

KOMBINASI PENGOLAHAN ANAEROB DAN MEMBRAN ULTRAFILTRASI BERBAHAN DASAR POLISULFON UNTUK PROSES PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT

Maulana Shadily, Syarfi dan Adrianto Ahmad

Laboratorium Pengendalian dan Pencegahan Pencemaran Lingkungan

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Subrantas KM 12,5 Pekanbaru 28293

Email: mshadily@gmail.com

ABSTRACT

Palm oil wastewater is very dangerous if flowing directly to the environment because they have highly pH content, total suspended solid (TSS) and chemical oxygen demand (COD). One of the treatment is combination of anaerob and membrane. The aim of this research are to learn of decreasing pH, COD and TSS in anaerob bioreactor and to learn about the influence of membrane pressure with flux, rejection, pH and TSS at ultrafiltration membrane. Methode of this research consist of microorganism seeding, aclimatitaton, start-up and bioreactor operasional, then separation with polysulfone ultrafiltration membrane with pressure variation of 1, 1,2, 1,4 bar. The results of this research showing that for the pressure of 1 bar resulting pH and TSS value are 8,1 and 30 mg/L. For the pressure of 1,2 bar resulting pH and TSS value are 8,1 and 30 mg/L. For the pressure of 1,4 bar resulting pH and TSS value are 8,2 and 0 mg/L. This results showing that the most optimum membrane pressure is 1,2 bar with TSS efficiency 98,01%.

Keywords: Anaerob Bioreactor, COD, ultrafiltration membrane, pH, TSS

1. Pendahuluan

Kelapa sawit merupakan jenis tanaman yang memiliki banyak kegunaan dan merupakan komoditi penting bagi Indonesia. Ini terbukti dengan masuknya Indonesia sebagai salah satu penghasil kelapa sawit terbesar di dunia. Luas kebun kelapa sawit di Indonesia dari tahun ke tahun terus meningkat. Tahun 2009 Indonesia memiliki luas lahan kelapa sawit seluas 7 juta Ha (Deptan, 2007).

Meningkatnya luas perkebunan kelapa sawit menandakan semakin meningkatnya produksi *Crude Palm Oil* (CPO). Produksi CPO Indonesia mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Produksi CPO pada tahun 2007 mencapai 17,3 juta ton (Deptan, 2007). Bahkan pada tahun 2009, produksi CPO telah hampir mencapai 18 juta ton. Meningkatnya produksi CPO di

Indonesia akan memberikan masukan devisa bagi negara serta dapat meningkatkan kesejahteraan rakyat. Namun di samping itu, peningkatan produksi CPO juga akan menimbulkan permasalahan bagi lingkungan, yaitu permasalahan limbah.

Jenis limbah yang dihasilkan dari industri kelapa sawit berupa limbah padat dan cair. Limbah padat dapat berupa cangkang, tandan kosong dan lain-lain. Limbah cair yang dihasilkan berupa *Palm Oil Mill Effluent* (POME), air buangan kondensat (8-12%) dan air hasil pengolahan (13-23%). Limbah cair ini berpotensi untuk mencemarkan lingkungan karena mengandung parameter bermakna yang cukup tinggi. Diperkirakan jumlah limbah cair yang dihasilkan dari industri kelapa sawit di Indonesia mencapai 28,7 juta ton (Mahajoeno, 2011). Limbah

memiliki kandungan BOD sebesar 25.000 mg/L, COD sebesar 50.000 mg/L dan pH sebesar 4,2. Ini memperlihatkan tingginya kandungan yang ada didalamnya. Baku mutu yang ditetapkan oleh Menteri Negara Lingkungan Hidup dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 1995 tentang baku mutu limbah cair industri minyak kelapa sawit ialah 250 mg/L untuk BOD, 500 mg/L untuk COD dan kisaran pH sebesar 6-9 serta TSS 300 mg/L. Potensi limbah cair pabrik kelapa sawit memberikan kontribusi limbah sebesar 50 % per ton tandan buah segar (TBS) (Deptan, 2006). Ketersediaan limbah itu merupakan potensi yang sangat besar dalam mencemari lingkungan dan jika ditangani dengan baik maka kelestarian lingkungan akan tetap terjaga.

Pengolahan limbah cair organik biasanya dilakukan dengan proses biologis. Yaitu dengan meletakkannya dalam kolam anaerobik dan aerobik dengan memanfaatkan keterlibatan mikroba. Diharapkan mikroba ini mampu mendegradasi senyawa-senyawa yang ada pada limbah tersebut. Namun proses ini memiliki kekurangan yaitu membutuhkan lahan yang luas dan produk yang dihasilkan (CH_4) hanya menguap begitu saja yang dapat mencemari udara. Perkembangan selanjutnya, ternyata kolam anaerob ini dapat diganti dengan tangki digester sebagai tempat proses anaerob. Perkembangan terakhir saat ini, pengolahan limbah cair industri kelapa sawit umumnya dilakukan dengan menggunakan metode proses kombinasi, yaitu fisika dan biologi (Agustina dkk, 2010). Metode ini mempunyai kelebihan yaitu pengolahannya cukup murah. Namun kekurangannya adalah lahan yang digunakan untuk pengolahan limbah cair cukup besar, tetapi bagi industri yang mempunyai lahan terbatas karena proses di atas sulit dilakukan untuk membantu industri yang mempunyai keterbatasan lahan. Oleh karena itu, diambil alternatif dalam proses pengolahan limbah cair industri kelapa sawit dengan kombinasi

pengolahan anaerobik menggunakan digester bioreaktor dan membran ultrafiltrasi.

