

Evaluasi dan Perbaikan Kinerja Lingkungan dan Peningkatan Produktivitas Menggunakan Metode *Green Productivity* di Pabrik Gula

Moses L . Singgih dan Ketut Ratna Dewi
Jurusan Teknik Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya
Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
Email: moses@ie.its.ac.id

ABSTRAK

Kelestarian lingkungan dan kesehatan masyarakat menuntut semua pihak untuk menjaga kelestarian lingkungan termasuk pihak industri. Penelitian di Pabrik Gula ini dilakukan dalam rangka memperbaiki proses produksi, sehingga proses itu menjadi ramah lingkungan. Pada tahap planning, proses pemecahan masalah penelitian ini diawali dengan wawancara dan brainstorming pada para kepala bagian pabrikasi untuk menentukan akar permasalahannya dan mempelajari proses produksi dan melihat kemungkinan perbaikan yang dilakukan. Dilanjutkan dengan studi literatur untuk mencari solusi terhadap proses produksi tersebut menjadi lebih efisien dan ramah lingkungan. Pengumpulan data-data yang diperlukan melalui penyebaran kuesioner, mencari data BAPEDAL sehingga bisa dijadikan acuan untuk mencari solusi yang tepat. Metode untuk menganalisa alternatif yang paling tepat menggunakan indeks produktivitas, indeks EPI. Dari hasil penelitian diperoleh dua permasalahan yaitu pada stasiun boiler dan unit pengolahan limbah cair. Alternatif yang terpilih untuk permasalahan stasiun boiler yaitu memasang HE (Heat exchanger) dan bahan bakar alternatif yaitu minyak bakar (IDO) dengan NPV sebesar Rp. 233.302.435,- Untuk permasalahan di unit pengolahan limbah cair, alternatif yang terpilih yaitu dengan memasang seperangkat DAF (Dissolved Air Flotation) dengan NPV sebesar Rp. 19.637.800,-

Kata Kunci : *Green Productivity, Indeks EPI, Pabrik Gula*

A. Pendahuluan

Masalah kelestarian lingkungan merupakan idaman semua orang tetapi seringkali kelestarian lingkungan seringkali dikaitkan dengan biaya, memperbaiki kinerja lingkungan berarti meningkatkan biaya. Akhir-akhir ini timbul pemikiran untuk mengendalikan masalah lingkungan tetapi juga menguntungkan secara finansial sehingga timbullah istilah *Green Productivity*. *Green productivity* berawal sebagai sebuah strategi untuk meningkatkan produktivitas dan kinerja lingkungan secara bersamaan. Ini merupakan aplikasi dari tool, teknik, teknologi dan manajemen lingkungan yang cocok untuk mereduksi beban lingkungan dari aktivitas organisasi, proses produksi untuk membuat produk dan jasa. Obyek penelitian dalam penelitian ini adalah pabrik gula.

Perumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang masalah yang dihadapi Pabrik Gula yang diteliti, yaitu bagaimana meningkatkan produktivitas kerja yang berkaitan dengan mengoptimalkan input produksi yang berupa tenaga kerja, mesin, dan metode *Green Productivity*. Pokok permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi naik turunnya tingkat produktivitas.
2. Bagaimana meningkatkan produktivitas perusahaan dengan memperhatikan aspek keramahan lingkungan terhadap proses produksi yang terjadi di perusahaan

Beberapa tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pengukuran produktivitas lingkungan.
2. Melakukan evaluasi untuk mencari faktor-faktor yang berpengaruh terhadap produktivitas lingkungan.
3. Menurunkan dampak limbah terhadap lingkungan dan menyusun rencana implementasi *Green Productivity*

B. Konsep *Green Productivity*

Green Productivity [2] kalau diterjemahkan dapat diartikan Produktivitas Ramah Lingkungan (PRL) yang merupakan bagian dari program peningkatan produktivitas yang ramah lingkungan dalam rangka menjawab isu global tentang pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development*).

Konsep *Green Productivity* adalah diambil dari penggabungan dua hal penting dalam strategi pembangunan, yaitu:

- Perbaikan produktivitas
- Perlindungan lingkungan

Tiga langkah penting dalam metodologi *Green Productivity* antara lain :

1. *Getting Started*

Permulaan dari proses *Green Productivity* adalah *walk-through survey* untuk menggabungkan informasi *base-line* dan mengidentifikasi ruang lingkup permasalahan.

