

# Penerapan *Material Flow Analysis* (MFA) pada konsep pengembangan kawasan eco – industri berbasis industri nanas kaleng

Anting Wulandari<sup>a</sup>, Aditya Wahyu Nugraha<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Industri, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa<sup>b</sup> Jl. Jenderal Sudirman Km 3, Kotabumi, Kec. Purwakarta, Kota Cilegon, Banten 42435

<sup>b</sup>Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Hui, Jati Agung, Lampung Selatan, 35365

## INFORMASI

### Informasi artikel:

Disubmit 24 November 2024

Direvisi 05 Desember 2024

Diterima 05 Desember 2024

Tersedia Online 06 Desember 2024

### Kata Kunci:

Eco-indutri, lingkungan,  
MFA,  
nanas kaleng

## ABSTRAK

Pada saat ini telah berkembang istilah “*eco – industrial zone*”, di mana pada kawasan ini terdiri dari kumpulan – kumpulan industri yang memiliki integrasi sehingga dampak lingkungan yang muncul dapat direduksi seminimal mungkin. *Eco – industrial zone* memungkinkan terjadinya pertukaran massa dan energi dari satu industri ke industri yang lain. Hal ini dapat memberikan manfaat berupa pengurangan input yang masuk ke dalam wilayah *eco – industrial zone* dan juga dapat mengurangi dampak lingkungan yang muncul dalam suatu kawasan industri. Pertukaran massa dan energi pada kawasan *eco – industrial* dapat dikaji dengan menggunakan MFA (*material flow analysis*). Hasil kajian analisis konsep kawasan *eco – industri* berbasis industri nanas kaleng di PT XYZ menggunakan metode MFA menunjukkan bahwa adanya potensi pembangunan sebuah kawasan *eco – industri* dengan basis industri pengalengan nanas pada PT XYZ sebagai salah satu penyedia bahan baku dan PLN sebagai sumber utama penyedia listrik. Beberapa industri yang dapat dikembangkan dalam kawasan tersebut meliputi peternakan, RPH, industri kulit samak, industri gelatin dan industri olahan daging. Konsep kawasan *eco – industri* ini masih perlu dikembangkan untuk mengurangi limbah yang terbentuk seminimal mungkin.

Journal of Systems Engineering and Management is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA).



## 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang memiliki potensi industri yang sangat besar, khususnya adalah industri berbasis bahan pertanian. Pada awal perkembangan industri di Indonesia, salah satu kebijakan yang telah dibuat pemerintah adalah pembangunan kawasan industri terpadu, hanya saja industri yang berada pada kawasan ini tidak terintegrasi satu dengan yang lainnya. Pada satu sisi, kawasan ini memberikan dampak yang cukup positif seperti pengurangan biaya transportasi. Namun pada sisi lingkungan, kawasan industri terpadu yang tidak terintegrasi tidak terlalu memberikan dampak yang signifikan terhadap pencemaran yang terjadi.

Pada saat ini telah berkembang dengan istilah “*eco – industrial zone*”, dimana pada kawasan ini terdiri dari kumpulan – kumpulan industri yang memiliki integrasi sehingga dampak lingkungan yang muncul dapat direduksi seminimal mungkin. *Eco – industrial zone* memungkinkan terjadinya pertukaran massa dan energi dari satu industri ke industri yang lain. Hal ini dapat memberikan manfaat berupa pengurangan input yang masuk ke dalam wilayah *eco – industrial zone* dan juga dapat mengurangi dampak lingkungan yang muncul dalam suatu kawasan industri.

Pertukaran massa dan energi pada kawasan *eco – industrial* dapat dikaji dengan menggunakan MFA (*material*

*flow analysis*). MFA (*material flow analysis*) merupakan suatu metode atau pendekatan sistematis terhadap aliran dan jumlah bahan dalam sebuah sistem yang terdefiniskan dalam ruang dan waktu [1].

Terdapat empat konsep yang dapat diterapkan untuk mengimplementasikan sistem ekologi industri, diantaranya adalah (1) Optimasi penggunaan sumber daya yang ada; (2) Membuat suatu siklus material yang tertutup dan meminimalkan emisi; (3) Proses dematerialisasi; dan (4) Simbiosis industri.

Dengan sistem ekologi industri berbasis industri nanas kaleng dapat menghasilkan konsep rantai makanan industri, yaitu pemanfaatan produk samping dan limbah menjadi bahan baku bagi komponen sistem industri lain. Konsep ini menghasilkan suatu konsep kawasan ekologi industri terpadu. Dalam kawasan ini, industri-industri bekerja sama untuk mengoptimasi penggunaan sumber daya yang ada sehingga limbah industri yang dihasilkan bisa diminimalisasi.

Dalam pengembangan dan perancangan *eco – industrial zone* maka perlu mempertimbangkan beberapa aspek yang meliputi energi, air, bahan baku dan tanah. Selain itu perlu diterapkannya prinsip konservasi (*conservation*), pakai ulang (*reuse*), dapat diperbarui/daur ulang (*renew/recycle*), perlindungan alam (*protect nature*), tidak beracun (*non-toxic*) dan perpaduan (integrasi).

\*Penulis korespondensi

alamat e-mail: [aditya.nugraha@tip.itera.ac.id](mailto:aditya.nugraha@tip.itera.ac.id)

<http://dx.doi.org/10.62870/joseam.vxi.29785>

Metode yang digunakan pada konsep pengembangan kawasan eco industry-nanas kaleng PT XYZ adalah dengan *Material Flow Analysis* (MFA). Prinsip dasar MFA bukanlah hal yang baru, pertama kali dikenalkan lebih dari 2000 tahun yang lalu, dimana digunakan sebagai upaya pelestarian material, yakni input harus sama dengan output. Prinsip ini dapat diterapkan ke dalam individu, atau untuk pengelolaan sumberdaya, limbah dan lingkungan di berbagai bidang [2].

MFA merupakan suatu metode atau pendekatan sistematis terhadap aliran dan jumlah bahan dalam sebuah sistem yang terdefinisi dalam ruang dan waktu [1]. MFA merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan pada sistem ekologi industri. MFA berfungsi untuk mengontrol aliran bahan yang digunakan dalam proses industri, selain itu juga membentuk sistem *closing loop* pada industri sehingga limbah yang terbentuk dapat diminimalkan. MFA juga dapat digunakan sebagai metode yang dapat melakukan keseimbangan input dan output pada kemampuan ekosistem alam.