Penelitian tentang kombinasi pengolahan anaerob dan membran untuk proses pengolahan limbah cair kelapa sawit sudah pernah dilakukan sebelumnya oleh beberapa peneliti. Ahmad, dkk (1999) telah meneliti tentang kinerja membran mikrofiltrasi dalam sistem bioreaktor membran anaerob. Jenis material membran yang dipakai ialah polietersulfon dengan konfigurasi *hollow fiber*. Dari hasil penelitian tersebut, efisiensi penyisihan COD berkisar 94,9 – 95,3 %. Desmiarti, dkk (2001) juga telah meneliti tentang proses kombinasi ini. Jenis bahan material membran yang dipakai ialah membran mikrofiltrasi polipropilen dengan konfigurasi *hollow fiber*. Dari hasil penelitian tersebut, efisiensi penyisihan COD berkisar 90,57 – 94,89 %. Berdasarkan dari beberapa penelitian sebelumnya maka peneliti mencoba untuk melakukan penelitian tentang kombinasi anaerob dan membran ultrafiltrasi dengan jenis bahan material membran dari polisulfon dan konfigurasi *capillary*. Hal ini didasarkan pada untuk lebih meningkatkan efisiensi COD serta TSS maka diperlukan proses ultrafiltrasi dimana membran ultrafiltrasi memiliki ukuran pori yang lebih kecil daripada membran mikrofiltrasi sehingga dengan itu diharapkan efisiensi COD dan TSS akan semakin besar. Sedangkan membran polisulfon memiliki keunggulan yaitu kestabilan kimia dan temperatur yang baik hingga mencapai 80°C dan dapat digunakan pada pH dari 1,5 sampai 12 (Amri, 2010).

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari penurunan pH, COD dan TSS pada bioreaktor anaerob dan mempelajari pengaruh tekanan umpan membran terhadap fluks, rejeksi, pH dan TSS pada membran ultrafiltrasi.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini ialah air limbah industri kelapa sawit dari PTPN V Sei Pagar Kabupaten Kampar. Sedangkan bahan-bahan pendukung dalam penelitian ini ialah gas nitrogen sebagai senyawa pengusir oksigen, NaOH 5 M sebagai agen peningkat pH, aquades sebagai zat pencuci, larutan garam NaCl jenuh dan zat-zat analisa ($K_2Cr_2O_7$, Ag_2SO_4 , Ferro Aluminum Sulfat/FAS dan indikator ferroin).

2.2 Peralatan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini ialah serangkaian sistem membran ultrafiltrasi modul *capillary*, tangki *influent*, tangki *effluent*, pompa, selang, labu erlenmeyer dan bioreaktor anaerob. Adapun peralatan pendukung pada penelitian ini ialah *furnace*, cawan porselen, gelas ukur, gelas kimia, pH meter, timbangan digital, peralatan uji kadar padatan (TSS), dan peralatan uji COD. Membran ultrafiltrasi yang digunakan ialah membran yang berbahan dasar polisulfon.

2.3 Variabel Penelitian

Variabel tetap pada penelitian ini ialah Waktu Tinggal Hidrolik (WTH) 3 hari. Sedangkan untuk variabel berubah ialah tekanan umpan membran divariasikan sebesar 1, 1,2, dan 1,4 bar.

2.4 Analisa Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan ialah limbah cair pabrik kelapa sawit yang diambil dari PTPN V Sei Pagar Kabupaten Kampar. Adapun parameter yang akan dianalisa ialah pH, COD dan TSS. Analisa dilakukan berdasarkan *Standard Methods for The Examination of Water dan Wastewater* (APHA, AWWA, and WPCF, 1992).

2.5 Tahap Pembibitan (*Seeding*)

Tahap pembibitan dilakukan untuk menumbuhkan dan mengembangkan mikroorganisme di dalam substrat yang akan diolah. Mikroorganisme yang digunakan berasal dari kotoran sapi. Lalu kotoran sapi disaring untuk memisahkan serat-serat kasar. Filtratnya diambil sebanyak 1 liter sebagai kultur campuran. Filtrat ini dimasukkan ke dalam digester anaerob dan ditambahkan limbah cair segar setiap hari ke dalam digester anaerob sebanyak 100 ml selama 10 hari sehingga didapat volume di dalam digester 2 liter. Untuk mencapai volume bioreaktor sebesar 10 L maka diperlukan 5 buah erlenmeyer. Proses pembibitan ini dilakukan pada suhu kamar. Selama proses pembibitan ini dilakukan pengukuran produksi biogas untuk mengetahui tingkat pertumbuhan mikroorganisme (Ahmad, 1992).

2.6 Tahap Aklimatisasi

Tahap aklimatisasi ini dilakukan agar mikroorganisme dapat menyesuaikan diri dengan kondisi air limbah. Cairan di dalam digester dibuang sebanyak 200 ml dan ditambahkan limbah segar sebanyak 200 ml agar volume di dalam digester tetap 2 liter. Proses aklimatisasi ini dilakukan pada suhu kamar. Gas nitrogen diinjeksikan selama proses aklimatisasi untuk mengusir oksigen yang terlarut. Tahap aklimatisasi dihentikan jika peningkatan fluktuasi biogas sudah mencapai 10% (Ahmad, 1992).

2.7 Tahap *Start-up*

Selama *start-up*, kondisi operasi bioreaktor anaerob dilakukan pada suhu kamar. Bioreaktor diisi dengan bibit aklimatisasi sebanyak 10 liter. Selama proses *start-up* dialirkan umpan limbah cair secara resirkulasi dan dilakukan analisa pH, COD serta TSS setiap 2 hari sekali hingga tercapai keadaan *steady state* (tunak) yang ditandai dengan nilai fluktuasi COD sebesar 10% (Ahmad, 1992).

2.8 Tahap Operasional

Setelah proses *start-up*, dilakukan proses operasional dengan mengkondisikan laju alir umpan bioreaktor dengan Waktu Tinggal Hidrolik (WTH) 3 hari (Atikalidia, 2011). Untuk mendapatkan WTH 3 hari dengan volume bioreaktor sebesar 10 liter maka dialirkan umpan dengan laju alir 3,3 L/hari.

2.9 Analisa Effluent Bioreaktor

Setelah dilakukan proses anaerob di dalam bioreaktor maka *effluent* bioreaktor dianalisa untuk melihat hasil pengolahan secara anaerob. Parameter yang akan dianalisa ialah pH, COD dan TSS. Analisa dilakukan berdasarkan *Standard Methods for The Examination of Water dan Wastewater* (APHA, AWWA, and WPCF, 1992).

2.10 Proses Pemisahan Membran

Setelah dilakukan proses pengolahan anaerob, *effluent* bioreaktor selanjutnya dipompakan menuju membran ultrafiltrasi dengan variasi tekanan umpan membran. Tekanan umpan divariasikan 1, 1,2, dan 1,4 bar.