2. *Planning*

Pada tahap *planning* ini dibagi lagi menjadi dua langkah yaitu:

- a. Mengidentifikasi problem dan penyebabnya
- b. Menentukan tujuan dan target

3. *Generation and Evaluation of GP Options*

Langkah ini mencakup pengembangan alternatif solusi untuk mempertemukan tujuan serta target yang telah dirumuskan di langkah sebelumnya. Hal ini mencakup sudut pandang terhadap pencegahan polusi dan prosedur kontrol yang telah direncanakan. Opsi-opsi dimunculkan dan diprioritaskan berdasarkan *Benefit-Cost Ratio* dan analisa kelayakan teknis. Semua itu kemudian disintesis ke dalam rencana implementasi.

KINERJA LINGKUNGAN

Kinerja lingkungan diukur dengan Environmental Performance Indicator (EPI) yang merefleksikan efisiensi lingkungan dari proses produksi dengan melibatkan jumlah input dan output.

Indeks EPI dihitung dengan rumusan :

$$\text{IndeksEPI} = \sum_{i=1}^k W_i \cdot P_i$$

Di mana nilai k adalah jumlah kriteria limbah yang diajukan. W_i adalah bobot (*weight*) dari masing-masing kriteria. Bobot ini didapatkan melalui penyebaran kuesioner pada para ahli kimia lingkungan. Bobot (*weight*) yang dimaksud diatas didasarkan pada parameter kesehatan manusia dan keseimbangan lingkungan (flora dan fauna).

Nilai P_i merupakan prosentase penyimpangan antara standart BAPEDAL dengan hasil analisa [4]

$$P = \frac{S \text{ tan dar} - \text{Analisa}}{S \text{ tan dar}} \times 100\%$$

C. METODOLOGI PENELITIAN

1. Pengamatan awal perusahaan

Bertujuan mengetahui kondisi real perusahaan, khususnya kondisi proses produksi perusahaan, khususnya proses yang banyak menghasilkan limbah.

2. Penetapan Tujuan dan Target

Setelah mengetahui permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan, maka selanjutnya harus ditetapkan apa yang terjadi tujuan dari penelitian yang akan dilakukan dapat benar-benar mengarah pada pencapaian tujuan penelitian dan membantu pihak perusahaan dalam menyelesaikan permasalahan yang ada.

3. Pengukuran Produktivitas

Pengukuran produktivitas dilakukan dengan membagi antara output total dengan input total yang meliputi penggunaan material, biaya tenaga kerja, penggunaan energi

4. Penyebaran Dan Pengujian Kuisioner

Kuisioner dimaksudkan untuk menentukan nilai bobot (*weight*) dari tingkat bahaya setiap zat kimia terhadap parameter keseimbangan lingkungan dan kesehatan manusia.

5. Identifikasi EPI

EPI merupakan tolak ukur kinerja atau performansi lingkungan suatu perusahaan.

6. Identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas

Mencari faktor-faktor apa aja yang mempengaruhi untuk meningkatkan produktivitas.

7. Penyusunan Alternatif Solusi

Pada tahap ini penulis berusaha memecahkan permasalahan yang ada dengan menyusun beberapa alternatif solusi yang disesuaikan dengan tujuan dan target yang telah ditetapkan.

8. Pemilihan alternatif dengan net present value (NPV)

Dalam memilih alternatif solusi yang telah dimunculkan pada tahap sebelumnya, digunakan NPV.

9. Estimasi kontribusi dari solusi terpilih terhadap produktivitas dan kinerja lingkungan

Setelah menemukan alternatif terbaik dan melakukan analisa teknisnya, penulis membuat estimasi peningkatan terhadap angka produktivitas serta indeks EPI. Ini merupakan salah satu tujuan utama konsep *Green Productivity*.

10. Penyusunan Rencana Implementasi

Tahap ini merupakan kelanjutan dari analisa kelayakan teknis, dimana penulis akan membuat jadwal rencana implementasi beserta pelaksanaannya.

11. Analisa Dan Interpretasi

Analisa yang dilakukan berdasarkan dari hasil perhitungan indeks produktivitas, indeks EPI, alternatif terpilih, dsb.

12. Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan analisis terhadap hasil pengolahan data dan implementasi perbaikan metode proses produksi maka dapat diambil kesimpulan sebagai hasil penelitian. Selain itu juga diberikan saran kepada perusahaan tentang hal-hal yang sebaiknya dilakukan agar kinerja perusahaan dapat lebih baik lagi di masa yang akan datang.

D. PENGUMPULAN DATA

D.1 LIMBAH PABRIK GULA

Limbah yang dihasilkan Pabrik Gula yang diteliti terdiri atas :

A. Limbah padat

☞ Blotong hasil filtrasi vacum filter selanjutnya digunakan masyarakat untuk pupuk tanaman.

☞ Ampas hasil pemerahan nira pada stasiun gilingan dapat digunakan sebagai bahan baku kertas, kamps rem dan sebagai bahan bakar ketel.

☞ Abu ketel, merupakan sisa pembakaran ampas di stasiun ketel.

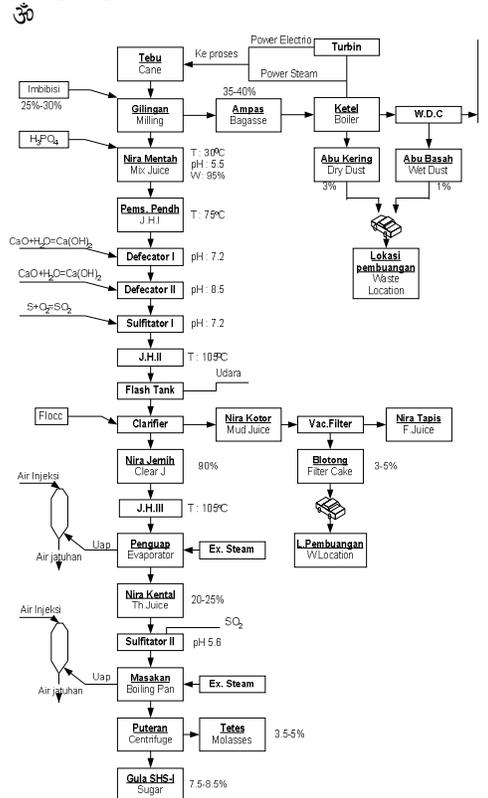
B. Limbah cair

☞ Air pendingin mesin, didinginkan untuk mendinginkan mesin atau peralatan pabrik antara lain meliputi peralatan mesin giling, stasiun penguapan, stasiun masakan, stasiun puteran dan pendingin pada unit pembangkit listrik.

☞ Blow down dari ketel, akan tercampur bersama air buangan dari air pendingin mesin.

C. Limbah gas

☞ Asap dan jelaga hasil pembakaran ampas pada stasiun ketel.



Gambar 1. Flow Proses Produksi

D.2 Proses produksi

Proses pembuatan gula di PG. CANDI BARU sidoarjo menggunakan proses double sulfitasi alkalis continue dengan produk gula jenis SHS. Pelaksanaannya dibagi dalam beberapa tahap yang meliputi beberapa stasiun, yaitu :

1. Proses **Pemerahan Tebu (Ekstraksi)** di *stasiun gilingan*

Tebu yang sudah ditimbang dipindahkan dari lori atau truk ke meja tebu dengan menggunakan travelling cane yang digerakkan oleh motor listrik. Pada ujung meja tebu, tebu diratakan dengan pisau perata agar permukaan tumpukan tebu tidak terlalu tebal sehingga tidak memberatkan kerja pisau perata.

2. Proses **Pemurnian Nira** di *stasiun pemurnian*

Nira mentah yang berasal dari stasiun gilingan ditimbang dahulu dengan timbangan boulogne. Fungsi dari penimbangan ini adalah untuk mengetahui berat nira yang diperoleh dari berat tebu yang digiling dan menentukan jumlah zat-zat yang ditambahkan dalam proses selanjutnya.

3. Proses **Penguapan (Evaporasi)** di *stasiun penguapan*

untuk menguapkan sebagian besar air yang terkandung di dalam nira encer dengan kadar brix 13-14%, sehingga didapat nira kental dengan kadar brix 60-65%.

4. Proses **Kristalisasi** di *stasiun Masakan*

Pada stasiun masakan di pabrik gula dilakukan penguapan kedua, yaitu memasak nira kental atau kristalisasi. Dapat dilakukan pemasakan ke masakan A, masakan D, masakan C.