## 2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dari penelitian adalah penelusuran informasi secara sekunder melalui media seperti jurnal (internasional maupun nasional), buku referensi, laporan ilmiah dan sumber-sumber yang diperoleh dari internet, dan perusahaan PT XYZ.

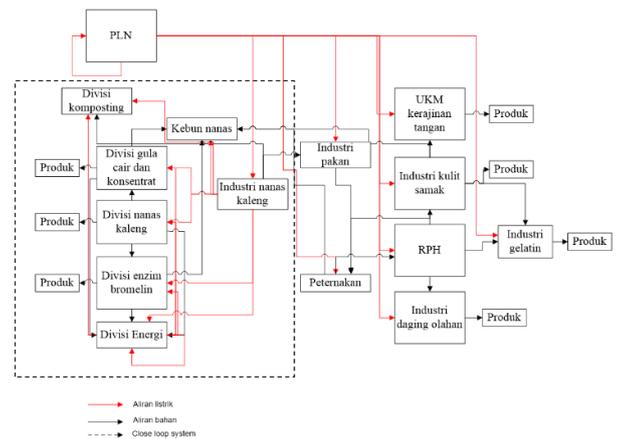
## 3. Hasil dan Diskusi

### 3.1 Konsep Kawasan Eco – Industrial

Salah hal terpenting dalam pembangunan kawasan eco – industri adalah adanya industri jangkar yang dapat mendukung sistem kerja yang ada didalam kawasan eco – industri sehingga dalam kawasan tersebut terjadi integrasi. Sistem ini akan memberikan manfaat yang signifikan, baik itu dari sisi ekonomi, sosial maupun lingkungan.

Pada kajian ini, industri jangkar yang digunakan adalah industri nanas kaleng dan PLN (pembangkit tenaga listrik). Pemilihan industri nanas kaleng sebagai industri jangkar disebabkan oleh tingginya hasil samping yang masih bisa dimanfaatkan. Limbah atau hasil samping ini akan memberikan permasalahan bagi lingkungan jika tidak ditangani dengan baik. Pemanfaatan limbah / hasil samping sebagai bahan baku atau bahan tambahan dalam industri lain merupakan salah satu solusi yang dapat dilakukan. Sejauh ini, contoh kasus di PT.XYZ, limbah sudah dapat digunakan secara baik oleh industri itu sendiri (*Close loop system*). Namun, limbah tersebut juga potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku atau bahan tambahan dalam mendirikan industri baru yang terintegrasi dari industri nanas kaleng, dengan demikian dapat memberikan dampak yang lebih baik secara ekonomi, sosial dan lingkungan. Konsep kawasan eco – industri yang akan dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 1.

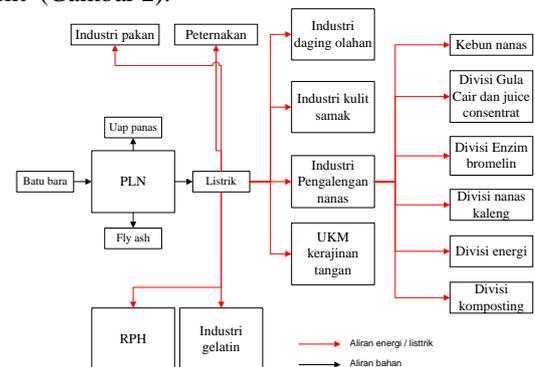
Konsep eco – industri yang ditawarkan pada kajian ini memiliki 2 industri jangkar, yakni PLN dan industri nanas kaleng yang mempunyai kebun secara mandiri. PLN merupakan industri yang menyokong akan ketersediaan listrik bagi industri yang berada pada kawasan eco – industri. Sementara itu, industri nanas kaleng merupakan penyokong bagi peternakan dan beberapa industri lain. Peternakan akan menjadi penyuplai utama bahan baku bagi industri lain yang berbasis hasil hewani.



Gambar 1. Konsep kawasan eco – industri

### 3.2. PLN

PLN merupakan penyokong listrik utama dalam suatu kawasan eco – industri. Listrik yang dialirkan PLN akan membantu berjalannya sistem produksi pada masing – masing industri. Dalam hal ini, sumber utama penghasil listrik yang digunakan PLN adalah batu bara. Listrik akan dialirkan pada industri nanas kaleng yang meliputi divisi kebun, nanas kaleng, gula cair dan konsentrat *juice*, enzim bromelin, energi dan composting. Kemudian juga dialirkan ke peternakan, RPH (rumah potong hewan), industri olahan daging, industri kulit samak, industri gelatin dan UMKM kerajinan tangan kulit (Gambar 2).



Gambar 2. Analisis aliran listrik pada PLN

Sumber listrik dari PLN salah satunya dapat dipenuhi dari tenaga uap yang dihasilkan dari batubara yang biasanya disebut PLTU. PLTU adalah pembangkit yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar untuk memanaskan boiler guna menghasilkan uap air bertekanan tinggi untuk menggerakkan turbin, sehingga menghasilkan listrik.

Diasumsikan bahwa keberadaan PLN ini berada di satu daerah tertentu dengan kapasitas PLN adalah sebanyak 10.000 MWh atau 10.000.000 KWh pada tahun 2017 atau 27.397,26 KWh/hari. Dengan demikian kebutuhan batubara untuk memenuhi kapasitas 10.000 MWh adalah sebanyak 5 juta ton/tahun (10.000 MWh/ 2 kWh) atau 13.698,63 ton/hari.

Energi yang dihasilkan dari PLN sebagian besar digunakan untuk kebutuhan industri (Gambar 2). Energi listrik dari PLN yang dialirkan menuju industri nanas kaleng adalah sebanyak 9.460,392 KWh/hari yang digunakan untuk

penerangan, proses pengolahan, peralatan kantor, dan pengolahan limbah. Pada kebun nanas energi listrik yang dialirkan dari PLN diasumsikan hanya untuk penerangan jalan yaitu sebesar 420 KWh/hari. Industri gula cair diproduksi dari bahan baku limbah padat nanas. Energi yang dibutuhkan pada produksi gula cair ini diasumsikan dengan energi yang dibutuhkan untuk produksi gula cair dari tebu yaitu sebesar 320,65 KWh/hari [3].

