

POTENSI DAUR ULANG AIR LIMBAH INDUSTRI POLIMER POLIPROPILEN

POTENTIAL RECYCLING OF INDUSTRIAL EFFLUENT FROM POLYPROPYLENE MANUFACTURING

Muhammad Romli¹⁾, Suprihatin^{1)*}, Arion Said²⁾, Andina Bunga Lestari³⁾

¹⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB
Kampus IPB Darmaga, P.O.Box 220, Bogor
Email : suprihatin@indo.net.id

²⁾PT Tripolyta Indonesia, Tbk., Cilegon Banten

³⁾Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Lingkungan, Sekolah Pascasarjana IPB

ABSTRACT

The objectives of this experimental work were to determine the recycling method of and to analyze potential benefits derived from wastewater generated from the manufacturing of polymeric poly propylene. The industry consumes 27 m³/hour of groundwater; half of it is processed further to demineralized water which then more than half is used for cooling process in the pelletizing unit. This process produces effluent that contains dissolved and particulate matters, especially dust of polymer. The effluent is so far discharged to the sea after minimum treatment to reduce particulate content. Recycling of the effluent back to the pelletizing process is expected to reduce the overall of water usage. Standard quality of water mainly pH, conductivity, silicone dioxide and Total Suspended Solid (TSS) must be met for this recycling purpose. The laboratory analysis of the effluent show that except for the pH which was slightly decreasing, the other three parameters are significantly increasing. Considering the characteristics of the effluent, an experiment is set up to evaluate the feasibility of filtration technique to treat the effluent to an acceptable degree of quality. The filters made of stainless steel having pore size of 13, 100, 125, 200, 250 and 325 μm with the diameter of 24 cm were used to filter the effluent at the temperatures of 30, 50, and 70 °C. The results show that pore size and the process temperature do not significantly affect the pH and conductivity, but considerably reduce the silicone dioxide and TSS contents. Pore size of 325 μm leads to silicon dioxide content of above 0.1 mg/L (violating standard), whereas the rest meeting the standard. The smaller the pore size the lower the TSS content of the effluent, but only filters with pore size of 13, 100, and 125 μm can satisfy the standard of TSS content being close to zero. Pore size of 13 produces effluent with the lowest conductivity of 8.74 ± 0.06 μS/cm which is slightly less than the standard of below 10 μS/cm. This indicates the need for the treated effluent to be mixed with fresh demineralized water in order to be used safely. The ratio of the treated effluent to fresh demineralized water of 5:1 is the optimum composition to meet the standard of conductivity value and the potential saving derived from the recycling. A number of benefits obtained from the recycling include saving on the water usage (43%), chemical usage (43%), electricity (42%) which adds up to a reduction of 39% of overall cost of demineralized water production, and a reduction of 14 kg/day of solid waste to the environment.

Keywords: reuse, recycling, wastewater, polypropylene manufacturing, filtration, effluent.

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan metode daur ulang limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi polimer polipropilen dan menganalisa potensi manfaat yang dihasilkannya. Industri mengkonsumsi 27 m³/jam air tanah, setengahnya diproses lebih lanjut menjadi air demineral. Lebih dari setengah air demineral ini digunakan untuk proses pendinginan dalam unit pembuatan pellet plastik. Proses ini menghasilkan efluen yang mengandung bahan-bahan terlarut dan partikulat, terutama debu polimer. Efluen selama ini dibuang ke laut setelah sekedarnya melalui pemisahan padatan. Daur ulang efluen kembali ke unit proses pembuatan pelet diharapkan menghasilkan penurunan konsumsi air secara keseluruhan. Standar mutu air terutama pH, konduktivitas, silikon dioksida dan TSS harus dipenuhi untuk tujuan ini. Hasil analisa laboratorium terhadap efluen menunjukkan bahwa kecuali pH yang nilainya sedikit menurun, ketiga parameter lainnya meningkat secara nyata. Memperhatikan karakteristik efluen tersebut, suatu percobaan dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan teknik filtrasi untuk menangani efluen dengan kualitas yang dapat diterima. Filter terbuat dari baja tahan karat dengan ukuran saringan mulai dari 13, 100, 125, 200, 250, dan 325 μm dengan diameter 24 cm digunakan untuk menyaring efluen pada suhu 30, 40, dan 70 °C. Hasilnya memperlihatkan bahwa ukuran saringan dan suhu tidak secara nyata mempengaruhi nilai pH dan konduktivitas, tetapi menurunkan kandungan silikon dioksida dan TSS. Ukuran saringan 325 μm menghasilkan silikon dioksida di atas 0,1 mg/L (melewati standar), sedangkan ukuran selainnya memenuhi standar. Semakin kecil ukuran

*Penulis untuk korespondensi

saringan semakin rendah kandungan TSS dalam efluen, tetapi hanya filter-filter dengan ukuran saringan 13, 100, dan 125 μm yang dapat memenuhi standar TSS dengan nilai mendekati nol. Ukuran saringan 13 μm menghasilkan efluen dengan nilai konduktivitas terendah yaitu $8,74 \pm 0,06 \mu\text{S/cm}$, tetapi nilai ini terlalu dekat dengan standar yaitu kurang dari $10 \mu\text{S/cm}$. Ini menunjukkan adanya kebutuhan bagi limbah yang sudah ditangani tersebut untuk dicampur dengan air demineral segar agar dapat digunakan secara aman. Rasio air limbah terolah dengan air demineral segar 5:1 merupakan nilai kompromi yang optimum agar standar konduktivitas terpenuhi sekaligus mendapatkan potensi penghematan dari proses daur ulang ini. Sejumlah manfaat dihasilkan dari daur ulang ini, meliputi penghematan pemakaian air (43%), pemakaian bahan kimia (43%), listrik (42%) yang kesemuanya setara dengan 39% reduksi biaya produksi air demineral dan juga manfaat berkurangnya beban buangan limbah padat ke lingkungan sebesar 14 kg/hari.

Kata kunci: daur ulang, air limbah, industri polipropilena, filtrasi, efluen.

PENDAHULUAN

Salah satu pendekatan yang dinilai lebih efektif untuk pengelolaan lingkungan industri adalah produksi bersih (*cleaner production*), yaitu suatu pendekatan pengelolaan lingkungan yang terintegrasi dan bersifat preventif untuk proses, produk, dan jasa guna meningkatkan efisiensi dan menurunkan resiko terhadap manusia dan lingkungan. Berbeda dengan pendekatan pengendalian polusi secara tradisional (*end of pipe*) yang menangani limbah setelah terbentuk (bersifat reaktif), produksi bersih bersifat proaktif, antisipatif dan preventif. Produksi bersih, dan strategi yang bersifat preventif lainnya seperti eko-efisiensi, produktivitas hijau (*green productivity*) dan pencegahan pencemaran (*pollution prevention*) dewasa ini menjadi opsi yang lebih disukai oleh kalangan industri untuk pengelolaan lingkungan. Strategi ini membutuhkan pengembangan, dukungan dan implementasi (APINI dan UNEP, 2008).

