

KONSEP ECO INDUSTRI

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu posisi sentral dan motor penggerak untuk ekonomi masyarakat modern adalah dunia industri. Diperlukan perubahan pada kualitas pembangunan agar pembangunan menjadi berkelanjutan. Penggunaan sumberdaya harus lebih efektif serta limbah dan sumber pencemar yang dihasilkan lebih sedikit sehingga dapat meminimalkan dampak negatif yang dihasilkan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Mengelola aliran energi dan material diperlukan suatu sistem agar diperoleh nilai efisiensi yang tinggi dan dihasilkan polusi yang sedikit. Sistem tersebut adalah ekologi.

Indonesia sebagai salah satu negara berkembang sedang memacu pertumbuhan industri. Salah satu kebijakan yang ditempuh adalah dengan membangun kawasan-kawasan industri terpadu. Pada awal perkembangan kawasan industri di Indonesia masih berupa kumpulan industri yang ditata dengan terpadu namun masih terpisah satu sama lain. Kawasan ekologi industri dapat diimplementasikan dengan baik jika masing-masing industri dalam kawasan tersebut dapat saling terbuka dan terhubung dengan baik. Dalam hal ini diperlukan kesepakatan bersama tentang pengelolaan kawasan industri bersama dengan tetap berpegang pada prinsip ekonomi dan keselamatan lingkungan. Penerapan kawasan ekologi industri di Indonesia saat ini masih pada tahap pengembangan dan masih sangat sedikit kawasan industri yang menerapkannya.

Menurut Swantomo *et al* (2007), penerapan ekologi industri di Indonesia saat ini sebenarnya sudah ada, hanya saja masih pada tahap pengembangan dan masih sangat sedikit kawasan industri yang menetapkannya. Indonesia sebagai negara agraris yang besar sangat berpeluang untuk dikembangkan kawasan ekologi industri berbasis industri pengolahan hasil pertanian (*agroindustri*).

Konsep ekologi industri terkait secara dekat dengan proses produksi bersih (*cleaner production*) dan merupakan komplementer satu dengan lainnya. Kedua konsep melibatkan pencegahan pencemaran dalam rangka melindungi lingkungan dan meningkatkan efisiensi ekonomi. Produksi bersih lebih memfokuskan pada aspek pengurangan limbah, sementara ekologi industri lebih menekankan pada pendauran suatu limbah yang terbentuknya tidak bisa dihindari (*unavoidably produced waste*) dengan mensinergikan antara unit satu dengan lainnya atau antara satu industri dengan industri lainnya. Selain terjadi pemanfaatan suatu material yang dihasilkan oleh suatu unit oleh unit lain, juga dimungkinkan terjadinya integrasi energi dari suatu unit oleh unit lain di dalam suatu kawasan (Swantomo. *et al.*,2007).

Ekologi industri adalah studi mengenai aliran energi dan materi dalam sistem industri. Istilah Ekologi Industri dipopulerkan oleh Robert Frosch dan Nicholas E. Gallopolous. Ekologi Industri adalah sistem industri yang berjalan seperti ekosistem, dimana buangan dari suatu industri dijadikan sebaagai bahan baku dari industri yang lain, dan begitu seterusnya, sehingga tidak ada emisi yang terbuang.

PLTU adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap yaitu suatu sistem pembangkit termal dengan menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya. Memanfaatkan energi kinetik uap untuk menggerakkan poros sudu-sudu turbin. Untuk memproduksi listrik dengan tenaga uap adalah dengan mengambil energi panas yang terkandung dalam bahan bakar, untuk memproduksi uap kemudian di pindahkan kedalam turbin dan turbin tersebut merubah energi panas menjadi energi mekanis dalam bentuk gerak putar. Kemudian karena poros Turbin dan poros generator dikopel maka generator akan ikut berputar sehingga bisa menghasilkan listrik. Dalam Pembangkit Listrik Tenaga Uap ada 4 komponen utama yaitu Boiler, Turbin, Condensor, dan Pompa. (Kurniawan 2012). Secara sederhana proses pada PLTU dimulai dari proses memasak air yang mana bahan bakar yang digunakan untuk memasak air adalah bara bara. Air ditampung pada sebuah tempat yang kemudian dipanaskan menggunakan api. Akibat pemanasan yang terus menerus maka air akan mengalami kenaikan suhu sehingga menghasilkan uap yang digunakan untuk memutar turbin dan generator yang kemudian akan

menghasilkan listrik. Potensi limbah dari kegiatan PLTU adalah limbah B3 berupa Fly ash dan bottom ash

