

III. METODOLOGI

3.1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif untuk menggambarkan kondisi aktual dari daur hidup proses produksi dalam industri kecil dan menengah pengolahan hasil perikanan. Penelitian ini juga akan mencoba untuk menggambarkan penerapan pengolahan air proses dan air limbah dan kemungkinannya meningkatkan kinerja lingkungan UKM pengolahan hasil perikanan.

3.2. Ruang Lingkup Penelitian

3.2.1. Ruang Lingkup Wilayah

Wilayah yang dijadikan studi kasus adalah wilayah Desa Sungai Kapitan Kecamatan Kumai Kabupaten Kotawaringin Barat Provinsi Kalimantan Tengah dengan luas 90 km².

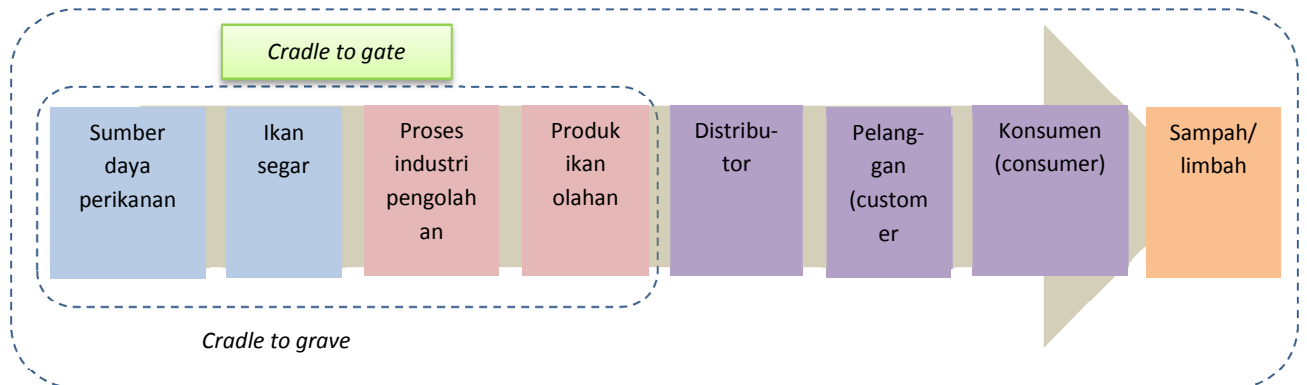
3.2.2. Ruang Lingkup Materi

- Batasan sistem yang akan diteliti adalah daur hidup (*life cycle*) dari produk stik, amplang dan kerupuk ikan tengiri sejak dari penangkapan ikan sampai dihasilkannya produk (*cradle to gate*),
- Unit fungsional yang digunakan adalah produksi 1 kg produk. Data input dan output yang diilustrasikan adalah input yang diperlukan dan output yang dihasilkan dari proses produksi 1 kg produk,
- Penilaian potensi dampak lingkungan dari produk menggunakan *Life Cycle Assesment*,
- Penilaian potensi dampak lingkungan prarancangan pengolahan air proses dan air limbah menggunakan LCA
- Membandingkan potensi dampak lingkungan UKM Syarifah Salmah dengan dan tanpa pengolahan air proses dan air limbah.

3.2.3. Ruang Lingkup Studi

Analisis dan pembahasan data terbatas pada *cradle to gate*, yaitu dari pengambilan bahan baku ikan hasil tangkapan, proses produksi dan energi

yang digunakan hingga menghasilkan produk (*finished goods*) sebagaimana terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3.1. Pembatasan Penelitian *Cradle to Gate*

3.3. Data

Data yang digunakan meliputi:

1. Data Primer

Data primer meliputi data kualitas limbah cair meliputi NO_x , NH_3 , PO_4^{3-} , N, P COD dan BOD. Data ini diperoleh dengan menganalisa limbah cair yang dihasilkan dari proses pencucian ikan dengan tipe data adalah *grab sample*

2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari :

a. Dinas/Badan terkait dan literatur, meliputi:

- Data peraturan dan pedoman standar yang terkait dengan penelitian
- Data produksi perikanan dan olahan hasil perikanan
- Jumlah, macam dan distribusi UMKM pengolahan hasil perikanan
- Literatur mengenai emisi yang dihasilkan berkenaan dengan limbah padat, limbah cair, penggunaan listrik dan bahan bakar.