Produksi bersih telah terbukti efektif di berbagai negara maju seperti di Austria, Amerika Serikat, Swedia, Inggris dan Belanda (APINI dan UNEP, 2008). Produksi bersih saat ini dan di masa mendatang akan semakin populer dikarenakan praktek pengendalian pencemaran yang ada saat ini tidak dapat sepenuhnya memenuhi persyaratan lingkungan yang semakin meningkat. Dengan alasan tersebut, berbagai jenis industri manufaktur memasukkan produksi bersih ke dalam perencanaan strategis, penelitian dan pengembangan proses produksinya (APINI dan UNEP, 2008). Pendekatan produksi bersih dinilai sebagai suatu *win-win solution* bagi industri dan lingkungan karena dapat memberikan keuntungan ekonomi berupa pengurangan kehilangan bahan dan energi. Untuk mengimplementasikan produksi bersih, peluang-peluang produksi bersih dalam industri polimer polipropilen diidentifikasi, mencakup perbaikan input, reduksi konsumsi air, reduksi beban limbah cair, reduksi konsumsi energi, pemanfaatan hasil samping, dan reduksi bahan penolong/tambahan. Secara umum, identifikasi peluang produksi bersih difokuskan dengan prioritas pada optimasi (setiap tahapan) proses, *internal recycling* dan *eksternal*

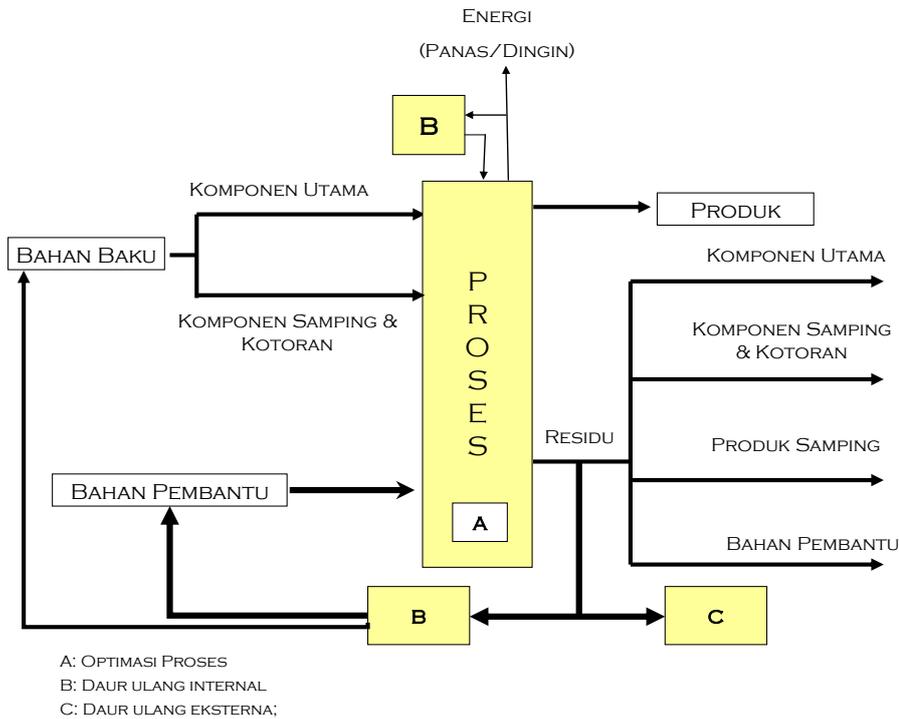
recycling sebagaimana ditunjukkan oleh skema pada Gambar 1.

Berbagai kajian menunjukkan produksi bersih memiliki potensi besar untuk diterapkan di berbagai jenis industri, misalnya industri pengolahan ikan (Suprihatin dan Romli, 2009), industri gula (Tewari *et al.*, 2007), industri karet (Leong *et al.*, 2003), dan industri pulp dan kertas (Suprihatin, 2007; Tewari *et al.*, 2009). Penggunaan ulang dan daur ulang air merupakan salah satu opsi produksi bersih yang memiliki potensi besar (CIWEM, 2007). Suprihatin (2009) menyajikan peluang dan kendala penggunaan air daur ulang berdasarkan hasil penelitian dan pengalaman dari berbagai negara, yang mencakup jenis polutan dalam air limbah, perkembangan teknologi pengolahan air, tipe daur ulang air limbah, studi kasus dari berbagai negara, kendala pemanfaatan air daur ulang, dan beberapa rekomendasi pemanfaatan air daur ulang untuk situasi di Indonesia.

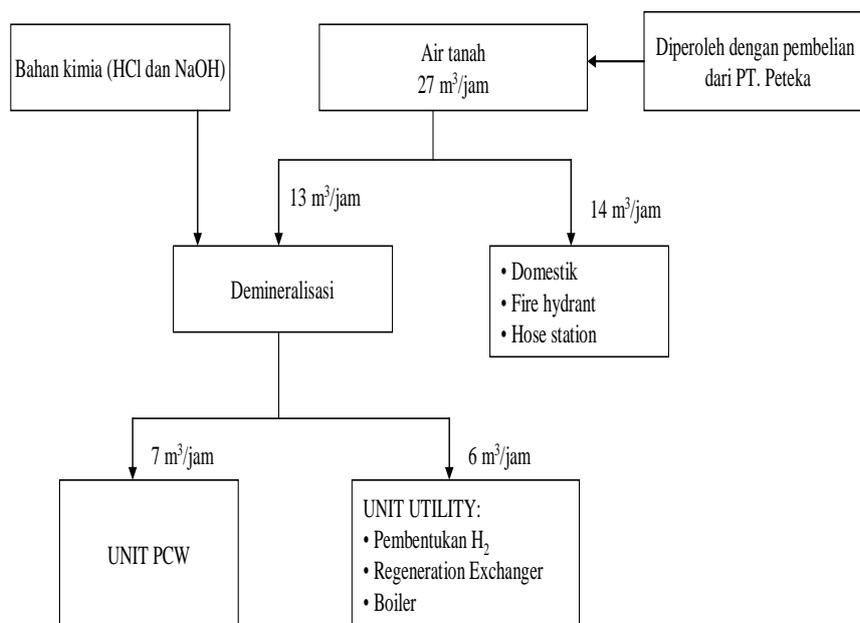
Salah satu sumberdaya yang digunakan dalam jumlah besar pada kegiatan industri polimer sintetik adalah air. Selain untuk keperluan keseharian, dalam industri polimer sintetik air terutama digunakan pada berbagai unit operasi atau proses utama maupun pendukung, misalnya proses pembuatan H_2 , regenerasi *exchanger*, *boiler*, atau sebagai air pendingin. Sebagian unit operasi menggunakan air dengan persyaratan kualitas tertentu, misalnya bebas ion atau air demineral (air bebas mineral). Hasil observasi lapang dan data sekunder (PT. Tripolyta Indonesia Tbk. 2000, 2007) menunjukkan kebutuhan air PT. Tripolyta Indonesia (PT. TPI) sebanyak $27 \text{ m}^3/\text{jam}$ yang digunakan untuk seluruh kegiatan operasional pabrik (Gambar 2). Air ini diperoleh dengan cara membeli dari PT. Peteka Karya Tirta (PKT). Air yang dibutuhkan pada unit proses PCW adalah air demineral yang diperoleh melalui proses demineralisasi. Proses demineralisasi adalah proses penghilangan atau pengurangan mineral-mineral yang terkandung di dalam air baku. Proses demineralisasi membutuhkan biaya yang besar karena proses ini membutuhkan energi (listrik) serta penggunaan bahan kimia (HCl dan NaOH). Unit proses PCW

menghasilkan sisa buangan berupa air limbah dan limbah padat. Setelah melalui proses pemisahan padatan dan cairan, air limbah dibuang ke badan air (laut). Air limbah yang dibuang masih bercampur dengan limbah padat berupa serpihan bekas

pemotongan pelet polipropilena (*dust*) dan dapat mencemari lingkungan apabila tidak dilakukan pengolahan dengan baik.



