

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang

Gas alam adalah salah satu komponen penting dalam dunia energi. Gas alam banyak digunakan untuk produksi bahan bakar dan amonia. Gas alam merupakan bahan bakar fosil yang berasal dari sisa tanaman, hewan, dan mikroorganisme yang tersimpan di bawah tanah selama jutaan tahun. Tidak seperti bahan bakar fosil lainnya, gas alam salah satu sumber energi yang aman dan paling bersih karena memiliki intensitas karbon yang rendah. Oleh karena itu, penggunaan gas alam terus meningkat dan semakin banyak digunakan karena keunggulannya dibandingkan sumber energi lainnya.

Indonesia termasuk dalam 10 besar produsen gas alam terbesar di dunia, dimana tepat pada urutan ke-10 dunia. Gas alam yang diproduksi Indonesia dua kali lipat dari gas alam yang dikonsumsi. Sehingga sebagian besar produk gas alam Indonesia akan diekspor dan barulah sisanya dijual untuk pasar domestik. Hal ini tentunya membuat gas alam memiliki peran besar untuk perekonomian Indonesia (Anonim, 2016).

Sebagai produk ekspor Indonesia, gas alam Indonesia tentunya harus memiliki standart sesuai permintaan internasional. Sumber gas alam mengandung merkuri dalam jumlah yang bervariasi tergantung dari geografisnya. Merkuri merupakan logam berbahaya yang dapat merusak lingkungan, mengganggu proses kimia, dan mesin pengguna gas alam (Cabot, 2016). Adanya kandungan merkuri pada gas alam dapat mengakibatkan pembentukan amalgam dengan aluminium pada *heat exchanger*. Hal ini akan menyebabkan kerusakan mekanis dan kebocoran gas. Jika terjadi kebocoran gas, maka lingkungan sekitar akan tercemar oleh merkuri. Dampak dari merkuri jika terhirup adalah dapat menyebabkan penyakit ginjal, gangguan penglihatan, mempengaruhi otak, dan kehilangan ingatan (Korkor dkk., 2004). Berdasarkan dampak-dampak yang ditimbulkan gas alam tersebut, merkuri merupakan kandungan yang harus

dihilangkan atau diminimalkan jumlahnya. Sebagai produk ekspor, standart internasional menetapkan kandungan maksimal merkuri pada gas alam sebesar  $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Korkor dkk., 2004). Salah satu proses yang biasa digunakan dalam penurunan kandungan merkuri pada industri gas alam adalah proses adsorpsi. Adsorpsi merupakan proses dimana zat tertentu terserap ke dalam permukaan adsorben karena adanya gaya tarik antar atom atau molekul. Adsorpsi banyak digunakan karena prosesnya yang sederhana dan biaya yang relatif lebih rendah. Pada umumnya, adsorben yang baik memiliki pori dan luas permukaan yang besar, sehingga dapat mengadsorpsi lebih banyak. Adsorben yang banyak digunakan pada proses adsorpsi tersebut adalah karbon aktif. Karbon aktif adalah karbon yang telah diaktivasi dan dimodifikasi sehingga mengalami pengembangan struktur. Karbon aktif merupakan adsorben yang memiliki luas permukaan yang besar dan daya adsorpsi yang besar.

Dalam pabrik ini, akan dibuat komposit montmorillonite-NCC yang akan digunakan sebagai adsorben pengganti karbon aktif dalam proses adsorpsi merkuri pada industri gas alam. Dengan menggunakan komposit ini dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi, sehingga dapat dihasilkan gas alam yang memiliki kandungan merkuri sesuai dengan standart. Komposit ini dibuat dengan mencampurkan montmorillonite dengan *nanocrystalline cellulose* (NCC). Dengan menggabungkan kedua material tersebut maka akan didapatkan komposit dengan pori dan gugus aktif yang lebih banyak untuk mengikat merkuri. NCC merupakan material berukuran nano yang terbuat dari selulosa dan mempunyai struktur kristal. Dalam produksi NCC, bahan baku yang digunakan berupa pulp. Pulp dihidrolisis menggunakan asam untuk menghasilkan NCC. Untuk mendapatkan komposit ini, NCC dicampurkan dengan montmorillonite dengan bantuan radiasi. Komposit yang dihasilkan dapat digunakan langsung sebagai adsorben pengganti karbon aktif dalam proses adsorpsi merkuri pada industri gas alam.