Jika masih dihasilkan Limbah B3 maka diupayakan Pemanfaatan Limbah B3. Pemanfaatan Limbah B3 yang mencakup kegiatan penggunaan kembali (reuse), daur ulang (recycle), dan perolehan kembali (recovery) merupakan satu mata rantai penting dalam Pengelolaan Limbah B3. Penggunaan kembali (reuse) Limbah B3 untuk fungsi yang sama ataupun berbeda dilakukan tanpa melalui proses tambahan secara kimia, fisika, biologi, dan/atau secara termal. Daur ulang (recycle) Limbah B3 merupakan kegiatan mendaur ulang yang bermanfaat melalui proses tambahan secara kimia, fisika, biologi, dan/atau secara termal yang menghasilkan produk yang sama, produk yang berbeda, dan/atau material yang bermanfaat. Sedangkan perolehan kembali (recovery) merupakan kegiatan untuk mendapatkan kembali komponen bermanfaat dengan proses kimia, fisika, biologi, dan/atau secara termal.

Industri Semen saat sedang berkembang terutama industri semen yang memanfaatkan Limbah B3 berupa Fly ash dan Bottom ash sebagai bahan substitusi. Menurut Setiawati (2016) penggunaan material Fly ash sebagai material pembentuk beton didasari pada sifat material ini yang memiliki kemiripan dengan sifat semen. Kemiripan sifat ini dapat ditinjau dari dua sifat utama, yaitu sifat fisik dan kimiawi. Secara fisik, material Fly ash memiliki kemiripan dengan semen dalam hal kehalusan butir-butirnya. Menurut ACI Committee 226, Fly ash mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 mili micron) 5-27 % dengan *specific gravity* antara 2,15-2,6 dan berwarna abu-abu kehitaman. Sifat kimia yang dimiliki oleh Fly ash berupa silica dan alumina dengan presentase mencapai 80%. Adanya kemiripan sifat-sifat ini menjadikan Fly ash sebagai material pengganti untuk mengurangi jumlah semen sebagai material penyusun beton mutu tinggi. Abu batubara mengandung SiO₂, Al₂O₃, P₂O₅, dan Fe₂O₃ yang cukup tinggi sehingga abu batubara memenuhi kriteria sebagai bahan yang memiliki sifat semen/pozzolan.

Oleh karena itu satu konsep eco industri yang untuk industri yang berada di sekitar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar fosil perlu terus digalakan mengingat potensi limbah abu batubara akan terus meningkat seiring dengan

beroperasinya PLTU. Salah satunya dengan teknologi Pemanfaatan Limbah B3, di satu pihak dapat dikurangi jumlah Limbah B3 sehingga biaya Pengolahan Limbah B3 juga dapat ditekan dan di lain pihak akan dapat meningkatkan kemanfaatan bahan baku. Hal ini pada gilirannya akan mengurangi kecepatan pengurasan sumber daya alam. Untuk menghilangkan atau mengurangi risiko yang dapat ditimbulkan dari Limbah B3 yang dihasilkan maka Limbah B3 yang telah dihasilkan perlu dikelola.

1.2 Rumusan Masalah

Aplikasi dari ekologi industri ini sudah ada di beberapa negara maju. Contoh yang paling terkenal yaitu di Kalundborg, Denmark, yang disebut-sebut sebagai *Eco-industrial park* pertama di dunia. Di Kalundborg, terdapat enam industri yaitu Pusat Pembangkit Listrik Asnaes, Industri pemurnian minyak Statoil, Perusahaan bioteknologi Novo Nordisk, Industri kayu lapis Gyproc, dan Perusahaan remediasi tanah Bioteknisk Jordrens, serta pemukiman warga kota Kalundborg. Pusat pembangkit listrik Asnaes ini menjadi jantung dari jaringan pertukaran di Kalundborg, dimana surplus panasnya dialirkan ke 3500 rumah di pemukiman lokal serta peternakan ikan di Kalundborg. Para pemilik rumah ini hanya membayar pipa bawah tanah yang digunakan untuk mengalirkan panas dari Asnaes ke rumah mereka masing-masing dan membayar panas yang dihasilkan oleh Asnaes dengan harga rendah. Limbah *sludge* dari Asnaes dijual dalam bentuk pupuk. Uap dari pembangkit listrik Asnaes juga dijual ke Novo Nordisk dan Industri pemurnian minyak Statoil dimana dengan membeli uap dari Asnaes ini, berarti Novo Nordisk dan Statoil bisa mematikan boiler uap yang dianggap tidak efisien dan tidak *environmentally friendly*. Sementara itu, abu yang dihasilkan dijual ke pabrik semen di Denmark utara dan gipsum yang dihasilkan dari proses desulfurisasi dijual ke Industri kayu lapis Gyproc. Dua per tiga dari kebutuhan gipsum oleh Gyproc ini dicukupi oleh Asnaes, sehingga mengurangi frekuensi pertambangan.

