

PENGARUH PENAMBAHAN CaO DAN LAMA INTERAKSI TERHADAP KUALITAS AIR LIMBAH SULPHUR RECOVERY UNIT DI JOINT OPERATING BODY PERTAMINA- PETROCHINA EAST JAVA-TUBAN

EFFECT OF CAO ADDITION AND INTERACTION TIME TO QULITIES OF WASTE SULPHUR RECOVERY UNIT JOINT OPERATING BODY PERTAMINA-PETROCHINA EAST JAVA-TUBAN

Sun'am Widiyo Raharjo dan Prima Retno Wikandari*

Jurusan Kimia FMIPA, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang, Surabaya, 60231

**e-mail : sw_Rahardja@yahoo.co.id*

Abstrak. Telah dilakukan penelitian dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan CaO dan lama interaksi terhadap kualitas air limbah Sulfur Recovery Unit Joint Operating Body Pertamina-Petrochina East Java Tuban. Data dianalisis dengan statistika yaitu anova dua arah menggunakan program SPSS 19 (Statistical Product And Service Solution 19). Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan CaO dan lama interaksi memberikan pengaruh yang nyata pada nilai pH, jumlah SRB, konsentrasi sulfida, sulfat, kekeruhan dan suspended solid. Penambahan 0-0,45% berpengaruh pada semua parameter akan tetapi penambahan 0 -0,45% tidak mampu menurunkan nilai parameter yang memenuhi batas persyaratan lingkungan. Parameter SRB dengan nilai 0 CFU/mL, sulfida 0,002 mg/L, kekeruhan 9,67 NTU & suspended solid 5 mg/L telah memenuhi standart kualitas air limbah dengan konsentrasi CaO 0,60%-0,75% dengan waktu interaksi 1-4 hari. Kadar sulfat belum memenuhi syarat kualitas air limbah dengan perlakuan yang diberikan.

Kata kunci : Limbah Sulphur Recovery Unit, CaO, jumlah SRB, pH, konsentrasi sulfat, konsentrasi sulfida, kekeruhan & suspended solids.

Abstract. The research has been done to determine the effect of CaO addition and interaction time at the quality of wastewater Sulfur Recovery Unit-PPEJ JOB Tuban block . The data were analyzed by two-way ANOVA test using SPSS 19 (Statistical Product And Service Solution 19). The results showed that the addition of CaO and interaction time give significant effect on all parameter pH, the number of SRB, sulfide concentration, sulfat concentration, turbidity and suspended solids. Addition of 0 to 0.45% effect on all parameters but the addition of 0-0.45% not able to lower the value of the parameters allowed with requirements of environmental limits. SRB parameter with a value of 0 CFU / mL, sulfide 0.002 mg / L, turbidity 9.67 NTU and suspended solid 5 mg/L has allowed the quality standards of waste water with a concentration of 0.60% -0.75% CaO with interaction time 1 - 4 days. Sulfate levels do not allowed the quality requirements of waste water to the treatment given.

Keywords: Wastewater Sulfur Recovery Unit, CaO, the number of SRB, pH, Sulfat concentration, Sulfide concentration, turbidity and suspended solids.

PENDAHULUAN

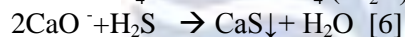
Limbah cair Sulfur Recovery Unit (SRU) adalah limbah yang berasal dari peralatan pengolahan gas H₂S. Proses pengolahan limbah dengan alat desulfurizer ini mempunyai efektifitas 96% pada gas dengan konsentrasi hidrogen sulfit 2% sehingga limbah tersebut masih mengandung sulfit, sulfat dan bahan pencemar lain dengan kadar yang tinggi. Sulfat tidak dikonversi oleh SRU.

Sehingga dapat digunakan sebagai nutrisi oleh bakteri pereduksi sulfat membentuk H₂S kembali. Terbentuknya H₂S kembali sebagai hasil metabolisme bakteri pereduksi sulfat dapat mengganggu kesehatan pekerja.