b. Unit-unit proses pengolahan amplang, stik dan kerupuk ikan di Kecamatan Kumai, meliputi:

- Alur proses produksi
- Jumlah dan jenis bahan baku
- Jumlah dan jenis bahan penolong
- Jenis, kapasitas dan jumlah alat/mesin yang digunakan

- Jumlah tenaga kerja
- Pemakaian listrik dan bahan bakar
- Volume produksi
- Sisa/limbah produksi

3.4. Analisis Data

3.4.1. Life Cycle Analysis (LCA)

Life cycle analysis (ISO 14040, ISO 14044 : 2016) meliputi:

1) Mendefinisikan Tujuan dan ruang lingkup

Tahapan ini diantaranya meliputi penentuan tujuan, alasan penelitian, sasaran audiens, sistem yang dianalisis, batasan sistem produk, unit fungsional, prosedur alokasi (bila ada), data yang diperlukan, asumsi-asumsi dan tipe-tipe dampak

2) Analisis inventori (LCI)

Analisis inventori melibatkan prosedur-prosedur pengumpulan dan pengolahan data untuk menghitung input dan output yang relevan dari sebuah sistem produk. Input dan output ini dapat meliputi penggunaan sumber daya dan bahan-bahan yang dilepas sistem ke udara, air dan tanah. Data diklasifikasikan menjadi:

- Input energi, bahan mentah, input bahan penolong, fisik lainnya
- Produk, co-produk dan limbah
- Pelepasan ke udara, air dan tanah
- Aspek-aspek lingkungan lainnya

Validasi data

Validasi data melibatkan neraca massa, neraca energi dan/atau analisis komparatif faktor-faktor pelepasan. Karena tiap unit mengikuti hukum konservasi massa dan energi, keseimbangan massa dan energi sangat bermanfaat bagi pengecekan validitas deskripsi sebuah unit proses. Anomali data yang dihasilkan

prosedur validasi meminta data alternatif yang sesuai dengan seleksi data yang telah dibangun.

Tabel 3.1. Format tabel neraca massa

Input	Unit	Quantity	Process	Output	Unit	Quantity
...
...
...

3) Analisis dampak (LCIA)

Tahapan LCIA meliputi pengumpulan indikator yang menghasilkan kategori dampak yang berbeda-beda, yang secara bersama-sama mencerminkan profil LCA sistem produk. Data hasil inventory input – output kemudian dianalisa menggunakan software OpenLCA.

4) Interpretasi hasil analisis

Fase interpretasi life cycle sebuah LCA atau sebuah studi LCI meliputi beberapa unsur sebagaimana gambar berikut ini:

- Identifikasi isu-isu signifikan atas hasil fase LCI dan LCIA;
- Sebuah evaluasi yang mempertimbangkan kelengkapan, uji sensitifitas dan konsistensi;
- Kesimpulan, pembatasan dan rekomendasi.

3.4.2. Pengolahan Data LCI

Karakterisasi indikator kategori dampak dilakukan dengan cara pengukuran dan penghitungan menggunakan faktor konversi. Indikator dampak merupakan emisi dari limbah cair, penggunaan bahan bakar transportasi, LPG dan listrik.

Estimasi emisi (indikator) menggunakan faktor konversi mengikuti rumus berikut ini:

1. Sektor penangkapan tenggiri

Emisi CO₂, CH₄, dan N₂O angkutan air dihitung menggunakan rumus berikut (Rizaldi Boer et al., 2012):

$$\text{Tier-1: } Emisi = \sum_a Konsumsi BB_a \times NK_a \times faktor\ emisi_a$$

Dimana:

Emisi = emisi CO₂, CH₄ atau N₂O

Konsumsi BB_a = Bahan bakar yang dikonsumsi angkutan air

NK_a = Nilai kalor bahan bakar a

Faktor emisi_a = Faktor emisi CO₂, CH₄ atau N₂O menurut jenis bahan bakar (kg gas/TJ)

a = jenis bahan bakar (solar,IDO dll)

$$\text{Tier-2: } emisi = \sum_{ab} konsumsi\ BB_{ab} \times NK_a \times faktor\ emisi_{ab}$$