5. Proses **Pemisahan Kristal** di *stasiun puteran*

Prinsip proses puteran adalah memisahkan kristal-kristal dari larutan induknya dengan menggunakan centrifugal. Didalam centrifugal bahan padat (kristal) akan tertahan di tempat dan cairan keluar melalui saluran pipa centrifuge dan berputar didalamnya.

6. Proses **Pengeringan dan Pembungkusan** di *stasiun penyelesaian*

a. Pengeringan alamiah : Gula SHS yang keluar dari puteran SHS dibawa menuju talang goyang.

b. Pengayakan : Gula kering yang dikeluarkan dari tromol puteran SHS akan

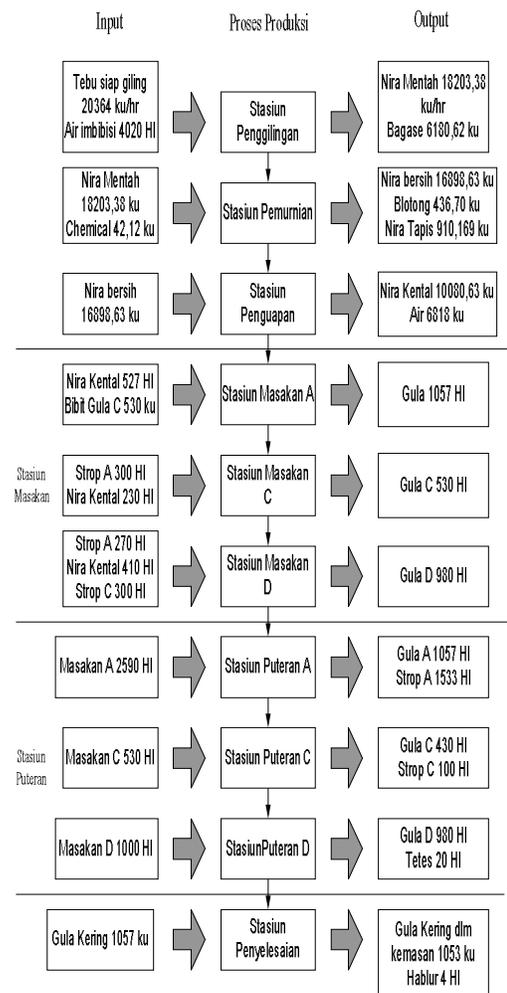
turun ke ayakan getar yang terdiri dari tiga tingkat, yaitu :

- ☞ Ayakan kasar menghasilkan gula kasar/gula kerikil.
- ☞ Ayakan normal menghasilkan gula normal/gula produk.
- ☞ Ayakan halus menghasilkan gula halus.

c. Penimbangan : Hasil produksi yang berupa gula normal dimasukkan dalam karung plastik. Tiap karung berisi gula seberat 50 Kg.

D.3 Material Balance

Material balance (neraca material) menunjukkan keseimbangan material yaitu output dan input dalam setiap proses. Dibawah ini adalah aliran material dalam proses pembuatan gula dan dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini :



Gambar 2. Diagram Material Balance

D.4 Environmental Performance Indicator (EPI)

1 Kandungan Zat Kimia

Data kandungan zat kimia disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Limbah

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa
1	BOD5	mg/l	10
2	COD	mg/l	21
3	TSS	mg/l	6
4	Minyak & Lemak	mg/l	0,2
5	Sulfida (sbg H ₂ s)	mg/l	0
6	CO	mg/m ³	10,64
7	SO ₂	mg/m ³	4,48

Tabel 2. Nilai Total Korelasi

No	Variabel	Keseimbangan lingkungan	Kesehatan manusia
1	BOD5	0,7931	0,8292
2	COD	0,5404	0,6027
3	TSS	0,5863	0,6027
4	Minyak & Lemak	0,63	0,5237
5	Sulfida (sbg H ₂ s)	0,59	0,7412
6	NO ₂	0,5863	0,8292
7	SO ₂	0,7006	0,6076

Setelah melakukan pengumpulan data dan penyebaran kuisioner maka langkah selanjutnya adalah melakukan penilaian terhadap kinerja lingkungan dengan menggunakan indeks EPI. Maka dapat hasil perhitungan indeks EPI sebagai berikut :