Proses pembentukan hidrogen sulfida yaitu dapat dengan reaksi berikut:
$$\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Material Organik} \xrightarrow{\text{SRB}} \text{H}_2\text{S} + 2\text{CO}_2 + 2\text{OH}^- \quad [1]$$

Selama ini terbentuknya H₂S kembali pada pengolahan limbah kurang diperhatikan dan

belum ada upaya untuk pengolahannya. Penanganan limbah dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti pengendapan, koagulasi dan flokulasi kimiawi & penyaringan. Salah satu proses pengendapan limbah dapat dilakukan dengan pengaturan pH antara lain dengan penambahan CaO yang menghasilkan gugus hidroksil yaitu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang bersifat basa kuat dan disertai panas yang tinggi [2]. Penambahan CaO dapat menaikkan pH yang menyebabkan berkurangnya bakteri pereduksi sulfat karena tidak dapat hidup diatas rentang kehidupan bakteri SRB yaitu pH 2-9[3]. pH juga dapat mempengaruhi stabilitas senyawa sulfat dan sulfida sehingga senyawa sulfida membentuk spesi-spesi senyawa lainnya terutama bisulfida yang mudah mengendap pada pH yang tinggi karena kelarutan sulfide akan lebih kecil. Penambahan Ca^{2+} dapat membuat koloid bermuatan negatif (S^{2-} & SO_4^-) dalam limbah menjadi tidak stabil (destabilisasi) dan membentuk endapan [4]. Pengendapan oleh Ca^{2+} membentuk CaSO_4 dan CaS karena kelarutan kalsium sulfat sangat kecil sekali yaitu sebesar 3×10^{-5} , sedangkan kalsium sulfit terbentuk karena kalsium sulfida sangat sedikit sekali larut dalam air.



Adanya penambahan CaO dapat memperbaiki kualitas air limbah yang meliputi pH, jumlah SRB, kadar sulfida, kadar sulfat, kekeruhan dan suspended solid serta parameter lainnya. Penurunan suspended solid dan kekeruhan ini dapat terjadi karena terjadi penurunan kadar sulfida, sulfat, jumlah bakteri SRB dan pengotor lainnya.

METODE PENELITIAN

Alat

Alat yang digunakan adalah seperangkat peralatan gelas, pH meter, pipet mikro, spektrofotometer hach DR 2800, vakum filter, vortex, autoclave, cawan petri, inkubator

Bahan

Bahan yang digunakan adalah CaO, NaCl, reagen sulfat (BaCl_2 0,2 gr.asam sitrat). reagen sulfida 1, reagen sulfida 2, Media Posgate C Agar (Na laktat, $\text{Mg} \cdot \text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NH_4Cl , KH_2PO_4 , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, Na_2SO_4 , CaCl_2 , Yeast ekstrak, glukosa dan Agar, Sodium Askorbat)

PROSEDUR PENELITIAN

Penyediaan Sampel

Sampel berupa air limbah SRU di Joint Operating Body Pertamina-Petrochina East Java. Sampel diambil secara acak dari beberapa titik di kolam penampungan air limbah SRU. Parameter uji meliputi pH, jumlah bakteri pereduksi sulfat, konsentrasi sulfida, sulfat, kekeruhan dan suspended solid.

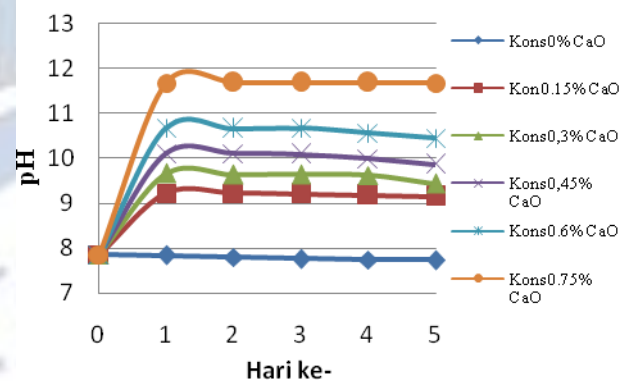
Pembuatan Batch

Sampel dimasukkan dalam gelas kimia masing-masing sebanyak satu liter. Setiap gelas ditambahkan CaO dengan konsentrasi yang berbeda, yaitu 0%, 0,15 % 0,30 % 0,45 % 0,6 % dan 0,75% (b/v). Pengujian pH, jumlah bakteri pereduksi sulfat, konsentrasi sulfida, konsentrasi sulfat, kekeruhan dan suspended solid pada 0 hari, 1 hari, 2 hari, 3 hari, 4 hari dan 5 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

pH dan Bakteri Pereduksi Sulfat

Hasil analisa penambahan CaO terhadap variabel pH dan jumlah bakteri pereduksi sulfat dapat dilihat pada Gambar 1.