2.11 Analisa Fluks, pH, TSS dan % Rejeksi

Parameter yang akan dianalisa ialah fluks, % rejeksi, pH, TSS dan efisiensi penyisihan TSS. Analisa dilakukan berdasarkan *Standard Methods for The Examination of Water dan Wastewater* (APHA, AWWA, and WPCF, 1992). Rejeksi dihitung dengan cara perbandingan antara penurunan konsentrasi TSS terhadap konsentrasi TSS umpan. Begitu juga dengan % rejeksi yang akan dianalisa.

2.12 Regenerasi Membran

Regenerasi membran dilakukan untuk menjaga fluks permeat akibat terjadinya peristiwa *fouling* untuk tetap menjaga kinerja membran. Teknik yang dipakai untuk regenerasi membran ialah teknik *backflushing* (Wenten, 2001) yaitu dengan cara mengembalikan aliran permeat

dengan menggunakan udara bertekanan sehingga fluks membran tetap terjaga. Gas yang dipakai untuk proses *backflushing* ini ialah gas nitrogen. Proses ini dilakukan setiap selesai proses pemisahan pada membran setiap variabel tekanan yang diberikan.

3. Hasil dan Pembahasan

Limbah cair yang diambil berasal dari PKS PTPN V Sei Pagar Kabupaten Kampar. Limbah cair yang berupa *Palm Oil Mill Effluent* (POME) diambil dari unit *Fat Pit*. Limbah POME ini berwarna coklat. Kandungan pH, COD dan TSS dari limbah POME ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik Limbah Cair PTPN V Sei. Pagar

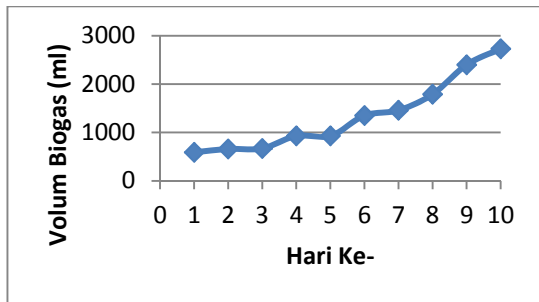
Parameter	Satuan	Nilai
pH	-	4
COD	mg/L	30.000
TSS	mg/L	8.635

Tabel 1 menunjukkan parameter pH, COD dan TSS untuk limbah cair PTPN V Sei. Pagar yang sangat tidak layak untuk dibuang karena dapat mencemari lingkungan. Nilai pH, COD dan TSS limbah cair PTPN V Sei. Pagar berturut-turut ialah 4, 30.000 mg/L dan 8.635 mg/L, sedangkan baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah untuk parameter limbah cair industri minyak kelapa sawit ialah kisaran pH sebesar 6-9, 500 mg/L untuk COD dan serta TSS 300 mg/L (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51, 1995). Hal ini berarti perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut agar limbah yang dihasilkan mampu mendekati parameter-parameter yang telah ditetapkan pemerintah.

3.1 Proses Pembibitan (*Seeding*)

Proses *seeding* ini dilakukan untuk mengembangbiakkan mikroorganisme anaerob yang berasal dari kotoran sapi. Parameter yang digunakan untuk melihat

perkembangan mikroorganisme ialah produksi biogas selama 10 hari. Mikroorganisme akan berkembangbiak jika produksi biogas meningkat dari hari ke hari (Ahmad, 2003). Proses pembibitan ini dilakukan dengan menggunakan 5 buah digester. Hasil pengamatan pada proses pengembangbiakkan mikroorganisme dapat dilihat pada Gambar 1.



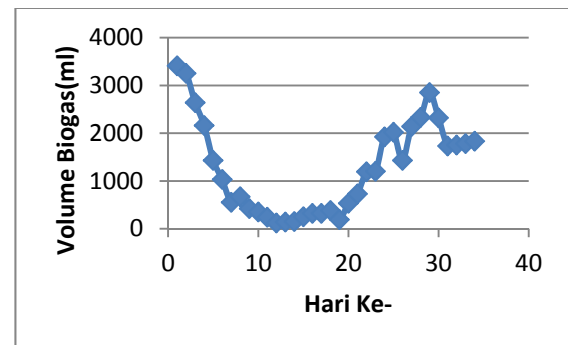
Gambar 1. Hubungan antara Waktu Pengamatan Terhadap Volume Biogas pada Proses Pembibitan (*Seeding*)

Gambar 1 menunjukkan bahwa mikroorganisme semakin lama semakin meningkat seiring dengan meningkatnya hari. Peningkatan jumlah mikroorganisme ini ditunjukkan dengan volume biogas yang dihasilkan. Pada hari ke-1 produksi biogas yang didapat sebesar 590 ml dan semakin meningkat hingga hari ke-10 sebesar 2.730 ml. Hal ini menunjukkan bahwa dengan peningkatan produksi biogas maka mikroorganisme telah berkembang dengan baik (Ahmad, 2003).

3.2 Proses Aklimatisasi

Proses aklimatisasi dilakukan agar mikroorganisme yang telah dibibitkan dapat menyesuaikan diri dengan kondisi air limbah. Parameter yang akan diamati pada proses aklimatisasi ini ialah pH dan biogas. Parameter pH yang diamati menunjukkan kondisi lingkungan mikroorganisme di dalam digester. Sedangkan pengamatan biogas menunjukkan tingkat perkembangan mikroorganisme selama masa adaptasi (Ahmad, 2004). Hasil pengamatan produksi biogas selama proses aklimatisasi

dapat dilihat pada Gambar 2 dan hasil pengamatan pH selama proses aklimatisasi dapat dilihat pada Gambar 3.