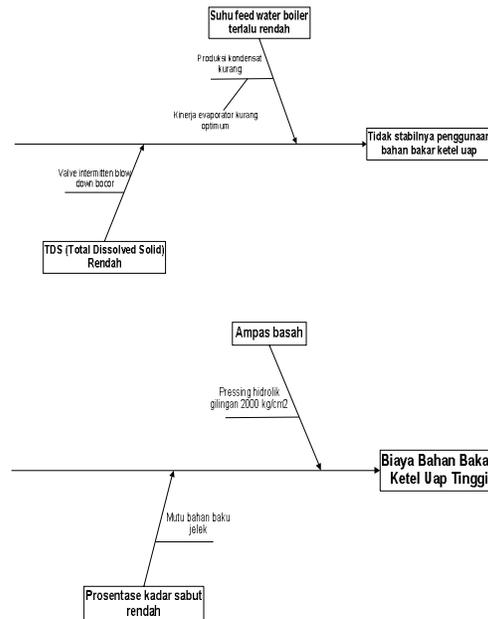
Variabel	Bobot (W _i)	Standart Bapendal	Hasil Analisa	Penyimpangan (P _i)	Indeks EPI (W _i .P _i)
BOD5	3,50	21,1 mg/l	10 mg/l	52,61%	1,84
COD	3,17	41,7 mg/l	21 mg/l	49,64%	1,57
TSS	3,38	20,8 mg/l	6 mg/l	71,15%	2,40
Minyak & Lemak	3,29	2,08 mg/l	0,2 mg/l	90,38%	2,98
Sulfida (sbg H ₂ s)	4,08	0,208 mg/l	0 mg/l	0,00%	0,00
NO ₂	3,58	1000 mg/m ³	10,64 mg/m ³	98,94%	3,55
SO ₂	4,08	800 mg/m ³	4,48 mg/m ³	99,44%	4,06
Total					16,40

E Identifikasi Diagram Sebab Akibat

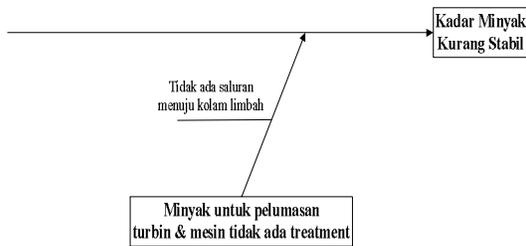
Diagram sebab akibat adalah suatu bentuk diagram yang digunakan untuk mencari faktor-faktor penyebab dari suatu penyimpangan. Hubungan dalam *Green Productivity*, diagram ini sangat bermanfaat untuk mengilustrasikan dengan jelas macam-macam penyebab yang dapat mempengaruhi limbah produksi yang dihasilkan.

Di pabrik gula ini, stasiun boiler dan pengolahan limbah cair memiliki fungsi yang paling penting. Stasiun boiler memiliki fungsi sebagai penghasil steam yang digunakan untuk membangkitkan generator listrik dan untuk proses penguapan di evaporator apabila steam yang dihasilkan tidak stabil dan biaya pembakaran sangat tinggi dapat berakibat langsung berhentinya proses produksi yang tentu sangat mempengaruhi jumlah output yang akan dihasilkan sehingga produktivitas perusahaan dapat menurun.

Dari pengamatan yang dilakukan diperoleh analisis diagram sebab akibat dan dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 3. Diagram sebab akibat Kebutuhan bahan bakar ketel



Gambar 4. Diagram sebab akibat permasalahan limbah cair

F Penyusunan Alternatif Solusi

Berdasarkan pada hasil analisa diagram sebab akibat, dibuat beberapa pilihan solusi dari dua permasalahan yang penting yang dialami oleh pabrik gula ini agar dapat melakukan penerapan *Green Productivity*, yaitu:

a. Permasalahan di ketel uap

Dari permasalahan di ketel uap diperoleh dua alternatif yang dapat mengatasi permasalahan tersebut yaitu :

