

PENGARUH PERUBAHAN PARAMETER INJEKSI LIMBAH PADAT TERKONTAMINASI MINYAK TERHADAP PENCEMARAN LINGKUNGAN

Miftahul Firdaus

Alumni Pascasarjana Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Riau,
Pekanbaru, Jl. Pattimura No. 09, Gobah, 28131. Telp 0761-23742

Thamrin

Dosen Pascasarjana Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Riau,
Pekanbaru, Jl. Pattimura No. 09, Gobah, 28131. Telp 0761-23742

Rifardi

Dosen Pascasarjana Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Riau,
Pekanbaru, Jl. Pattimura No. 09, Gobah, 28131. Telp 0761-23742

The effect of Changes in the Injection Parameters of Oily Solid Waste on Environment Pollution.

ABSTRACT

Waste disposal is one of the many environmental issues becoming increasingly difficult to deal with. A single disposal well may not be sufficient to handle the large volume of water and solid wastes generated as a product from the oil production. Up to 700-800 m³/day of solid waste and brine water are generated from five oil production Central Gathering Stations (CGS) in the Duri oilfield. This thesis discusses "The effect of Changes in the Injection Parameters of Oily Solid Waste on Environment Pollution". The research purpose is to know the relationship between surface injection parameters such as waste density, injection rate, waste slurry concentration and viscosity of bottom-hole pressure. The oily solid waste is injected back into target formation with criteria such as high permeability, good porosity and poor consolidated sand. The formation around the wellbore begins to fill with the injected waste material then the water component of the slurry dissipates into the formation. The bottom-hole pressure response is one of environment pollution indicator during waste injection. Based on result of multi linier regression analysis showed slight positive and negative effect on surface parameter of the bottom-hole pressure although not significant. Result of groundwater monitoring analysis (pH, boron, zinc, TPH, temperature and Sodium) from two monitoring wells did not show any changes in groundwater quality before and after the injection period so that not environmental pollution.

Keyword :injection, pollution, oily solid waste, environment

PENDAHULUAN

Limbah pasir dan air terkontaminasi minyak merupakan bagian dari hasil kegiatan eksploitasi minyak bumi, dimana limbah minyak tersebut dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Limbah yang dihasilkan perhari pada setiap proses cukup besar seiring dengan laju produksi minyak karena karakteristik reservoir minyak yang merupakan pasir lepas (*unconsolidated sand*). Metoda penginjeksian limbah pasir dengan perekahan formasi terbukti mampu menghasilkan suatu pengolahan limbah yang sifatnya *zero discharge exploration and production (ZD-E&P)* (Marika, 2009). Implementasi penginjeksian limbah pasir ini sangat handal secara *engineering (reliable)*, tidak ada produk turunan, praktis dan fleksibel), relatif lebih murah secara ekonomi (*recycle, reduce* dan *reuse*) serta ramah lingkungan terhadap *biosphere* dan bersifat jangka panjang.

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yang dihasilkan dari kegiatan produksi minyak mempunyai potensi untuk menimbulkan pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup oleh karena itu perlu dilakukan pengelolaan dengan metoda dan strategi yang baik. Produksi limbah pasir dan air terkontaminasi minyak merupakan hasil proses pemisahan *crude oil* dan air formasi (*braine water*) dari 5 *Central Gathering Station (CGS)* di lapangan Duri yang volumenya berkisar antara 700-800 m³/hari. Sedangkan kemampuan operasi injeksi sekarang adalah 622 m³/hari.

Limbah pasir tersebut perlu ditangani dengan metode khusus mengingat produksi limbah yang besar, bahaya dan resiko yang mungkin ditimbulkan apabila limbah minyak tersebut menyebar ke lingkungan. Menurut Hidayat (2008) metode penanganan limbah minyak harus disesuaikan dengan karakteristik limbah tersebut khususnya limbah pasir terkontaminasi minyak hasil proses pemisahan *crude oil* dan air formasi (*brain water*).

Tujuan penelitian ini mempelajari pengaruh perubahan parameter-parameter injeksi (debit injeksi, densitas limbah, viskositas limbah, volume limbah dan konsentrasi limbah) terhadap tekanan bawah sumur yang diharapkan mampu membantu memecahkan permasalahan kemampuan volume injeksi limbah padat terkontaminasi minyak secara tepat, efisien dan aman terhadap lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada tanggal 15 Juli sampai dengan tanggal 1 Desember 2010 di Lapangan Minyak Duri yang terletak di Kecamatan Mandau Kabupaten Bengkalis. Lokasi penelitian terletak dibagian tenggara lapangan minyak *Duri Steam Flood*.

Kondisi lapisan formasi lapangan Duri adalah lapisan pasir yang tidak kompak (*unconsolidated sands*), bersamaan dengan operasinya injeksi uap (*steam flood operation*) menyebabkan banyaknya jumlah produksi limbah padat yang mengandung minyak (*oily viscous fluids*) akibat dari hasil produksi minyak mentah (*crude oil*).

Secara Geologi lapangan Duri terdiri dari beberapa lapisan yang cocok untuk kegiatan perekahan dan penginjeksian limbah. Formasi Dalam, Menggala dan Pematang merupakan zona target untuk sumur injeksi. Sedangkan lapisan formasi Baji, Jaga, Kedua dan Pertama merupakan *containment zone* (zona penyangga). Sedangkan lapisan formasi diatas lapisan Pertama merupakan *confinent zone* (zona kedap) seperti pada Gambar 1.

Data primer diperoleh dengan survey dan pengukuran langsung secara *time series* di fasilitas penginjeksian limbah dan di sumur injeksi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Primer, Metoda dan Titik Pengambilan Sampel

No.	Data Primer	Metoda Pengambilan Data	Titik Pengambilan Sampel
1.	Tekanan bawah sumur, kPa	<i>Pressure Gauge</i>	Stasiun 3
2.	Debit injeksi limbah, m ³ /menit.	<i>ABB Flowmeter</i>	Stasiun 2
3.	Densitas limbah, Kg/m ³	Ditimbang pada gelas ukur (1 liter)	Stasiun 1
4.	Volume limbah, m ³	<i>Wedge Flowmeter</i>	Stasiun 2
5.	Konsentrasi limbah, %	Perhitungan	Stasiun 2
6.	Viskositas limbah, cp	<i>Marsh Funnel</i>	Stasiun 1

Sedangkan pengumpulan data sekunder dalam bentuk peta atau data *surveillance log* seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Data Sekunder dan Sumber Data

No.	Data Sekunder	Sumber Data
1.	Peta daerah penelitian.	PT Chevron Pacific Indonesia

*Pengaruh Perubahan Parameter Injeksi Limbah Padat Terkontaminasi Minyak
Terhadap Pencemaran Lingkungan*

2.	Peta hidrologi daerah Duri	DIRJEN Migas, Tahun 1982
3.	Data struktur geologi daerah penelitian.	PT CPI/DIRJEN Migas, 2006
4.	Data karakteristik batuan dan fluida <i>reservoir</i>	PT Chevron Pacific Indonesia, Tahun 2009
5.	Data <i>Oxygen Activation Log</i>	PT Chevron Pacific Indonesia/ Halliburton Logging Services
6.	Data <i>temperature survey</i> dibawah permukaan	Terralog Teknologi Indonesia /Hot Hole Instrument, 2010
7.	Data <i>Analisa air tanah</i>	Laporan KLH, Tahun 2010

Pemantauan injeksi dilakukan dengan pengukuran survei temperatur, dan pemantauan kualitas air tanah. Survei temperatur dan *Oxygen activation log* dilakukan untuk melihat profil injeksi secara vertikal. Analisa kualitas air tanah pada sumur pantau adalah salah satu parameter indikator terjadinya pencemaran lingkungan. Setiap sumur injeksi wajib memiliki sekurang-kurangnya dua sumur pantau dan melakukan pemantauan terhadap kualitas air tanah dangkal mengacu pada rona awal yang telah ditetapkan (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup no 183 Tahun 2010). Pemantauan pencemaran lingkungan juga melakukan pemantauan kualitas air tanah pada sumur pantau di sekitar sumur injeksi dengan parameter yang di ukur diantaranya adalah *pH*, *B (Boron)*, *TPH (Total Petroleum Hydrocarbon)*, *Zn*, *Temperature* dan *Sodium*. Standar nilai kualitas air tanah mengacu pada rona awal yang telah ditetapkan berdasarkan pada Peraturan Pemerintah No 82 tahun 2001.