Dimana:

Emisi = emisi CO₂, CH₄ atau N₂O

Konsumsi BB_{ab} = Bahan bakar yang dikonsumsi angkutan air

NK_a = Nilai kalor bahan bakar a

Faktor emisi_a = Faktor emisi CO₂, CH₄ atau N₂O menurut jenis bahan bakar (kg gas/TJ)

a = jenis bahan bakar (solar,IDO dll)

b = Jenis kapal atau mesin

Tabel 3.2. Faktor Emisi Tipikal Kota-kota di Indonesia untuk aktivitas kapal sungai/laut menggunakan Tier-2

Parameter	Satuan	Emisi
NO _x	Kg/ton bahan bakar	57,1
CO	Kg/ton bahan bakar	19,8
CO ₂₊	Kg/GJ	74,1
HC	Kg/ton bahan bakar	7,45
SO _x	Kg/ton bahan bakar	= 2 x %S x FCm
PM ₁₀	Kg/ton bahan bakar	4,6

Sumber: (Suhadi & Febrina, 2013)

Keterangan:

Referensi: 1.A.3.d Navigation GB 2009 update Mar 2011

Tabel: 3-2, 3-4, 3-6, 3-15, 1.A.3d Navigation 2009

Tabel 3.3. Nilai Kalor Bahan Bakar Indonesia

Bahan Bakar	Nilai Kalor	Penggunaan
Premium*	33×10^{-6} TJ/liter	Kendaraan bermotor
Solar (HSD, ADO)	36×10^{-6} TJ/liter	Kendaraan bermotor, pembangkit listrik
Minyak Diesel (IDO)	38×10^{-6} TJ/liter	Boiler industri, pembangkit listrik
MFO	40×10^{-6} TJ/liter	Pembangkit listrik
	40×10^{-2} TJ/ton	
Gas Bumi	$1,055 \times 10^{-6}$ TJ/SCF	Industri, rumah
	$38,5 \times 10^{-6}$ TJ/Nm ³	tangga, restoran
LPG	$47,3 \times 10^{-6}$ TJ/kg	Rumah tangga, restoran
Batubara	$18,9 \times 10^{-3}$ TJ/ton	Pembangkit listrik, industri

Catatan: *) termasuk Pertamina, Pertamina Plus

HSD : High Speed Diesel

ADO : Automotive Diesel Oil

IDO : Industrial Diesel Oil

2. Estimasi Emisi Listrik

Untuk mengestimasi emisi pada pembangkit dengan adanya konsumsi listrik ditingkat konsumen, digunakan model yang dikembangkan oleh Widiyanto, dkk. 2003 sebagaimana tabel berikut.

Tabel 3.4. Emisi Langsung Pembakaran BBM pada Pembangkit Listrik

Emisi	Pemb. Listrik		
	1	2	3
CO ₂ (kg/kWh)	$9,22 \times 10^{-1}$	$9,22 \times 10^{-1}$	$7,72 \times 10^{-1}$
SO ₂ (kg/kWh)	$4,36 \times 10^{-3}$	$3,99 \times 10^{-3}$	$2,01 \times 10^{-3}$
NO _x (kg/kWh)	$4,39 \times 10^{-3}$	$4,19 \times 10^{-3}$	$8,64 \times 10^{-3}$
SPM (kg/kWh)	$6,70 \times 10^{-4}$	$6,12 \times 10^{-4}$	$3,24 \times 10^{-4}$
N ₂ O (kg/kWh)	$4,25 \times 10^{-5}$	$3,64 \times 10^{-5}$	$2,19 \times 10^{-5}$
NMHC (kg/kWh)	$3,20 \times 10^{-5}$	$3,20 \times 10^{-5}$	$4,68 \times 10^{-4}$
CH ₄ (kg/kWh)	$1,13 \times 10^{-5}$	$1,03 \times 10^{-5}$	$3,83 \times 10^{-5}$
CO (kg/kWh)	$1,47 \times 10^{-4}$	$1,34 \times 10^{-4}$	$1,64 \times 10^{-4}$

Sumber: (Widiyanto, Kato, & Maruyana, 2003)

Keterangan:

- 1 = Turbin uap berbahan bakar batu bara; menggunakan batu bara Bukit Asam (Sumatera) (dalam sebuah pembangkit listrik 600 MW)
- 2 = Turbin uap berbahan bakar batu bara; menggunakan batu bara Kalimantan (dalam sebuah pembangkit listrik 600 MW)
- 3 = Pembangkit listrik berbahan bakar diesel Indonesia.