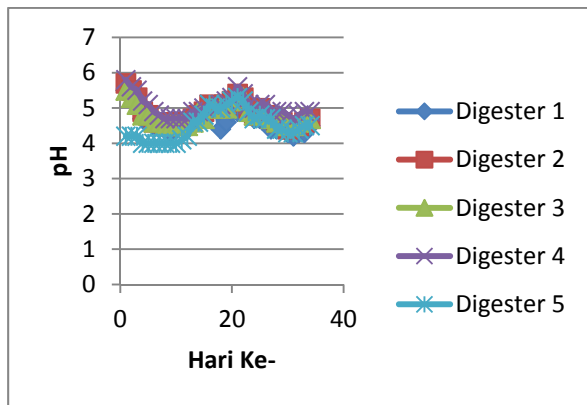


Gambar 2. Hubungan antara Waktu Pengamatan Terhadap Volume Biogas pada Proses Aklimatisasi

Dari Gambar 2 menunjukkan terjadinya penurunan volum biogas semenjak hari pertama aklimatisasi. Hal ini karena semakin berkurangnya pH di dalam digester menyebabkan terganggunya perkembangan mikroorganisme anaerob. Proses asidogenesis oleh bakteri asidogenik menguraikan senyawa organik sederhana yang terlarut menjadi asam-asam seperti asam asetat, asam propionat dan asam butirat. Akibatnya pH di dalam digester menjadi menurun. Menurunnya pH cairan di dalam digester menyebabkan berkurangnya aktivitas bakteri metanogen yang menghasilkan biogas (Ahmad, 1992), sehingga dapat dilihat terjadi penurunan volum biogas dari hari pertama sampai hari ke- 12. Hari pertama produksi biogas yang dihasilkan sebesar 3.410 ml sedangkan pada hari ke-12 produksi biogas yang dihasilkan sebesar 120 ml.

Perlu dilakukan penetralan pada cairan digester untuk menaikkan aktivitas bakteri metanogen dalam menghasilkan produksi biogas. Penetralan dilakukan dengan cara penambahan larutan NaOH 5 M. Penambahan larutan NaOH 5 M ini dilakukan dengan cara menambahkan setetes demi setetes NaOH 5 M pada umpan limbah segar yang akan

ditambahkan pada saat aklimatisasi hingga didapat pH umpan limbah segar ± 7 . Terlihat dari Gambar 2 bahwa tren produksi biogas semakin lama semakin meningkat semenjak hari ke-13 meskipun pada hari-hari tertentu terkadang terjadi penurunan volum biogas. Pada hari ke-31 sampai hari ke-34 produksi biogas yang dihasilkan tidak terlalu menunjukkan fluktuasi kenaikan volum yang terlalu signifikan setiap harinya. Maka dari itu proses aklimatisasi dianggap telah selesai dan mikroorganismenya di dalam digester dapat dikatakan telah menyesuaikan diri dengan kondisi limbah yang digunakan.

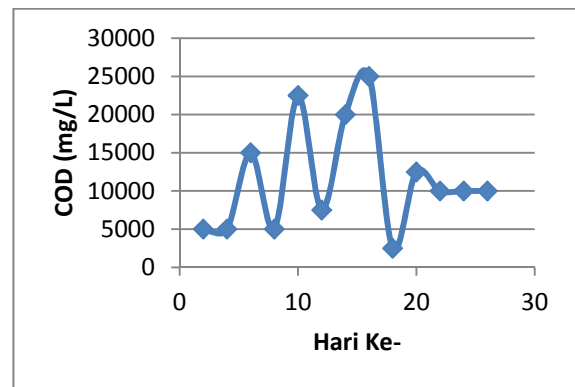


Gambar 3. Hubungan antara Waktu Pengamatan Terhadap pH pada Proses Aklimatisasi

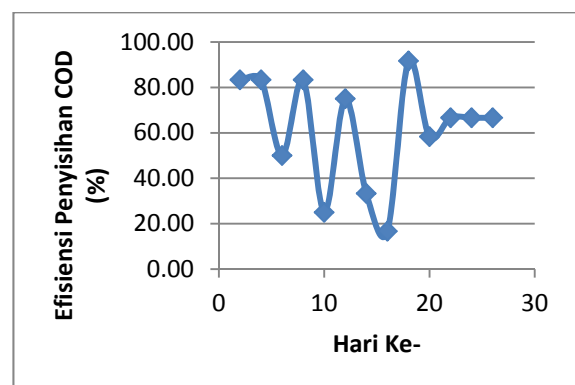
Gambar 3 menunjukkan nilai pH pada proses aklimatisasi terjadi fluktuasi dari hari pertama sampai hari ke-34. Dapat dilihat dari hari pertama sampai hari ke-12 terjadi penurunan pH yang mencapai nilai *range* 4,2-4,7 dikarenakan kondisi air buangan yang bersifat asam. Proses asidifikasi selama proses biodegradasi anaerob akan menghasilkan asam-asam volatil yang bersifat asam sehingga akan menyebabkan pH sistem menurun (Widjaja, 2008). Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan produksi biogas seperti yang terlihat pada Gambar 2. Cara untuk meningkatkan nilai pH cairan digester ialah dengan ditambahkan larutan NaOH pada limbah buangan yang akan dimasukkan hingga mencapai pH ± 7 .

3.3 Proses *Start-up*

Proses *start-up* dilakukan untuk menyesuaikan mikroorganismenya yang telah dibibitkan dan diaklimatisasi terhadap kondisi bioreaktor yang akan digunakan. Proses ini dilakukan dengan cara mengumpulkan limbah cair ke dalam bioreaktor dan dilakukan resirkulasi sampai dicapai keadaan tunak (*steady state*). Proses *start-up* dilakukan hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*) yang ditandai dengan fluktuasi nilai COD 10% (Ahmad, 2003). Hasil pengamatan COD dan efisiensi penyisihannya selama proses *start-up* dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Hubungan Waktu Pengamatan Terhadap COD pada Proses *Start-up*

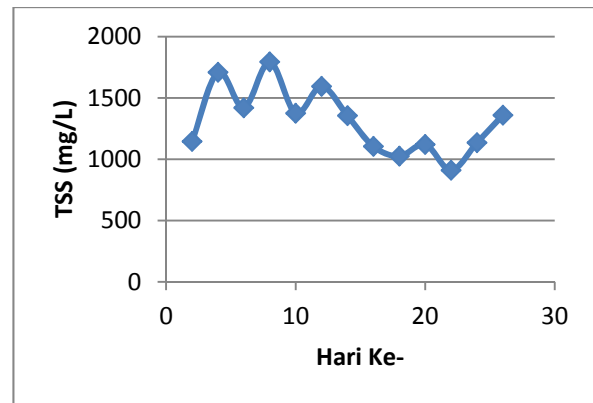


Gambar 5. Hubungan Waktu Pengamatan Terhadap Efisiensi Penyisihan COD pada Proses *Start-up*

