah akan dialirkan dan dikumpulkan di Lapangan Badak untuk kemudian bersama-sama dilakukan proses pre-treatment sebelum diinjeksi.

Rata-rata volume air terproduksi perbulan yang terkumpul dan akan diinjeksikan di Lapangan Badak adalah 1.114.763 barel atau kurang lebih setiap harinya air terproduksi yang harus diinjeksikan sebesar 37158 barel. ini merupakan jumlah yang tidak

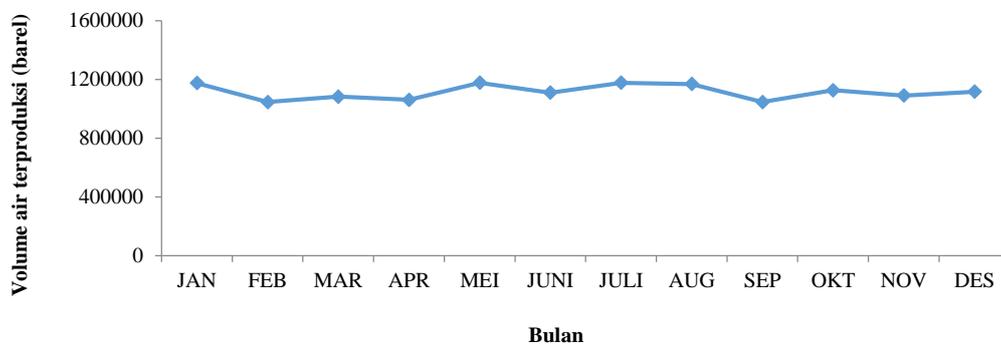
sedikit, sehingga keberadaan sistem injeksi ini menjadi vital. Tingginya volume air terproduksi dipengaruhi berbagai faktor, yaitu usia produksi sumur, jenis minyak dan gas yang diproduksi, lokasi sumur atau lapangan minyak, dan struktur geologinya (Guerra *et al.* 2011). Gambar 2 menunjukkan jumlah air terproduksi yang dipre-treatment di Lapangan Badak.

Di Lapangan Badak proses pre-treatment yang dilakukan pada air terproduksi di unit pollution control yang pada prinsipnya adalah separasi antara minyak dan air untuk mengurangi kandungan minyak dalam air. Penurunan kadar minyak pada air terproduksi menandakan bahwa sistem pollution control yang berada di Lapangan Badak berfungsi dengan baik. Kadar minyak yang tinggi dalam air terproduksi berpotensi menyebabkan tersumbatnya sumur injeksi, karena minyak mampu menyumbat pipa-pipa injeksi yang mengalirkan air terproduksi dari tangki penampungan ke sumur injeksi.

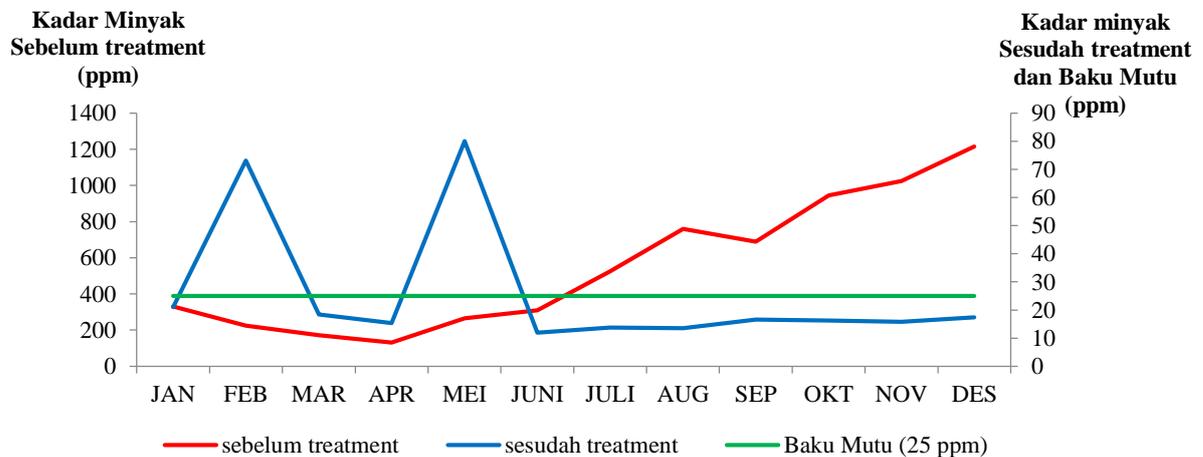
Tabel 3. Peluang produksi bersih dalam pengelolaan air terproduksi