Hasil limbah padat dari kebun nanas dan nanas kaleng juga dimanfaatkan sebagai pakan ternak untuk peternakan sapi. Namun, sebelum ke peternakan, limbah padat diolah menjadi konsentrat pakan / pellet. Pada industri peternakan dan rumah potong hewan mendapat aliran listrik dari PLN masing-masing sebanyak 110, 6 KWh dengan asumsi energi listrik untuk rumah potong hewan disamakan dengan kebutuhan listrik peternakan.

Hasil dari peternakan sapi yaitu menghasilkan sapi-sapi yang kemudian menjadi sumber untuk industri pengolahan daging dan suplay untuk rumah potong hewan. Industri untuk daging olahan membutuhkan energi kurang lebih sebanyak 7068.01124 KWh/hari [4]. Hasil samping rumah potong hewan berupa kulit dikirim ke industri penyamakan kulit. Energi listrik yang dibutuhkan untuk industri penyamakan kulit adalah sebesar 608.9 kWh /hari.

Hasil samping dari penyamakan kulit, berupa limbah padat tulang dikirim ke industri gelatin. Proses produksi gelatin ini membutuhkan energi listrik sebesar 23,976 KWh/hari yang disuplay juga dari PLN. Limbah padat penyamakan kulit juga digunakan untuk bahan baku pada kerajinan tangan, dimana energi listrik yang dibutuhkan untuk produksi kerajinan diasumsikan digunakan untuk penerangan dan mesin-mesin sederhana sehingga energi listrik yang dibutuhkan diperkirakan 43 KWh/hari.

Sehingga total energi listrik yang digunakan untuk industri nanas kaleng, industri enzim bromelin, industri gula dan konsentrat juice, peternakan, perkebunan, RPH (rumah potong hewan), industri olahan daging, industri kulit samak, industri gelatin dan UMKM kerajinan tangan kulit 18711, 08 KWh/hari. Energi yang dihasilkan dari PLN 27.397,26 KWh/hari. Sehingga energi listrik sisanya 8686.177 KWh dialirkan untuk perumahan, publik dan komersial.

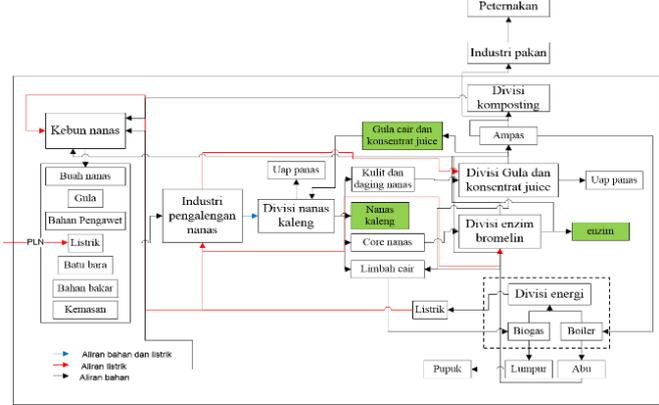
### 3.3. Industri Pengalengan Nanas

Industri nanas kaleng merupakan agroindustri yang sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia. Contoh industri nanas kaleng adalah PT. XYZ yang ada di Lampung. Ketersediaan lahan dan cuaca merupakan faktor penting yang mendukung berkembangnya industri ini. Nanas akan tumbuh dengan baik pada iklim agak kering – basah, dataran rendah dan kondisi tanah yang gembur serta suhu udara berkisar 30°C. Tanaman nanas yang dapat dipanen beberapa kali juga merupakan hal yang mendukung berkembangnya industri ini. Industri nanas pada kajian ini memiliki 6 divisi yang diantaranya adalah kebun nanas, divisi nanas kaleng, divisi gula cair dan konsentrat juice, divisi enzim bromelin, divisi energi dan divisi energi (Gambar 3).

#### 3.3.1. Divisi kebun nanas

Kebun nanas merupakan divisi yang bertanggungjawab pada ketersediaan buah nanas selama proses produksi pada divisi nanas kaleng. Demi berlangsungnya produksi buah nanas, divisi kebun nanas dapat disokong pupuk yang berasal

dari pengolahan limbah padat nanas maupun pupuk yang diperoleh dari peternakan dan industri penyamakan kulit.



Gambar 3. Analisis aliran bahan industri nanas kaleng

#### 3.3.2. Divisi nanas kaleng

Proses produksi nanas kaleng meliputi *size grading*, *peeling*, *trimming top – bottom*, *washing*, *slicing*, *trimming* dan *sortasi*, penghilangan hati buah (*coring*), *filing*, *resizer* dan pemotongan (*cutting*), pemberian sirup, *prevacuumizing*, penutupan (*seaming*) dan *coding*, pemasakan (*cooking*), pendinginan (*cooling*), penyusunan ke rak (*palletizer*), *inkubasi* dan pemeriksaan produk, pemberian label (*labelling*) dan pengepakan (*packing*).

Divisi nanas kaleng diasumsikan memiliki kapasitas produksi sebesar 120 ton/hari. Material input yang digunakan pada industri berupa buah nanas, air, gula, bahan pengawet, listrik, kemasan, dan bahan lain sebagai penunjang proses produksi. Selain produk nanas kaleng, output lain yang terbentuk berupa limbah cair, limbah padat dan nanas.

Limbah cair merupakan limbah yang berasal dari segala proses pencucian, *blanching* dan penirisan. Total limbah cair yang dihasilkan dari proses tersebut sebanyak 85.19 ton per hari. Limbah cair dapat dimanfaatkan sebagai bahan biogas yang dapat digunakan menyuplai energi pada proses produksi nanas kaleng. Selain dapat menghasilkan energi, hasil samping pada proses ini juga dihasilkan *slurry* / lumpur yang dapat digunakan sebagai pupuk dikebun nanas.

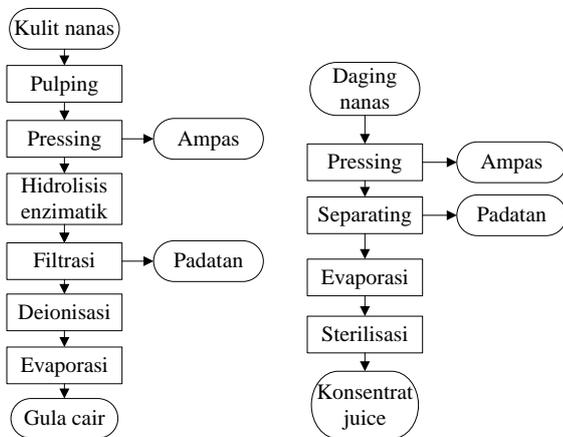
Limbah padat pada industri nanas kaleng terdiri dari beberapa jenis, yakni kulit, daging dan bonggol nanas, totalnya adalah 36 ton per hari. Kulit dan daging nanas dapat digunakan sebagai bahan baku dalam proses produksi gula dan juice konsentrat bagi divisi gula cair dan konsentrat. Hal ini dikarenakan limbah padat nanas mengandung karbohidrat dan gula tereduksi [5]. Sementara itu, bonggol nanas dapat digunakan sebagai input bagi divisi enzim bromelin.