Analisis regresi linier berganda yang dipilih dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh lima variabel parameter *subsurface (independen)* dengan satu variabel parameter *surface (dependen)* yang ditampilkan dalam bentuk persamaan regresi. Beberapa analisis statistik lain diperlukan untuk mendukung analisis regresi linier ini antara lain adalah analisa data frekuensi, uji normalitas data, uji linearitas data dan analisa korelasi data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geologi Regional Daerah Penelitian

Dilihat dari tatanan geologi secara regional, wilayah penelitian terletak dalam cekungan Sumatra Tengah, yang merupakan salah satu dari beberapa cekungan sepanjang pinggiran timur pulau Sumatra dan pinggiran utara dari pulau Jawa. Cekungan Sumatra Tengah berbatasan dengan:

Utara : Busur Asahan
Selatan : Bukit Tiga Puluh
Timur : Keraton Sunda
Barat : Busur vulkanik.

Cekungan Sumatra Tengah merupakan cekungan sedimentasi tersier penghasil hidrokarbon terbesar di Indonesia.

Daerah penelitian merupakan kelompok Sihapas berupa transisi batuan pasir (*sand*) dan serpih (*shale*). Formasi diatas zona target terdiri dari pasir berbutir halus hingga kasar dengan sifat reservoir yang baik sebagai zona penyangga (*containment zone*). Sedangkan lapisan diatasnya lagi merupakan zona *penyekat* (*confinent zone*) yang terdiri pasir (*sand*) berbutir halus hingga kasar dengan selang seling dengan serpih (*shale*).

Hidrologi air tanah mengalir dari utara menuju ke tenggara dengan kedalaman air tanah antara 17-22 meter diatas permukaan laut. Kedalaman air tanah di sekitar sumur injeksi bervariasi antara 13-24 meter tergantung dari kontur muka air tanahnya. Untuk sumur pantau 1 sesuai dengan peta kontur muka air tanah (Gambar 2) adalah sekitar 17 meter dan sumur pantau B sekitar 22 meter. Peta aliran ini berguna bagi penelitian sebagai informasi arah penyebaran aliran air tanah terhadap sumur pantau air tanah (*ground water monitoring*).

Karakteristik Zona Target Injeksi Limbah

Karakteristik geologi untuk zona penginjeksian limbah di sumur penelitian terdiri dari pertama adalah *unconsolidated sand* yang merupakan zona target penginjeksian yang terdiri dari formasi pasir yang tidak mudah terkonsolidasi. Kedua adalah *high compressibility* yaitu kemampuan pemampatan yang tinggi pada zona target. Ketiga adalah *high permeability* yaitu kemampuan batuan untuk melewatkan fluida. Permeabilitas minimal untuk penginjeksian ini adalah 1 Darcy (1000 mD) sedangkan porositas minimalnya adalah 25%. Formasi pasir yang seperti ini layak untuk dijadikan zona target injeksi. Permeabilitas dari zona target berkisar antara 2 – 5 Darcy atau 2000 – 5000 mD.

Desain Bubur Limbah dan Strategi Injeksi

Pelaksanaan injeksi limbah pada sumur “A” dimulai pada tanggal 15 Juli 2010 sampai dengan tanggal 18 Juli 2010. Perbedaan perlakuan desain bubur limbah dengan strategi injeksi yang sama (parameter *surface*) pada setiap shift injeksi

bertujuan untuk mengetahui respon formasi yang diakibatkan oleh perlakuan tersebut (parameter *subsurface*). Setiap siklus injeksi terdiri dari 7 shift atau 3.5 hari secara menerus pada sumur “A” dan selanjutnya dilakukan tutup sumur. Dari gambar 3 dapat dijelaskan bahwa desain slurry (konsentrasi dan densitas limbah) pada sumur “A” yang diterapkan berbeda-beda pada setiap shiftnya yang berlangsung selama 7 shift dimana konsentrasi terendah adalah 25% dan konsentrasi tertinggi 30%. Response formasi (tekanan bawah sumur) terlihat stabil pada kisaran 6,250 kPa dimana rata-rata tekanan terendah dicatat pada shift ke 5 yaitu 6,229 kPa dan rata-rata tekanan tertinggi adalah pada shift ke 4 yaitu 6,328 kPa. Dengan perubahan desain slurry ini menunjukkan bahwa variasi parameter surface mampu menaikkan volume injeksi limbah rata-rata sampai 719 m³/hari. Data plot ini menunjukkan tidak adanya anomali atau gangguan yang signifikan terhadap kondisi sumur akibat perlakuan desain slurry yang berbeda.

Paramater Operasi Injeksi.

Pengukuran dan pemantauan parameter *surface* dan *subsurface* untuk melihat respon formasi dibawah permukaan di *target zone* pada sumur ”A” terhadap variasi parameter surface yang sudah di desain. Parameter- parameter data *surface* yang akan dianalisa secara statistik adalah sebagai berikut :

1. Debit Injeksi Limbah (DIL) : X₁ (m³/menit)
2. Densitas Bubur Limbah (DBL) : X₂ (Kg/m³).
3. Volume Bubur Limbah (VIBL) : X₃ (m³).
4. Konsentrasi Limbah terhadap Air (KL) : X₄ (%)
5. Viskositas Bubur Limbah (VBL) : X₅ (cp).

Yang di regresikan terhadap parameter bawah permukaan (*sub surface*) yaitu tekanan injeksi bawah sumur (TIBS). Hasil rata-rata pengukuran di *surface* dan *sub surface* yang diambil untuk setiap periode 3.5 hari (7 shift) di sumur “A” seperti ditabulasikan pada tabel 1.

Tabel 1. Tabulasi Tekanan Bawah Permukaan dan Parameter Surface

1	2	3	4	5	6
No Siklus & Asal Limbah	VIBL (m ³)	KL (%)	Waktu Injeksi (jam)	DBL (Kg/m ³)	TIBS (kPa)
Shift#1	290	30	6.20	1,036	6,284
Pit mat					

Pengaruh Perubahan Parameter Injeksi Limbah Padat Terkontaminasi Minyak Terhadap Pencemaran Lingkungan

Shift#2					
Pit mat	413	29	9.28	1,039	6,302
Shift#3					
Pit mat	370	27	9.20	1,054	6,284
Shift#4					
Pit mat	374	26	9.30	1,082	6,328
Shift#5					
Pit mat	380	27	9.20	1,031	6,229
Shift#6					
Pit mat	360	25	9.26	1,037	6,235
Shift#7					
Pit mat	329	25	9.20	1,166	6,324
Total	2,516		61.64	Average	6,284

Sumber: Pengukuran Data

Tekanan rata-rata bawah sumur adalah nilai rata-rata tekanan per shift pada zona target yang diukur melalui alat sensor didalam sumur injeksi

Tekanan dan Temperatur

Data tekanan dan temperatur diambil dari pengukuran langsung selama proses injeksi dan selesai injeksi. Tekanan yang diukur selama proses injeksi disebut sebagai tekanan injeksi bawah sumur (TIBS) dimana berperan dalam mendiagnosa adanya gangguan (anomali) selama injeksi berlangsung, sedangkan tekanan yang diukur selama sumur ditutup disebut sebagai tekanan minimum bawah sumur (*shut-in minimum pressure*). Tekanan minimum ini tidak digunakan sebagai parameter input dikarenakan lebih berperan dalam analisis reservoir bawah permukaan. Temperatur yang diukur adalah *temperature survey (temperature log)* yang diukur langsung dari permukaan sampai kedalaman zona target. Temperatur ini dilakukan pada setiap selesai proses injeksi selesai secara periodik.