Tingkatan	Pendekatan	Teknologi
Minimisasi	Modifikasi proses, adaptasi teknologi atau substitusi produk agar air yang diproduksi berkurang	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanical blocking devices • Water shut-off chemicals • Dual completion wells • Sea floor separation modules
Recycle/re-use	Air terproduksi yang tidak dapat dikelola dengan pendekatan minimisasi, perusahaan dapat melanjutkan ke tingkatan kedua yaitu <i>Recycle/re-use</i> dari air terproduksi	<ul style="list-style-type: none"> • Water flood; steam flood; SAGD (steam assisted gravity drainage) • Constructed wetland
Pembuangan	Air terproduksi tidak dapat lagi dikelola melalui minimisasi, <i>Recycle/re-use</i> , sehingga perusahaan harus membuangnya	<ul style="list-style-type: none"> • Discharge • Injeksi • Evaporasi

Sumber: Arthur *et al.* (2011)



Gambar 2. Volume air terproduksi pada sistem injeksi tahun 2012



Gambar 3. Grafik kadar minyak pada air terproduksi di Lapangan Badak tahun 2012

Rata-rata kadar minyak sebelum treatment adalah sebesar 549,28 ppm sedangkan sesudah treatment nilainya adalah 26,11 ppm. Terjadi penurunan kadar minyak yang besar dari sebelum dan sesudah treatment (Gambar 3), hal ini menandakan adanya minyak yg diambil kembali (*re-use*) dari air terproduksi untuk dikembalikan ke dalam proses produksi. selain itu penurunan kadar minyak juga berarti berkurangnya nilai beban pencemaran pada air terproduksi, sehingga dampak pencemaran terhadap lingkungan juga mengecil.

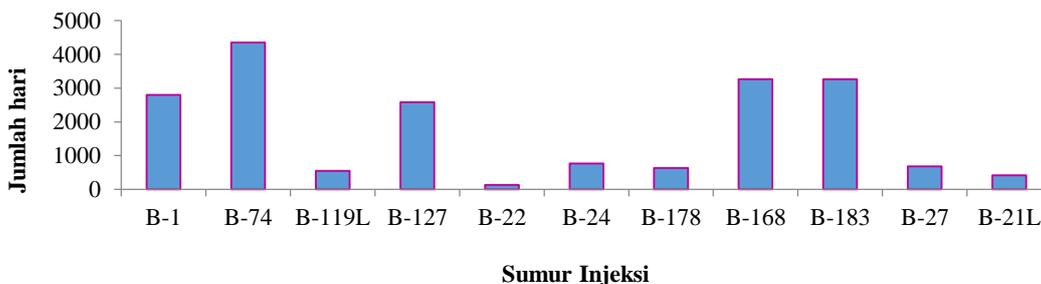
3.4. Kendala dalam Pengelolaan Air Terproduksi dengan Sistem Injeksi

Sistem injeksi air terproduksi merupakan teknologi pembuangan air terproduksi yang efisien, sederhana, dan murah biayanya bila dibandingkan dengan teknologi pembuangan lainnya. Dari rangkaian proses yang dimulai dari pre-treatment samapai dengan injeksi, berikut ini kendala-kendala dalam sistem injeksi yang ditemukan di dalam perusahaan:

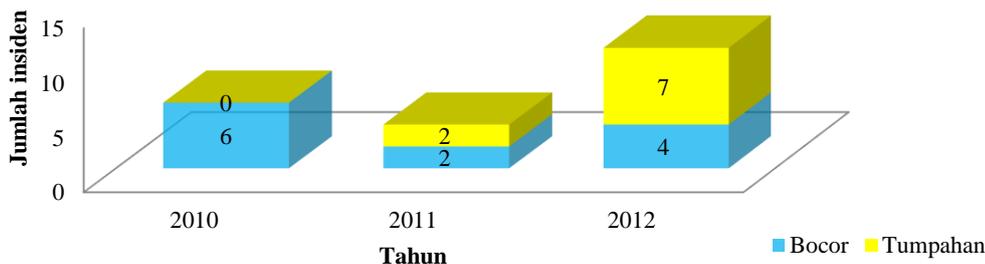
a. *Sumur yang Semakin Jenuh*

Semakin banyak air terproduksi yang diinjeksikan ke dalam sumur injeksi maka akan menyebabkan kejenuhan pada sumur, tekanan yang berasal dari bawah sumur akan semakin besar, sehingga semakin sulit untuk dapat menginjeksikan air terproduksi. Gambar 5 menunjukkan lama hari operasi sumur-sumur injeksi yang ada di Lapangan Badak.

Lama operasi sumur injeksi berbeda-beda, yang terlama adalah sumur injeksi B-74 dengan 4374 hari. Adanya perbedaan jumlah hari beroperasi ini dikarenakan tidak semua sumur dioperasikan secara sekaligus untuk reinjeksi air terproduksi. Beberapa sumur digunakan sebagai cadangan apabila sumur injeksi yang digunakan bermasalah, dan beberapa sumur lainnya tidak bisa diinjeksi dikarenakan tekanan dalam sumur terlalu besar sehingga air terproduksi tidak bisa diinjeksikan ke dalamnya.



Gambar 4. Jumlah hari beroperasi sumur injeksi sampai dengan tahun 2012



Gambar 5. Jumlah insiden kebocoran pada pipa air terproduksi 2010-2012

b. *Kebocoran pada Pipa Air Terproduksi*

Pipa air terproduksi merupakan salah satu komponen penting dalam sistem injeksi. Pipa air merupakan sarana transportasi bagi air terproduksi dari satu lokasi ke lokasi lainnya dimulai dari lapangan minyak sampai dengan ke sumur injeksi. Insiden kebocoran yang terjadi pada pipa air terproduksi dari tahun 2010-2012 ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan insiden kebocoran terdiri dari 2 jenis yaitu bocor dan tumpahan. perbedaan ini berdasarkan jumlah volume air terproduksi yang keluar dari pipa air. insiden dikatakan bocor jika volume air terproduksi yang keluar dari pipa kurang dari 1 barel, kategori tumpahan diberikan jika air terproduksi yang keluar dari pipa lebih dari 1 barel. Tahun 2012 merupakan tahun dimana insiden kebocoran paling sering terjadi yaitu 11 insiden yang terbagi menjadi 4 insiden bocor dan 7 kali insiden berkategori tumpahan. Adanya insiden kebocoran merupakan permasalahan yang serius karena dampaknya bagi lingkungan.

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui setiap 1 barel air terproduksi yang keluar ke lingkungan maka

nilai beban pencemarannya sebesar 311,5 kg, artinya adalah bocornya air terproduksi dari pipa sehingga keluar ke lingkungan maka nilai beban pencemaran yang harus ditanggung lingkungan minimal sebesar 311,5 kg. Jika kebocoran yang terjadi tipe tumpahan maka nilai beban pencemaran akan semakin tinggi dan memperbesar dampak terhadap lingkungan. Perusahaan menerapkan kebijakan dimana jika terjadi insiden kebocoran, maka seluruh air terproduksi yang keluar beserta tanah yang tercemar akan diangkut seluruhnya untuk dikelola di Badak Pollution Control yang selanjutnya akan dikirim kepada PPLi. Harga yang ada untuk penanganan limbah pada kisaran US\$50- US\$500 per ton, tergantung pada tingkat bahaya dan treatment yang perlu dilakukan (Kabar Bisnis 2009). Air terproduksi merupakan limbah yang mengandung hidrokarbon dan BTX (Brant 2013), maka penanganannya kemungkinan akan membutuhkan biaya sekitar US\$500 per ton. Sehingga semakin sering terjadi insiden kebocoran maka semakin tinggi pula biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk mengatasi insiden tersebut.

c. Hasil AHP untuk Alternatif Penerapan Produksi Bersih

Perhitungan Tabel 4 menunjukkan persepsi ahli dengan prioritas paling penting dalam memilih alter-

natif Penerapan Produksi Bersih adalah faktor lingkungan dengan nilai 0,476 atau 47,6%, kemudian untuk teknik sebesar 0,371 atau 37,1% dan yang terakhir adalah ekonomi dengan nilai 0,153 atau 15,3%.