Gambar 4 memperlihatkan proses *start-up* berlangsung selama 26 hari. Hal

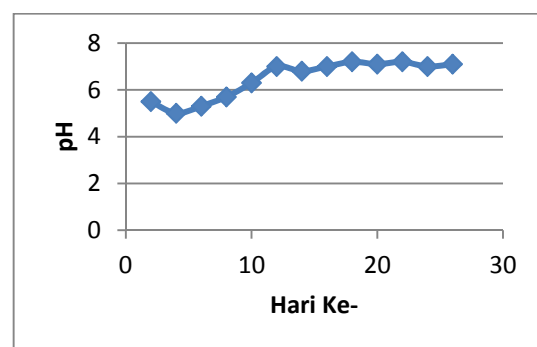
ini ditandai dengan sudah tercapainya kondisi tunak (*steady state*) yaitu pada hari ke-22, 24, dan 26. Pada 3 hari terakhir tersebut tidak terjadi perubahan nilai COD sebesar 10.000 mg/L. Gambar 4 memperlihatkan terjadinya fluktuasi nilai COD selama proses *start-up*. Fluktuasi yang signifikan terjadi pada rentang hari ke-4 sampai hari ke-20, sedangkan fluktuasi yang tidak terlalu signifikan terjadi pada rentang hari ke-20 sampai hari ke-26. Hal ini menunjukkan mikroorganisme anaerob sebagai agen pendegradasi mulai mampu mendegradasi senyawa-senyawa organik yang terdapat di dalam limbah yang diumpangkan. Ini menunjukkan proses pendegradasian senyawa-senyawa organik oleh mikroorganisme anaerob telah terjadi dengan baik dan optimum. Ahmad (2002) mendapatkan proses *start-up* pada bioreaktor anaerob selama 44 hari dengan efisiensi COD sebesar 88%. Pada penelitian ini, efisiensi penyisihan nilai COD yang didapat sampai pada hari ke-26 sebesar 66,67 % seperti terlihat pada Gambar 5.

Nilai TSS dan pH juga harus diamati pada proses ini. Nilai TSS menunjukkan kadar padatan tersuspensi pada keluaran bioreaktor, sedangkan nilai pH menunjukkan kondisi asam atau basa yang terdapat pada keluaran bioreaktor. Ini dilakukan agar mengetahui apakah pada pH yang diukur masih dalam rentang pH untuk kehidupan mikroba. Pengamatan nilai TSS pada proses *start-up* dapat dilihat pada Gambar 6 dan Pengamatan nilai pH pada proses *start-up* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Hubungan Waktu Pengamatan Terhadap Nilai TSS pada Proses *Start-up*

Pada Gambar 6 terlihat kecenderungan nilai TSS yang semakin menurun meskipun terjadi fluktuasi nilai TSS. Fluktuasi konsentrasi TSS dari hari ke-2 sampai hari ke-26 terjadi kenaikan dan penurunan. Pada hari ke-2 nilai TSS sebesar 1.145 mg/L dan pada hari ke-26 nilai TSS sebesar 1.360 mg/L. Perbandingan nilai TSS limbah segar yang sebesar 8.635 mg/L terhadap nilai TSS pada hari ke-26 menunjukkan bahwa proses pendegradasian senyawa-senyawa solid tersuspensi telah berjalan dengan baik. Pada penelitian ini, efisiensi penyisihan nilai TSS yang didapat sampai pada hari ke-26 sebesar 84,25 %.



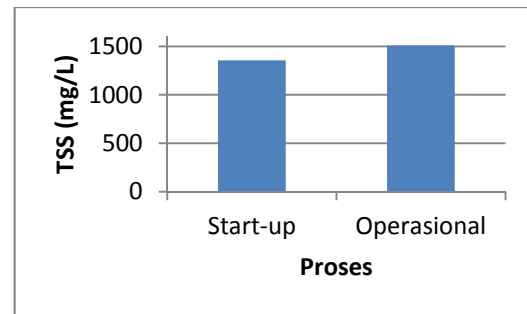
Gambar 7. Hubungan Waktu Pengamatan Terhadap Nilai pH pada Proses *Start-up*

Gambar 7 menunjukkan nilai pH limbah cair segar pada awal proses telah diukur sebesar 4. Pada hari ke-2 proses

start-up, pH keluaran bioreaktor terukur sebesar 5,5 dan menurun ke nilai 5 pada hari ke-4. Namun pada hari ke-6 sampai hari ke-12 terjadi kenaikan nilai pH secara terus menerus dan akhirnya semenjak hari ke-12 sampai hari ke-26 terjadi fluktuasi nilai pH yang tidak terlalu signifikan yaitu pada rentang 6,8-7,2 dan telah mencapai pH 7,1 pada hari ke-26. Rata-rata nilai pH selama proses *start-up* ialah 6,4. Ini menunjukkan proses anaerob akibat aktivitas mikroorganisme telah berjalan dengan baik. Karena untuk aktivitas mikroorganisme anaerob berlangsung dengan baik pada rentang pH 5,8 sampai 8,2 (Ahmad, 2004).

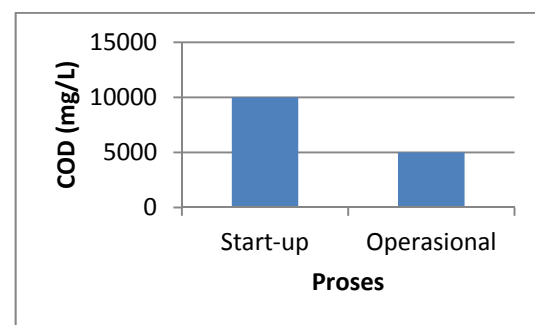
3.4 Proses Operasional

Proses operasional ini dilakukan setelah proses *start-up* pada bioreaktor telah mencapai keadaan tunak (*steady state*). Proses operasional ini dilakukan dengan mengkondisikan laju alir umpan bioreaktor dengan Waktu Tinggal Hidrolik (WTH) 3 hari (Atikalidia, 2011). Kondisi WTH 3 hari dilakukan dengan cara mengalirkan umpan dengan laju alir 3,3 L/hari ke dalam volume bioreaktor sebesar 10 liter. Keluaran bioreaktor akan dianalisa untuk melihat kandungan COD, TSS serta pH. Hasil analisa keluaran bioreaktor pada tahap operasional menunjukkan nilai pH sebesar 8,7, nilai COD sebesar 5.000 mg/L dan nilai TSS 1.510 mg/L. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 (1995), hanya nilai pH yang sudah memenuhi parameter yang telah ditetapkan oleh pemerintah yaitu dengan rentang pH 6-9. Namun untuk COD dan TSS masih belum memenuhi syarat. Perbandingan parameter TSS, COD dan pH pada proses *start-up* dan operasional dapat dilihat pada Gambar 8, 9 dan 10.