Tekanan injeksi bawah sumur berfungsi untuk memonitor perilaku tekanan (*pressure performance*) dan melihat adanya anomali yang menggambarkan respon formasi selama injeksi limbah (*formation response*). Maksimum tekanan injeksi bawah sumur yang diijinkan untuk kegiatan injeksi adalah tidak melebihi gradient rekahan (*fracture*

gradient) lapisan di atasnya yaitu sebesar 0.9 psi/ft (KLH Permit 2010). Gradien rekah ini merupakan tekanan minimum yang dibutuhkan untuk merekahkan lapisan kedap (*confinent zone*) dimana berfungsi sebagai zona penyekat antara lapisan zona limbah dan lapisan produksi minyak maupun lapisan air tanah. Dengan gradien 0.9 psi/ft dapat di konversi ke nilai tekanan pada kedalaman zona target ~1400 ft adalah 1260 psi (8689 kPa). Artinya sejauh tekanan injeksi bawah sumur di bawah dari 8,689 kPa) maka injeksi limbah tidak akan merusak zona kedap dan mengganggu lapisan di atasnya. Tekanan injeksi bawah sumur diukur langsung dengan menggunakan alat BHP sensor yang di pasang didalam pipa selubung (*tubing*) di dalam sumur diatas interval perforasi (*zona target*). Sehingga peranan tekanan injeksi disini sangat penting sebagai *indicator parameter* dalam analisis.

Hasil pengukuran tekanan terhadap beberapa parameter surface merupakan data primer yang dilakukan selama 6 bulan dari bulan Juli 2010 sampai dengan December 2010 seperti pada Tabel 2. dan Gambar 4 sampai 8. Dari data tekanan yang diukur selama periode penelitian menunjukkan bahwa tekanan stabil antara 6126-6449 kPa terhadap variasi parameter injeksi yaitu konsentrasi limbah, volume, debit, viskositas dan densitas. Dari grafik tekanan injeksi rata-rata dan konsentrasi limbah terhadap waktu (Gambar 4) menunjukkan tekanan injeksi rata-rata tidak mengalami trend kenaikan yang berarti terhadap variasi konsentrasi limbah dari 20.7 % sampai 30.3 %. Ini menunjukkan bahwa kemampuan injeksi limbah bisa di optimalkan dengan menaikkan konsentrasi limbah sampai lebih dari 30%. Gambar 5 merupakan grafik tekanan injeksi rata-rata dan volume injeksi limbah terhadap waktu dimana tidak mengalami trend kenaikan yang berarti terhadap variasi volume injeksi limbah dari 212 m³/shift sampai 413 m³/shift. Dengan kenaikan konsentrasi sampai dengan 30.3 % bersamaan dengan kenaikan volume limbah sebesar 414 m³/shift masih menghasilkan respons tekana injeksi dibawah tekanan rekah. Grafik tekanan injeksi rata-rata dan debit injeksi limbah terhadap waktu (Gambar 6) dimana tekanan injeksi rata-rata tidak mengalami trend kenaikan yang berarti terhadap variasi debit limbah dari 2.0 m³/shift sampai 2.6 m³/shift. Sedangkan gambar 7. adalah grafik tekanan injeksi rata-rata dan viskositas bubuk limbah terhadap waktu (Juli-Desember 2013), dimana tekanan injeksi rata-rata tidak mengalami trend kenaikan yang berarti terhadap variasi viskositas bubuk limbah dari 0.6 cP sampai 645 cP. Sedangkan Gambar 8. adalah grafik tekanan injeksi rata-rata dan densitas bubuk limbah terhadap waktu (Juli-Desember 2013) yang menunjukkan bahwa tekanan injeksi rata-rata tidak mengalami trend kenaikan yang signifikan terhadap variasi densitas bubuk limbah dari 955 kg/ m³ sampai 1085 kg/ m³.

Temperatur bawah sumur diambil langsung dengan menggunakan kabel fiber optik (*FIBO cable*) setelah kegiatan injeksi selesai. Temperatur survey ini sangat efektif mengukur temperatur formasi karena memiliki jangkauan sampai 3 ft kedalam formasi tergantung pada konduktifitas batuan dan temperatur fluida yang diinjeksikan. Tujuan dari pengukuran temperatur ini adalah untuk melihat kondisi

disekitar lubang bor diantaranya adalah efek rekahan dan adanya indikasi rembesan fluida naik ke zona atasnya dari permukaan sampai dasar sumur dengan membandingkan kondisi awal *temperatur gradient* sebelum sumur dilakukan operasi injeksi. Dari hasil temperature survey yang dilakukan setelah proses injeksi pada tanggal 31 December 2010 dapat dijelaskan bahwa fluida limbah yang diinjeksikan masih terdistribusi di zona target yaitu interval 1,300 – 1,355 ft . Hasil ini juga di verifikasi data sekunder lainnya dengan melakukan pengukuran *Oxygen Activation Log* untuk melihat profil injeksi secara vertikal yang dilakukan pada tanggal 28 Desember 2010 (Gambar 9).

Hasil Analisis Regresi Linier Berganda

Analisis regresi linier berganda yang dipilih dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh antara variabel parameter *subsurface (independen)* dengan variabel parameter *surface (dependen)* yang ditampilkan dalam bentuk persamaan regresi. Dari hasil perhitungan analisa regresi linier berganda beberapa parameter *surface* terhadap satu parameter *subsurface* dihasilkan model persamaan regresi linier berganda pada sumur A sebagai berikut :

$$Y = 6028,66 - 65,198X_1 + 0,541X_2 + 8,058X_3 - 9,903X_4 - 6,17X_5$$

Keterangan :

- Y = Tekanan Injeksi Bawah Sumur (TIBS), kPa
- X₁ = Debit Injeksi Bubur Limbah (DIBL), m³/menit
- X₂ = Densitas Bubur Limbah Rata-rata (DBLR), Kg/m³
- X₃ = Volume Injeksi Bubur Limbah (VIBL), m³
- X₄ = Konsentrasi Limbah (KL), %
- X₅ = Viskositas Bubur Limbah (VBL), cP
- a = Nilai Konstanta
- b₁ = Koefesien regresi Debit Injeksi Bubur Limbah (DIBL)
- b₂ = Densitas Bubur Limbah Rata-rata (DBLR)
- b₃ = Koefesien regresi Volume Injeksi Bubur Limbah (VIBL)
- b₄ = Koefesien regresi Konsentrasi Limbah (KL)
- b₅ = Koefesien regresi Viskositas Bubur Limbah (VBL)

Analisa Sumur Pantau

Pemantauan pencemaran lingkungan juga melakukan pemantauan kualitas air tanah pada sumur pantau di sekitar sumur injeksi dengan parameter yang di ukur diantaranya adalah *pH*, *B (Boron)*, *TPH (Total Petroleum Hydrocarbon)*, *Zn*, *Temperature dan Natrium*. Standar nilai kualitas air tanah mengacu pada rona awal yang telah ditetapkan berdasarkan pada Peraturan Pemerintah No 82 tahun 2001.