3. Estimasi Emisi Konsumsi LPG

Emisi dari penggunaan kompor gas LPG dihitung dengan menggunakan rumus (IPCC 2006):

$$\text{Emisi GRK} = \text{Konsumsi } BB_{\text{kpr gas,LPG}} \times NK_{\text{LPG}} \times \text{faktor emisi}_{\text{GRK,kpr gas,LPG}}$$

Dimana:

Emisi GRK = emisi gas rumah kaca (kg)

Konsumsi $BB_{\text{kpr gas,LPG}}$ = konsumsi bahan bakar LPG untuk kompor gas

NK_{LPG} = nilai kalor LPG

Faktor Emisi GRK,kpr gas,LPG = faktor emisi gas rumah kaca pada kompor gas LPG

1 kg CH_4 = 23 kg CO_2eq

1 kg N_2O = 293 kg CO_2eq

Tabel 3.5. Faktor emisi tipikal kota-kota Indonesia kompor gas berbahan bakar LPG

Emisi	Faktor emisi (g/GJ)	Tier
NO_x	57	2
CO	31	2
SO_x	0,5	2
HC	10,5	2
CO_2	63,1	2
PM_{10}	0,5	2

Sumber: Suhadi & Febrina, 2013.

4. Estimasi emisi pada instalasi pengolahan limbah *biofilter anaerobic-aerobic*

Estimasi emisi CH_4 dan N_2O dapat dihitung menggunakan rumus yang diadaptasi dari IPCC 2006 dan pedoman inventarisasi berikut (Doorn dkk., 2006; Kementerian Lingkungan Hidup, 2012):

$$Emisi CH_4 = \sum_i [(TOW_i - S_i)EF_i - R_i]$$

Dimana:

TOW_i = total material dalam limbah cair industri yang dapat didegradasi secara organik, kg COD

i = sektor industri

S_i = komponen organik yang dapat dihilangkan sebagai lumpur, kg COD

EF_i = faktor emisi untuk industri i , kg CH_4 /kgCOD, untuk cara atau sistem pengolahan/pembuangan.

R_i = jumlah CH_4 yang diambil, kg CH_4 .

Pemilihan faktor emisi (Doorn dkk., 2006; Kementerian Lingkungan Hidup, 2012):

$$EF_j = B_o \times MCF_j$$

Dimana:

EF_j = faktor emisi untuk masing-masing cara atau sistem pengolahan/pembuangan, kg CH_4 /kg COD

j = masing-masing cara atau sistem pengolahan/pembuangan

B_o = kapasitas produksi CH_4 maksimal, kg CH_4 /kg COD MCF_j

MCF_j = faktor koreksi metana (fraksi).

Material yang dapat didegradasi secara organik dalam air limbah industri (Doorn dkk., 2006; Kementerian Lingkungan Hidup, 2012) :

$$TOW_i = P_i \times W_i \times COD_i$$

Dimana:

TOW_i = material yang dapat didegradasi secara organik dalam air limbah untuk industri i , kg COD

- i = sektor industri
- P_i = produk industri total untuk sektor industri i ,
- W_i = air limbah yang dihasilkan, m^3/t produk
- COD_i = chemical oxygen demand (komponen organik industrial yang dapat didegradasi dalam air limbah), $kg\ COD/m^3$