#### 3.3.3. Divisi gula cair dan konsentrat jus

Sisa daging dan kulit nanas merupakan input yang digunakan untuk memproduksi konsentrat nanas dan gula cair yang berasal dari nanas. Gula cair dan konsentrat juice merupakan divisi yang berada dibawah industri pengalengan nanas. Divisi ini secara langsung memanfaatkan hasil samping dari industri nanas kaleng. Prinsip pembuatan gula cair dari divisi ini adalah menggunakan ekstraksi, proses enzimatisasi dan evaporasi. Sementara pada proses konsentrat juice dilakukan ekstraksi dan evaporasi.

Tahapan proses pembuatan gula cair secara umum yaitu kulit nenas dari limbah pengalengan nenas masuk ke dalam mesin pencacah untuk dicacah menjadi bagian-bagian yang lebih kecil hingga menjadi bubur kulit nenas. Selanjutnya bubur nenas masuk ke mesin pressing untuk dipress hingga diperoleh konsentrat dan ampas. Konsentrat yang dihasilkan ditambahkan dengan enzim selulase untuk memecah selulosa menjadi glukosa. Kemudian difiltrasi untuk memisahkan padatan-padatan yang masih tersisa. Hasil filtrasi kemudian dideionisasi untuk mengikat ion positif dan negatif dari warna dan asam. Selanjutnya dilakukan evaporasi untuk mendapatkan gula cair yang pekat sesuai dengan kebutuhan. Sementara itu, proses produksi konsentrat juice tidak jauh berbeda dengan proses produksi gula cair (Gambar 4).

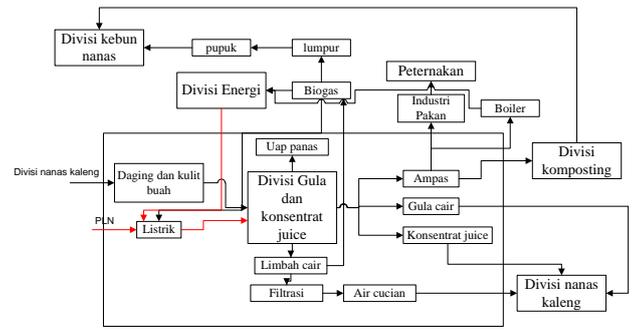
*Input* yang masuk ke dalam proses pembuatan gula cair di industri ini sebanyak 26.42 ton per hari, sedangkan pada proses pembuatan konsentrat juice sebanyak 7.21 ton. Pemanfaatan ini dikarenakan pada sisa daging dan kulit nenas mengandung gula yang tinggi.



**Gambar 4.** Proses produksi gula cair dan konsentrat juice

Menurut Wijana [5], kandungan karbohidrat dan gula reduksi pada kulit buah nenas adalah 17.53% dan 13.65%. Sementara itu, kandungan karbohidrat pada buah nenas sebanyak 13.57%. Dengan demikian, hasil samping atau limbah tersebut memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku gula cair ataupun konsentrat jus. Selain menggunakan limbah nenas, proses produksi ini membutuhkan *steam* untuk memekatkan ekstrak nenas, tentunya ditopang dengan inputan lain seperti kemasan, listrik dan lain – lain. Listrik pada industri ini dapat disubsidi dari listrik yang dihasilkan dari industri lain.

*Output* yang dihasilkan dari divisi ini berupa uap panas, limbah cair dan ampas sisa dari ekstraksi konsentrat nenas. Ampas nenas dapat digunakan sebagai pakan bagi hewan ternak. Sementara itu, uap panas dapat digunakan sebagai pemanas ruangan. Limbah cair pada industri ini dihasilkan dari proses pencucian bahan dan memungkinkan dapat digunakan kembali kedalam industri pengalengan nenas sebagai air pencucian ataupun dibuang kedalam kolam produksi biogas. Secara garis besar aliran bahan pada divisi ini dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Analisis aliran bahan pada divisi gula dan konsentrat juice

### 3.3.4. Divisi enzim bromelin

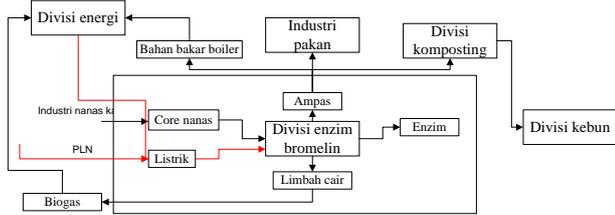
Bromelin adalah salah satu enzim proteolitik atau protease yaitu enzim yang mengkatalisasi penguraian protein menjadi asam amino dengan membangun blok melalui reaksi hidrolisis. Hidrolisis (hidro = air; lysis = mengendurkan atau gangguan/uraian) adalah penguraian dari molekul besar menjadi unit yang lebih kecil dengan kombinasi air. Dalam pencernaan protein, ikatan peptide terputus dengan penyisipan komponen air, -H dan -OH, pada rantai akhir. Enzim bromelin merupakan suatu enzim endopeptidase yang mempunyai gugus sulfhidril (-SH) pada lokasi aktif. Pada dasarnya enzim ini diperoleh dari jaringan-jaringan tanaman nenas [6]. Enzim ini dihambat oleh senyawa oksidator, alkilator dan logam berat. Enzim bromelin banyak digunakan dalam bidang industri pangan maupun nonpangan seperti industri daging kalengan, minuman bir dan lain-lain [7]. Enzim bromelin dari jaringan-jaringan tanaman nenas memiliki potensi yang sama dengan papain yang ditemukan pada pepaya yang dapat mencerna protein sebesar 1000 kali beratnya.