Tabel 4. merupakan perbandingan nilai parameter saat rona awal, pengukuran bulan Desember 2010 dan baku mutunya (ambang batas). Hasil pengukuran pH masih pada ambang batas (6-9), Boron lebih tinggi dari ambang batas (1 mg/L) karena lahan gambut berbatu pasir mengandung kadar Boron yang tinggi (35 ppm). Hasil analisis TCLP (*toxicity characteristic leaching procedure*) yang dilakukan oleh pihak ketiga terhadap sampel *sludge (oily waste)* yang akan diinjeksikan menunjukkan tidak dijumainya keberadaan Boron.

Tabel. 4. Hasil Analisis Air Tanah

Nama	PH (6-9)		Boron (<1 mg/l)		TPH (<10.000 ug/g)		ZINC (<0,05 mg/l)		Temp (dev 3 deg C)		Natrium (<200 mg/l)	
	RA (Jan-10)	Des-10	RA (Jan-10)	Des-10	RA (Jan-10)	Des-10	RA (Jan-10)	Des-10	RA (Jan-10)	Des-10	RA (Jan-10)	Des-10
Sumur 1	7,23	7,3	3,9	4,11	n/a	n/a	0,314	0,045	29,1	29,6	65,8	58,5
Sumur 2	6,19	6,4	3,1	2,24	n/a	n/a	0,004	0,008	27,6	28,7	312	298

RA : Rona Awal

Kandungan TPH tidak terdeteksi membuktikan bahwa kegiatan injeksi limbah tidak membawa dampak terhadap kualitas air tanah. Kandungan Zn pada sumur pantau 1 saat rona awal relatif tinggi di atas ambang batas 0.05 mg/L (0,314 mg/L). Hal ini dikarenakan kandungan Zinc didaerah gambut yang bersifat asam sewaktu-waktu berubah tergantung pada kandungan pengikatnya yaitu silikat. Perairan yang bersifat asam cenderung memiliki kelarutan seng meningkat. (Sukandarrumidi,1995). Dari hasil TCLP limbah diketahui kandungan kadar Zn sebesar 2,307 mg/L artinya tidak memberikan kontribusi kepada kandungan Boron pada sampel air tanah. Temperatur air didalam sumur pantau relatif stabil saat rona awal dan pengukuran pada kisaran 27-29 °C. Kadar Natrium pada sumur pantau 2 lebih tinggi dari sumur pantau 1 dikarenakan perbedaan ion tergantung pada perlapisan dari batuan yang terkandung dalam tanah. Sodium pada sumur pantau 2 (312 mg/L) memiliki nilai yang tinggi dikarenakan terdapat senyawa *halite* (kandungan NaClnya tinggi) sehingga air pada sumur ini memiliki rasa lebih asin jika dibandingkan dengan sumur pantau 1.

Dari pembahasan hasil analisa air tanah dari dua sumur pantau tersebut membuktikan bahwa perubahan parameter injeksi tidak berpengaruh terhadap kualitas air tanah karena tidak ditemukannya perubahan kualitas air tanah mengacu pada PP no 82 tahun 2001.

KESIMPULAN

Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa perubahan parameter injeksi (DIBL, DBLR, VIBL, KL dan VBL) menunjukkan adanya pengaruh terhadap tekanan injeksi dasar sumur meskipun tidak signifikan, Namun hasil analisa air tanah (*pH*, *Boron*, *Total Petroleum Hydrocarbon*, *Zn*, *Temperatur* dan *Sodium*) di sumur pantau tidak menunjukkan adanya perubahan kualitas air tanah. Demikian juga hasil pemantauan survei temperatur dan *oxygen activation log* tidak mengindikasikan pergerakan injeksi keatas sehingga tidak ada indikasi pencemaran lingkungan.
2. Hasil analisa regresi linier berganda menghasilkan persamaan :

$$Y = 6028,66 - 65,198X_1 + 0,541X_2 + 8,058X_3 - 9,903X_4 - 6,17X_5.$$

Artinya ada pengaruh baik positif maupun negatif pada tekanan injeksi bawah sumur terhadap parameter surface (DIBL, DBLR, VIBL, KL dan VBL) meskipun tidak signifikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, mengarahkan dan memberi petunjuk yang sangat berguna bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

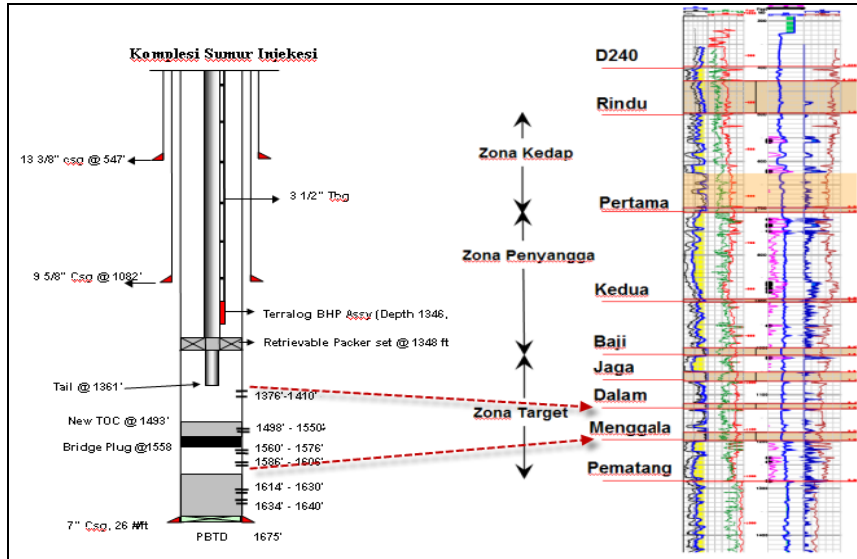
- Afrie, M. dan E, Marika, 2005**, Slurry Fracture Injection Technology for E&P Wastes, SPE (Society Petroleum Engineer) Paper, Kualalumpur.
- Andersen. E.E, Louviere. R.J, Wiit.D.E. 1993**, Guidelines for Designing Safe, Environmentally Acceptable Downhole Injection Operations, SPE 25964 Paper, San Antonio, Texas.
- Argonne**, 2003, "An Introduction to Slurry Injection Technology for Disposal of Drilling Wastes," Brochure Prepared by Argonne National Laboratory for the U.S. Department of Energy, Office of Fossil Energy, National Petroleum Technology Office, California.
- Bruno, M.S., 1998**, Disposal Of Crude Contaminated Soil Through Slurry Fracture Injection at The West Coyote Field., SPE Paper , California.
- Chevron, PT., 2008**, Data Produksi Minyak lapangan Duri Steam Flood. Duri, Riau
- Economides, MJ., A,D Hill and C. Ehlig, 1994**, Petroleum Production System. PTR Prentice Hall, Inc A Paramount Communication Company, New Jersey.
- Fetter, C.W., 1999**, Contaminant Hydrogeology – Second Edition, Waveland Press, Inc., Long Grove, Illinois.
- Harjanto, A., 2007**, Teknologi Minyak Bumi. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hidayat, 2008.**, Teknologi Pengolahan Limbah B3, <http://tentanglimbah.wordpress.com>. (dikunjungi tanggal 28 Desember 2008).
- Jonathan, W., 2000**, A Survey of Offshore Oilfield Drilling Wastes and Disposal Techniques to Reduce the Ecological Impact of Sea Dumping, SPE Paper.
- Kamath. K.I, U.S. Environmental Protection Agency. 1999**, Regular Control of Groundwater Contamination by Hazardous Waste Disposal Wells: An Engineering Perspective, SPE 19744, San Antonio, Texas.
- Mara, D. and S. Cairncross., 1994**, Pemanfaatan Air Limbah dan Ekskreta, ITB ,Bandung.
- Marika, E., 2009, A**, Petroleum Achieving Zero Discharge E&P Operation using Deep Well Disposal, World Heavy Oil Congress, Puerto La Cruz, Venezuela.
- Mian, MA., 1992**, Petroleum Engineering Handbook for The Practicing Engineer Volume II., PennWell Books, Tulsa.