Tabel 3.5. Nilai MCF default untuk air limbah industri

Tipe sistem pengolahan dan pembuangan limbah	Keterangan	MCF	Range
Tanpa pengolahan			
Pembuangan ke laut, sungai dan danau	Sungai dengan beban organik yang tinggi dapat berubah menjadi anaerobik, tidak menjadi bahan pertimbangan.	0,1	0 – 0,2
Dengan pengolahan			
Instalasi pengolahan secara aerobik	Instalasi yang dikelola dengan baik. Sedikit CH_4 dapat teremis dari kolam pengendapan dan kantong-kantong lainnya.	0	0 – 0,1
Instalasi pengolahan secara aerobik	Instalasi yang tidak dikelola dengan baik. Menerima beban berlebihan.	0,3	0,2 – 0,4
Digester anaerobik untuk lumpur	Penangkapan CH_4 tidak dipertimbangkan	0,8	0,8 – 1,0
Reaktor anaerobik (misalnya UASB, <i>Fixed Film Reactor</i>)	Penangkapan CH_4 tidak dipertimbangkan	0,8	0,8 – 1,0
Kolam dangkal anaerobik	Kedalaman kurang dari 2 meter, menggunakan pendapat ahli	0,2	0 – 0,3
Kolam dalam anaerobik	Kedalaman lebih dari 2 meter	0,8	0,8 – 1,0

Sumber: Doorn dkk., 2006; Kementerian Lingkungan Hidup, 2012

Emisi N₂O dari aliran air limbah (Doorn dkk., 2006; Kementerian Lingkungan Hidup, 2012):

$$N_2O \text{ emission} = N_{\text{effluent}} \times EF_{\text{effluent}} \times 44/28$$

Dimana:

N₂O emissions = emisi N₂O emissions dalam *inventory*, kg N₂O

N_{effluent} = nitrogen dalam *effluent* yang dibuang ke lingkungan akuatik, kg N

EF_{effluent} = faktor emisi N₂O air limbah yang dibuang, kg N₂O-N/kg N = 0,005 kg N₂O-N/kg-N

Faktor 44/28 adalah konversi dari kg N₂O-N menjadi kg N₂O

5. Estimasi emisi CH₄ metode Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003:

Produksi CH₄ yang diharapkan = 0,40 L CH₄/g COD pada suhu 35°C.

Volume CH₄ pada suhu 25°C adalah:

$$V_{CH_4} = (0,4) \frac{(273,15 + ^\circ C)}{(273,15 + ^\circ C)}$$

Kandungan energi gas:

Pada suhu 25°C, volume 1 mole gas :

$$V = \frac{nRT}{P}$$

Total mole CH₄ yang diproduksi per hari:

$$\text{mole } CH_4 = \frac{V_{CH_4}}{(24,5 \frac{L}{\text{mole}}) (\frac{1m^3}{10^3L})}$$

Massa 1 mole CH₄ = 16 g

Sehingga massa CH₄ yang diproduksi = mole CH₄ x 16 g

1 g CH₄ mengandung energi = 50,1 kJ

Sehingga kandungan energi CH₄ yang diproduksi = massa CH₄ x 50,1 kJ

6. Estimasi emisi CH₄ metode Sperling & Chernicharo, 2005:

$$V_{CH_4} = \frac{COD_{CH_4}}{K(t)}$$

Dimana: V_{CH_4} = volume metana yang diproduksi (L)

COD_{CH_4} = beban COD yang dihilangkan dari reaktor dan dikonversi menjadi metana (gCOD)

Beban COD yang diubah menjadi biomassa asidogenik :

$Y_{acid} = 0,15 \text{ g } COD_{cell}/\text{g } COD_{removed}$ (Alves, 2014; Sperling & Chernicharo, 2005)

$COD_{acid} = Y_{acid} \times COD_{removed}$

Beban COD yang diubah menjadi biomassa metanogenik:

$Y_{methan} = 0,03 \text{ g } COD_{cell}/COD_{removed}$ (Alves, 2014; Sperling & Chernicharo, 2005)

$COD_{methan} = Y_{methan} \times COD_{removed}$

Beban COD yang diubah menjadi CH_4 :

$COD_{CH_4} = \text{total } COD_{removed} - COD \text{ yang diubah menjadi biomassa}$

$K(t)$ = faktor koreksi suhu operasional reaktor (gCOD/L)

$$K(t) = \frac{P \times K}{R \times (273 + T)}$$

Dimana: P = tekanan atmosfer (1 atm)

K = COD yang berkorespondensi dengan 1 mole CH_4 (64 g COD/mole)

R = konstanta gas (0,08206 atm.L/mole. $^{\circ}$ K)

T = suhu operasional reaktor ($^{\circ}$ C)

Setelah diketahui volume CH_4 dihitung kandungan energi CH_4 sesuai cara perhitungan pada poin 4.