1. Menaikkan suhu boiler feed water dan penambahan bahan bakar serbuk kayu.

Rendahnya suhu Boiler Feed water sebesar 30°C akan menyebabkan tingginya biaya bahan bakar. Untuk menaikkan suhu boiler feed water dari 30°C sampai 75°C yaitu dengan pemasangan alat penukar panas (Heat exchanger) dengan tipe shell and tube. Alat ini terdiri dari sebuah shell yang didalamnya berisi banyak tabung-tabung kecil tube yang sumbunya sejajar dengan sumbu shell. Air kondensat dari evaporator 2 yang berfungsi sebagai pemanas mengalir dibagian tube sedangkan air yang akan dipanaskan (boiler feed water) dialirkan dibagian shell. Panas dari bagian tube akan dialirkan secara konveksi maupun konduksi kebagian shell sehingga suhu keluaran boiler feed water menjadi lebih tinggi yang akan mengakibatkan bahan bakar untuk ketel uap menjadi berkurang. Penambahan serbuk kayu (yang dimana dulu hanya menggunakan ampas) yang memiliki kalor bakar yang tinggi dari pada ampas. Adapun tujuan dari penambahan bahan bakar

serbuk kayu untuk meringankan beban bahan bakar ketel dan meningkatkan air kondensat yang bisa dimanfaatkan untuk menangkap abu ketel (Wet Dust Collector).

2. Menaikkan suhu boiler feed water dan penambahan bahan bakar minyak bakar (IDO)

Pada alternatif kedua suhu boiler feed water juga dinaikkan dari 30 °C menjadi 75 °C tetapi sebagai bahan bakar tambahan digunakan Minyak bakar (IDO) dengan nilai bakar yang cukup tinggi sehingga beban bahan bakar ketel sangat rendah dan meningkatkan air kondensat yang bisa dimanfaatkan untuk menangkap abu ketel (Wet Dust Collector).

b. Permasalahan limbah cair

Adanya minyak dari proses pelumasan mesin dari turbin yang terikut disalurkan ke limbah perlu dipisahkan secara maksimal untuk mengurangi bahaya limbah minyak dan juga penghematan kebutuhan minyak pelumas sehingga bisa terjadi penghematan dari segi biaya. Untuk permasalahan tersebut diperoleh dua alternatif yaitu :

1. Memasang bak penangkap minyak.

Bak penangkap minyak berfungsi untuk memisahkan minyak dengan air secara perbedaan densitas (massa jenis) yaitu minyak berada diatas dan air berada dibawah. Dikolam penangkap minyak, minyak yang berada dibagian atas bak tersebut akan mengalir secara overflow. Dan disalurkan kembali ke tempat penampungan minyak gelincir. Sehingga kebutuhan minyak gelincir bisa dihemat.

2. Memasang DAF (Dissolved Air Flootation)

DAF adalah seperangkat alat pemisah minyak dari air dimana alat DAF dilengkapi tangki retensi yang berfungsi mengontakkan udara yang bertekanan untuk mengapungkan minyak di dalam limbah yang kemudian ditangkap dengan scraper sehingga minyak akan dialirkan melalui saluran yang sudah dibuat untuk dipakai ulang dan cairannya akan dialirkan ke proses selanjutnya di

Unit Pengolahan Limbah Cair (UPLC).

G Pemilihan Alternatif

Dari penyusunan alternatif diatas akan dipilih salah satu dan akan digunakan diperusahaan P.G candi. Sehingga dapat membantu perusahaan mengatasi masalah limbah sehingga ramah lingkungan dengan biaya yang minimal.

Adapun data-data yang dibutuhkan untuk menentukan alternatif yang akan dipakai nantinya diperusahaan yaitu data biaya investasi awal, biaya operasional dan biaya penghematan. Berikut ini cara perhitungan untuk pemilihan alternatif :

A. Permasalahan pada ketel uap

1. Alternatif pertama yaitu pemasangan HE (Heat Exchanger) dan penambahan bahan bakar alternatif yaitu serbuk kayu.

Keuntungan yang didapatkan oleh perusahaan adalah penghematan Biaya bahan bakar sebesar Rp 89.639.667 atau menurun sebesar 42% dari biaya penggunaan bahan bakar semula.