- Muhtadi, T, 2008**, Pengelolaan Limbah Industri, Makalah pada presentasi Pengelolaan SDA dan Lingkungan, Universitas Lampung, Lampung.
- Munir, M.S., 2006**, Geologi Lingkungan, Bayu Media Publishing, Malang.
- Nadeem, M., 2007**, Geological Engineering Criteria for Deep Solids Injection, The American Association of Petroleum Geologist/Division of Environmental Geosciences, 2007, Alberta Canada.
- Nugroho, A., 2006**, Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi, Graha Ilmu dan FTI-Universitas Trisakti, Yogyakarta
- Nagel, McLennan, 2010**, Solids Injection, Society of Petroleum Engineer Monograph Volume 24, USA.
- Ovalle, A., T, Shokanov., S, Simmons, and J. Ronderos., 2008**, Field Implementation of Sub-surface waste Injection, Petromin Magazine, Volume October 208, Page 38-45.
- Ovalle, A., J. Ronderos. S, Simmons, 2009**, Waste Injection: The Environmentally Safe and Cost-Effective Solution For Ultimate Waste Disposal, SPE 122303, Colombia.
- Page. P.W, Twynam. A.J, Burt,D. 1998**, Minimizing Environmental Impact: An Integrated Approach to Waste Management, SPE 46802, Caracas, Venezuela.
- Patin, S., 1999**, Environmental Impact of the Offshore Oil and Gas Industry, EcoMonitor Publishing, East Nortport, New York.
- Reed, A.C., J.L, Mathews, M.S, Bruno and S.E, Olmstead, 2001**, Safe Disposal of One Million Barrels of NORM in Louisiana through Slurry Fracture Injection, SPE Paper, Calgary.
- Sudjana, 1989**, Metoda Statistika edisi ke 5. Universitas Indonesia (UI-Press), Bandung.
- Sugiharto, 1987**, Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah. Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta
- Susanne. O, 2000**, Environmental Management, Cost Management, and Asset Management for High Voulume Oil Field Waste injection Project, SPE Paper, Lousiana.
- Stanislav.P, 1999**, Environmental Impact of the Offshore Oil and Gas Industry, Ecomonitor Publishing, USA.

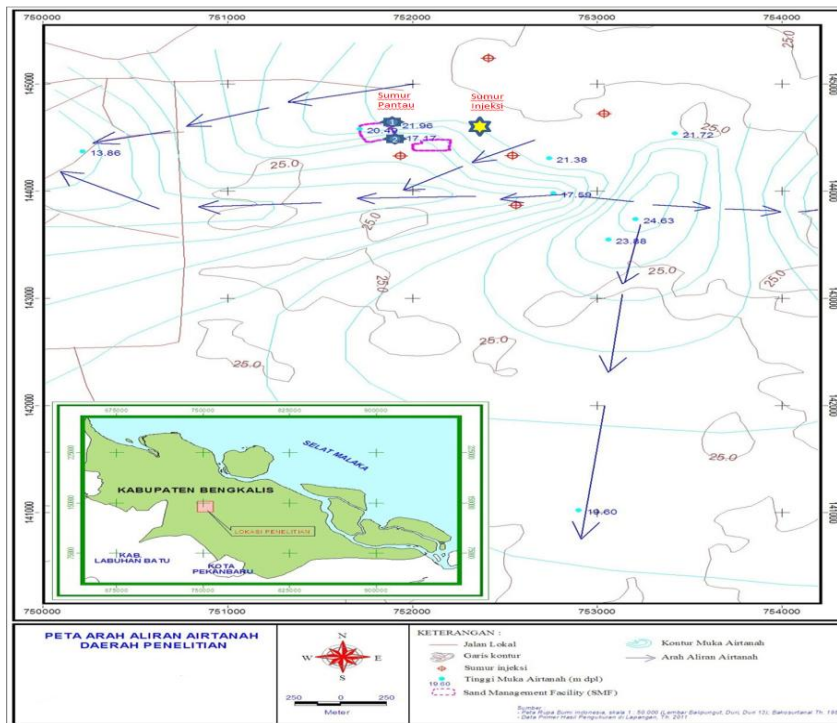
Pengaruh Perubahan Parameter Injeksi Limbah Padat Terkontaminasi Minyak Terhadap Pencemaran Lingkungan

- Syakti, A.D., 2008**, Seminar Bioremediasi: Multi-Proses Remediasi di Dalam Penanganan Tumpahan Minyak (*Oil Spill*) di Perairan Laut dan Pesisir., Divisi Bioteknologi Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Temenggung, M.A, 2008, Bahan** Presentasi Pengelolaan SDA dan Lingkungan, BAPPEDA Kota Bandar Lampung. (www.info-lingkungan.blogspot.com, visited on December 24, 2008), Lampung. (dikunjungi tanggal 25 Desember 2008).
- Terralog Tech Inc, 2008, An** overview of Slurry Fracture Injection.. Case Study.,Calgary.
- Wahyu, H, 2001**, Teknologi Pengolahan Limbah.
<http://www.beritaiptek.com/messages/iptekindonesia/829292004em.shtml>
(visited on Nov 28, 2008), Jakarta.
- Wardhana, W.A, 2004**, Dampak Pencemaran Lingkungan (Edisi Revisi), Andi Offset, Yogyakarta.

Lampiran

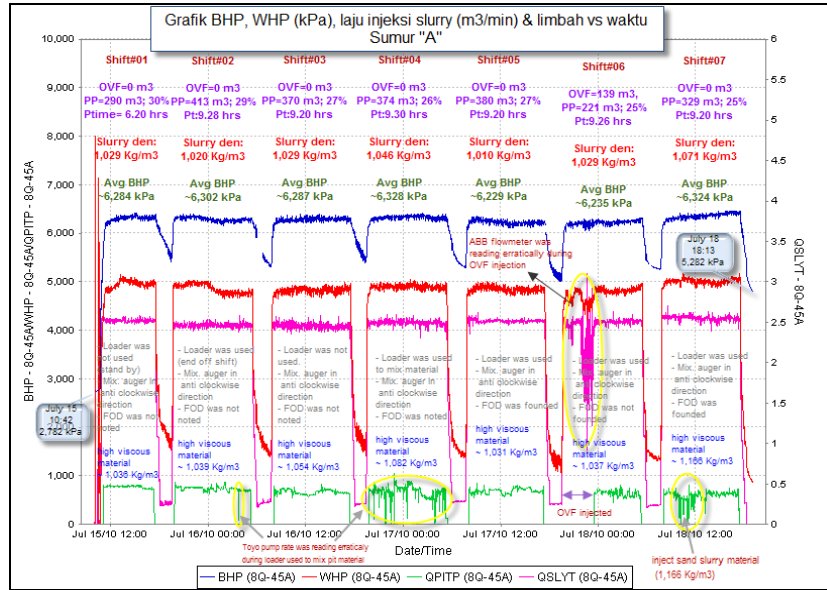


Gambar 1. Penampang Sumur Injeksi dan Lapisan Zona Perekahan. (Arfie dan Marika, 2005)



Gambar 2. Peta Aliran Air Tanah. (Peta Bumi Rupa Indonesia, 1982)

Pengaruh Perubahan Parameter Injeksi Limbah Padat Terkontaminasi Minyak Terhadap Pencemaran Lingkungan