Gambar 1. Skema titik identifikasi peluang produksi bersih (A. Optimasi proses, B. Daur ulang internal, dan C. Daur ulang eksternal)



Gambar 2. Neraca penggunaan air

Penghematan air dapat dilakukan antara lain dengan menggunakan kembali air limbah pada berbagai industri, terutama industri yang menggunakan air dalam jumlah besar. Penggunaan ulang air limbah menjadi bagian penting dari usaha-usaha untuk menyeimbangkan antara kebutuhan dan pasokan yang dapat membawa manajemen sumberdaya air kearah yang lebih berkesinambungan (Greene, 2007). Penggunaan ulang dan daur ulang air limbah telah lama menjadi perhatian, tetapi baru dalam dekade belakangan ini banyak direalisasikan. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan air yang meningkat secara drastis, peningkatan polusi sumber air dan laju urbanisasi tinggi yang menekan siklus air secara alami (Vigneswaran dan Sundaravadivel, 2004). Beberapa industri besar telah mengadopsi berbagai tingkatan daur ulang air limbah yang dihasilkannya atas dasar berbagai pertimbangan, antara lain alasan ekonomis, sosial dan lingkungan.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis peluang efisiensi penggunaan air melalui usaha penggunaan air limbah melalui kegiatan: i) karakterisasi proses produksi, ii) karakterisasi air limbah, iii) identifikasi alternatif penggunaan kembali air limbah beserta teknologi pengolahan yang diperlukan, dan iv) analisis biaya dan manfaat penerapan alternatif tersebut.

METODE PENELITIAN

Kerangka Pemikiran

Tingkat kelayakan penghematan penggunaan air melalui penggunaan kembali (*reuse*) yang dapat dilakukan tergantung pada berbagai faktor seperti jenis industri dan teknologi proses yang diterapkan. Aplikasi teknologi dengan tujuan pengelolaan kebutuhan juga dipengaruhi oleh faktor kepedulian

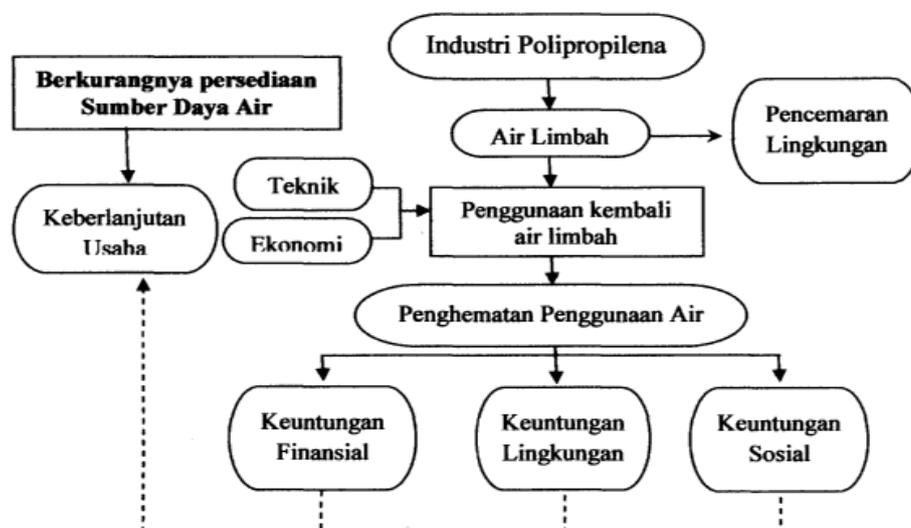
pemakai dan insentif ekonomi (Lekkas *et al.*, 2008). Oleh karena itu, untuk memformulasikan strategi penghematan air perlu dilakukan kajian yang komprehensif dengan memperhatikan biaya dan manfaat yang dapat diperoleh, baik melalui pertimbangan aspek teknis/teknologis, finansial maupun sosial/lingkungan. Berbagai pendekatan evaluasi kelayakan penggunaan ulang air limbah dilaporkan di dalam literatur (AWWA, 2005). Penelitian ini dilakukan dengan kerangka pemikiran sebagaimana disajikan pada Gambar 3.

Pengumpulan data

Penelitian ini dilakukan di PT. Tripolyta Indonesia, Tbk (PT. TPI) Jl. Raya Anyer Km.123, Ciwadan Cilegon Banten. Industri ini merupakan salah satu produsen biji plastik polipropilena terbesar di Indonesia. Secara keseluruhan kapasitas produksi sekitar 380.000 ton bijih plastik per tahun (PT. Tripolyta Indonesia Tbk, 2007).

Jenis data yang dikumpulkan pada penelitian ini mencakup data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui kegiatan survei limbah industri dan analisis laboratorium. Data sekunder diperoleh melalui studi pustaka, dokumen hasil studi dan data pendukung lainnya baik dari perusahaan maupun dari pustaka yang relevan dengan penelitian.

Survei limbah industri dilakukan dengan menggunakan pendekatan produksi bersih (APINI dan UNEP, 2008) untuk mengidentifikasi sumber air limbah dan karakteristiknya dan alternatif-alternatif konservasi sumberdaya, khususnya sumberdaya air. Survei limbah industri didesain untuk dapat membuat neraca massa dan aliran untuk seluruh proses yang menggunakan air dan menghasilkan air limbah, serta untuk mengetahui variasi karakteristik air limbah.



Gambar 3. Skema kerangka pemikiran penelitian

Hasil survei digunakan untuk menentukan kemungkinan upaya konservasi air dan penggunaannya kembali. Prosedur survei limbah industri meliputi pembuatan peta proses dan aliran bahan untuk mengidentifikasi kemungkinan titik-titik sampling dan memperkirakan laju alir, menentukan jadwal waktu sampling dan analisis laboratorium, pembuatan neraca bahan dan aliran mencakup semua sumber air limbah yang utama.

Penelitian difokuskan pada unit PCW (*Pellet Cooling Water*) yang merupakan penghasil utama air limbah yang berpotensi untuk digunakan kembali. Sampel diambil dari saluran akhir tanki PCW. Pengambilan sampel dilakukan setiap 3 jam dengan jangka waktu 24 jam. Parameter fisik dan kimia yang dianalisa mencakup debit, suhu, pH, konduktifitas, TSS dan kadar silika (SiO_2).

Percobaan pengolahan air limbah

Pada tahapan ini dilakukan penelitian penanganan air limbah guna meningkatkan kualitasnya sehingga memenuhi persyaratan untuk penggunaan ulang. Berdasarkan hasil analisis laboratorium dan analisis teoritis terhadap karakteristik polutan utama yang terdapat dalam air limbah, maka ditentukan metode filtrasi sebagai teknik penanganan yang akan dikaji lebih lanjut. Penyaringan dilakukan dengan berbagai variasi ukuran saringan (13, 100, 125, 200, 250 dan 325 μm) dan variasi suhu (30, 50, dan 70 $^\circ\text{C}$). Material filter dipilih dari logam karena sifat logam yang tahan terhadap pengaruh mekanis (panas, goresan). Filtrasi dilakukan dengan mode operasi *dead-end*. Parameter yang diukur adalah debit, suhu, pH, konduktivitas, TSS dan silika (SiO_2). Debit diukur dengan mengukur volume filtrat per satuan waktu. Suhu, pH dan konduktivitas masing-masing diukur dengan termometer, pH-meter dan DHL-meter. TSS dan kadar silika ditentukan sesuai dengan metode grafimetri dan spektroskopi.