Bromelin dapat diperoleh dari tanaman nenas baik dari tangkai, kulit, daun, buah, maupun batang dalam jumlah yang berbeda. Kandungan enzim lebih banyak di bagian daging buahnya, hal ini ditunjukkan dengan aktivitasnya yang lebih tinggi dibandingkan dengan aktivitas pada bagian batangnya [6]. Sementara menurut Herdiyastuti [7] kandungan enzim bromelin lebih banyak terdapat pada bagian batang yang selama ini kurang dimanfaatkan. Distribusi bromelin pada batang nenas tidak merata dan tergantung pada umur tanaman. Kandungan bromelin pada jaringan yang umurnya belum tua terutama yang bergetah, sangat sedikit sekali bahkan kadang-kadang tidak ada sama sekali [7]. Enzim bromelin dapat diisolasi dengan cara memisahkan sel secara sentrifugasi dan selanjutnya pemurnian dilakukan dengan cara pengendapan, gel filtrasi, dan kromatografi penukar ion [8].

Divisi enzim bromelin merupakan divisi yang menggunakan nenas sebagai bahan baku penghasil enzim. Enzim bromelin diisolasi dari bagian batang nenas [9], yang pada umumnya tidak termanfaatkan. *Input* pada industri ini dari batang buah nenas yang merupakan limbah / hasil samping dari industri nenas kaleng. *Input* batang nenas per hari masuk kedalam industri ini adalah sebanyak 2.4 ton. Kebutuhan listrik pada industri ini disupply dari PLN maupun listrik yang dihasilkan dari biogas.

Selain enzim bromelin, *output* lain yang terbentuk pada proses isolasi enzim bromelin adalah ampas batang nenas dan larutan sisa dari proses dekantasi enzim kasar. Untuk

mencegah terjadinya pencemaran lingkungan, ampas batang nanas dapat dimanfaatkan sebagai pakan hewan, pupuk (kompos) ataupun sebagai bahan bakar boiler. Analisis aliran bahan pada divisi enzim bromelin disajikan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Analisis aliran bahan pada divisi enzim bromelin

### 3.3.5. Divisi *composting*

Divisi *composting* merupakan divisi yang mengolah limbah padat hasil pengolahan nanas kaleng yang terdiri dari bonggol, kulit nanas, dan ampas pengepresan dalam produksi enzim bromelin, dan gula cair untuk dijadikan sebagai pupuk organik. *Composting* merupakan proses dimana bahan organik mengalami penguraian secara biologis, khususnya oleh mikroba-mikroba yang memanfaatkan bahan organik tersebut sebagai sumber energi (SNI 2004). Tahap pembuatan kompos diantaranya:

- Pengumpulan limbah padat ke area pengomposan**  
Limbah padat dari pengolahan nanas kaleng dikirim ke area *composting* untuk diproses menjadi kompos.
- Pencacahan limbah padat**  
Limbah yang telah terkumpul dicacah dengan ukuran 3 – 4 cm. Pencacahan dilakukan dengan menggunakan mesin pencacah, dimana pencacahan bertujuan untuk mempercepat proses pembusukan, mikroorganisme akan bekerja secara efektif dalam proses fermentasi.
- Penyusunan tumpukan**  
Setelah proses pencacahan, kemudian dilakukan penumpukan dengan ketentuan tinggi 1.5 m, lebar 1.75 m, dan panjang 2 m. Penumpukan dilakukan dengan model persegi panjang. Dalam tumpukan inilah terjadi proses fermentasi.
- Pembalikan dan penyiraman tumpukan**  
Pembalikan tumpukan dilakukan dengan tujuan antara lain untuk membuang panas yang berlebih, memasukkan udara segar ke dalam tumpukan, meratakan pemberian air, serta membantu penghancuran sampah. Sedangkan penyiraman dilakukan untuk mempertahankan kelembaban minimal yang disyaratkan, yakni 50%, dan menjaga suhu tumpukan antara 40°C sampai dengan 50°C. Penyiraman dengan air yang ditambahkan dengan bakteri EM4.
- Pematangan**  
Setelah proses pencacahan sampai dengan penyiraman yang memakan waktu kurang lebih 30 sampai dengan 40 hari, tahap selanjutnya adalah tahap pematangan. Suhu tumpukan akan turun hingga menyamai suhu ruangan. Pematangan kompos ini ditandai dengan lapuknya tumpukan (berwarna coklat tua kehitaman). Waktu pematangan ini berlangsung kurang lebih selama dua minggu.
- Pengeringan**  
Tumpukan yang sudah matang kemudian dibongkar

dan dikeringkan/ dijemur selama kurang lebih satu minggu, hingga kadar air antara 20% sampai dengan 25%. Selanjutnya kompos siap diaplikasikan untuk pupuk dikebun.

### 3.3.6. Divisi energi

Pada industri pengalengan nanas ini, energi dihasilkan dari limbah cair limbah cair yang diolah menjadi biogas. Selain itu, juga berasal dari boiler. Bahan bakar yang digunakan pada boiler berupa sisa – sisa limbah padat yang belum termanfaatkan.

### 3.4. Industri pakan

Industri pakan ternak merupakan industri yang memanfaatkan limbah padat / ampas dari industri pengalengan nanas untuk dijadikan bahan pakan pada peternakan. Limbah kulit nanas merupakan sumber energi yang potensial, karena kandungan karbohidratnya yang tinggi, yaitu 71,6% bahan ekstrak tanpa N (BETN) dan 9,35% serat kasar. Produksi limbah kulit nanas yang di dihasilkan dalam industri pengalengan nanas sangat besar.

Limbah kulit nanas mengandung serat (NDF) yang cukup tinggi 57, 3%, sedangkan protein kasar termasuk rendah yaitu 3,5%. Oleh karena, itu potensi penggunaan limbah kulit nanas bukan sebagai komponen penyusun konsentrat, namun lebih sebagai pakan alternative. Limbah kulit nanas yang telah dikeringkan dapat digunakan langsung sebagai bahan pakan alternative. Sedangkan bila digunakan sebagai pakan dasar dalam pakan komplit limbah kulit nanas harus digiling terlebih dahulu. Sebagai pakan dasar limbah nanas diharapkan dapat meminimalisir ketergantungan terhadap adanya pakan hijauan bagi kebutuhan ternak ruminansia khususnya sapi.