PLTU Tanjung Jati Jepara memiliki peran besar terhadap kemajuan diberbagai sektor. Hal yang perlu diperhatikan adalah limbah yang dihasilkan oleh PLTU tersebut, salah satu limbah B3 yang dihasilkan adalah Fly ash dan Bottom ash dari hasil

pembakaran batu bara. Dari pembakaran batubara dihasilkan sekitar 5% polutan padat yang berupa abu (fly ash dan bottom ash), di mana sekitar 10-20% adalah bottom ash dan sekitar 80-90% fly ash dari total abu yang dihasilkan (Wardani, 2008). Limbah ini perlu untuk dilakukan pengolahan kembali untuk mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan oleh PLTU yang berpotensi dapat mencemari lingkungan. Limbah yang dihasilkan akan dapat memberi kemanfaatan yang besar apabila mampu mengolahnya menjadi suatu produk yang berguna bagi masyarakat.

Berdasarkan rumusan masalah ini, maka Tim Peneliti menyusun pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana pengolahan limbah B3 yang ada pada lokasi PLTU Tanjung Jati B?
2. Bagaimanakah mekanisme pengelolaan Fly Ash dan Bottom Ash yang merupakan limbah B3 yang berasal dari PLTU?
3. Apakah manfaat dari pengelolaan tersebut dapat menjadikan PLTU yang lebih ramah lingkungan?

1.3 Tujuan Kegiatan

Adapun tujuan kegiatan green campus kelompok 3 ini adalah untuk:

1. Menganalisis pengolahan limbah B3 pada PLTU Tanjung Jati B
2. Mengetahui mekanisme pengelolaan Fly Ash dan Botom Ash di PLTU Tanjung Jati B
3. Menganalisis manfaat yang diperoleh dari kegiatan pengelolaan limbah B3 agar dapat ramah lingkungan.

1.4 Manfaat Kegiatan

Manfaat teoritis dari penelitian ini adalah sebagai sumbangan ilmu lingkungan terutama tentang Konsep Eco Industri. Manfaat praktis dari penelitian ini adalah untuk alternatif bahan substitusi dari industry semen dan salah satu solusi penyelesaian masalah limbah abu batu bara yang terus meningkat selama beroperasinya PLTU berbahan bakar fosil.

BAB 2

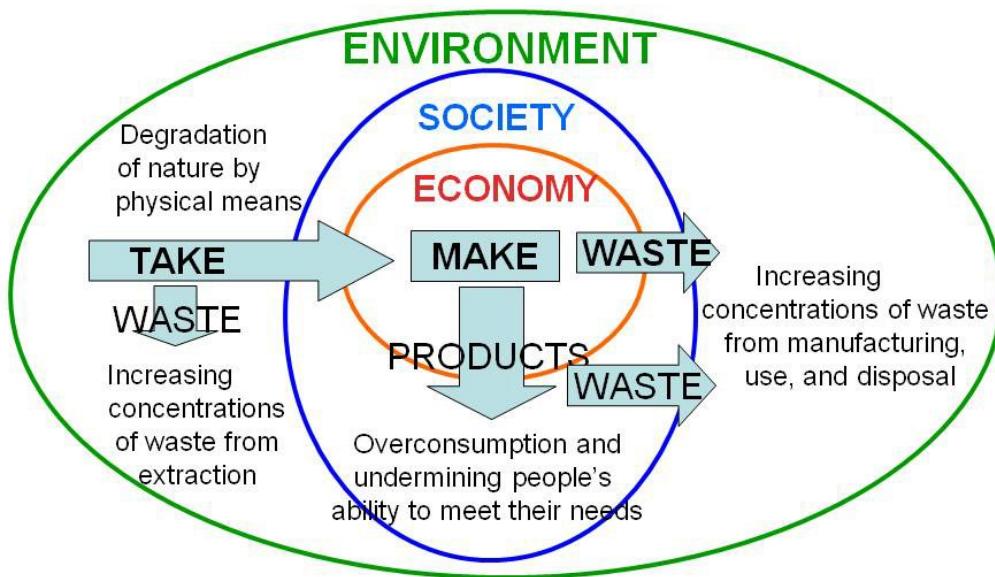
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Kemampunan