Analisis data

Hasil analisis laboratorium dimaksudkan untuk memperoleh data tentang karakteristik air limbah dan variasinya. Analisis sumber-sumber air limbah beserta karakteristiknya dilakukan untuk mengetahui berbagai potensi manfaat yang dapat diperoleh dari daur ulang air limbah, baik secara finansial maupun lingkungan. Data hasil penelitian dilakukan secara deskriptif dan eksploratif untuk mencari peluang-peluang implementasi produksi bersih. Analisis finansial dilakukan untuk menghitung biaya investasi dan penghematan yang dapat diperoleh. Analisis manfaat lingkungan men-

cakup reduksi beban pencemaran dan penghematan penggunaan sumberdaya air. Analisis aspek lingkungan meliputi kuantitas air yang dapat digunakan kembali dan menghitung kuantitas air yang dibeli oleh perusahaan sebelum dan sesudah penerapan alternatif yang diusulkan. Manfaat juga dilihat dari penurunan penggunaan bahan kimia untuk pengolahan air yaitu HCl dan NaOH, peningkatan kualitas air limbah yaitu dengan menganalisa parameter fisik dan kimia terhadap air limbah sebelum dan sesudah penerapan alternatif yang dilakukan, dan pengurangan penggunaan energi listrik sebelum dan sesudah penerapan alternatif yang dilakukan. Hasil analisis penghematan dinyatakan baik dalam bentuk mutlak (rupiah per tahun) maupun dalam bentuk persentase (persen dari pengeluaran saat ini).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik air Limbah

Hasil pengukuran selama survei limbah industri menunjukkan bahwa suhu limbah cair stabil pada 71 $^\circ\text{C}$ dan debit 65 m^3/jam . Nilai rata-rata pH selama 24 jam pengamatan $7,08 \pm 0,02$, konduktivitas $10,70 \pm 0,14 \mu\text{S}/\text{cm}$, kadar SiO_2 $2 \pm 1 \text{ mg}/\text{L}$ dan nilai rata-rata TSS adalah $1800 \pm 300 \text{ mg}/\text{L}$. Hasil analisis yang dilakukan terhadap kontrol (air demineral) yang dihasilkan dan proses demineralisasi pada saat dilakukan penelitian diketahui bahwa nilai rata-rata pH 7,39, konduktivitas $3,35 \mu\text{S}/\text{cm}$, kadar SiO_2 dan TSS tidak teridentifikasi (Tabel 1).

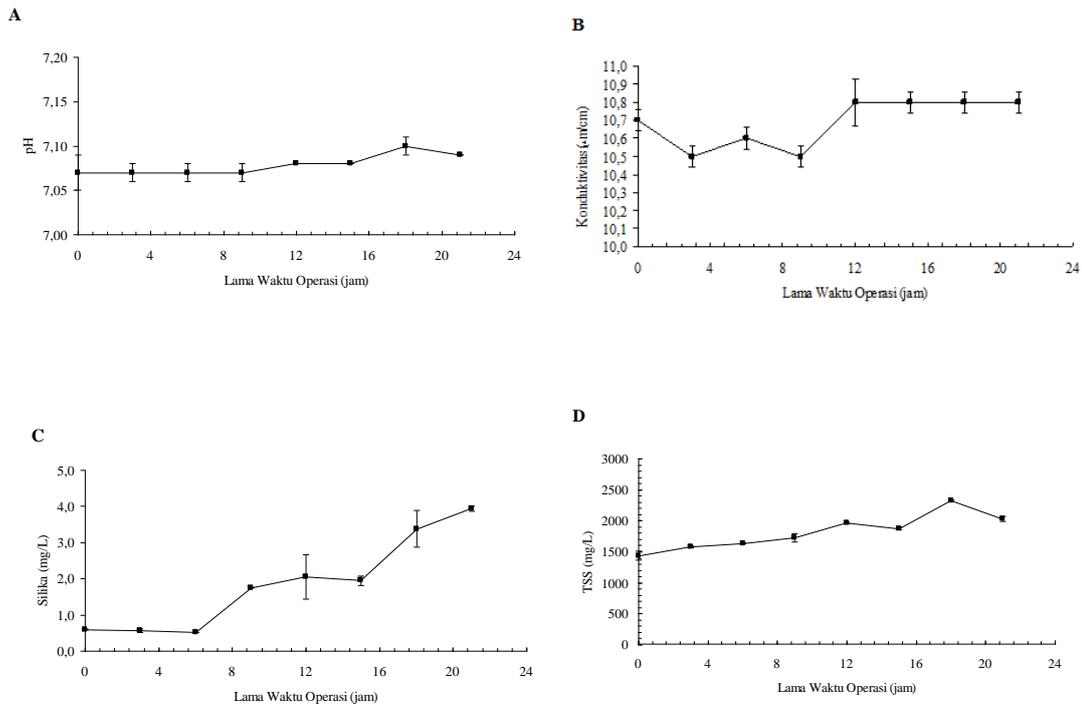
Nilai pH sampel air buangan dari PCW tidak berubah jauh, yaitu sekitar pH netral. Nilai pH air cenderung berubah menjadi asam setelah digunakan. Kecenderungan ini disebabkan adanya penambahan zat aditif yang tidak tercampur ke dalam pelet dan ikut terlarut ke dalam air buangan PCW. Nilai pH limbah cair masih berada dalam kisaran nilai pH air demineral yang dipersyaratkan oleh PT. TPI (Nilai pH: 7-10). Gambar 4A menunjukkan pH air limbah yang keluar dari PCW yang diamati setiap 3 jam sekali.

Gambar 4 di bawah ini menunjukkan nilai rata-rata konduktivitas sampel adalah $10,70 \pm 0,14 \mu\text{S}/\text{cm}$ lebih tinggi dibandingkan dengan nilai konduktivitas demineral yaitu $3,35 \mu\text{S}/\text{cm}$. Apabila dibandingkan dengan standar air demineral yang ditetapkan oleh PT. TPI maka nilai konduktivitas mendekati nilai maksimum yang ditetapkan yaitu $< 10 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabel 1. Hasil pengamatan sifat fisik dan kimia air limbah dan demineral

Parameter	Satuan	Air Limbah	Air Demineral
pH	-	$7,08 \pm 0,02$	7,39
Konduktivitas	$\mu\text{S}/\text{cm}$	$10,70 \pm 0,14$	3,35
Kadar SiO_2	mg/L	2 ± 1	ttd
TSS	mg/L	1.800 ± 300	0

Keterangan: ttd = tidak terdeteksi



Gambar 4. Perubahan karakteristik air limbah selama waktu operasi 24 jam (A. pH, B. Konduktivitas, C. Silika, D. TSS)

Dari Gambar 4B dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas air limbah dari tanki PCW cenderung mengalami peningkatan. Peningkatan tersebut disebabkan semakin banyaknya zat aditif yang digunakan seiring dengan semakin banyaknya jumlah produksi yang dilakukan selama rentang waktu pengamatan. Nilai konduktivitas mengalami penurunan saat pagi hari, dikarenakan produksi yang tidak terlalu tinggi, dan meningkat pada siang hari.

Kadar SiO₂ semakin meningkat dengan meningkatnya waktu operasi dan jauh melebihi standar yang berlaku yaitu SiO₂ < 0,1 mg/L. Tingginya nilai kadar silika dikarenakan proses pemisahan padatan dan cairan yang belum optimal sehingga partikel masih terbawa dalam air limbah. Gambar 4C menunjukkan profil kadar silika rata-rata air limbah yang keluar dari PCW tank (pengamatan setiap 3 jam).