Teknologi pengolahan limbah kulit nanas untuk dijadikan bahan pakan ternak ruminansia kebanyakan dilakukan dengan pengeringan karena untuk mengurangi kadar air yang tinggi dalam kulit nanas, sehingga memerlukan penanganan, pengeringan yang berlanjut sehingga didapat bahan pakan ternak yang kering. Tetapi, limbah kulit nanas juga dapat diproses dengan cara fermentasi untuk menghasilkan silase limbah kulit nanas. Hal ini didukung oleh adanya kandungan air sebesar 75% yang memenuhi proses silase. Fermentasi ini dapat mengurangi masalah terjadinya kerusakan limbah kulit nanas, karena silase dapat digunakan langsung sebagai bahan pakan dasar ternak ruminansia.

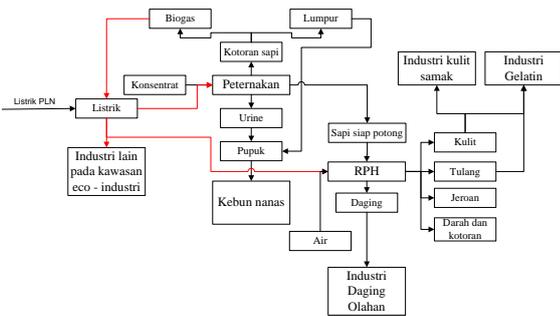
Teknologi tradisional yang dilakukan pada kulit nanas dengan menggunakan 3 cara yaitu :

1. Pengeringan yaitu dengan cara kulit nanas dikeringkan dibawah sinar matahari selama 3-4 jam, sehingga didapat kulit nanas kering dengan kadar air 13%.
2. Penggilingan yaitu kulit nanas yang sudah dikeringkan tadi digiling sehingga menghasilkan tepung yang dapat memberikan efek positif terhadap rumen.
3. Pencampuran, kulit nanas yang sudah menjadi tepung dapat dicampurkan dengan pakan konsentrat ataupun pakan komplit yang akan diberikan pada ternak ruminansia khususnya sapi

3.5. *Peternakan dan RPH*

Pakan peternakan diperoleh dari ampas pada industri nanas. Ampas diolah menjadi konsentrat. Selain itu, pakan juga *disupply* dari luar kawasan eco – industri untuk menjamin ketersediaan pakan bagi hewan ternak. Pada industri peternakan dihasilkan limbah padat berupa kotoran sapi, dan limbah cair berupa urin. Kotoran sapi digunakan untuk bahan baku pembuatan biogas, dan endapan lumpur yang dihasilkan sebagai pupuk untuk perkebunan nanas. Limbah cair berupa urine digunakan sebagai pupuk cair untuk kebun nanas.

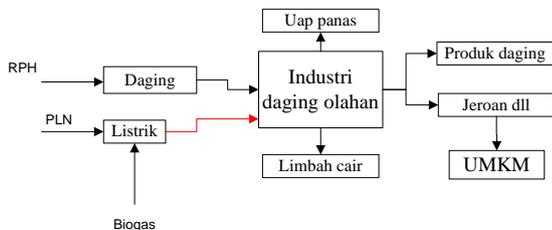
Hasil utama dari peternakan berupa sapi yang siap potong. Sapi-sapi ini kemudian dikirim ke rumah potong hewan (RPH), dan hasil dari RPH berupa daging yang siap dikirim ke industri daging olahan. Beberapa limbah yang dihasilkan dari RPH diantaranya kulit, tulang, jeroan, darah dan kotoran. Kulit yang dihasilkan akan dikirim ke industri kulit samak dan limbah kulit samak dapat menghasilkan gelatin yang kemudian dikirim untuk industri gelatin. Tulang-tulang hasil samping dari RPH digunakan sebagai bahan baku pula untuk industri gelatin. Jeroan dari RPH dimanfaatkan sebagai produk-produk olahan pangan usaha UMKM di bidang kuliner seperti campuran untuk soto babat dan campuran pembuatan bakso, dan lain-lain. Aliran aliran bahan pada peternakan dan RPH dapat dilihat pada **Gambar 7**.



**Gambar 7.** Analisis aliran bahan pada peternakan dan RPH

3.6. *Industri daging olahan*

Pengembangan industri olahan daging sapi dan ayam mempunyai peluang yang cukup besar di Indonesia. Hal tersebut dikarenakan adanya peningkatan konsumsi daging nasional yang berkorelasi terhadap peningkatan jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi dalam negeri yang semakin membaik. Namun, permasalahan yang terjadi adalah minimnya ketersediaan bahan baku, baik dari jumlah, kualitas dan harga.

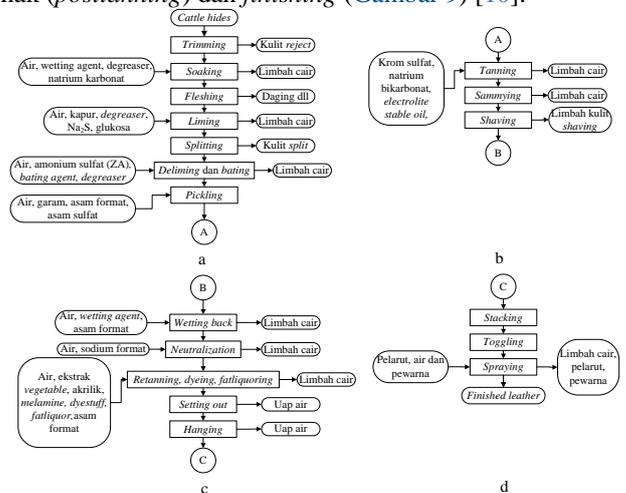


**Gambar 8.** Analisis aliran bahan pada industri daging olahan

Pengembangan industri olahan daging yang berada pada kawasan *eco – industri* merupakan sebuah langkah strategis yang digunakan untuk menjamin ketersediaan bahan baku daging segar ataupun daging beku. Adanya integrasi pada industri ini juga akan meminimalkan biaya transportasi dari RPH ke industri olahan daging. Selain daging yang berasal dari RPH, terdapat *input* lain yang digunakan seperti bahan pengawet, air, listrik, kemasan dan lain – lain. Listrik pada industri ini dapat berasal dari PLN ataupun disubsidi dari industri yang menghasilkan biogas.

3.7. *Industri kulit samak*

Industri penyamakan kulit merupakan salah satu industri yang terintegrasi dalam kawasan *eco – industri* yang dikembangkan. Industri ini mengolah limbah kulit menjadi kulit samak yang resisten terhadap kerusakan. Produk yang dihasilkan umumnya merupakan hanya kulit samak. Secara umum proses penyamakan kulit dibagi kedalam beberapa proses yakni *prasmak (beamhouse)*, *samak (tanning)*, *pasca samak (posttanning)* dan *finishing* (**Gambar 9**) [10].