Pada dewasa ini yang menjadi bahan perdebatan adalah bagaimana menyusun suatu pembangunan yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. Semakin meningkatnya populasi manusia mengakibatkan tingkat konsumsi produk dan energi meningkat juga. Permasalahan ini ditambah dengan ketergantungan penggunaan energi dan bahan baku yang tidak dapat diperbarui. Pada awal perkembangan pembangunan, industri dibangun sebagai suatu unit proses yang tersendiri, terpisah dengan industri lain dan lingkungan. Proses industri ini menghasilkan produk, produk samping dan limbah yang dibuang ke lingkungan.

Untuk kriteria yang dapat digunakan untuk melihat keberlanjutan suatu kegiatan industri dapat menggunakan 5 kriteria keberlanjutan dari Willard, 2010. Kriteria tersebut adalah produktifitas sumberdaya radikal, investasi pada sumberdaya alam, desain yang berwawasan lingkungan, jasa dan arus ekonomi dan konsumsi yang bertanggung-jawab. Pembangunan berkelanjutan dirumuskan sebagai pembangunan yang memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengorbankan hak pemenuhan kebutuhan generasi mendatang. Pembangunan berkelanjutan mengandung makna jaminan mutu kehidupan manusia dan tidak melampaui kemampuan ekosistem untuk mendukungnya. Dengan demikian pengertian pembangunan berkelanjutan adalah pembangunan untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan pada saat ini tanpa mengurangi kemampuan generasi yang akan datang dalam memenuhi kebutuhan-kebutuhan mereka (Sudarmadji, 2008).

Unsustainable Take-Make-Waste Model



Bob Doppelt, *The Power of Sustainable Thinking*; Peter Senge et al., *The Necessary Revolution: The Natural Step's four systems conditions*

Gambar 1. Unsustainable Take-Make-Waste Model

Kriteria yang pertama menunjukkan penggunaan sumberdaya alam yang diusahakan agar semakin efisien, sehingga sumberdaya lebih maksimal digunakan dan laju penggunaan sumberdaya dapat ditekan walaupun tetap memenuhi kebutuhan manusia. Kriteria kedua menunjukkan bahwa industri menggunakan, memelihara dan meningkatkan kualitas lingkungan hidup. Kriteria ketiga, industri terus mengusahakan untuk meminimalkan membuang limbahnya ke lingkungan. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan pengolahan limbah dan penggunaan kembali limbah. Kriteria keempat menunjukkan industri akhirnya akan meningkatkan jasanya, tidak hanya memproduksi barang (Ismail, 2006)

Jika produk dari industri sudah tidak digunakan, maka industri akan mengumpulkannya kembali untuk didaur-ulang dan dikembalikan ke proses produksi. Dan kriteria kelima menyangkut konsumsi, industri mempunyai tanggung jawab untuk memberikan informasi kepada konsumen untuk memanfaatkan produknya dengan baik

dan bertanggung-jawab terhadap produk yang sudah dapat dimanfaatkan kembali agar tidak hanya menambah limbah padat yang dibuang ke lingkungan.

Adanya sejumlah limbah yang dihasilkan dari proses produksi, mengharuskan industri menambah investasi untuk memasang unit tambahan untuk mengolah limbah hasil proses sebelum dibuang ke lingkungan. Pengendalian pencemaran lingkungan dengan cara pengolahan limbah (pendekatan end of pipe) menjadi sangat mahal dan tidak dapat menyelesaikan permasalahan ketika jumlah industri semakin banyak, daya dukung alam semakin terbatas, dan sumber daya alam semakin menipis. Oleh karena itu, orang kemudian mulai meninggalkan pendekatan end of pipe yang bersifat kuratif atau remediasi ini dan berganti ke pendekatan bersifat preventif yang lebih mengarah pada penanganan pada sumbernya untuk mencegah atau meminimalkan limbah yang terbentuk (pollution prevention). Strategi pencegahan pencemaran dengan memfokuskan pada perbaikan sistem proses ini memberikan kinerja lingkungan yang lebih baik dan lebih ekonomis.