Nilai TSS mengalami peningkatan yang tajam dibandingkan dengan air demineral (Gambar 4D). Nilai rata-rata TSS limbah cair yaitu 1800 ± 300 mg/L, sedangkan air demineral tidak mengandung TSS. Walaupun pada persyaratan air demineral yang dikemukakan oleh Pinayungan (2003) tidak menyebutkan tentang ketentuan TSS, namun tingginya nilai TSS dapat merusak alat tanki PCW. Oleh karena itu nilai TSS harus dikurangi, mendekati nilai 0. Tingginya nilai TSS disebabkan belum optimalnya penyaringan yang dilakukan hingga partikel banyak terdapat pada air buangan dari PCW.

Tingginya nilai TSS dari waktu ke waktu dikarenakan adanya penumpukan TSS pada saluran pembuangan yang belum diangkat. Penumpukan ini menyebabkan peningkatan jumlah TSS, karena penyaringan yang tidak optimal menyebabkan tidak semua partikel tersaring. Apabila adanya penumpukan yang disebabkan saringan yang tidak optimal dan keteraturan waktu pengangkatan limbah partikel diabaikan, maka dapat disimpulkan faktor waktu tidak berpengaruh terhadap kualitas limbah cair dari PCW tank.

Pengolahan Air Limbah

Pada penelitian ini dilakukan percobaan laboratorium dengan cara melakukan penyaringan terhadap limbah cair yang keluar dari PCW. Penyaringan dilakukan dengan menggunakan penyaring berbahan metal dengan berbagai ukuran saringan yaitu 13, 100, 125, 200, 250 dan 325 µm dengan diameter unit saringan 24 cm dengan variasi suhu 30, 50 dan 70 °C. Hasil yang diperoleh juga dibandingkan dengan ketentuan air demineral yang telah ditetapkan oleh PT. TPI (Tabel 2).

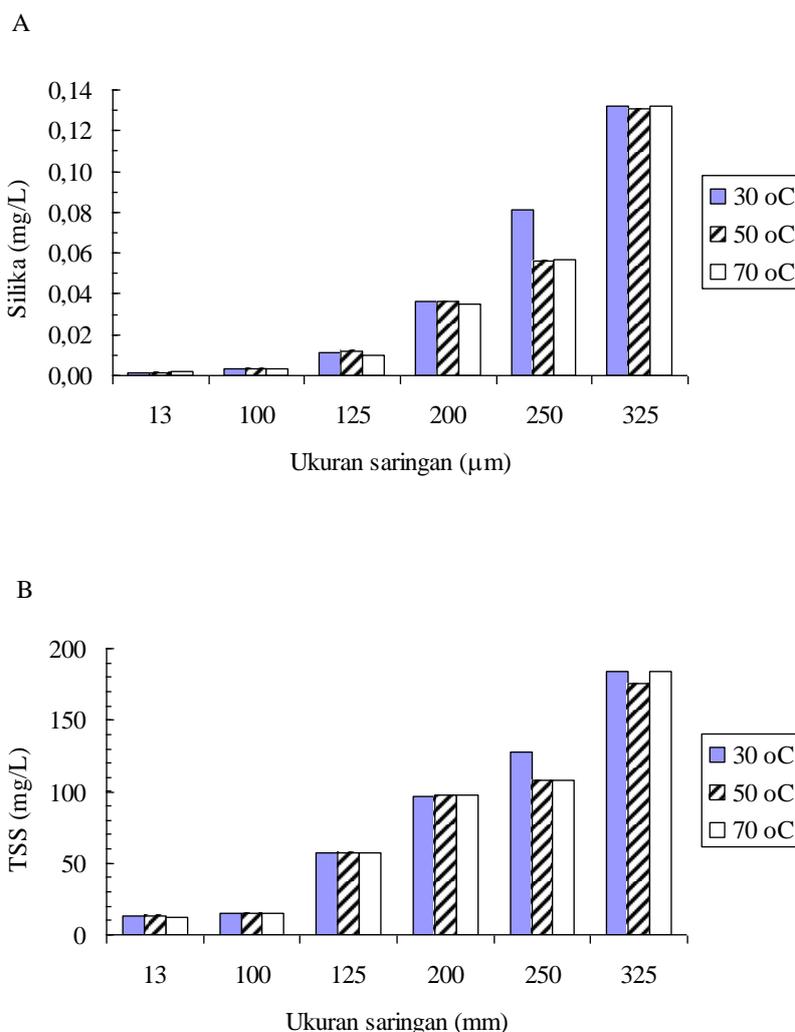
Tabel 2. Parameter air demineral PT. TPI

Parameter	Satuan	Kriteria air demineral
pH	-	7-10
Konduktivitas	µS/cm	<10
Kadar SiO ₂	mg/L	<0,1
TSS	mg/L	Mendekati nol

Sumber: Pinayungan (2003).

Nilai pH setelah melalui penyaringan dengan menggunakan penyaring berbahan metal dengan berbagai ukuran memiliki nilai pH lebih besar dari 7, nilai tersebut tidak jauh berbeda bila dibandingkan dengan kontrol (pH 7,39). Bila dibandingkan dengan standar ketentuan air demineral yang ditentukan oleh PT. TPI (nilai pH 7-10) maka penyaringan dengan menggunakan bahan metal berbagai ukuran saringan menunjukkan hasil yang relatif sama dan berada dalam kisaran yang ditentukan. Perlakuan fisik berupa penyaringan dengan berbagai ukuran saringan dan suhu tidak berpengaruh terhadap nilai pH, maupun konduktivitas. Gambar 5 di bawah ini menunjukkan karakteristik air buangan dari PCW setelah disaring. Data tersebut menunjukkan bahwa pengaruh ukuran saringan pada kadar silika dan TSS dalam filtrat pada berbagai suhu.

Telah ditunjukkan sebelumnya bahwa nilai konduktivitas air mengalami peningkatan setelah air digunakan. Hal ini disebabkan adanya penambahan zat aditif pada saat air digunakan. Ukuran saringan dan temperatur tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai konduktivitas. Jika dibandingkan dengan standar air demineral yang ditetapkan oleh PT. TPI ($< 10 \mu\text{S}/\text{cm}$), air limbah yang telah disaring telah memenuhi standar tersebut. Namun nilai tersebut masih mendekati ambang batas maksimum tersebut. Ukuran saringan berpengaruh terhadap nilai silika karena sebagian partikel silika tersaring. Bila dibandingkan dengan standar air demineral yang ditentukan (nilai silika $< 0,1 \text{ mg}/\text{L}$), hasil penyaringan dengan ukuran saringan $325 \mu\text{m}$ menghasilkan hasil dengan kadar silika di atas $0,1 \text{ mg}/\text{L}$, sedangkan ukuran lainnya memiliki nilai di bawah $0,1 \text{ mg}/\text{L}$, seperti terlihat pada Gambar 5A



Gambar 5. Pengaruh ukuran saringan dan suhu pada kualitas hasil filtrasi (A. Kadar silika dalam filtrat, B. Kadar TSS dalam filtrat)

Semakin kecil ukuran saringan saringan semakin kecil nilai TSS yang tersisa di dalam air limbah. Bila dibandingkan dengan standar ketentuan air demineral yang ditentukan oleh PT. TPI (nilai TSS mendekati 0) maka saringan dengan ukuran saringan 13 μm merupakan saringan dengan nilai TSS yang paling mendekati nol. Secara keseluruhan bila dibandingkan dengan nilai air demineral yang ditetapkan oleh PT. TPI dapat dilihat bahwa pada saringan dengan ukuran saringan 13, 100 dan 125 μm sudah memenuhi kriteria. Saringan dengan 200 dan 250 μm masih memiliki nilai TSS yang relatif lebih tinggi. Saringan yang disarankan untuk digunakan adalah saringan dengan ukuran saringan 13 μm , karena saringan dengan ukuran tersebut menunjukkan nilai kualitas terbaik, dan debit yang tidak berbeda secara signifikan dibanding dengan ukuran saringan lainnya.