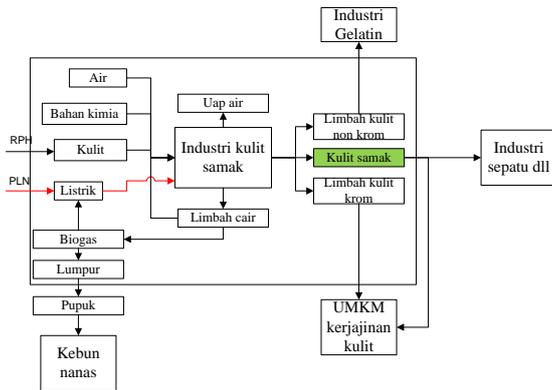


**Gambar 9.** Alur proses produksi kulit samak a) *beamhouse*, b) *tanning*, c) *posttanning*, dan d) *finishing*.

*Input* yang digunakan pada industri ini terdiri dari kulit mentah, air, bahan kimia, listrik dan beberapa bahan penunjang lainnya. Bahan baku kulit berasal dari hasil samping RPH, sementara itu, air diperoleh dari air tanah yang ada di kawasan industri. PLN merupakan penyuplai energi tetap pada setiap industri, termasuk pada industri kulit samak. *Input* bahan kimia diperoleh dari industri yang berada di luar kawasan *eco – industri*.

Selain menghasilkan produk berupa kulit samak, industri ini menghasilkan limbah cair, padat dan gas yang memberikan permasalahan pada lingkungan yang cukup signifikan karena sifatnya yang toksik. Kapasitas industri kulit samak dalam kawasan *eco – industri* adalah 1.5 ton kulit mentah dalam 1 kali produksi dan membutuhkan listrik sebesar 608.9 kWh. Pada proses ini limbah cair yang terbentuk sebanyak 26.5 m<sup>3</sup> dan limbah pada sebanyak 1.879,57 kg/basis basah (**Tabel 1**).

Limbah padat pada industri penyamakan kulit dapat digolongkan menjadi limbah padat kulit krom dan limbah padat kulit non krom, jumlah masing – masing limbah yang terbentuk adalah 261.19 kg dan 1,614.53 kg basis basah.



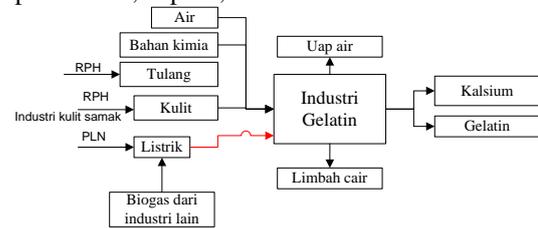
**Gambar 10.** Analisis aliran bahan pada industri kulit samak

Limbah pada proses penyamakan kulit masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri lain maupun sebagai sumber energi bagi industri itu sendiri. Limbah cair industri penyamakan kulit memiliki potensi untuk dijadikan sebagai sumber biogas, hal ini dikarenakan limbah cair memiliki kandungan nutrient yang sangat tinggi [11] Kemudian lumpurnya dapat digunakan sebagai pupuk pada kebun nanas. Sementara itu, limbah padat kulit non krom dapat digunakan sebagai bahan baku industri gelatin, sedangkan limbah padat kulit krom dapat dipakai UMKM kerajinan kulit untuk membuat produk kerajinan (Gambar 10).

### 3.8. Industri gelatin

Gelatin merupakan senyawa turunan yang dihasilkan dari serabut kolagen jaringan penghubung, kulit, tulang dan tulang rawan yang dihidrolisis dengan asam atau basa [12] Gelatin yang ada di pasaran umumnya diproduksi dari kulit dan tulang sapi atau babi. Gelatin memiliki banyak fungsi, diantaranya sebagai bahan penstabil (*stabilizer*), pengemulsi (*emulsifier*), zat pengikat, zat pengental, plastik alternatif (*edible film*), serta bahan matriks untuk implant [13].

Gambar 11 menunjukkan analisis aliran bahan pada industri gelatin. Dari industri rumah potong hewan dihasilkan tulang yang mengandung banyak gelatin, sehingga tulang-tulang ini menjadi bahan baku untuk industri gelatin. Limbah padat dari kulit samak juga menghasilkan gelatin, sehingga limbah ini menjadi sumber bahan baku untuk industri gelatin. Pada proses pengolahan gelatin bahan baku yang dibutuhkan bahan kimia, air, dan energi listrik yang disuplay dari PLN dan biogas dari industri lain (peternakan). Produk utama industri gelatin adalah gelatin dan menghasilkan limbah berupa kalsium, uap air, dan limbah cair.



**Gambar 11.** Analisis aliran bahan pada industri gelatin

**Tabel 1.** Material dan energi pada proses penyamakan kulit

Proses	Input		Output		Energi (kWh)
	Bahan	Jumlah	Jenis	Jumlah	
Beamhouse / prasamak	Kulit (kg)	1.630,43	Limbah padat (kg)	1.614,53	110,80
	Air (l)	23.973,6	Limbah cair (l)	21.270,18	
	Wetting agent (kg)	3,00	Kulit pikel (kg)	1.425,90	
	Degreaser (kg)	7,35			
	Natrium karbonat (kg)	3,83			
	Kapur (kg)	60,00			
	Natrium sulfida(kg)	22,50			
	Glukosa (kg)	3,00			
	Ammonium sulfat (kg)	28,52			
	Bating agent (kg)	4,28			
	NaCl (kg)	142,59			
	Asam format (kg)	7,13			
	Asam sulfat (kg)	2,85			
	Tanning	Kulit pikel (kg)	1.425,90	Kulit <i>wet blue</i> (kg)	
Air (l)		1.425,90	Limbah padat (kg)	261,19	
NaCl (kg)		142,59	Limbah cair (l)	2.256,94	
Asam format (kg)		7,13			
Asam sulfat (kg)		2,85			
Krom sulfat (kg)		99,81			
Natrium bikarbonat (kg)		21,39			
Posttanning dan finishing	Oil (kg)	2,85			408,97
	Kulit <i>wet blue</i> (kg)	609,43	Kulit samak (kg)	347,01	
	Air (l)	2.497,41	Limbah cair (l)	2.974,88	
	Wetting agent(kg)	0,61	Limbah padat (kg)	3,85	