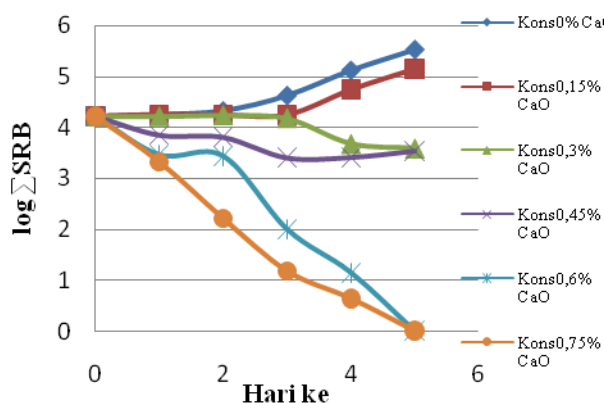
Gambar 1. Grafik nilai pH limbah SRU setelah penambahan CaO dengan berbagai konsentrasi dan lama interaksi

Pada Gambar 1. dapat diketahui penambahan CaO dan lama interaksi memberikan pengaruh terhadap nilai pH secara signifikan dengan nilai $p < 0,05$. Penambahan CaO dengan konsentrasi lebih tinggi maka semakin tinggi pula peningkatan nilai pH yang terjadi.

Pada uji lanjut Duncan menunjukkan penambahan 0,15-0,75% CaO meningkatkan nilai pH secara signifikan lebih besar dibandingkan dengan kontrol, akan

tetapi penambahan 0-0,60% CaO tersebut belum mampu mengendalikan jumlah bakteri SRB sesuai syarat lingkungan. Baru pada penambahan 0,75% CaO dapat menurunkan jumlah bakteri SRB sampai 0 CFU/mL dengan lama interaksi 5 hari. Jika ditinjau dari nilai pH, lama interaksi 1 hari tidak berbeda nyata dengan 5 hari, akan tetapi untuk menurunkan jumlah SRB diperlukan waktu kontak yang lebih lama.

Hasil analisa jumlah bakteri pereduksi sulfat (SRB) dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik jumlah bakteri SRB limbah SRU setelah penambahan CaO dengan berbagai konsentrasi dan lama interaksi.

Berdasarkan Gambar 2 dan uji statistika dapat diketahui penambahan CaO dan lama interaksi memberikan pengaruh terhadap jumlah SRB secara signifikan dengan nilai $p < 0,05$, penambahan CaO dengan konsentrasi lebih besar dapat menurunkan jumlah SRB lebih besar pula.

Berdasarkan uji Duncan dapat diketahui pada perlakuan tanpa penambahan CaO dan penambahan 0,15% CaO menunjukkan beda yang signifikan yang cenderung meningkat. Jumlah bakteri SRB kontrol mengalami peningkatan yang signifikan pada hari ke-3 sampai ke-5 hari (fase log), dengan peningkatan jumlah bakteri SRB dari $16,5 \times 10^3$ sampai dengan $34,2 \times 10^4$ CFU/mL. Peningkatan jumlah bakteri SRB ini didukung dengan kondisi larutan berada pada kisaran pH kehidupan bakteri SRB, yaitu kisaran pH 7,85-7,73. Penambahan 0,15% CaO menunjukkan beda nyata pada hari ke-4 sampai hari ke-5 populasi bakteri SRB mengalami peningkatan

yang signifikan yaitu 56×10^3 CFU/mL sampai dengan $14,4 \times 10^4$ CFU/mL.

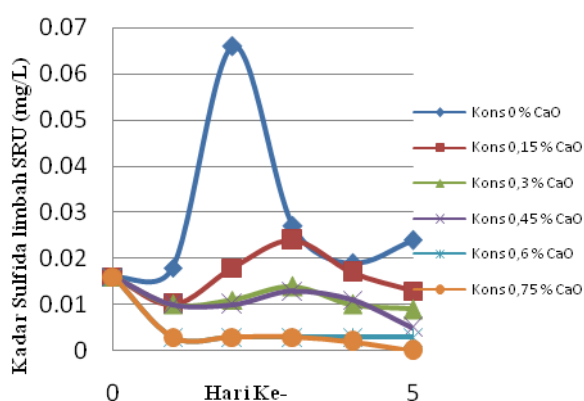
Penambahan 0,3 % CaO terbukti mampu menurunkan jumlah populasi bakteri SRB menjadi lebih kecil dibandingkan dengan pada penambahan 0,15% dan kontrol dengan jumlah SRB terendah pada hari ke-4, dan pada hari selanjutnya tidak menunjukkan penurunan yang berbeda secara signifikan. Walaupun terjadi penurunan, nilai jumlah bakteri SRB belum memenuhi persyaratan lingkungan.