7. Penurunan kadar ammonia dan nitrogen diestimasi dengan persamaan (Sperling & Chernicharo, 2005).

Penurunan ammonia:

$$C_e = \frac{C_o}{1 + \left[5,035 \times 10^{-3} \cdot \left(\frac{A}{Q} \right) \cdot e^{(1,540 \times (pH-6,6))} \right]}$$

Penurunan Nitrogen:

$$C_e = C_o e^{(-K(t+60,6 \times (pH-6,6)))}$$

$$K = 0,0064 \times 1.039^{(T-20)}$$

Dimana: C_o = konsentrasi influen (mg/l)

C_e = konsentrasi efluen (mg/l)

Q = aliran influen (m^3 /hari)

A = area permukaan kolam (m^2)

T = suhu likuid ($^{\circ}C$)

pH = pH dalam kolam

t = waktu tinggal hidrolis (hari)

K = koefisien penghilangan ($hari^{-1}$)

8. Estimasi emisi instalasi pengolahan air sistem reverse osmosis (RO)

Untuk mengetahui estimasi emisi digunakan software ROSA 9.1. Software ini digunakan untuk membuat desain IPA sistem RO berdasarkan parameter yang telah ditentukan sebelumnya yaitu kualitas air baku, kapasitas IPA, jenis membran, tipe dan konfigurasi sistem RO. Dengan software ini dapat diketahui energi spesifik sistem RO yang dirancang dan kualitas permeate, sehingga dapat dihitung emisi dari penggunaan energi dan kualitas air buangan.

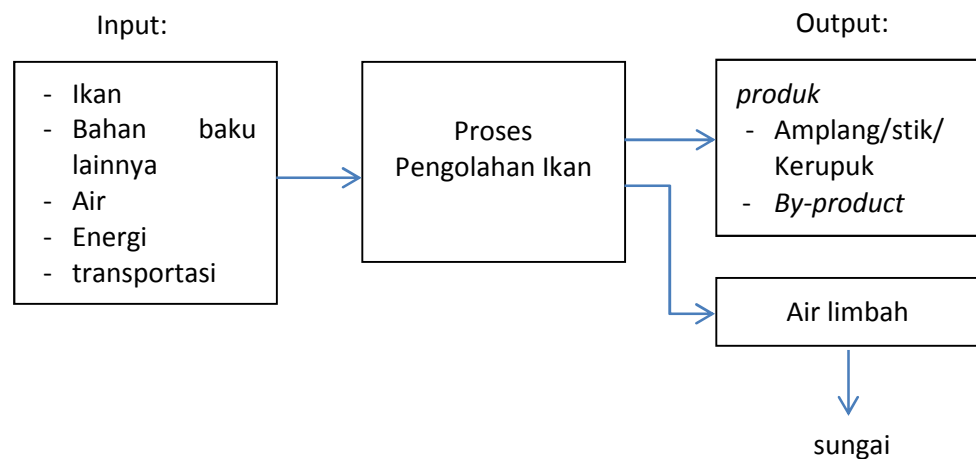
3.4.4. Membandingkan potensi dampak lingkungan tahap penerimaan dan penyimpanan ikan dengan dan tanpa pengolahan air limbah

Hasil analisis LCA akan memberikan gambaran mengenai dampak lingkungan yang dapat ditimbulkan oleh industri perikanan skala kecil dan menengah baik positif maupun negatif. Selanjutnya, penilaian awal potensi dampak lingkungan penerapan pengolahan air proses dan pengolahan air limbah dengan membandingkan hasil analisis LCA proses penerimaan ikan dan penyimpanan ikan beku UKM Syarifah Salmah dengan dan tanpa pengolahan air dan pengolahan air limbah.

Penelitian ini hendak membandingkan dua skenario. Skenario pertama merupakan skenario yang sudah berjalan, sedangkan skenario kedua merupakan skenario yang diusulkan.