Tabel 4. Hasil prioritas untuk alternatif penerapan produksi bersih

Kriteria	Prioritas	(%)
Teknik	0,371	37,1
Ekonomi	0,153	15,3
Lingkungan	0,476	47,6

Tabel 5. Hasil prioritas sub-kriteria untuk alternatif penerapan produksi bersih

Kriteria	Sub kriteria	Prioritas	(%)
Teknik	Kemudahan Kontruksi	0,234	23,4
	Kemudahan operasional	0,766	76,6
Ekonomi	Kemurahan biaya	0,182	18,2
	Manfaat yang diambil	0,818	81,8
Lingkungan	Daya tampung lingkungan	0,603	60,3
	Resiko kerusakan lingkungan	0,397	39,7

Persepsi ahli untuk kriteria Teknik prioritas paling penting adalah kemudahan operasional dengan nilai 0,766 atau 76,6% dibandingkan dengan kemudahan kontruksi sebesar 0,234 atau 23,4%. Untuk faktor Ekonomi prioritas paling penting adalah manfaat yang diambil dengan nilai 0,818 atau 81,8% dan selanjutnya adalah kemurahan biaya sebesar 0,182 atau 18,2%. Untuk faktor Lingkungan prioritas paling penting adalah daya tampung lingkungan dengan nilai 0,603 atau 60,3% dan selanjutnya adalah resiko kerusakan lingkungan sebesar 0,397 atau 39,7%.

Berdasarkan hasil AHP yang dilakukan maka alternatif penerapan produksi bersih di perusahaan harus memperhatikan beberapa kriteria, yaitu daya tampung lingkungan, kemudahan operasional dan manfaat yang diambil oleh perusahaan. Kendala yang dihadapi perusahaan dalam pengelolaan air terproduksi dengan sistem injeksi dapat diatasi dengan menerapkan ketatarumahtangaan yang baik (*Good Housekeeping*). *Good Housekeeping* atau pengelolaan internal yang baik adalah upaya-upaya produksi bersih berupa tindakan sederhana dengan langkah praktis yang dapat segera dilaksanakan oleh perusahaan (Moertinah 2008). Salah satu cara untuk mengatasi kendala yang terjadi dan memenuhi kriteria alternatif penerapan produksi bersih adalah dengan melakukan penggantian pipa.

Berdasarkan hasil observasi di lapangan, perusahaan sudah menganalisis penyebab dari kebocoran pipa air terproduksi tersebut. Kebocoran disebabkan adanya perbedaan merek dagang dari pipa yang digunakan yaitu pipa merek A dan pipa merek B. Insiden kebocoran banyak terjadi di pipa merek B

sehingga seluruh pipa dengan merek B akan diganti menjadi pipa merek A. Hasil analisa ekonomi penggantian pipa adalah sebagai berikut:
 Harga Pipa A 12” = US\$1100 dengan usia pakai 10 tahun
 Harga Pipa B 12” = US\$600 dengan usia pakai < 3 tahun

Biaya investasi:
 Pipa A = US\$ 1100/10 tahun = US\$110 /tahun
 Pipa B = US\$ 600/3 tahun = US\$ 200 /tahun

Pengehematan investasi = US\$ 200 – US\$ 110 = US\$90 /tahun

Penghematan biaya lingkungan:
 Pengurangan nilai beban pencemaran sebesar minimal 1138,83 kg beban pencemar/insiden
 Penghematan biaya pengolahan limbah PPLI sebesar minimal \$500/ton

Keuntungan lingkungan:

- Memperkecil resiko terjadinya kebocoran pada pipa air terproduksi
- Menurunkan resiko dampak lingkungan akibat kebocoran pipa
- Lingkungan terjaga
- Menurunkan resiko klaim lingkungan dari masyarakat sekitar perusahaan