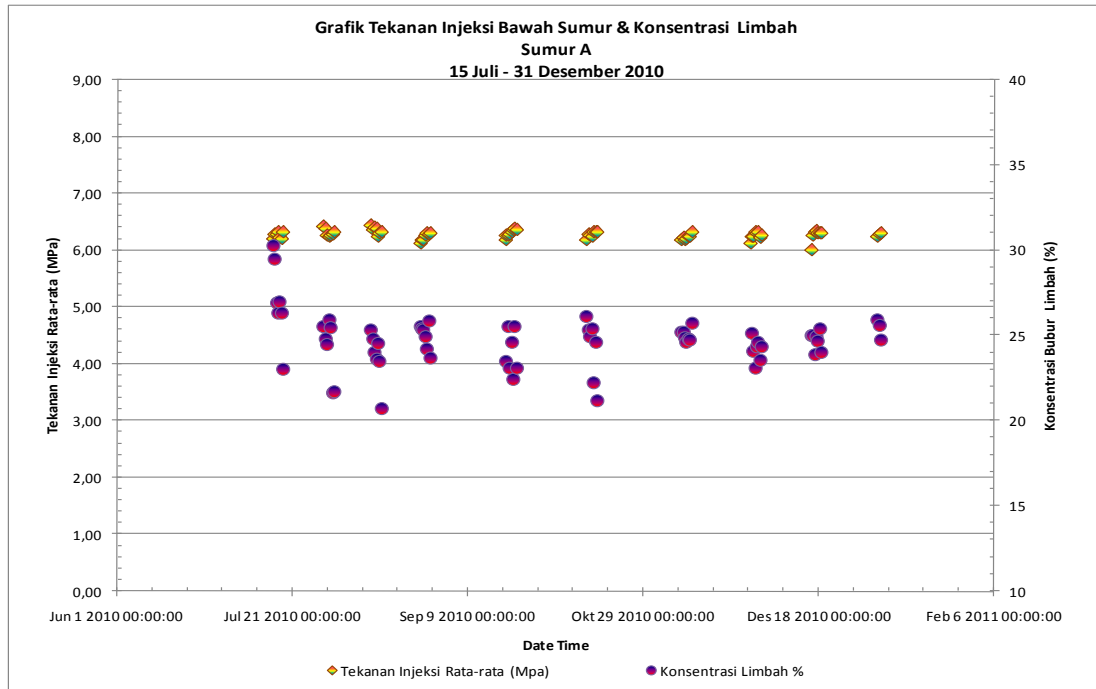
Gambar 3. TIBS, DIBL, DBL Vs Waktu pada sumur "A".

Pengaruh Perubahan Parameter Injeksi Limbah Padat Terkontaminasi Minyak Terhadap Pencemaran Lingkungan

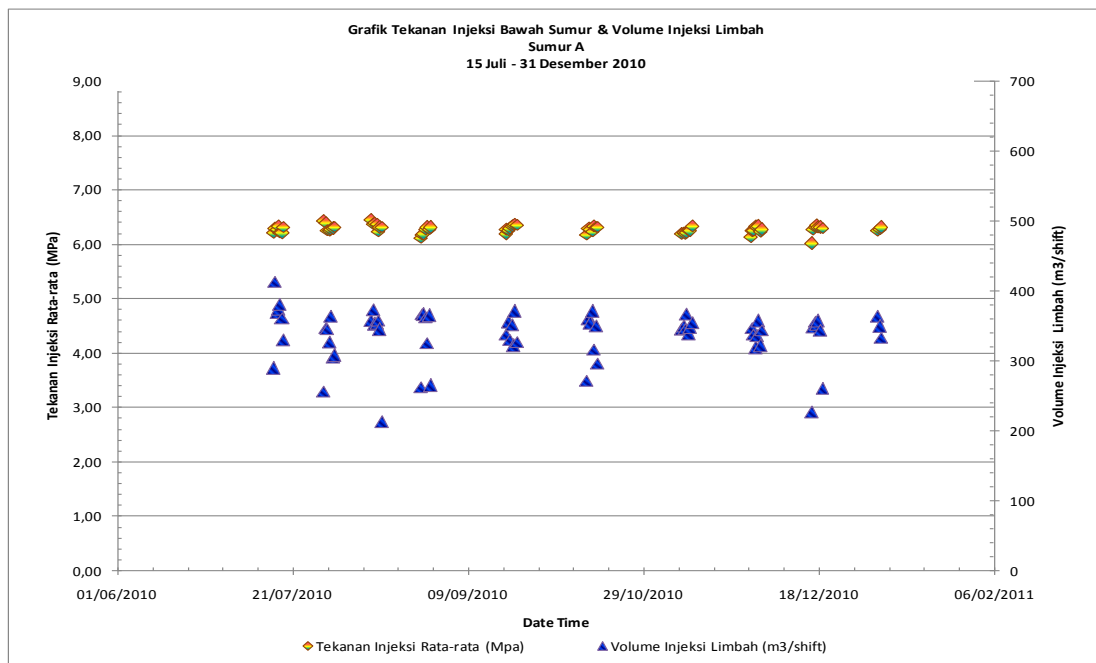
Tabel 2. Hasil Pengukuran Tekanan Injeksi Terhadap Beberapa Parameter *Surface*