Penambahan 0,45-0,75% CaO terbukti mampu menurunkan jumlah populasi SRB secara signifikan lebih kecil dibandingkan dengan penambahan 0,15% dan kontrol, dan tidak berbeda dengan penambahan 0,30% pada hari ke-4. Penambahan 0,45-0,75 % CaO pada lama interaksi menunjukkan perbedaan yang signifikan hanya dengan 1 hari interaksi. Penurunan jumlah bakteri SRB memenuhi syarat lingkungan yaitu dari $16,5 \times 10^3$ CFU/mL sampai dengan 0 CFU/mL dapat dicapai pada penambahan 0,75% CaO dengan lama interaksi 5 hari, sedangkan nilai jumlah bakteri SRB lainnya belum memenuhi syarat lingkungan. Penurunan jumlah bakteri SRB secara signifikan menandakan bahwa bakteri SRB tidak dapat bertahan karena terjadi lisis pada membran bakteri akibat tekanan osmotik diluar membran dan didalam membran bakteri SRB yang diakibatkan pengaruh pH[8].

Berdasarkan uraian diatas, dapat disimpulkan bahwa perlakuan terbaik untuk menurunkan populasi bakteri SRB terdapat pada penambahan 0,75% CaO dengan lama interaksi 5 hari.

Sulfida

Kadar sulfida yang diperoleh dari penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil analisa sulfida limbah SRU setelah penambahan CaO dengan berbagai konsentrasi dan lama interaksi

Berdasarkan Gambar 3 dan uji statiska dapat diketahui penambahan CaO dan lama interaksi memberikan pengaruh terhadap kadar sulfida secara signifikan dengan nilai $p < 0,05$. Penambahan CaO dengan konsentrasi lebih besar, maka semakin besar pula penurunan konsentrasi sulfida.

Berdasarkan Gambar 4 dan Uji Duncan kadar sulfida tanpa penambahan 0% CaO dan penambahan 0,15% CaO masih berpengaruh meningkatkan kadar sulfida pada limbah.

Peningkatan kadar sulfida kontrol paling tinggi terjadi pada hari ke-2 yaitu dan sampai dengan 0,067 mg/L. Sedangkan peningkatan sulfida pada penambahan 0,15% CaO terjadi pada hari ke-3 yaitu mencapai kisaran 0,0240 mg/L.

Pada penambahan 0,3% - 0,45% CaO terbukti berpengaruh menurunkan kadar sulfida menjadi lebih kecil dibandingkan dengan penambahan CaO 0,15% CaO dan kontrol yaitu cenderung dengan membentuk endapan CaS. Penambahan 0,3% - 0,45% CaO mempunyai nilai yang tidak berbeda secara signifikan dalam waktu 5 hari. Hal ini didukung dengan jumlah populasi SRB pada penambahan 0,3% - 0,45% CaO yang menurun secara lambat.

Penambahan 0,6% CaO dan penambahan 0,75% CaO terbukti berpengaruh menurunkan kadar sulfida menjadi lebih kecil dibandingkan dengan semua perlakuan lainnya dengan lama interaksi 1 hari hingga mencapai 0,003 mg/L. Penambahan 0,6% dan 0,75% CaO dalam 5 hari tidak memberikan perbedaan signifikan. Oleh karena itu penambahan 0,75% CaO tidak cukup efektif