2.1.1 Ekologi Industri

Konsep ekologi industri dapat berhubungan dan diimplikasikan dalam sistem industri. Ada dua hal yang mendasari konsep ekologi industri, yaitu metabolisme industri dan ekosistem industry. Dasar utama dari ekologi industri untuk membentuk eco industrial park adalah metabolisme industri dan simbiosis industri. Metabolisme industri merupakan keseluruhan aliran material dan energi yang ada dalam sistem industri sedangkan simbiosis industri adalah kerja sama saling menguntungkan diantara industri – industri yang berbeda. Mengelola aliran energi dan material diperlukan suatu sistem agar diperoleh nilai efisiensi yang tinggi dan dihasilkan polusi yang sedikit. Sistem tersebut adalah ekologi. Ekologi industri adalah kawasan industri yang berfokus pada desain produk dan manufaktur (Ningrum dan Guntama, 2020)

Secara sederhana proses pada PLTU dimulai dari proses memasak air yang mana bahan bakar yang digunakan untuk memasak air adalah bara bara. Air ditampung pada sebuah tempat yang kemudian dipanaskan menggunakan api. Akibat pemanasan yang terus menerus maka air akan mengalami kenaikan suhu sehingga menghasilkan

uap yang digunakan untuk memutar turbin dan generator yang kemudian akan menghasilkan listrik. PLTU adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap yaitu suatu sistem pembangkit termal dengan menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya. Memanfaatkan energi kinetik uap untuk menggerakkan poros sudu-sudu turbin. Untuk memproduksi listrik dengan tenaga uap adalah dengan mengambil energi panas yang terkandung dalam bahan bakar, untuk memproduksi uap kemudian di pindahkan kedalam turbin dan turbin tersebut merubah energi panas menjadi energi mekanis dalam bentuk gerak putar. Kemudian karena poros Turbin dan poros generator dikopel maka generator akan ikut berputar sehingga bisa menghasilkan listrik. Dalam Pembangkit Listrik Tenaga Uap ada 4 komponen utama yaitu Boiler, Turbin, Condensor, dan Pompa. (Kurniawan 2012).

2.1.2 Tata Ruang Wilayah

Pada lahan yang terbatas, RTH dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan membangun taman secara vertikal (Kusuma dan Kurniawati, 2013; Handono, 2017). Taman vertikal telah terbukti mampu menurunkan tingkat karbon monoksida (CO) sebesar 94,1 – 100% (Ivanastuti *et al.*, 2015). Selain menyerap zat CO, penanaman vertikal pada selubung bangunan dapat memelihara kualitas udara karena vegetasinya mampu menghasilkan oksigen (Pratiwi *et al.*, 2017) di siang hari. Permukaan daun pada tanaman vertikal berfungsi sebagai isolasi panas pada bangunan (Luddityawan *et al.*, 2013). Taman vertikal dengan manfaat dan fungsi penting tersebut dapat diaplikasikan pada tipe gedung yang banyak dilalui kendaraan bermotor serta memiliki keterbatasan lahan RTH. Salah satu lokasi yang cocok untuk diterapkan taman vertikal tersebut adalah di Gedung Sekolah Ilmu Lingkungan dengan tanaman merambat.

Berdasarkan Rencana Program Investasi Jangka Menengah (RPIJM) Bidang PU/Cipta Karya Kabupaten Jepara (2011) pengendalian pemanfaatan ruang wilayah kabupaten dilakukan melalui penetapan ketentuan peraturan zonasi, ketentuan perizinan, ketentuan insentif dan disinsentif, serta arahan sanksi dalam rangka perwujudan rencana tata ruang wilayah kabupaten. Pengendalian pemanfaatan ruang