## I.2. Sifat Bahan Baku dan Produk

### I.2.1. Bentonite sebagai bahan baku

Bentonite merupakan batuan alam yang mengandung mineral seperti montmorillonite, beidellite, saponite, dan lain-lain. Di Indonesia, montmorillonite merupakan mineral terbesar yang ada pada bentonite. Bentonite dengan kandungan montmorillonite berada pada konsentrasi rendah dalam tanah, seperti pada sedimentasi perairan dan debu di udara. Struktur bentonite terdiri dari lapisan alumina oktahedral di antara dua lapisan silika tetrahedral, dimana  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , dan  $\text{Mg}^{2+}$  berada pada oktahedral dan  $\text{Si}^{4+}$  dan  $\text{Al}^{3+}$  berada pada tetrahedral. Lapisan struktur bentonite ini dihubungkan dengan 2 jenis kation untuk menyeimbangkan struktur bentonite,  $\text{Ca}^{2+}$  atau  $\text{Na}^{2+}$ . Kation ini menentukan sifat bentonite, dimana  $\text{Na}^{2+}$  menyebabkan ukuran bentonite dapat memuai 8 kali ukuran semula sedangkan  $\text{Ca}^{2+}$  tidak (Onal, 2006). Bentonite sendiri banyak digunakan diberbagai aplikasi, seperti adsorben, *organoclay*, *nanocomposite*, *bleaching earth*, katalis, dan lain-lain (WHO, 2005). Adapun sifat kimia dan fisika bentonite sebagai berikut:

Rumus molekul :  $(\text{M}^+_{x} \cdot n\text{H}_2\text{O})(\text{Al}_{2-y}\text{Mg}_x)\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ , idealnya  $x = 0,33$ .

Bentuk : padatan (serbuk)

Bau : tidak berbau

Warna : kuning terang

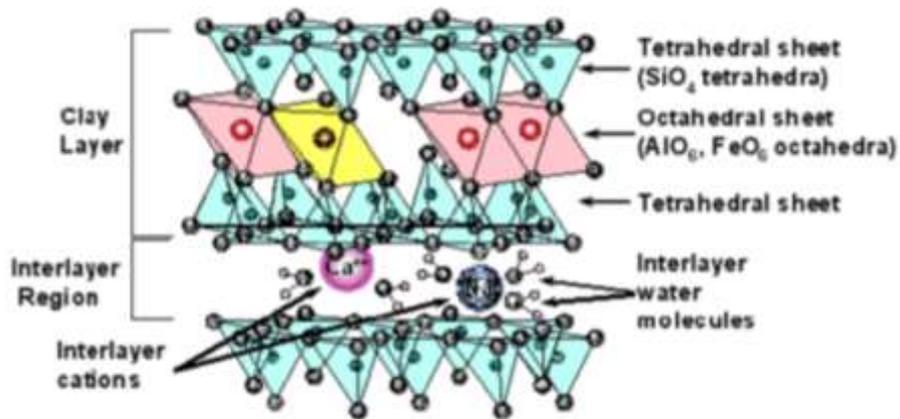
Kelarutan : kelarutan kecil dalam air (<20 g/L) dan tidak larut dalam metanol, dietil eter, n- oktanol, serta aseton

Ukuran partikel : 2,5 – 4  $\mu\text{m}$

Bulk Density : 800-950  $\text{kg/m}^3$

Specific Gravity : 2,6

pH : 8,1 – 10,5



**Gambar I.1.** Struktur Bentonite

### I.2.2. Pulp sebagai bahan baku

Pulp merupakan bahan utama pembuatan NCC karena pulp merupakan serat selulosa yang didapatkan dari delignifikasi serat kayu. Kandungan dalam pulp adalah selulosa saja. Pulp yang masih tercampur lignin dan hemiselulosa tidak akan menghasilkan NCC dengan baik. Pulp berdasarkan jenis seratnya dapat dibedakan menjadi 2 macam jenis, yaitu pulp serat pendek dan pulp serat panjang. Pulp serat pendek disebut *leaf pulp*, dimana serat ini didapatkan dari *hardwood* seperti *Acasia eualyptus*. Sedangkan serat panjang disebut *needle pulp*, dimana serat ini didapatkan dari *softwood* seperti *northern* dan *southern* pinus. Adapun sifat kimia dan fisika pulp sama dengan selulosa sebagai berikut:

Rumus molekul	: $[C_6H_{10}O_5]_n$
Bentuk	: padatan (fiber)
Bau	: tidak berbau
Warna	: putih
Kelarutan	: tidak larut dalam air dan pelarut organik, larut dalam reagen Schweitzer dan seng klorida.
Melting point	: 500-518°C
Specific Gravity	: 1,27-1,61 (0°C)

### I.2.3. Komposit montmorillonite-NCC sebagai produk

Komposit montmorillonite-NCC merupakan hasil modifikasi bentonite dengan NCC yang terbuat dari selulosa. NCC merupakan material

berukuran nano dan berstruktur kristal. NCC sendiri memiliki luas permukaan yang besar dan memiliki gugus aktif OH pada permukaan struktur yang dapat mengikat adsorbat pada proses adsorpsi. Sedangkan bentonite memiliki pori yang luas dan lapisan struktur yang dapat memerangkap adsorbat dalam proses adsorpsi. Oleh karena itu, komposit dari NCC dan bentonite ini memiliki daya serap yang tinggi karena kombinasi dari keunggulan yang dimiliki kedua material tersebut.

#### **I.2.4. Glukosa sebagai produk samping**

Glukosa dalam prarencana pabrik ini merupakan produk samping proses hidrolisis asam dari selulosa. Glukosa dihasilkan dari hasil pemutusan ikatan selulosa menjadi monomernya, yaitu glukosa itu sendiri. Glukosa ini diolah lebih lanjut untuk mengurangi kadar airnya sehingga dapat dijual sebagai glukosa komersial. Produk glukosa ini memiliki kadar 80%, dimana masih terdapat kandungan air di dalamnya. Glukosa 80% ini biasa dapat digunakan sebagai pemanis dalam industri makanan.

#### **I.3. Kegunaan dan Keunggulan Produk**

Produk komposit montmorillonite-NCC ini berpotensi diaplikasikan dalam berbagai macam aplikasi, salah satunya sebagai adsorben. Oleh karena itu, produk ini diproduksi untuk adsorpsi merkuri pada industri gas alam. Pada umumnya proses adsorpsi merkuri pada industri gas alam menggunakan karbon aktif sebagai adsorben. Karbon aktif digunakan sebagai adsorben karena luas permukaan karbon aktif yang besar karena adanya pori-pori. Selain itu, penyerapan merkuri pada karbon aktif dapat dibantu dengan adanya modifikasi karbon aktif dengan unsur halogen (F, Cl, Br, dan I), gugus fungsi oksigen, atau campuran keduanya. Adanya modifikasi tersebut akan membantu memperkuat ikatan merkuri ke atom karbon pada karbon aktif (Padak dkk., 2006). Komposit ini diproduksi karena memiliki keunggulan yang lebih dari karbon aktif dalam aplikasi adsorpsi merkuri. Pada NCC, terdapat gugus fungsi oksigen seperti -OH dan -COO- sehingga ini juga dapat membantu memperkuat ikatan merkuri ke karbon pada montmorillonite dan NCC. Selain itu, montmorillonite

memiliki pori-pori yang besar karena berupa inter layer yang kosong. Hal ini akan memperbesar kapasitas adsorpsi dari komposit ini dibandingkan dengan karbon aktif. Selain itu, interaksi merkuri dengan komposit ini juga melalui gugus silanol yang ada pada komposit. Merkuri akan membentuk ikatan dengan gugus silanol sehingga ternyata adsorpsi kimia (Viraraghavan dan Kapoor, 1994). Adsorpsi merkuri dengan menggunakan komposit ini lebih baik karena terjadi adsorpsi fisika dan kimia. Sedangkan berdasarkan ekonomi, harga karbon aktif yang tinggi merupakan salah satu penyebab pemilihan penggunaan komposit ini. Harga dari komposit relatif akan lebih rendah dari karbon aktif, sehingga lebih menguntungkan bagi industri gas alam.