Date	Y1 Tekanan Injeksi Bawah Sumur (kPa)	X1 Debit Injeksi Bubur Limbah (m3/min)	X2 Densitas Bubur Limbah rata-rata (Kg/m3)	X3 Volume Injeksi Bubur Limbah (m3)	X4 Konsentrasi Limbah (%)	X5 Viskositas Bubur Limbah (cP)
Jul 7 2010 20:52:45	6,228	2.50	1,048	1,223	25.88	1.09
Jul 8 2010 07:30:21	6,186	2.47	1,002	1,407	25.87	5.58
Jul 8 2010 19:35:42	6,253	2.51	1,028	1,433	24.97	1.42
Jul 9 2010 07:38:00	6,287	2.49	1,025	1,401	25.94	2.37
Jul 9 2010 19:32:36	6,274	2.55	1,053	1,466	24.55	5.47
Jul 10 2010 07:34:48	6,312	2.49	1,055	1,408	25.66	2.26
Jul 10 2010 19:27:39	6,296	2.44	1,053	1,455	25.10	30.11
Jul 15 2010 10:23:15	6,214	2.49	1,029	957	30.28	5.41
Jul 15 2010 19:28:21	6,294	2.46	1,021	1,399	29.53	1.56
Jul 16 2010 07:47:06	6,287	2.45	1,029	1,371	26.98	5.86
Jul 16 2010 19:28:39	6,328	2.50	1,046	1,420	26.36	1.16
Jul 17 2010 07:41:57	6,228	2.52	1,010	1,409	27.02	2.35
Jul 17 2010 19:32:27	6,222	2.42	1,030	1,369	26.36	1.92
Jul 18 2010 07:41:48	6,323	2.43	1,070	1,428	23.07	2.18
Jul 29 2010 20:07:51	6,432	2.27	1,005	1,004	25.55	0.71
Jul 30 2010 07:46:21	6,400	2.49	1,056	1,397	24.86	0.71
Jul 30 2010 19:33:00	6,263	2.51	1,044	1,409	24.53	2.23
Jul 31 2010 08:41:48	6,253	2.49	1,010	1,257	25.93	0.92
Jul 31 2010 19:23:09	6,272	2.50	1,029	1,423	25.50	1.62
Aug 1 2010 07:43:42	6,295	2.51	1,029	1,409	21.64	0.15
Aug 1 2010 19:22:18	6,326	2.41	1,036	1,417	21.74	1.34
Aug 12 2010 07:39:15	6,449	2.51	1,010	1,408	25.39	1.26
Aug 12 2010 19:30:30	6,368	2.63	1,056	1,498	24.83	1.16
Aug 13 2010 07:19:09	6,405	2.55	1,046	1,469	24.02	2.35
Aug 13 2010 19:18:39	6,386	2.60	1,053	1,493	23.66	1.92
Aug 14 2010 07:17:03	6,248	2.53	1,060	1,455	24.59	4.05
Aug 14 2010 19:24:12	6,319	2.58	1,082	1,469	23.49	1.68
Aug 15 2010 07:22:24	6,327	2.39	1,027	1,023	20.75	0.66
Aug 26 2010 07:57:09	6,126	2.29	1,020	1,026	25.59	2.42
Aug 26 2010 19:40:24	6,184	2.55	1,047	1,443	25.42	2.23
Aug 27 2010 07:28:27	6,198	2.51	1,056	1,444	25.39	0.92
Aug 27 2010 19:29:24	6,272	2.55	1,065	1,452	24.96	3.60
Aug 28 2010 08:12:12	6,318	2.51	1,051	1,344	24.24	4.94
Aug 28 2010 19:28:57	6,284	2.49	1,076	1,413	25.86	5.23
Aug 29 2010 07:38:36	6,316	2.39	1,076	1,117	23.73	2.19
Sep 19 2010 19:38:03	6,269	2.54	1,038	1,437	23.50	13.12
Sep 20 2010 07:44:45	6,262	2.51	1,023	1,392	25.56	9.18
Sep 20 2010 19:27:00	6,294	2.49	1,071	1,430	23.11	212.12
Sep 21 2010 07:53:24	6,331	2.58	1,057	1,425	24.62	97.45
Sep 21 2010 19:31:54	6,361	2.51	1,060	1,433	22.48	45.12
Sep 22 2010 07:25:30	6,383	2.53	1,059	1,454	25.54	121.23
Sep 22 2010 19:29:36	6,365	2.39	1,064	1,416	23.10	56.76
Oct 12 2010 19:40:06	6,185	2.24	988	1,038	26.16	100.95
Oct 13 2010 07:32:45	6,288	2.49	978	1,419	25.39	78.12
Oct 13 2010 19:29:51	6,275	2.49	1,028	1,419	24.96	221.90
Oct 14 2010 07:14:00	6,248	2.48	969	1,462	25.41	32.45
Oct 14 2010 19:29:09	6,333	2.49	1,033	1,423	22.24	188.12
Oct 15 2010 07:22:15	6,323	2.45	1,008	1,421	24.62	48.54
Oct 15 2010 19:31:42	6,322	2.40	1,058	1,396	21.24	233.12
Nov 8 2010 19:50:00	6,195	2.48	979	1,365	25.23	78.56
Nov 9 2010 07:56:51	6,224	2.54	980	1,383	25.25	234.12
Nov 9 2010 19:41:42	6,193	2.48	955	1,389	24.88	111.22
Nov 10 2010 07:39:24	6,214	2.63	981	1,485	24.64	157.22
Nov 10 2010 20:00:36	6,250	2.53	1,063	1,366	24.82	171.12
Nov 11 2010 07:43:45	6,258	2.56	976	1,408	24.74	176.49
Nov 11 2010 19:41:54	6,333	2.50	1,064	1,372	25.78	134.10
Nov 28 2010 19:51:24	6,258	2.51	979	1,380	25.15	242.98
Nov 29 2010 07:37:51	6,261	2.48	980	1,403	24.09	645.23
Nov 29 2010 19:43:51	6,330	2.46	993	1,377	23.14	565.11
Nov 30 2010 07:51:21	6,315	2.50	985	1,376	24.35	134.23
Nov 30 2010 19:17:24	6,340	2.47	978	1,451	24.63	182.29
Dec 1 2010 07:54:36	6,235	2.51	1,010	1,367	23.57	275.34
Dec 1 2010 19:31:12	6,277	2.41	984	1,412	24.35	326.09

Pengaruh Perubahan Parameter Injeksi Limbah Padat Terkontaminasi Minyak Terhadap Pencemaran Lingkungan

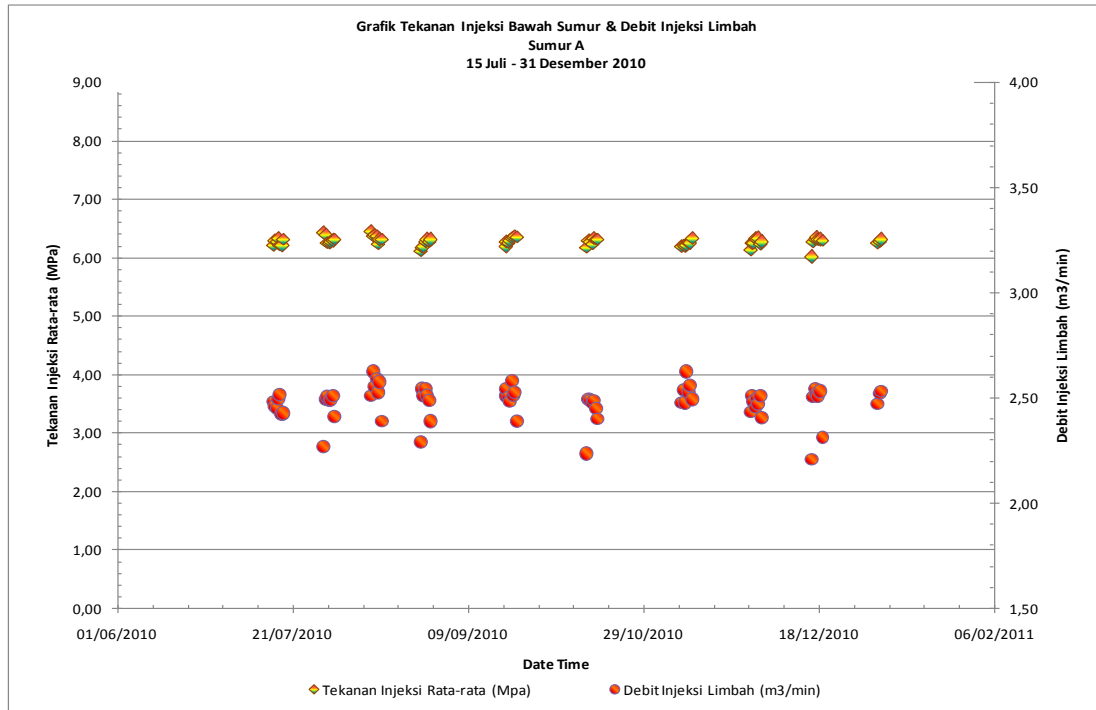


Gambar 4. Tekanan Injeksi Bawah Sumur dan Konsentrasi Limbah. (Data Survei,2010)