Gambar 8. Perbandingan Parameter TSS pada Proses *Start-up* dan Operasional

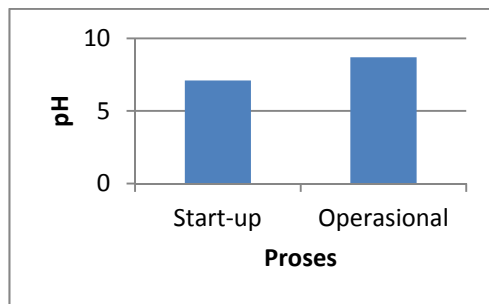
Gambar 8 menunjukkan bahwa terjadi sedikit kenaikan nilai TSS dari tahap *start-up* ke tahap operasional. Pada tahap *start-up*, nilai TSS yang didapat sebesar 1.360 mg/L. Sedangkan pada tahap operasional, nilai TSS yang didapat sebesar 1.510 mg/L. Hal ini diperkirakan terjadi akibat bertambahnya sedikit akumulasi kadar padatan tersuspensi saat proses operasional akibat dialirkan umpan limbah secara kontinu sehingga menyebabkan nilai TSS limbah sedikit mengalami kenaikan.



Gambar 9. Perbandingan Parameter COD pada Proses *Start-up* dan Operasional

Gambar 9 menunjukkan perbandingan parameter COD pada proses *start-up* dan operasional. Gambar 9 menunjukkan terjadinya perubahan nilai COD antara tahap *start-up* dan tahap operasional. Pada tahap *start-up*, nilai COD yang didapat sebesar 10.000 mg/L. Sedangkan pada tahap operasional, nilai COD semakin menurun hingga didapat nilainya sebesar 5.000 mg/L. Ini menandakan bahwa proses

pengolahan limbah pada tahap operasional sudah berjalan dengan baik.

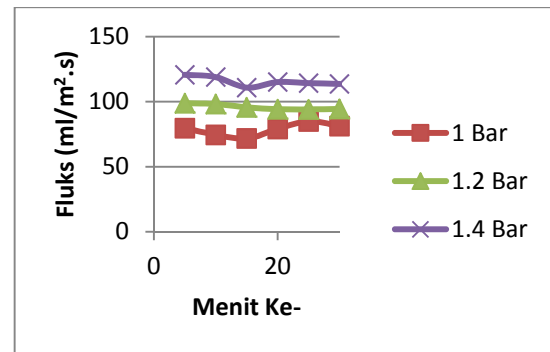


Gambar 10. Perbandingan Parameter pH pada Proses *Start-up* dan Operasional

Gambar 10 memperlihatkan kenaikan nilai pH dari tahap *start-up* ke tahap operasional. Pada tahap *start-up*, nilai pH yang didapat sebesar 7,1. Sedangkan pada tahap operasional, nilai pH yang didapat sebesar 8,7. Kemungkinan hal ini disebabkan karena kandungan-kandungan organik yang semakin meningkat sehingga menyebabkan meningkatnya nilai pH. Namun nilai pH yang didapat masih dalam rentang pH yang ditetapkan oleh pemerintah yaitu 6-9 (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51, 1995).

3.5 Nilai Fluks Membran Polisulfon Terhadap Umpan Membran

Pada penelitian ini, nilai fluks membran polisulfon diukur terhadap tekanan umpan membran. Nilai fluks menunjukkan jumlah volume permeat yang melewati satu satuan luas membran dalam waktu tertentu dengan adanya gaya dorong, dalam hal ini adalah tekanan (Mulder, 1996). Nilai fluks diukur untuk mengetahui kinerja membran terhadap sampel yang digunakan. Pengukuran fluks ini dilakukan selama 30 menit untuk setiap variabel proses dengan cara mengukur debit permeat membran per satuan waktu tiap 5 menit pengamatan. Hasil dari pengukuran fluks ini dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hubungan Waktu Pengamatan Terhadap Fluks Pada Berbagai Variasi Tekanan

Gambar 11 memperlihatkan grafik fluks terhadap waktu yang menunjukkan fluktuasi nilai fluks pada tekanan umpan membran pada 1, 1,2 dan 1,4 bar. Pada tekanan 1 bar, di menit awal yaitu pada menit ke-5 nilai fluks yang didapat sebesar 79,567 ml/m².s. Kemudian menurun pada menit ke-10 dan ke-15 yaitu sebesar 74,561 dan 71,782 ml/m².s. Tetapi mengalami kenaikan pada menit ke-20 dan ke-25 yaitu sebesar 79,070 dan 84,821 ml/m².s dan kembali menurun pada 5 menit terakhir yaitu 81,250 ml/m².s. Nilai fluks rata-rata sebesar 78,524 ml/m².s. Data tersebut memperlihatkan terjadinya fluktuasi nilai fluks yang beragam. Secara teori, fluks menunjukkan kecenderungan semakin lama semakin menurun dan akhirnya akan stabil dan konstan. Ini terjadi karena adanya fenomena *fouling* dan polarisasi konsentrasi yang terjadi pada membran. Peristiwa *fouling* terjadi akibat tersumbatnya pori-pori membran akibat proses pemisahan zat yang mengakibatkan kemampuan membran untuk penyaringan semakin berkurang. Polarisasi konsentrasi terjadi karena zat terlarut tertahan pada membran yang akan terakumulasi sehingga membentuk lapisan di dekat permukaan membran (Hanum, 2009). Hal ini menyebabkan penurunan fluks secara terus menerus sehingga kemampuan membran untuk penyaringan semakin berkurang. Namun pada Gambar 11 tidak terlalu terlihat tren penurunan nilai fluks. Hal ini diperkirakan belum

tercapainya kestabilan kinerja pada membran. Hal ini berdampak pada belum tercapainya kondisi jenuh pada membran dan kemungkinan akan tercapai jika waktu pengamatan fluks dibuat lebih lama.