Berdasarkan percobaan, masing-masing dari montmorillonite, NCC, dan komposit diuji kapasitas adsorpsinya dengan adsorpsi metilen biru. Adsorpsi dari ketiga material tersebut direpresentasikan menggunakan persamaan Freundlich untuk mengetahui kapasitas adsorpsi dari masing-masing material. Dari analisa regresi persamaan Freundlich tersebut, diperoleh kapasitas adsorpsi NCC sebesar 15,4185  $((\text{mg/g})(\text{L/mg})^{-1/n})$ , montmorillonite sebesar 55,0941  $((\text{mg/g})(\text{L/mg})^{-1/n})$ , dan komposit sebesar 65,8147  $((\text{mg/g})(\text{L/mg})^{-1/n})$ . Hal ini dapat membuktikan keberhasilan dari produksi komposit ini, dimana komposit ini memiliki kapasitas adsorpsi lebih baik dari bahan-bahan penyusunnya yaitu montmorillonite dan NCC.

#### **I.4. Ketersediaan Bahan Baku dan Analisis Pasar**

##### **I.4.1. Ketersediaan bahan baku**

###### **A. Pulp**

Dalam pabrik ini, pulp menjadi bahan baku utama pembuatan NCC, dimana pulp yang digunakan berupa pulp yang mengandung 100% selulosa. Selain itu, pulp yang digunakan berasal dari bahan baku kayu yang memiliki serat panjang. Pulp dengan tipe seperti ini belum tersedia di Indonesia, sehingga pabrik ini harus melakukan impor pulp dari Negara lain, seperti Scandinavia. Pulp dari Scandinavia merupakan pulp yang terbaik di dunia, dimana memiliki serat panjang dan kandungan selulosa yang tinggi. Oleh

karena diperlukan impor, maka data ketersediaan pulp sebagai bahan baku menggunakan data ketersediaan pulp di dunia.

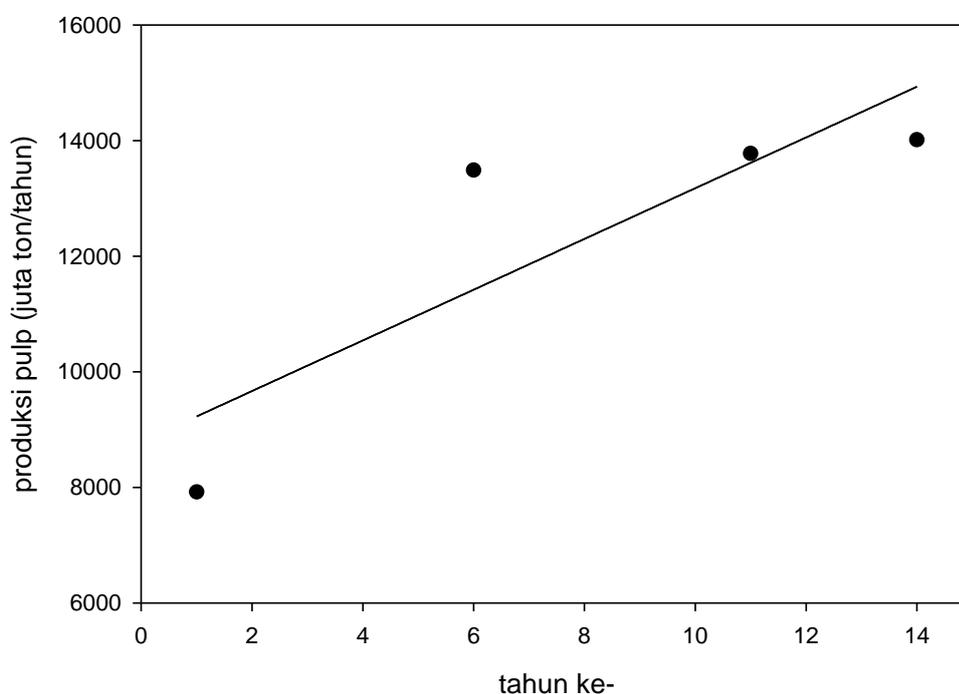
Untuk mendapatkan perkiraan data produksi pulp tahun 2019 dilakukan regresi linear pada grafik hubungan antara tahun ke- sebagai  $x$  dan produksi pulp (juta ton/tahun) sebagai  $y$ . Hasil regresi linear memberikan persamaan berikut:

$$y = (439 \cdot x) + 8788,75$$

dengan  $r^2$  sebesar 0,7335. Dengan persamaan tersebut, produksi pulp Indonesia pada tahun 2019 sebesar 17568,75 juta ton/tahun.