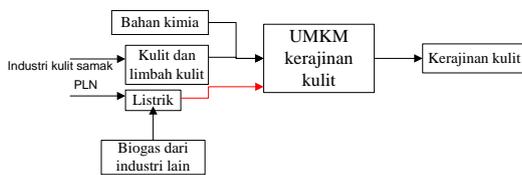
Natrium format (kg)	9,14		
Akrilik (kg)	12,19		
Ekstrak tanaman (kg)	12,19		
Mimosa (kg)	12,19		
Quebracho (kg)	12,19		
Chessnut (kg)	12,19		
Melamin (kg)	12,19		
Dyestuff (kg)	37,51		
Fatliquor (kg)	36,57		
Asam format (kg)	12,19		
Pelarut (l)	49,74		
Total		Limbah cair (l)	26.502,00
		Limbah padat (kg)	1.879,57
			608,9

Sumber : Black [14], Wang [15], Madanhire & Mbohwa [16]

### 3.9 UMKM kerajinan kulit

Hasil industri kulit samak digunakan sebagai bahan baku untuk UMKM kerajinan kulit seperti untuk kerajinan tas, sepatu, dll yang berbahan kulit. Selain itu, UKMK ini juga dapat memanfaatkan limbah kulit padat krom sebagai bahan baku untuk membuat kerajinan tangan yang lain. Bahan baku yang berasal dari limbah kulit ada yang berbentuk serbuk. Pemanfaatannya dapat dibuat menjadi wadah telur ayam, dan alas kaki sepatu.

Kemudian, untuk mendorong berjalannya UMKM ini, listrik dari PLN maupun listrik dari biogas dari industri lain dapat memenuhi kebutuhan listrik pada industri ini, seperti dari Peternakan, industri pengalengan nanas maupun industri penyamakan kulit. Aliran bahan pada UMKM kerajinan kulit dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Aliran bahan baku UMKM kerajinan kulit

## 4. Kesimpulan

Hasil kajian analisis konsep kawasan eco – industri berbasis industri nanas kaleng PT.XYZ menggunakan metode MFA menunjukkan bahwa adanya potensi pembangunan sebuah kawasan eco – industri dengan basis industri pengalengan nanas pada PT. XYZ sebagai salah satu penyedia bahan baku dan PLN sebagai sumber utama penyedia listrik. Beberapa industri yang dapat dikembangkan dalam kawasan tersebut meliputi peternakan, RPH, industri kulit samak, industri gelatin dan industri olahan daging. Konsep kawasan eco – industri ini masih perlu dikembangkan untuk mengurangi limbah yang terbentuk seminimal mungkin.

## Referensi

[1] P. H. Brunner and H. Rechberger, "Practical handbook of material flow analysis [electronic

resource] /," vol. 9, no. 5, pp. 1-318 p, 2004, [Online]. Available: <http://marc.crcnetbase.com/ISBN/9780203507209>

[2] D. Hunt, J. Leach, S. Lee, C. Bouch, P. Braithwaite, and C. Rogers, "Material Flow Analysis (MFA) for Liveable Cities," no. November, p. f010, 2014, doi: 10.3390/wsf-4-f010.

[3] I Nindita, Y Karyati, "Tugas perancangan pabrik gula cair mini kapasitas 80 ton per hari," Semarang, 2012.

[4] H. N. Pratama, R. S. Hartati, and I. N. S. Kumara, "Studi Pengelolaan Energi Listrik di Perusahaan Pengolahan Daging PT. Soejasch Bali," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 2, p. 31, 2017, doi: 10.24843/mite.2017.v16i02p05.

[5] N. Wijana, S., Kumalaningsih, A., Setyowati, U., Efendi, Hidayat, "Optimalisasi penambahan tepung kulit nanas dan proses fermentasi pada pakan ternak terhadap peningkatan kualitas nutrisi," Malang, 1991.

[6] Supartono, "Karakterisasi Enzim Protease Netral dari Buah Nenas Segar," *MIPA*, vol. 27, no. 2, pp. 134–142, 2004.

[7] N. Herdyastuti, "ISOLASI DAN KARAKTERISASI EKSTRAK KASAR ENZIM BROMELIN DARI BATANG NANAS (Ananas comusus L.merr)," *Berk. Penelit. Hayati*, vol. 12, no. 1, pp. 75–77, 2006, doi: 10.23869/bphjbr.12.1.200613.

[8] E. Naiola and N. Widhyastuti, "SEMI PURIFIKASI DAN KARAKTERISASI ENZIM PROTEASE Bacillus sp.," *Berk. Penelit. Hayati*, vol. 13, no. 1, pp. 51–56, 2007, doi: 10.23869/bphjbr.13.1.20078.

[9] Z. I. M. Arshad, A. Amid, F. Yusof, I. Jaswir, K. Ahmad, and S. P. Loke, "Bromelain: An overview of industrial application and purification strategies," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 98, no. 17, pp. 7283–7297, 2014, doi: 10.1007/s00253-014-5889-y.

[10] Covington AD, *Tanning Chemistry: the science of leather*. Cambridge, UK: RSC Publishing, 2009.

[11] D. A. Pessuto J, Godinho M, "Biogas production from tannery wastes -Evaluation of isolated microorganism effect," Novo Hamburgo, Brazil, 2015.

[12] Charley H, *Food Science, 2nd ed*. New York: Jhon Wiley and Sons, 1982.

[13] H. S. Santosa H, Abyor H, Guyana, NL, "Hidrolisa kolagen dalam ceker ayam hasil perendaman dengan asam asetat pada proses pembuatan gelatin," vol. 20, no. 1, pp. 32–36, 2018.

- [14] S. L. Black M, Canova M, Rydin S, Scalet BM, Roudier S, L.D Sancho, "Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Tanning of Hides and Skins," Luxembourg European Union, 2013.
- [15] S. B. Wang Y, Zeng Y, Chai X, Liao X, He Q, "Amonia nitrogen in tannery wastewater: distribution, origin and prevention," . *JALCA*, vol. 107, pp. 40-50, 2012.
- [16] I. Madanhire and C. Mbohwa, "Investigation of waste management practices and cleaner production application in a tannery: Case study," *Lect. Notes Eng. Comput. Sci.*, vol. 2218, pp. 894-899, 2015.