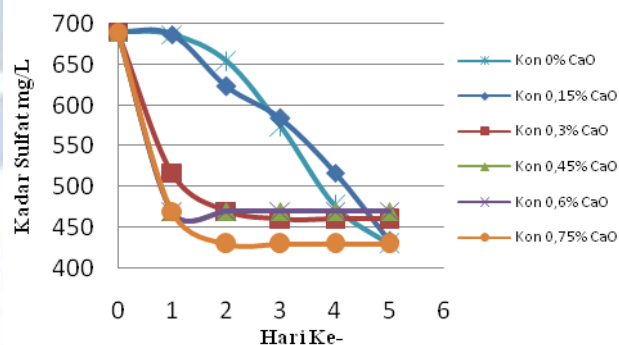
untuk menurunkan nilai sulfida karena membutuhkan penambahan CaO yang lebih besar, sehingga penambahan 0,60% CaO dengan interaksi 1 hari merupakan perlakuan yang cukup efektif. Hal ini ditunjang dengan penurunan yang signifikan pada jumlah bakteri SRB pada penambahan 0,6% dan 0,75% CaO.

Berdasarkan uraian diatas, dapat disimpulkan bahwa penurunan kadar sulfida terbaik pada perlakuan penambahan 0,6% CaO dengan lama interaksi cukup 1 hari.

Berdasarkan pemerintah pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 tahun 2001 dan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Kep.51/MENLH/10/1995 baku mutu kualitas air dan pengendalian pencemaran air dengan nilai ambang batas kandungan sulfida $< 0,01$ mg/L. Nilai sulfida pada perlakuan kontrol, penambahan 0,15% - 0,45% belum memenuhi syarat baku mutu sedangkan pada perlakuan yang lain telah memenuhi standar baku mutu limbah cair (air golongan III) yaitu kurang dari 0,01 mg/L.

Sulfat

Kadar sulfat yang diperoleh dari penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil analisa sulfat limbah SRU setelah penambahan CaO dengan berbagai konsentrasi dan lama interaksi

Berdasarkan Gambar 4. dan uji statiska dapat diketahui penambahan CaO dan lama interaksi berpengaruh terhadap kadar sulfat secara signifikan dengan nilai $p < 0,05$. Penambahan CaO dengan konsentrasi semakin besar maka semakin besar pula penurunan kadar sulfat.

Hasil analisis statistika uji Duncan penambahan CaO 0% dan penambahan 0,15% CaO tidak menunjukkan perbedaan secara

signifikan, sedangkan penurunan kadar sulfat yang kontinu sampai dengan 430 mg/L pada hari ke-3 sampai ke-5 terjadi sulfat direduksi oleh bakteri SRB. Hal ini didukung dengan jumlah populasi bakteri SRB yang naik sampai hari ke-5.

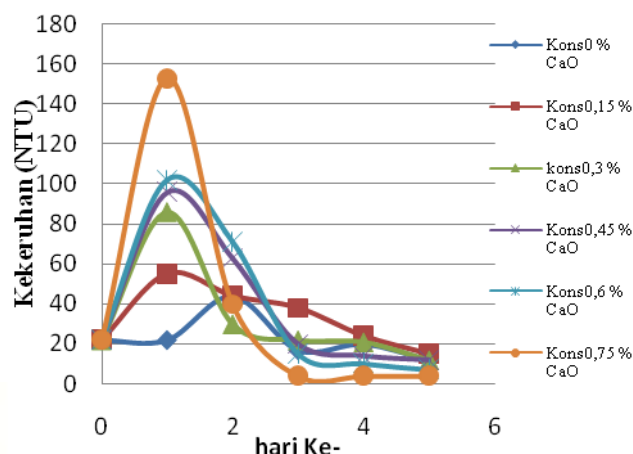
Penambahan 0,3%-0,75% CaO terbukti mampu menurunkan kadar sulfat lebih kecil dibanding kontrol dan penambahan 0,15% CaO. Penambahan 0,75% yang menunjukkan penurunan sulfat paling besar dengan lama interaksi 2 hari, yaitu mencapai 430 mg/L, hal ini dikarenakan Ca^{2+} yang terbentuk baru sepenuhnya bereaksi dengan ion sulfat dan pH tinggi yang mendukung terjadinya pengendapan, yaitu kisaran 11,67-11,68. Hal ini didukung dengan penelitian Sudjono yang menyatakan bahwa kondisi basa dapat mempercepat pengendapan kalsium sulfat [9].

Perlakuan terbaik menurut hasil penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa penurunan kadar sulfat terbaik terdapat pada penambahan 0,75% dengan lama interaksi 2 hari.