**Tabel I.1.** Produksi Pulp di Dunia tahun 2000-2013

Tahun	Produksi Pulp (juta ton/tahun)
2000	7918
2005	13491
2010	13778
2013	14016



**Grafik I.2.** Kurva Produksi Pulp di Dunia tahun 2000-2013

Ketersediaan pulp sejauh ini hanya diperuntukkan sebagai bahan baku kertas dan turunannya. Untuk memenuhi kebutuhan pulp pada prarencana pabrik ini diperlukan penambahan produksi pulp pada industri pulp. Oleh karena itu, produksi pulp pada tahun 2019 harus lebih tinggi dari 9,0789 juta ton/tahun agar kebutuhan pulp sebagai bahan baku prarencana pabrik ini dapat terpenuhi.

## **B. Bentonite**

Ketersediaan bentonite di Indonesia sangat melimpah ruah, terbukti dari beberapa daerah di Jawa, Sumatera, sebagian Kalimantan, dan Sulawesi yang memiliki cadangan endapan bentonite. Cadangan bentonite Indonesia mencapai 380 juta ton, dimana sebagian besar merupakan kalsium bentonite. Hanya sedikit daerah yang mengandung natrium bentonite seperti Boyolali, Pangkalan Brandan, dan Sorolangun-Bangko (Panjaitan, 2010).

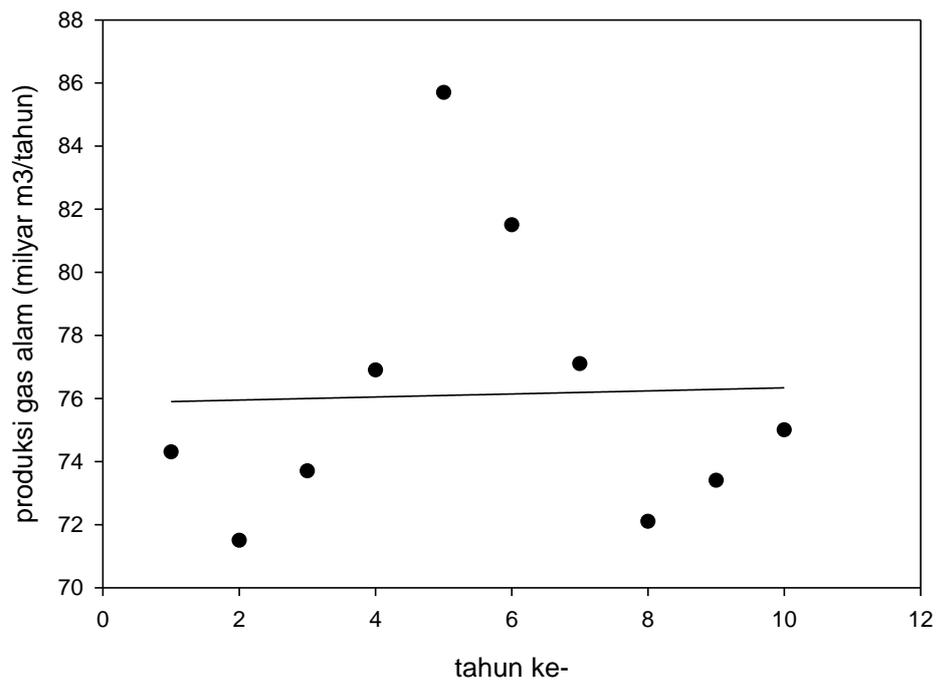
### **I.4.2. Analisa pasar**

Produk komposit montmorillonite-NCC ini memiliki kegunaan sebagai adsorben. Komposit montmorillonite-NCC ini dapat digunakan sebagai pengganti karbon aktif dalam proses adsorpsi merkuri pada industri gas alam. Selain itu, tingginya harga karbon aktif juga menjadi salah satu alasan dibuatnya komposit montmorillonite-NCC. Komposit ini terbuat dari bahan yang harganya relatif lebih rendah daripada karbon aktif. Hal ini menjadi potensi yang baik untuk produk komposit montmorillonite-NCC ini.