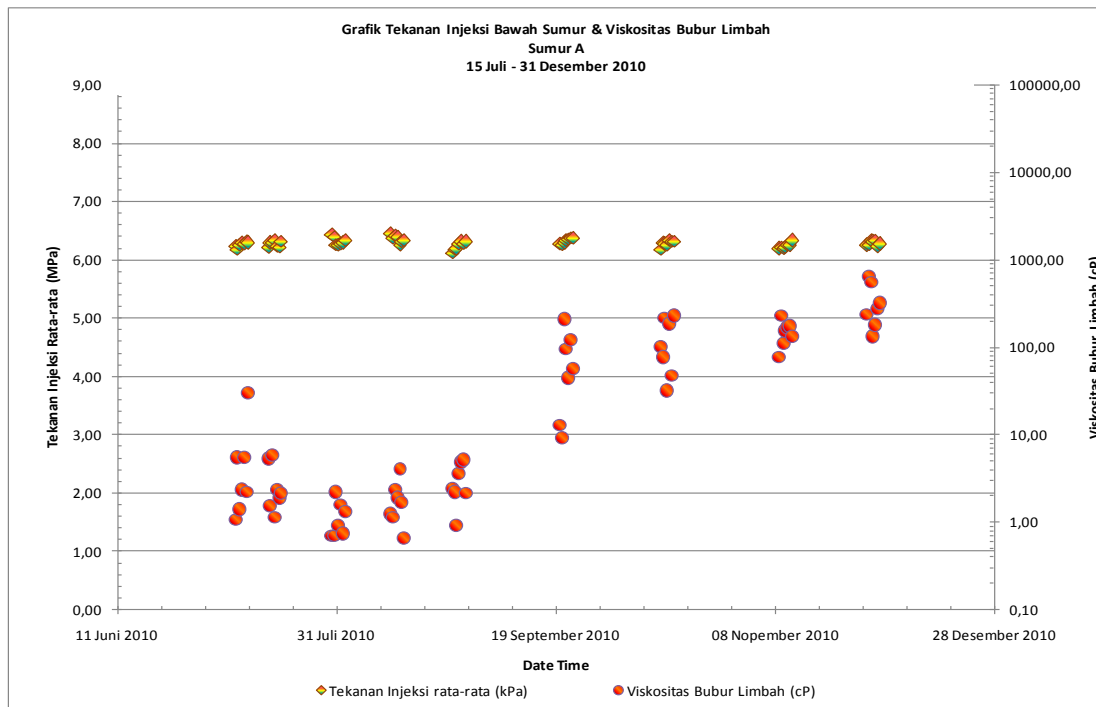


Gambar 5. Tekanan Injeksi Bawah Sumur dan Konsentrasi Volume Injeksi. (Data Survei,2010)

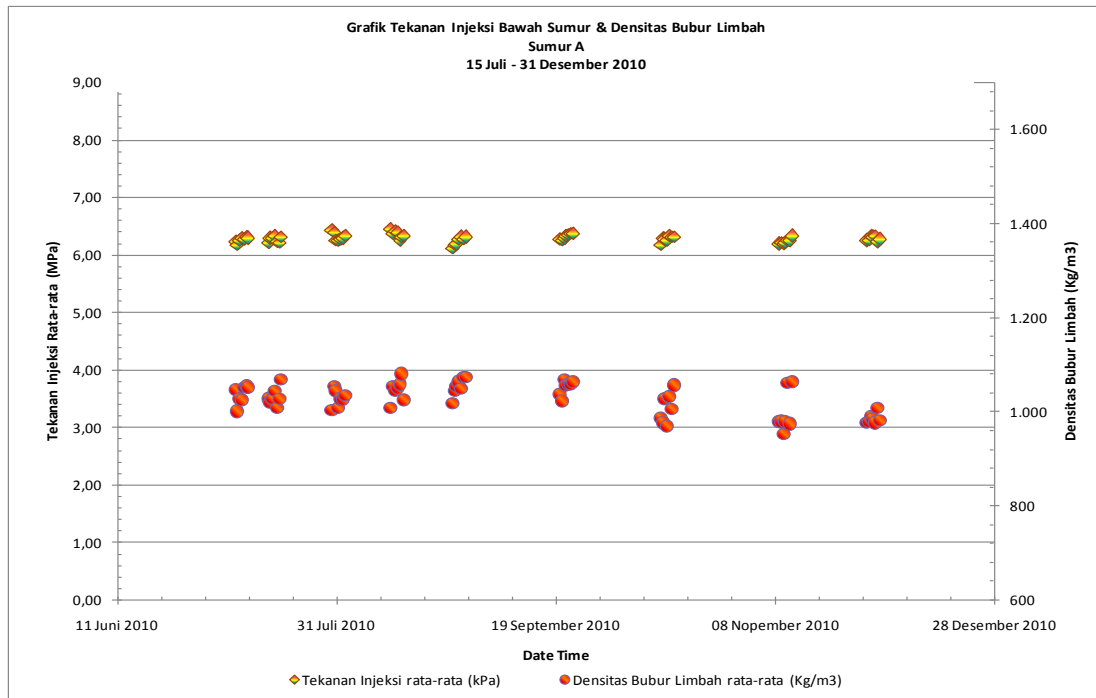
Pengaruh Perubahan Parameter Injeksi Limbah Padat Terkontaminasi Minyak Terhadap Pencemaran Lingkungan



Gambar 6. Tekanan Injeksi Bawah Sumur dan Debit Injeksi Limbah. (Data Survei,2010)

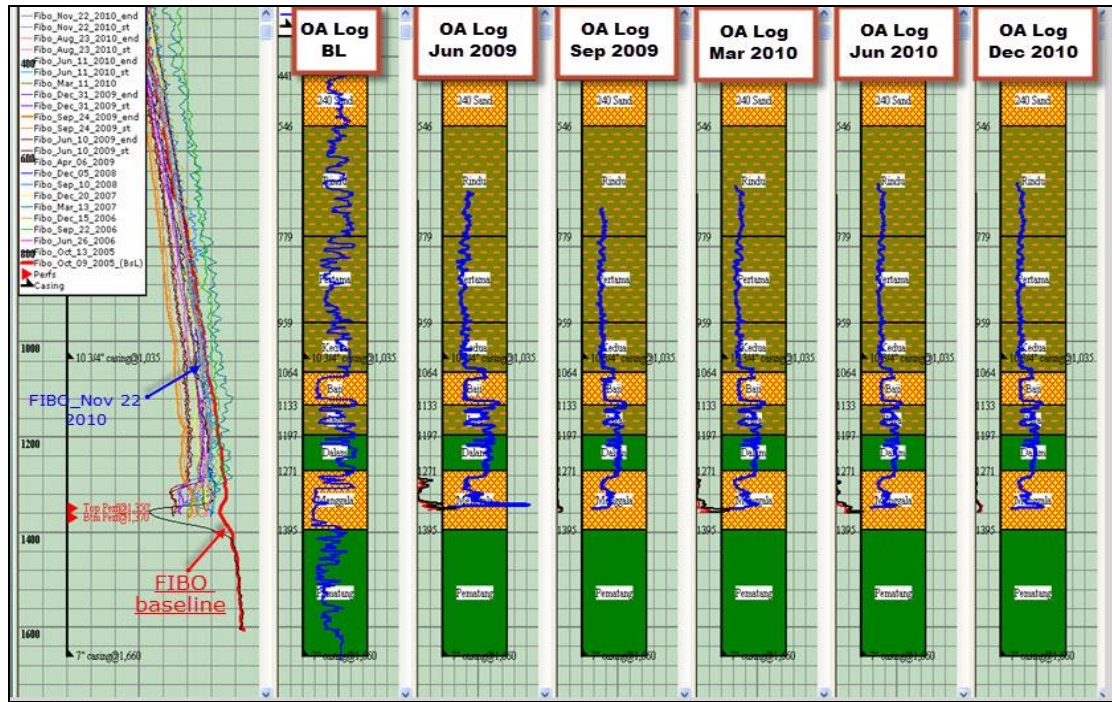


Gambar 7. Tekanan Injeksi Bawah Sumur dan Viskositas Bubur Limbah. (Data Survei,2010)



Gambar 8. Tekanan Injeksi Bawah Sumur dan Densitas Bubur Limbah. (Data Survei,2010)

Pengaruh Perubahan Parameter Injeksi Limbah Padam Terkontaminasi Minyak Terhadap Pencemaran Lingkungan



Gambar 9. Temperature Survey dan Oxygen Activation Log (Terralog report, 2010)