Nilai konduktivitas terendah yang diperoleh adalah $8,74 \pm 0,06 \mu\text{S/cm}$ pada ukuran saringan 13 μm . Nilai tersebut mendekati batas yang ditentukan yaitu 10 $\mu\text{S/cm}$. Untuk menurunkan nilai konduktivitas maka perlu dilakukan pencampuran dengan air demineral yang diperoleh dari proses demineralisasi. Pengaruh proses pencampuran antara air demineral dengan air limbah buangan dari tangki PCW dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai konduktivitas tertinggi adalah $8,50 \pm 0,01 \mu\text{S/cm}$ dan nilai terendah $5,80 \pm 0,05 \mu\text{S/cm}$. Nilai konduktivitas 7 dapat diperoleh dengan pencampuran air limbah yang telah diolah dengan air demineral dengan rasio 5:1.

Hasil penelitian secara keseluruhan menunjukkan bahwa dengan mengacu pada syarat nilai akhir air demineral yang ditetapkan oleh PT. TPI, saringan dengan ukuran saringan 13, 100 dan 125 μm telah memenuhi kriteria. Saringan dengan ukuran 200, 250, dan 325 μm tidak memenuhi standar kriteria, karena memiliki nilai TSS yang tinggi. Dengan demikian, saringan yang dapat

digunakan adalah saringan dengan ukuran saringan 13, 100 dan 125 μm .

Ada beberapa jenis teknologi dan tipe peralatan yang dapat digunakan untuk melakukan proses pengolahan limbah dengan cara filtrasi. Penggunaan teknologi/alat disesuaikan dengan kebutuhan dari proses pengolahan tersebut. Beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam pemilihan alat adalah kapasitas pengolahan, kemudahan penggunaan alat, efektivitas dan aspek biaya.

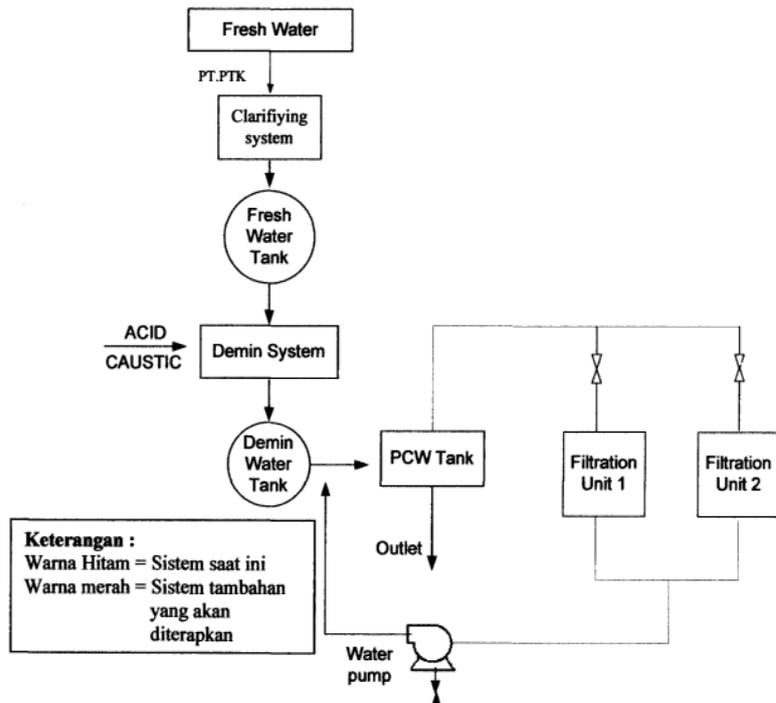
Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap dua alternatif jenis alat penyaring. Alat penyaring yang pertama berupa bag filter dan alternatif yang kedua adalah *press filter*. Hal ini didasarkan pada kondisi proses di PT. TPI, dimana proses produksi berlangsung selama 24 jam tanpa henti dan air buangan terus mengalir keluar dari PCW. Besarnya debit air yang keluar akan berbeda-beda tergantung pada tingkat produksi. Selama siklus produksi terus berjalan maka siklus air tidak berhenti. Air yang keluar dari PCW dialirkan dan dipompakan masuk ke alat penyaringan. Setelah disaring air dipompakan untuk masuk ke unit PCW kembali. Secara skematis penggunaan ulang air limbah dapat dilihat pada Gambar 6. Kedua alternatif tersebut masing-masing memiliki keunggulan dan kelemahan. Keunggulan alternatif 1 adalah lebih hemat dari segi biaya dan tidak membutuhkan lokasi secara khusus.

Penghematan Penggunaan Air

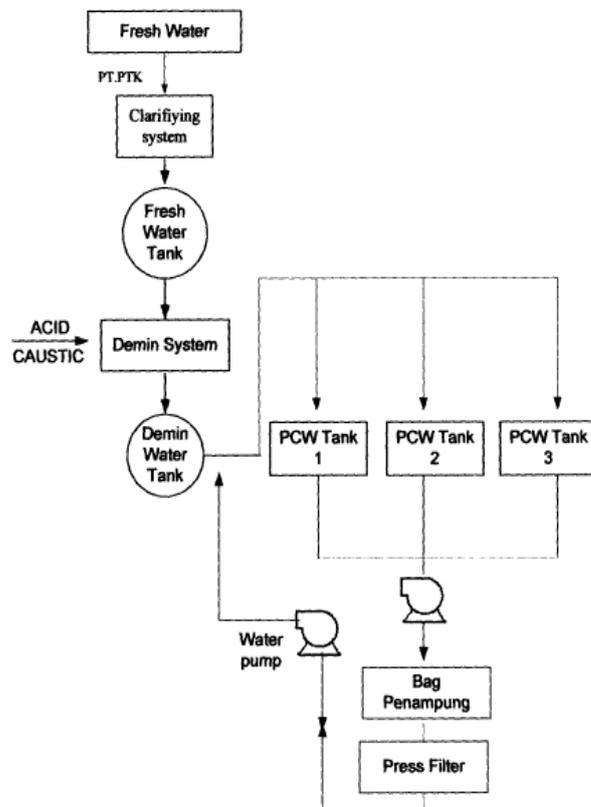
Potensi penghematan penggunaan air diperoleh dengan melakukan penggunaan ulang air proses pada unit PCW yang telah mengalami penanganan penyaringan untuk digunakan pada unit yang sama. Cara tersebut menyebabkan berkurangnya jumlah air tanah yang digunakan. Penggunaan air tanah dan air demineral serta jumlah limbah cair dari unit PCW PT. TPI disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3. Nilai konduktivitas hasil pencampuran air limbah dan air demineral

Nilai Perbandingan Air Limbah : Air Demineral	Nilai konduktivitas ($\mu\text{S/cm}$)
9:1	$8,50 \pm 0,01$
8:1	$8,30 \pm 0,02$
7:1	$7,70 \pm 0,00$
6:1	$7,30 \pm 0,01$
5:1	$7,00 \pm 0,01$
4:1	$6,80 \pm 0,01$
3:1	$6,60 \pm 0,00$
2:1	$6,20 \pm 0,01$
1:1	$5,80 \pm 0,05$



A. Alternatif 1



B. Alternatif 2

Gambar 6. Alternatif model penggunaan ulang pada unit PCW (A. Alternatif 1, B. Alternatif 2)

Tabel 4. Tingkat penggunaan air PT. TPI pada tahun 2007

Air Tanah (m ³)	Air Deminerat (m ³)	Air Limbah PCW (m ³)
132.140	114.904	61.320

Nilai penghematan air pada berbagai perbandingan penggunaan air limbah dan air demineral dapat dilihat pada Tabel 5. Dari data tersebut terlihat bahwa penghematan penggunaan air terbesar yaitu pada perbandingan 9:1 dan penghematan penggunaan air terkecil yaitu pada perbandingan 2:1. Penggunaan rasio 9:1 menghasilkan penghematan 28% lebih besar dibandingkan dengan penghematan penggunaan air pada rasio 2:1 dan 12% lebih besar dibandingkan dengan rasio 5:1; sedangkan rasio 5:1 lebih besar 16% dibandingkan dengan rasio 2:1.