Analisa NPV ini diestimasikan hingga periode 8 tahun mendatang hasil perhitungan NPV sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{PV benefit} &= \text{Total penghematan (P/A,i\%,n)} \\ &= 89.639.000 (P/A,12\%,8) = \text{Rp} \\ &445.326.552 \end{aligned}$$

$$\text{PV biaya} = \text{Investasi awal} + \text{biaya operasional dan perawatan (P/A,i\%,n)}$$

$$= \text{Rp}210.000.000 + \text{Rp}13.543.000(P/A,12\%,8) = \text{Rp} 277.281.624$$

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \text{PV benefit} - \text{PV biaya} \\ &= \text{Rp} 445.326.552 - \text{Rp} 277.281.624 \\ &= \text{Rp} 168.044.928 \end{aligned}$$

2. Alternatif kedua adalah dengan pemasangan HE dan penambahan bahan bakar alternatif yaitu IDO (Minyak Bakar).

Keuntungan yang didapatkan oleh perusahaan adalah penghematan Biaya bahan bakar untuk ketel sebesar Rp 165.181.000 menurun sebesar 78% dari biaya penggunaan bahan bakar semula. Jadi penurunan bahan bakar yang digunakan akan mempengaruhi jumlah polusi.

Analisa NPV ini diestimasikan hingga periode 5 tahun mendatang hasil perhitungan NPV sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{PV Benefit} &= \text{Total penghematan (P/A,5\%,n)} \\ &= \text{Rp} 165.181.000 (P/A,12\%,5) = \text{Rp} \\ &595.477.505 \end{aligned}$$

$$\text{PV biaya} = \text{Investasi awal} + \text{biaya operasional dan perawatan (P/A,i\%,n)}$$

$$= \text{Rp}300.000.000 + \text{Rp}17.247.000(P/A,12\%, 5) = \text{Rp} 362.175.435$$

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \text{PV benefit} - \text{PV biaya} \\ &= \text{Rp} 595.477.505 - \text{Rp} 362.175.435 \\ &= \text{Rp} 233.320.070 \end{aligned}$$

B. Permasalahan limbah minyak

- 1 Alternatif pertama yaitu pemasangan bak minyak.

Keuntungan yang didapatkan oleh perusahaan adalah penghematan Biaya pemakaian minyak gelincir sebesar Rp 7.982.000 menurun sebesar 4.9% dari biaya penggunaan bahan bakar semula.

Analisa NPV ini diestimasikan hingga periode 5 tahun mendatang hasil perhitungan NPV sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{PV Benefit} &= \text{Total alternatif (P/A,i\%,n)} \\ &= \text{Rp} 7.982.000 (P/A,12\%,5) = \text{Rp} \\ &28,775,110 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PV biaya} &= \text{Investasi awal} + \text{biaya operasional dan perawatan (P/A,i\%,n)} \\ &= \text{Rp} 4.500.000 + \text{Rp} 3.624.000 \\ &(P/A,12\%,5) = \text{Rp} 17.564.520 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \text{PV benefit} - \text{PV biaya} \\ &= \text{Rp} 28,775,110 - \text{Rp} 17.564.520 \\ &= \text{Rp} 11,210,590 \end{aligned}$$

- 2 Alternatif kedua adalah Pemasangan DAF

Keuntungan yang didapatkan oleh perusahaan adalah penghematan pembelian minyak gelincir sebesar Rp 13.984.000,00 menurun sebesar 8.7% dari biaya penggunaan minyak gelincir semula, Jadi dengan semakin banyaknya minyak gelincir yang bisa direcycle atau digunakan kembali maka semakin sedikit minyak yang terbuang pada limbah cair dan penggunaan minyak gelincir bisa hemat.

Analisa NPV ini diestimasikan hingga periode 5 tahun mendatang hasil perhitungan NPV sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{PV Benefit} &= \text{Total penghematan (P/A,12\%,n)} \\ &= \text{Rp } 13.984.000 \text{ (P/A,12\%,5)} \\ &= \text{Rp } 50.412.320 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PV biaya} &= \text{Investasi awal + biaya operasional} \\ &\text{dan perawatan (P/A,i\%,n)} \\ &= \text{Rp}10.500.000 + \text{Rp}5.624.000 \text{ (P/A,12\%,5)} \\ &= \text{Rp } 30.774.520 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \text{PV benefit} - \text{PV biaya} \\ &= \text{Rp } 50.412.320 - \text{Rp } 30.774.520 \\ &= \text{Rp } 19.637.800 \end{aligned}$$

4.3.7 Estimasi Kontribusi Solusi terhadap Produktivitas dan Kinerja Lingkungan

Sesuai dengan besarnya NPV bahwa untuk permasalahan yang pertama, terpilih alternatif ke-II sebagai solusi terbaik, sedangkan untuk permasalahan kedua, terpilihnya alternatif ke-II sebagai solusi terbaik. Dimana kedua alternatif yang terpilih tersebut harus dilakukan evaluasi.