Pada variabel tekanan 1.2 bar seperti pada Gambar 11, di menit awal yaitu pada menit ke-5 nilai fluks yang didapat sebesar 98,870 ml/m²s. Kemudian menurun pada menit ke-10, 15, 20 dan 25 yaitu sebesar 98,214, 95,670, 94,241 dan 94,109 ml/m²s. Namun sedikit mengalami kenaikan pada menit ke-30 yaitu sebesar 94,460 ml/m²s. Nilai fluks rata-rata sebesar 95,927 ml/m²s. Pada variabel tekanan 1,4 bar, di menit awal yaitu pada menit ke-5 nilai fluks yang didapat sebesar 120,690 ml/m²s. Kemudian menurun pada menit ke-10 dan ke-15 yaitu sebesar 118,902 dan 110,825 ml/m²s. Namun sedikit mengalami kenaikan pada menit ke-20 yaitu sebesar 115,079 ml/m²s dan kembali menurun pada menit ke-25 dan ke-30 yaitu 114,286 dan 113,636 ml/m²s. Nilai fluks rata-rata sebesar 115,570 ml/m²s.

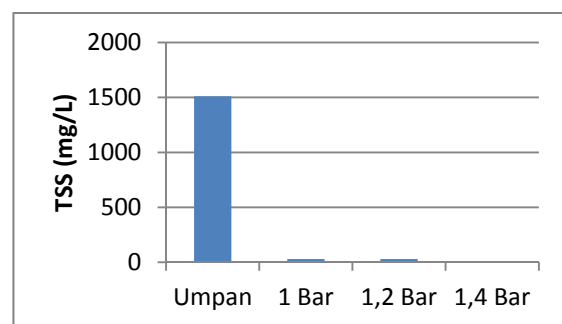
Data-data tersebut secara keseluruhan menunjukkan tren yang menurun dan akhirnya akan stabil meskipun pada pengamatan fluksnya ada terjadi sedikit fluktuasi yang tidak terlalu signifikan. Ini terjadi karena adanya fenomena polarisasi konsentrasi yang terjadi pada membran. Polarisasi konsentrasi terjadi karena zat terlarut tertahan pada membran yang akan terakumulasi sehingga membentuk lapisan di dekat permukaan membran (Hanum, 2009). Akibat dari peristiwa ini menyebabkan berkurangnya kinerja membran dalam kemampuan menyaring padatan-padatan tersuspensi.

Gambar 11 juga memperlihatkan hubungan tekanan terhadap fluks. Semakin besar tekanan yang diberikan ke membran maka nilai fluks yang dihasilkan juga akan semakin meningkat. Ini diakibatkan karena *driving force* yang berupa tekanan akan lebih mendesak molekul fluida jika *driving force* ditingkatkan. Sehingga menyebabkan

volume fluida yang melewati membran per satuan luas permukaan juga akan semakin besar.

3.6 Kemampuan Mereduksi TSS dan pH pada Proses Membran

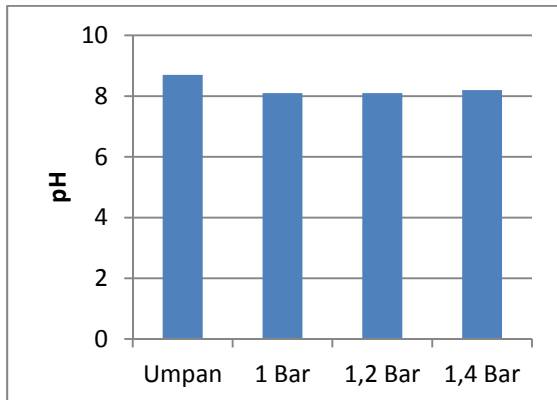
Kinerja membran dalam menurunkan kandungan-kandungan organik dilihat bagaimana nilai parameter sebelum dan sesudah melewati membran. Parameter-parameter yang dilihat berupa pH dan TSS. Perbandingan hasil pengukuran TSS berbagai variasi tekanan dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Perbandingan Hasil Pengukuran TSS Berbagai Variasi Tekanan

Gambar 12 memperlihatkan nilai TSS tiap variasi tekanan membran jauh turun drastis apabila dibandingkan terhadap umpan membran. Nilai TSS umpan limbah sebelum dilewatkan ke membran sebesar 1.510 mg/L dan setelah dilewatkan membran, nilai TSS untuk tiap variasi tekanan umpan mengalami penurunan yang drastis. Pada tekanan 1 bar, nilai TSS yang didapat sebesar 30 mg/L, pada tekanan 1,2 bar, nilai TSS yang didapat sebesar 30 mg/L sedangkan untuk tekanan 1,4 bar, nilai TSS yang didapat sebesar 0 mg/L. Ini menunjukkan banyaknya partikel-partikel solid yang tertahan di pori-pori membran sehingga menyebabkan permeat yang dihasilkan berwarna coklat jernih. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 (1995), baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah untuk parameter TSS limbah cair industri

minyak kelapa sawit ialah 300 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwasanya untuk ketiga variabel tekanan umpan, nilai TSS telah memenuhi kriteria yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Ini artinya, untuk parameter TSS, limbah ini sudah aman jika dilepaskan ke lingkungan. Dalam hal parameter pH, perbandingan hasil pengukuran pH berbagai variasi tekanan dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Perbandingan Hasil Pengukuran pH Berbagai Variasi Tekanan

Gambar 13 menunjukkan bahwasanya nilai pH tiap variasi tekanan membran menurun apabila dibandingkan terhadap umpan membran. Nilai pH umpan limbah sebelum dilewatkan ke membran sebesar 8,7 dan setelah dilewatkan membran, nilai pH untuk tiap variasi tekanan umpan mengalami penurunan. Pada tekanan 1 bar, nilai pH yang didapat sebesar 8,1, pada tekanan 1,2 bar, nilai pH yang didapat sebesar 8,1 sedangkan untuk tekanan 1,4 bar, nilai pH yang didapat sebesar 8,2. Ini menunjukkan banyaknya partikel-partikel solid dan kandungan organik yang tertahan di pori-pori membran yang mempengaruhi nilai pH sehingga menyebabkan nilai pH menurun. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 (1995), baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah untuk parameter pH limbah cair industri minyak kelapa sawit ialah dalam rentang 6-9. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwasanya untuk ketiga variabel tekanan