Kadar sulfat sampel belum memenuhi nilai ambang batas yang ditetapkan pemerintah pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 tahun 2001 dan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Kep.51/MENLH/10/1995 baku mutu kualitas air dan pengendalian pencemaran air batas maksimal kandungan sulfat yang masih diperbolehkan adalah 400 mg/L. Nilai kadar sulfat tersebut agar memenuhi persyaratan kualitas air sehingga perlu dilakukan pengendalian pencemaran yang lebih lanjut karena dengan perlakuan yang diatas hanya mampu menurunkan kadar sulfat hingga 430 mg/L.

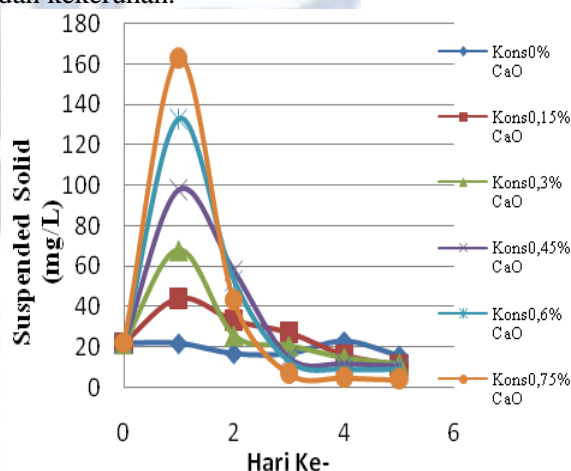
Suspended Solid dan Kekeruhan

Suspended solid dan kekeruhan air limbah SRU dapat dilihat pada Gambar 5. dan Gambar 6.



Gambar 5. Hasil analisa kekeruhan limbah SRU setelah penambahan CaO dengan berbagai konsentrasi dan lama interaksi

Berdasarkan Gambar 5 dan Gambar 6, uji statiska dapat menunjukkan penambahan CaO dan lama interaksi berpengaruh terhadap suspended solid dan kekeruhan secara signifikan dengan nilai $p < 0,05$. Penambahan CaO dengan konsentrasi semakin besar maka semakin besar pula penurunan suspended solid dan kekeruhan.



Gambar 6. Hasil analisa suspended solid limbah SRU setelah penambahan CaO dengan berbagai konsentrasi dan lama interaksi

Meskipun sebenarnya nilai suspended solid dan kekeruhan telah memenuhi persyaratan lingkungan, suspended solid dan kekeruhan masih mengalami penurunan akibat penurunan kadar sulfida, sulfat, jumlah SRB.

Pada penambahan 0-0,45% CaO memberikan perbedaan yang tidak signifikan terhadap nilai suspended solid dan kekeruhan, hal ini dikarenakan zat penyusun suspended solid dan kekeruhan (konsentrasi sulfida,

konsentrasi sulfat dan bakteri SRB) terjadi penurunan yang kecil.

Penambahan 0,6% CaO dan penambahan 0,75% CaO terbukti berpengaruh menurunkan nilai suspended solid dan kekeruhan dibandingkan semua perlakuan lainnya. Nilai kekeruhan paling rendah terdapat pada penambahan 0,75% CaO dengan lama interaksi 4 hari yaitu 5 NTU, hal ini terjadi karena penurunan konsentrasi sulfida, sulfat dan jumlah bakteri SRB yang merupakan zat anorganik dan organik penyusun suspended solid. Nilai suspended solids paling rendah terdapat pada penambahan 0,60% CaO dengan lama interaksi 4 hari yaitu 9,67 mg/L, hal ini terjadi karena penurunan konsentrasi sulfida dan sulfat yang merupakan zat anorganik penyusun suspended solid [10].

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka pada penelitian ini diperoleh simpulan sebagai berikut:

- Ada pengaruh penambahan CaO terhadap pH limbah Sulfur Recovery Unit. Berdasarkan penelitian penambahan konsentrasi CaO dan lama interaksi dapat menaikkan pH. pH terbaik untuk mengontrol pertumbuhan bakteri SRB terdapat pada penambahan 0,75% dalam interaksi 1 hari dan tidak berbeda secara nyata hingga 5 hari.
- Ada pengaruh penambahan CaO dan lama interaksi terhadap jumlah bakteri pereduksi sulfat (total SRB) limbah Sulfur Recovery Unit. Perlakuan terbaik didapatkan pada penambahan 0,75% dengan interaksi waktu 5 hari.
- Ada pengaruh penambahan CaO terhadap konsentrasi sulfida limbah Sulfur Recovery Unit Berdasarkan penelitian penambahan konsentrasi CaO dan lama interaksi dapat menurunkan konsentrasi sulfida. Kadar sulfida terbaik terdapat pada penambahan 0,6% dengan lama interaksi 1 hari telah memenuhi syarat lingkungan
- Ada pengaruh penambahan CaO terhadap konsentrasi sulfat limbah Sulfur Recovery Unit. Berdasarkan

penelitian penambahan konsentrasi CaO dan lama interaksi dapat menurunkan kadar sulfat. Kadar sulfat terbaik terdapat pada penambahan 0,75% dengan lama interaksi 2 hari dengan nilai rata-rata 430 mg/L, sksn tetapi masih belum memenuhi persyaratan lingkungan.

- Ada pengaruh penambahan CaO terhadap kekeruhan limbah Sulfur Recovery Unit. Berdasarkan penelitian penambahan konsentrasi CaO dan lama interaksi menurunkan kadar kekeruhan. Kekeruhan terbaik terdapat pada penambahan 0,60% dengan lama interaksi 4 hari dan telah memenuhi syarat lingkungan.
- Ada pengaruh penambahan CaO terhadap padatan terlarut pada limbah Sulfur Recovery Unit. Berdasarkan penelitian penambahan konsentrasi CaO menurunkan kadar padatan terlarut terbaik terdapat pada penambahan 0,75% dengan lama interaksi 4 hari dan telah memenuhi syarat lingkungan.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan. Terdapat beberapa saran sebagai berikut:

- Perlu diteliti tentang pengaruh suhu pada penambahan CaO dan lama interaksi yang lebih besar terhadap kualitas air limbah Sulfur Recovery Unit.
- Perlu diteliti mengenai penambahan konsentrasi CaO yang lebih besar untuk menurunkan kadar sulfat pada limbah SRU.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Joint Operating Body Pertamina-Petrochina East Java yang telah memberikan izin pada penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Nengkoda, Ardian. 2006. Integrated Water Chemistry Study to Support Oil Field Development Scenario: *Journal Of The Indonesian Oil and Gas Shell*

- Petroleum Development.Oman.(2):55-64.
2. Budi, Sudi Setya. 2006. *Penurunan Kadar Fosfat Dengan Penambahan Kapur (Lime), Tawas Dan Filtrasi Zeolit Pada Limbah Cair (Studi Kasus Rs Bethesda Yogyakarta).Tesis yang dipublikasikan.Semarang. Universitas Diponegoro.*
 3. Hanum, Farida.2002. *Proses Pengolahan Air Sungai untuk Keperluan Air Minum.Skripsi yang dipublikasikan. USU. Sumatra Utara.*
 4. Alimi, F. Elfil, H, Gadri. A. 2003.Kinetics of precipitation of calcium sulfate dihidrat in desalination unit.Tunisia. Institut National de Recherche Scientifique et Technique.*Desalination.*(57) :9-16
 5. Wang, De Ming. 2008. Breakthrough Behaviour of H₂S Removal with an Iron Oxide based CG-4 Adsorbent in a fixed-Bed reactor. *Thesis*Saskatoon: Departement of Chemical Engineering.Saskatchewan
 6. Yusron, Muchamad.2009.*Pengolahan Air Asam Tambang Menggunakan Biofilm Bakteri Pereduksi Sulfat.Tesis yang dipublikasikan, IPB.Bogor*
 7. Kusnadi dkk. 2003. *Common Text Mikrobiologi*.JICA IMSTEP. Jakarta
 8. Saida.2001.*Karakterisasi Dan Uji Aktivitas Isolate Bakteri Pereduksi Sulfat Asal Ekosistem Air Hitam, Kalimantan Tengah.* Skripsi yang dipublikasikan. IPB. Bogor.
 9. Sudjono, 2008. Pengaruh Kualitas Air Terhadap Pembentukan Kerak CaSO₄ Pada Unit Proses.*Korosi*,(17) No 2. 57-64
 10. AryaWardhana, Wisnu. 2001. *Dampak Pencemaran Lingkungan.* Yogyakarta: Andi.