Tabel 5. Penghematan penggunaan air

Perbanding-an	Air Tanah (m ³)	Air Deminerat (m ³)	Persentase (%)
2:1	30.660	35.260	26,7
5:1	49.056	56.415	42,7
9:1	54.507	62.684	54,6

Penghematan Penggunaan Bahan Kimia

Pada proses pembuatan air demineral bahan kimia yang digunakan adalah NaOH dan HCl. Bahan kimia tersebut dibutuhkan untuk proses regenerasi pertukaran kation dan anion. Kebutuhan NaOH PT. TPI pada tahun 2007 adalah 61.905 kg/tahun sedangkan kebutuhan HCl 135.031 kg/tahun. Penggunaan kembali air limbah akan menghemat penggunaan air demineral. Penghematan penggunaan air demineral akan mengurangi jumlah air demineral yang harus diproduksi setiap tahunnya. Pengurangan jumlah air demineral yang harus diproduksi akan mengurangi jumlah bahan kimia yang digunakan. Pengurangan penggunaan NaOH dan HCl yang dapat dilakukan disajikan pada Tabel 6. Dengan penerapan sistem ini pada rasio 9:1 dapat dihemat setengah dari penggunaan bahan kimia yang biasa digunakan. Hasil perhitungan menunjukkan rasio 9:1 lebih hemat 28% dibandingkan rasio 2:1 dan 12% lebih hemat dibanding dengan rasio 5:1; sedangkan rasio 5:1 lebih hemat 16% dibanding rasio 2:1.

Tabel 6. Penghematan penggunaan bahan kimia

Perbanding-an	NaOH (kg)	HCl (m ³)	Persentase (%)
2:1	16.518	36.031	26,7
5:1	24.170	57.649	42,7
9:1	29.366	64.055	54,6

Penghematan Penggunaan Listrik

Pengoperasian unit demineralisasi dilakukan secara *batch*. Setiap dihasilkan 200 m³ air, perlu dilakukan proses regenerasi pada fasilitas pertukaran kation dan anion. Proses ini berlangsung selama 2 jam untuk setiap unit, dan menggunakan listrik sebesar 47,3 kW. Konsumsi listrik per tahun untuk menjalankan unit ini adalah 408.672 kW. Proses penerapan penggunaan ulang air dapat mengurangi besarnya penggunaan listrik yang dibutuhkan untuk melakukan proses demineralisasi. Proses penerapan penggunaan ulang air, membutuhkan energi listrik sebesar 0,5 kWh (4380 kW/tahun). Dengan menerapkan alternatif ini maka jumlah energi listrik yang dapat dihemat pada rasio penggunaan air limbah dan air demineral 9:1 adalah 46,4% atau 189 482 kW/tahun. Pada rasio 5:1 dapat dihemat sebesar 170.094 kW/tahun atau 41,6%, sedangkan pada rasio 2:1 sebesar 25,6% atau 105 kW/tahun. Penerapan alternatif dengan rasio 9:1 lebih hemat 21% dibanding rasio 5:1 dan 4,8% dibanding rasio 2:1. Bila dibandingkan antara rasio 5:1 dan 2:1, yang pertama 16% lebih hemat.

Pengurangan Beban Pembuangan Limbah Padat ke Lingkungan

Pada proses penyaringan limbah cair terdapat partikel (limbah padat) yang tersaring, yang merupakan potongan pelet yang berupa serpihan sampai butiran. Apabila dibuang ke lingkungan dalam jumlah yang banyak dapat menimbulkan pencemaran lingkungan dan menurunkan kualitas lingkungan. Partikel yang mengandung silika apabila terbuang ke laut kemungkinan besar akan termakan oleh organisme laut, dan terbawa pada proses rantai makanan hingga membahayakan bagi organisme (A1-Mutaz, 2004). Banyaknya partikel yang dapat tersaring dengan diterapkannya sistem ini disajikan pada Tabel 7. Hasil analisis kuantitas partikel yang dapat tersaring dengan saringan ukuran 200, 250, dan 350 μ m tidak disajikan. Selain dapat memperbaiki kualitas lingkungan dan mencegah pencemaran lingkungan, penyaringan partikel juga mendatangkan keuntungan dari segi ekonomi. Partikel memiliki nilai ekonomi sebesar Rp 350/kg. Besarnya keuntungan ekonomi yang dapat diperoleh dengan melakukan pengumpulan partikel untuk dijual kembali kepada pengumpul dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 7. Kuantitas partikel yang dapat tersaring

Ukuran Saringan (μ m)	Kadar Partikel (g/L)	Produksi Partikel (kg/hari)
13	51,486	14,08
100	50,9352	13,93
125	50,886	13,59

Penghematan Air dan Pengurangan Penggunaan Bahan Kimia

Analisis biaya dilakukan untuk mengetahui besarnya keuntungan dari segi finansial yang dapat diperoleh apabila sistem ini diterapkan. Penghematan terjadi dikarenakan adanya pengurangan kuantitas produksi air demineral pada unit demineralisasi. Untuk menghasilkan air demineral per tahun, biaya yang dibutuhkan adalah Rp 1.057.113.130,-.

Tabel 8. Nilai ekonomi *dust* yang dapat diperoleh pada beberapa ukuran saringan

Ukuran Saringan (μm)	Nilai ekonomi <i>dust</i> (Rp/tahun)
13	1.798.595
100	1.780.015
125	1.737.243

Dengan diterapkannya sistem ini maka penghematan biaya produksi air demineral yang dapat diperoleh dengan rasio penggunaan air

limbah dan air demineral 2:1 (Tabel 9) adalah 14%. Penghematan terjadi dikarenakan pengurangan pembelian air tanah, pembelian bahan kimia berupa NaOH dan HCl serta pemakaian listrik. Besarnya penghematan biaya yang dapat diperoleh pada rasio 5:1 (Tabel 10) adalah 39%. Besarnya penghematan biaya yang dapat diperoleh dengan rasio 9:1 (Tabel 11) adalah 44%.

Untuk menerapkan sistem ini ada dua alternatif teknologi yang dapat digunakan. Alternatif yang pertama yaitu menggunakan alat *bag filter* dengan asesori berupa pompa, saringan dan lain-lain. Alternatif yang kedua yaitu menggunakan *press filter*. Untuk penerapan alternatif pertama dibutuhkan investasi sebesar Rp 281.974.000 dengan nilai *payback period* selama 7 bulan dan untuk penerapan alternatif kedua dibutuhkan investasi senilai Rp 639.528.000 dengan nilai *payback period* selama 1 tahun 2 bulan, dengan rincian sebagaimana disajikan pada Tabel 12.