Skenario I:

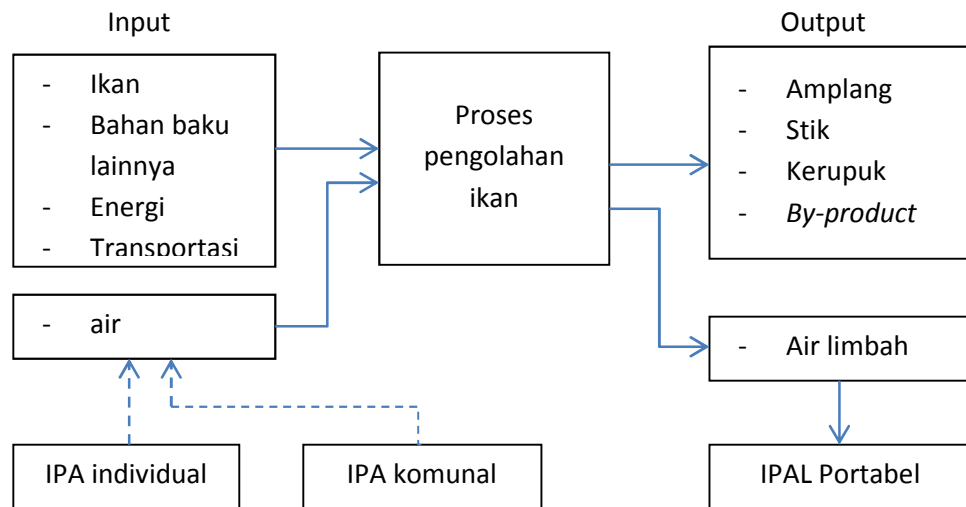
Skenario ini merupakan skenario yang telah berjalan yaitu pemanfaatan air sumur dan pembuangan limbah cair langsung ke sungai tanpa pengolahan. Sebagai ilustrasi, pola yang terjadi dalam skenario ini disajikan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Skenario yang Telah Berjalan

Skenario II:

Skenario II adalah skenario yang diusulkan. Dalam skenario ini diusulkan industri pengolah air individual dan komunal serta co-manajemen pengolahan limbah cair. Industri pengolah air ditujukan untuk mengolah air permukaan menjadi air proses. Air proses untuk industri pangan disyaratkan memenuhi baku mutu air minum. Selama ini air yang digunakan bersumber dari sumur dalam (air tanah). Untuk mengurangi penggunaan air tanah diusulkan menggunakan sumber air permukaan yaitu air sungai, sehingga diperlukan pengolahan air agar memenuhi persyaratan air minum. Dalam skenario ini juga diusulkan fasilitas pengolah limbah portabel untuk memenuhi kebutuhan pengolahan limbah UKM-UKM pengolah hasil perikanan.



Gambar 3.3. Skenario yang Diusulkan

- Alves, T. F. M. S. (2014). *Wastewater characterization and monitoring and troubleshooting of an IASB reactor at a Fish-Canning Plant*. Universidade Do Porto. Retrieved from <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/88739/2/31495.pdf>
- Doorn, M. R. J., Towprayoon, S., Vieira, S. M. M., Irving, W., Palmer, C., Pipatti, R., & Wang, C. (2006). Wastewater Treatment and Discharge. In E. H.S., B. L., M. K., N. T., & T. K (Eds.), *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. IGES, Japan.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Rizaldi Boer, Dewi, R. G., Siagian, U. W., Ardiansyah, M., Surmaini, E., Ridha, D. M., ... Parinderati, R. (2012). *PEDOMAN PENYELENGGARAAN INVENTARISASI GAS RUMAH KACA NASIONAL BUKU II - VOLUME 1 METODOLOGI PENGHITUNGAN TINGKAT EMISI GAS RUMAH KACA KEGIATAN PENGADAAN DAN PENGGUNAAN ENERGI* (Vol. 1). Kementerian Lingkungan Hidup.
- Sperling, M. von, & Chernicharo, C. A. de L. (2005). *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*. London: IWA Publishing. Retrieved from [//www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402734.pdf](http://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402734.pdf)
- Suhadi, D. R., & Febrina, A. S. (2013). *Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara Di Perkotaan*, 153.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. R., & Stensel, H. D. (2003). *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse* (4 th). Metcalf & Eddy, Inc.
- Widiyanto, A., Kato, S., & Maruyana, N. (2003). Environmental Impact Analysis of Indonesian Electric Generation Systems. *JSME International Journal Series B*, 46 No. 4(June), 650–659. <https://doi.org/10.1299/jsmeb.46.650>