umpan, nilai pH telah memenuhi kriteria yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Ini artinya, untuk parameter pH, limbah ini juga sudah layak untuk dilepaskan ke lingkungan.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Proses aklimatisasi dan *start-up* pada proses anaerob dalam pengolahan limbah cair kelapa sawit didapat selama 26 hari dengan nilai COD, TSS dan pH pada tahap *start-up* hari terakhir ialah 10.000 mg/L, 1.360 mg/L dan 7,1 dengan efisiensi penyisihan COD dan TSS sebesar 66,67% dan 84,25%. Pada tahap operasional, didapat nilai COD, TSS dan pH sebesar 5.000 mg/L, 1.510 mg/L dan 8,7 dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 50%.
2. Semakin tinggi tekanan umpan yang diberikan maka nilai fluks membran semakin besar. Rata-rata nilai fluks untuk tekanan 1, 1,2, dan 1,4 bar sebesar 78,524, 95,927 dan 115,570 ml/m²s. Nilai fluks optimum permeat limbah cair kelapa sawit diperoleh pada tekanan 1,4 bar sebesar 115,570 ml/m²s. Namun demikian, meskipun dengan fluks yang tinggi ini tidak diikuti dengan nilai COD yang baik.
3. Tekanan umpan membran yang paling baik didapat pada tekanan 1,2 bar dengan nilai parameter pH dan TSS yang didapat sebesar 8,1 dan 30 mg/L dengan efisiensi penyisihan TSS sebesar 98,01%.
4. Rejeksi membran yang dihasilkan pada penelitian ini pada tekanan 1,2 bar didapat sebesar 98,01%.

Saran dari penelitian ini ialah perlu dilakukan pengamatan waktu fluks yang lebih lama pada saat proses pemisahan di membran untuk melihat karakteristik membran yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S., Pudji, S., Widiyanto, T., & Trisni. (2010). Penggunaan Teknologi Membran pada Pengolahan Air Limbah Industri Kelapa Sawit. *Workshop Teknologi Industri Kimia dan Kemasan*.
- Ahmad, A. (1992). Kinerja Bioreaktor Unggun Fluidisasi Anaerobik Dua Tahap Dalam Mengolah Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit. *Laporan Magang Pusat Antar Universitas-Bioteknologi ITB*.
- Ahmad, A., & Wenten, I.G. (1999). Membran Bioreaktor Anaerob untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Minyak Sawit. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia I*.
- Ahmad, A., & Wenten, I.G. (1999). Kinerja Membran Mikrofiltrasi dalam Sistem Bioreaktor Membran Anaerob. *Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses*.
- Ahmad, A. (2002). Pengolahan Limbah Cair Industri Minyak Sawit Dengan Bioreaktor Membran Anaerob. *Laporan Riset Unggulan Terpadu VIII Bidang Teknologi Perlindungan Lingkungan*. Lembaga Penelitian dan Pemberdayaan Masyarakat. Institut Teknologi Bandung.
- Ahmad, A., Setiadi, T., Syafila, M., & Liang O.B. (2003). Bioreaktor Berpenyekat Anaerob untuk Pengolahan Limbah Cair Industri yang Mengandung Minyak dan Lemak. Pengaruh Pembebanan Organik Terhadap Kinerja Bioreaktor. *TISSN 0854-7769*. Bandung: Bioteknologi ITB.
- Ahmad, A. (2004). Studi Komparatif Sumber dan Proses Aklimatisasi Bakteri Anaerob pada Limbah Cair yang Mengandung Karbohidrat, Protein dan Minyak-Lemak. *Jurnal Sains dan Teknologi*, Vol. 3 No.1
- Amri, I. (2010). *Separation Membrane Materials and Structure*. Materi Presentasi. Teknik Kimia Universitas Riau.
- Anonim. (1995). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: Kep-51/MenLH/10/1995 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri*. Baku Mutu Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit.
- APHA, AWWA, and WPCF. (1992). *Standard Methods for The Examination of Water dan Wastewater*. Washington DC: American Public Health Association.
- As'ad, M. & Rahmayett. (2010). Pengaruh Waktu Tinggal Padatan (WTP) Biomassa pada Pengolahan Limbah Cair Purified Terephthalic Acid (PTA) dengan Proses Anaerob-Membran. Banten, generasiinfo.files.wordpress.com/.../jurnal-pengaruh-waktu-tinggal-padatan-wtp-biomassa-pada-pengolahan-limbah-cair-purified-terephthalic-acid-..
- Atikalidia, M., (2011). Penyisihan COD & Produksi Biogas Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit. Laporan Penelitian Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik. Universitas Riau. Pekanbaru.
- Baker, R.W. (2004). *Membrane Technology and Applications 2nd Edition*. California: John Wiley & Son Ltd.
- Desmiarti, R., Ahmad, A., & Setiadi, T. (2001). Penerapan Kombinasi Proses Anaerob dengan Membran Polipropilen untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit. *Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia*.
- Desmiarti, R., Ahmad, A., & Setiadi, T. (2001). Fenomena Flok Bakteri

dalam Bioreaktor Membran Anaerob untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit. *Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia*.

Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian Departemen Pertanian. (2006). Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit. Jakarta: Departemen Pertanian.

Hanum, F. (2009). Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit Dari Unit Deoilling Ponds Menggunakan Membran Mikrofiltrasi. Tesis. Universitas Sumatera Utara.

Mahajoeno, E. (2011). Energi Terbarukan Dari Limbah Pabrik Kelapa Sawit. *~Limbah Pabrik Kelapa Sawit dibuat untuk Energi Terbarukan*. Bandung: Alpen Steel.

Manurung, R. (2004). Proses Anaerobik Sebagai Alternatif Untuk Mengolah Limbah Sawit. repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/1324/1/tkimia-renita.pdf

Mulder, M. (1996). *Basic Principle of Membrane Technology*. Nederland: Kluwer Aca Publisher.

Murjito. (2009). Desain Alat Penangkap Gas Methan pada Sampah menjadi Biogas. Teknik Mesin. Universitas Muhammadiyah Malang.

Wenten, I.G. (2001). Teknologi Membran Industrial. Institut Teknologi Bandung

Widjaja, T., Altway, A., Prameswarhi, P., & Wattimena, F.S. (2008). Pengaruh HRT dan Beban COD Terhadap Pembentukan Gas Metan pada Proses Anaerobic Digestion Menggunakan Limbah Padat Tepung Tapioka. *Jurnal Institut Teknologi Surabaya*.