Tabel 9. Struktur biaya (baru) dengan diterapkannya sistem penggunaan ulang pada rasio 2:1

Komponen	Tingkat Konsumsi	Harga (Rupiah)	Total (Rupiah)
Raw water (m^3)	129.074	4.000	516.294.400
HCl (kg)	99.000	900	89.100.000
NaOH (kg)	45.387	2.350	106.659.450
Listrik (kWh)	304.006	640	194.563.840
Total biaya/tahun			906.617.690

Tabel 10. Struktur biaya (baru) dengan diterapkannya sistem penggunaan ulang pada rasio 5:1

Komponen	Tingkat Konsumsi	Harga (Rupiah)	Total (Rupiah)
Raw water (m^3)	83.083,6	4.000	332.334.400
HCl (kg)	77.562	900	69.805.800
NaOH (kg)	37.735	2.350	88.677.250
Listrik (kWh)	238.578	640	152.689.920
Total biaya/tahun			643.507.370

Tabel 11. Struktur biaya (baru) dengan diterapkannya sistem penggunaan ulang pada rasio 9:1

Komponen	Tingkat Konsumsi	Harga (Rupiah)	Total (Rupiah)
Raw water (m^3)	77.632,6	4.000	310.530.400
HCl (kg)	70.976	900	63.878.400
NaOH (kg)	32.539	2.350	76.466.650
Listrik (kWh)	219.190	640	140.281.600
Total biaya/tahun			591.157.050

Tabel 12. Investasi penerapan

Alat dan bahan	Alternatif 1			Alternatif 2		
	Jumlah	Harga (Rp)	Total (Rp)	Jumlah	Harga (Rp)	Total (Rp)
Alat penyaring	6	19.400.000	116.400.000	2	131.000.000	262.000.000
Saringan	12	970.000	11.640.000	12	970.000	11.640.000
Pipa 3"	690	168.000	115.920.000	2.000	168.000	336.000.000
Pompa	6	5.204.000	31.224.000	2	5.729.000	11.45.000
Pekerja			1.940.000	7	1.940.000	13.80.000
Lain-lain			4.85.000		4.850.000	4.850.000
Total			281.974.000			639.528.000

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil karakterisasi air limbah menunjukkan nilai pH yang tidak mengalami perubahan yang berarti selama 24 jam operasi. Namun parameter konduktivitas, TSS dan kadar silika menunjukkan peningkatan dikarenakan peningkatan partikel (*dust*) di dalam air limbah dengan meningkatnya waktu operasi.

Air limbah dari unit PCW berpotensi untuk didaur-ulang dengan pengolahan yang relatif sederhana, yaitu filtrasi/penyaringan. Ukuran diameter pori saringan (antara 13, 100, 125, 200, 250 dan 325 μm) tidak mempengaruhi nilai pH dan konduktivitas, tetapi menentukan kadar TSS dan kadar silika. Semakin kecil ukuran saringan semakin banyak TSS dan silika yang dapat dipisahkan. Saringan yang paling sesuai digunakan adalah saringan dengan ukuran 13 μm . Dua alternatif jenis alat penyaring yaitu *bag filter* dan *press filter* dapat diterapkan untuk menghasilkan kualitas air daur ulang dengan kualitas yang dipersyaratkan.

Ada kebutuhan untuk mencampur air limbah yang telah diolah dengan air demineral segar sehingga dihasilkan nilai konduktivitas yang memenuhi persyaratan. Pencampuran dengan rasio 5:1 merupakan tingkat yang disarankan, meskipun rasio 9:1 memberikan penghematan biaya yang terbesar. Hal ini didasarkan pada pertimbangan adanya fluktuasi kondisi proses, yang mungkin terlalu beresiko terhadap nilai konduktivitas bila dioperasikan pada rasio 9:1. Pada rasio 5:1 ini diperoleh penghematan penggunaan air sebesar 42,7%, bahan kimia 42,7%, listrik 41,6% atau setara dengan biaya produksi air sebesar 39% dan pengurangan beban limbah padat ke lingkungan sebesar 14 kg/hari.

Saran

Penggunaan alat *press filter* lebih disarankan untuk digunakan pada penanganan jenis air limbah ini, karena alat ini lebih sesuai untuk operasi yang bersifat kontinu, meskipun biayanya relatif lebih besar dibanding *bag filter* dan memberikan *payback period* yang lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Abhishek Filter Teknik. 2008. Basket Filter. [on line]. www.abhishekfilter.com. [24 November 2008].
- Al-Mutaz IS. 2004. Silica Removal During Lime Softening in Water Treatment Plant. International Conference on Water Resources & Arid Environment.
- APINI dan UNEP. 2008. *Introduction to Cleaner Production (CP) Concepts and Practice*. [on

line]. <http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/technology/cleanerproduction.pdf>. [8 Agustus 2008].

- AWWA. 2005. Framework for Developing Water Reuse Criteria With Reference to Drinking Water Supplies. UK Water Industry Research Limited, London.
- CIWEM (The Chartered Institution of Water and Environmental Management). 2007. Water reuse: a sustainable alternative water supply for industry in the UK? A CIWEM Briefing report December 2007. [on line]. <http://www.ciwem.org> [12 Meret 2008].
- Greene H. 2007. Water reuse: a sustainable alternative water supply for industry in the UK? The Chartered Institution of Water and Environmental Management (CIWEM), December 2007. [on line]. <http://www.ciwem.org>. [8 Agustus 2008].
- Lekkas DF, Manoli E, Assimacopoulos D. 2008. Integrated urban water modelling using the aquacycle model. *Global Nest Journal* 10 (3): 310-319.
- Leong ST, Muttamara S, Laortanakul P. 2003. Reutilization of wastewater in a rubber-based processing factory: a case study in Southern Thailand. *Resources, Conservation and Recycling* 37: 159-172.
- Pinayungan A. 2003. Training Module : Water treatment. Cilegon : PT. Tripolyta Indonesia Tbk.
- Suprihatin dan Romli M. 2009. Produksi Bersih dalam Industri Pengolahan Perikanan: Studi kasus Industri Penepungan Ikan. *Jurnal Kelautan Nasional* Vol. 2, Edisi Khusus Januari 2009: 131-143.
- Suprihatin. 2007. Study of crossflow micro- and ultrafiltration for treatment and recycling effluent of pulp and paper industry. *Di dalam Proceedings Environmental Technology and Management Conference 2006: Improving the Quality of Life through Better Environment*. September 7-8, 2006, Bandung - Indonesia.
- Suprihatin. 2009. Penerapan Air Daur Ulang di berbagai Negara. *Makalah Workshop Air Daur Ulang dalam Persepektif Hukum Islam*. Majelis Ulama Indonesia, Jakarta, 17 Maret 2009.
- Tewari PK, Batra VS, Balakrishnan M. 2007. Water management initiatives in sugarcane molasses based distilleries in India. *Resources, Conservation and Recycling* 52: 351-367.
- Tewari PK, Batra VS, Balakrishnan M. 2009. Efficient water use in industries: Cases from the Indian agro-based pulp and paper mills. *J. E Environ.Manag.* 90 : 265-273.

- PT. Tripolyta Indonesia Tbk. 2000. Laporan Tahunan. Cilegon: PT. Tripolyta Indonesia Tbk.
- PT. Tripolyta Indonesia Tbk. 2007. Profil Perusahaan. [on line]. <http://www.tripolyta.org>. [12 Maret 2008].
- Vigneswaran S dan Sundaravadivel M. 2004. Recycle and Reuse of Domestic Wastewater. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford ,UK, [<http://www.eolss.net>].