Estimasi Indeks EPI

- Permasalahan pertama terpilih alternatif II (penambahan bahan bakar alternatif berupa minyak bakar atau IDO).
 - Penghematan bahan bakar, penghematan energi dan pencemaran polusi.
 - Total indeks EPI akan mengalami perbaikan atau penurunan sebesar 0,58.
- Permasalahan kedua, terpilih alternatif II (pemasangan alat DAF).
 - pengurangan pembelian bahan minyak gelincir dan pencemaran polusi pada limbah.
 - Maka total indeks EPI akan mengalami perbaikan atau penurunan sebesar 0,98

Kesimpulan Dan Saran

Berdasarkan perhitungan NPV dan EPI dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil pengukuran indeks EPI yang tampak pada Table 3 memiliki nilai positif atau tidak bernilai negatif. Angka ini menunjukkan bahwa kinerja lingkungan

Pabrik Gula yang diteliti sudah sesuai dengan standar BAPEDAL.

2. Solusi terbaik untuk mengatasi permasalahan di Pabrik Gula Candi adalah memasang DAF, Heat Exchanger dan menambahkan bahan alternative berupa minyak bakar (IDO) dan serbuk kayu.
3. Dengan memasang Heat Exchanger (HE) dan memasang DAF dapat mengurangi limbah dari hasil indeks EPI sebesar 16.40 menjadi 17.96 dan juga dapat menguntungkan perusahaan dalam pembelian bahan bakar yang digunakan sebesar Rp 212.058.000,00/tahun menjadi Rp 46.876.667,00/tahun dengan penurunan sebesar 45%.
4. Hasil estimasi kontribusi solusi terhadap produktivitas dan kinerja lingkungan menunjukkan bahwa solusi yang terpilih tersebut dapat memberikan peningkatan yang signifikan bagi produktivitas dan kinerja lingkungan. Untuk hasil dari indeks produktivitas ketel uap sebesar 25.51% lebih baik dari pada kondisi awal dan untuk indeks produktivitas limbah cair sebesar 110% lebih baik dari pada kondisi awal.

Beberapa saran yang akan diberikan oleh peneliti untuk pengembangan penelitian ini adalah :

1. Permasalahan yang dibahas dalam topic *Green Productivity* sebaiknya diperluas sehingga hasil limbah yang dimiliki oleh pabrik gula yang diteliti semakin ramah lingkungan dan hasil gulanya menjadi baik.
2. Perancangan perbaikan yang tidak dapat di implementasikan, diharapkan agar benar-benar dipertimbangkan lagi, melihat perbaikan yang telah dilakukan sangat bermanfaat sekali bagi perusahaan.
3. Kedisiplinan semua operator dan karyawan perusahaan sangat diperlukan dalam memperbaiki dan meningkatkan kualitas proses produksi. Jika perlu dibuatkan peraturan untuk mendisiplinkan semua operator dan hukuman bagi yang melanggar peraturan tersebut.

7. Daftar Pustaka

Asian Productivity Organization, *Sustainable Development and Green Productivity*, Tokyo, www.google.com

1. Asian Productivity Organization, *Concept of Green Productivity*, Tokyo, www.google.com
2. Asian Productivity Organization, *Green Productivity Methodology*, Tokyo, www.google.com
3. Billatos, Samir B & Basali (1997), *Green Technology and Design for The Environment*, Taylor & Francis
4. BAPEDAL (2002), propinsi Jatim. *Keputusan Gubernur Jatim No.45 tahun 2002 tentang baku mutu limbah cair bagi industri atau kegiatan usaha lainnya*
5. De Simone, & LD Popoff. *Eco-Efficiency (1997) , The Business Link to Sustainable Development*. The MIT Press, Massachusetts Institute of Technology,
6. Widjaja, Tri (2005), *Kursus Pengolahan Limbah Cair Industri*. Jurusan Teknik Kimia, ITS.
7. Sumanth, David J (1985). *Productivity Engineering and Management*. Mc Graw Hill Book Company