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

1. Air terproduksi adalah limbah cair terbesar dalam produksi minyak dan gas bumi dengan komposisi produksi air terproduksi yang dihasilkan perusahaan di lapangan Badak sebesar 3.939.370 barel, minyak 240.860 barel, dan gas sebesar 26.051.815 MMSCF pada tahun 2012.
2. Teknologi sumur injeksi adalah teknologi yang paling sesuai untuk perusahaan karena mempunyai keuntungan dari segi lingkungan, serta efisien dan efektif daripada teknologi pembuangan air terproduksi lainnya.
3. Persepsi ahli untuk memilih alternatif penerapan produksi bersih dalam industri migas harus memenuhi 3 kriteria, yaitu Kemudahan operasional, Manfaat yang diambil, dan Daya tampung lingkungan.
4. Penggantian pipa air Terproduksi dari tipe B ke tipe A adalah peluang dari penerapan Produksi Bersih di perusahaan yang menguntungkan dari segi ekonomi dan lingkungan.

4.2. Saran

Teknologi sumur injeksi sangat bergantung pada ketersediaan sumur yang dapat diinjeksi, dan realita di lapangan adalah tidak semua sumur minyak dan gas yang sudah tidak produktif dapat dijadikan sebagai sumur injeksi. Oleh karena itu perusahaan diharapkan dapat terus menerus melakukan kemajuan dalam pengelolaan air terproduksi ini sehingga seiring dengan proses produksi yang berjalan, perbaikan yang berkelanjutan pun akan terjadi.

Daftar Pustaka

- [1] Al-Hubail, J., K. El-Dash, 2006. Managing disposal of water produced with petroleum in Kuwait. *Journal of Environmental Management* 79, pp. 43–50. doi:10.1016/j.jenvman.2005.05.012.
- [2] Akmal, 2010. Biodegradasi Fenol Limbah Cair Industri Tekstil oleh *Candida tropicalis*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [3] Arthur, J. D. et al., 2011. Management of producedwater from oil and gas wells. Working Document of the NPC North American Resource Development Study Paper, pp. 2-17.
- [4] Brant, J. A., 2013. Technical Brief Oil and Gas Produced Water Treatment Technologies. The Nexus Group, Stockholm.
- [5] Cheremisinoff, N. P., P. Roosevelt., 2009. Handbook of Pollution Prevention and Cleaner Production: Best Practices in the Petroleum Industry. Elsevier Inc., Oxford.
- [6] Guerra, K., K. Dahm, S. Dunderf, 2011. Oil and Gas Produced Water Management and Beneficial Use in the Western United States. Department of the Interior Bureau of Reclamation U.S.
- [7] Haen, M. T., K. Oginawati., Hubungan Paparan Senyawa Benzena, Toluena dan Xylen dengan Sistem Hematologi Pekerja di Kawasan Industri Sepatu. Tesis. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [8] Igunu, E. T., G. Z. Chen., 2012. Produced water treatment technologies. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. doi:10.1093/ijlct/cts049.
- [9] Indrasti, N. S., 2012. Metodologi dan Prosedur Audit Produksi Bersih (Neraca Massa, Energi, dan Limbah). IPB Press, Bogor.
- [10] Kabar Bisnis, 2009. Prasadha Operasikan Depo Penampungan Limbah di Sidoarjo. [Terhubung berkala] kabarbisnis.com [10 Desember 2009].
- [11] KLH, 1996. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 42 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Minyak Dan Gas Serta Panas Bumi
- [12] KLH, 2003. Keputusan Menteri LH no.128 Tentang Tata Cara Dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi Dan Tanah Terkontaminasi Minyak Bumi Secara Biologis;
- [13] KLH, 2003. Keputusan Menteri LH no.129 tentang Baku Mutu Emisi Usaha Dan Atau Kegiatan Minyak Dan Gas Bumi
- [14] KLH, 2013. Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan: Self Assessment Proper 2012 – 2013. Jakarta
- [15] Maulina, I. P., 2011. Sistem Pengelolaan Air Terproduksi dengan Metode Injeksi di Lapangan Badak Vico Indonesia [kerja praktek]. ITB, Bandung.
- [16] Moertinah, S., 2008. Peluang-Peluang Produksi Bersih pada Industri Tekstil Finishing Bleaching (Studi Kasus Pabrik Tekstil Finishing Bleaching PT. Damaitex Semarang). Tesis. Prodi Ilmu Lingkungan UNDIP, Semarang.