Indonesia merupakan salah satu dari sepuluh produsen gas alam terbesar di dunia. Hal ini disebabkan karena Indonesia memiliki cadangan gas alam yang besar, dimana merupakan terbesar ketiga di area Asia Pasifik. Gas alam sangat banyak digunakan karena merupakan salah satu suplai energi dunia, baik untuk bahan bakar maupun untuk kebutuhan lainnya seperti amonia untuk pupuk. Produksi gas alam Indonesia untuk tahun 2006-2015 dapat dilihat sebagai berikut (Anonim, 2016):

**Tabel I.2.** Produksi Gas Alam di Indonesia tahun 2006-2015

Tahun	Produksi Gas Alam (milyar m <sup>3</sup> /tahun)
2006	74,3
2007	71,5
2008	73,7
2009	76,9
2010	85,7
2011	81,5
2012	77,1
2013	72,1
2014	73,4
2015	75

**Grafik I.3.** Kurva Produksi Gas Alam di Indonesia tahun 2006-2015

Untuk mendapatkan perkiraan data produksi gas alam tahun 2019 dilakukan regresi linear pada grafik hubungan antara tahun ke- sebagai x dan produksi gas alam (milyar m<sup>3</sup>/tahun) sebagai y. Hasil regresi linear memberikan persamaan sebagai berikut:

$$y = 0,0485 x + 75,8533$$

dengan  $r^2$  sebesar 0,0011. Produksi gas alam merupakan produksi yang fluktuatif. Namun pada dasarnya, kebutuhan gas alam akan semakin meningkat karena adanya peralihan sumber energi ke gas alam. Hal ini dikarenakan keunggulan gas alam yang lebih aman dan bersih. Oleh karena itu, regresi linear ini mewakili produksi gas alam dari tahun ke tahun walaupun memiliki nilai  $r^2$  yang rendah. Dengan persamaan tersebut, produksi gas alam Indonesia pada tahun 2019 sebesar 76,5 milyar  $m^3$ /tahun.

Berdasarkan data produksi gas alam Indonesia, dapat diketahui kebutuhan karbon aktif Indonesia untuk industri gas alam. Kandungan merkuri dalam bahan baku gas alam untuk wilayah Asia Tenggara termasuk Indonesia berkisar 200-300  $\mu g/m^3$  (Keane, 2011). Sedangkan dalam program lingkungan yang dicanangkan PBB mengatur bahwa kandungan maksimum merkuri dalam produk gas alam sebesar 0,01  $\mu g/m^3$  (Korkorkk., 2004). Kapasitas adsorpsi dari karbon aktif untuk penyerapan merkuri sebesar 13,8342 mg/g karbon aktif. Berdasarkan data-data tersebut, kebutuhan karbon aktif Indonesia dapat diperoleh melalui perhitungan berikut:

massa Hg awal = konsentrasi Hg awal  $\times$  produksi gas alam

$$\text{massa Hg awal} = 250 \frac{\mu g}{m^3} \times 76,5 \text{ milyar } m^3$$

$$\text{massa Hg awal} = 19125000 \text{ g}$$

massa Hg akhir = konsentrasi Hg akhir  $\times$  produksi gas alam

$$\text{massa Hg akhir} = 0,01 \frac{\mu g}{m^3} \times 76,5 \text{ milyar } m^3$$

$$\text{massa Hg akhir} = 765 \text{ g}$$

$$\text{kebutuhan karbon aktif} = \frac{(\text{massa Hg awal} - \text{massa Hg akhir})}{\text{kapasitas adsorpsi}}$$

$$\text{kebutuhan karbon aktif} = \frac{(19125000 \text{ g} - 765 \text{ g})}{13,8342 \times 10^{-3} \frac{g}{g}}$$

$$\text{kebutuhan karbon aktif} = 1382,39 \text{ ton}$$

Prarencana pabrik ini tidak dapat memenuhi seluruh kebutuhan karbon aktif karena keberadaan pabrik ini akan meningkatkan permintaan pulp pada industri pulp. Peningkatan produksi pulp tentunya harus dilakukan secara bertahap dari tahun ke tahun. Di Indonesia, pulp digunakan sebagai bahan baku kertas dan diproduksi dari 91% kayu yang dihasilkan Hutan Tanaman Industri (HTI) (Kementrian Kehutanan, 2015). Kebutuhan pulp dalam prarencana pabrik ini tidak dapat mengambil ketersediaan pulp untuk industri kertas. Hal ini dikarenakan setiap tahunnya permintaan kertas meningkat sangat pesat, dimana Kementerian Perindustrian memperkirakan kebutuhan kertas tahun 2020 hingga 490 juta ton/tahun atau meningkat 24,5% dari tahun 2015. Hal-hal ini yang menyebabkan pada permulaan prarencana pabrik ini hanya dapat memenuhi kapasitas 300 ton/tahun atau 21,7% dari kebutuhan karbon aktif Indonesia.