wilayah menghasilkan lokasi yang terdapat indikasi penyimpangan pemanfaatan ruang dan rekomendasi kebijakan dalam rangka pembinaan dan penertiban penataan ruang untuk mencapai tujuan RTRW Kabupaten. Penyelenggaraan pengendalian pemanfaatan ruang, secara teknis dilaksanakan oleh Satuan Kerja Perangkat Daerah (SKPD) yang berwenang dalam koordinasi BKPRD. Ketentuan umum peraturan merupakan ketentuan yang mengatur tentang persyaratan pemanfaatan ruang dan ketentuan pengendaliannya yang disusun untuk setiap blok peruntukan sesuai dengan rencana rinci tata ruang. Ketentuan umum peraturan zonasi disusun sebagai arahan pemanfaatan dan pengendalian setiap blok peruntukan dengan memberikan informasi pemanfaatan ruang yang diperbolehkan, diperbolehkan dengan syarat, dan dilarang. Peraturan zonasi untuk setiap blok peruntukan pada setiap kawasan strategis, kawasan perkotaan dan kawasan lainnya disusun sebagai penjabaran dari rencana rinci tata ruang.

2.1.3 Pemanfaatan Abu Batubara

Salah satu penanganan lingkungan yang dapat diterapkan adalah memanfaatkan limbah fly ash untuk keperluan bahan bangunan teknik sipil, namun hasil pemanfaatan tersebut belum dapat dimasyarakatkan secara optimal, karena berdasarkan PP 101 tahun 2014 tentang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), fly ash dan bottom ash dikategorikan sebagai limbah B3 karena terdapat kandungan oksida logam berat yang akan mengalami pelindihan secara alami dan mencemari lingkungan. salah satu limbah B3 yang dihasilkan adalah Fly ash dan Bottom ash dari hasil pembakaran batu bara. Dari pembakaran batubara dihasilkan sekitar 5% polutan padat yang berupa abu (fly ash dan bottom ash), di mana sekitar 10-20% adalah bottom ash dan sekitar 80-90% fly ash dari total abu yang dihasilkan (Wardani, 2008).

Menurut Setyawati (2018), abu batubara merupakan bagian dari sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus amorf. Abu tersebut merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral (mineral matter) karena proses pembakaran. Proses pembakaran batubara pada unit pembangkit uap (boiler)

akan membentuk dua jenis abu, yaitu abu terbang (fly ash) dan abu dasar (bottom ash). Komposisi abu batu bara terdiri dari 10-20 % abu dasar dan 80-90% berupa abu terbang. Abu terbang ditangkap dengan electric precipitator sebelum dibuang ke udara melalui cerobong. Menurut ASTM C.618, abu terbang didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batubara atau bubuk batubara. Bottom Ash merupakan limbah pembakaran batubara yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada fly ash, sehingga Bottom Ash akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (boiler) dan terkumpul pada penampung debu (ash hopper) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai sebagai bahan tambahan pada industri atau kegiatan lainnya. Abu hasil pembakaran merupakan hasil penguraian mineral silikat, sulfat, sulfida, karbonat, dan oksida yang terdapat dalam batubara Limbah fly ash dan Bottom Ash mengandung unsurunsur arsenic (As), barium (Ba), beryllium (Be), boron (B), cadmium (Cd), chromium (Cr), cobalt (Co), copper (Cu), fluorin (F), lead (Pb), mangan (Mn), nikel (Ni), selenium (Se), strontium, thalium (Th), vanadium dan zinc (Zn). Adanya limbah berupa Bottom ash dan Fly ash yang dihasilkan dari kegiatan PLTU merupakan limbah yang termasuk dalam kategori B3. berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 101 tahun 2014 adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan beracun. Limbah B3 adalah limbah atau bahan yang berbahaya, karena jumlahnya, konsentrasi atau sifat-sifat fisika, kimia dapat menyebabkan atau secara signifikan dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan penyakit, kematian dan berbahaya bagi kesehatan manusia atau lingkungan jika tidak benar-benar diolah atau dikelola, disimpan, dibawa, atau dibuang.

Limbah B3 perlu adanya pengolahan kembali karena berbahaya bagi lingkungan. Pasal 2 Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun menyebutkan bahwa pengelolaan limbah B3 bertujuan untuk mencegah dan menanggulangi pencemaran dan atau kerusakan lingkungan hidup yang diakibatkan oleh limbah B3 serta melakukan pemulihan kualitas lingkungan yang dapat tercemar sehingga sesuai fungsinya kembali

Peraturan Pemerintah Nomor 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun mendefinisikan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) sebagai zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain.

Menurut Kinasti dan Notodisuryo (2017), berikut merupakan pemanfaatan Bottom Ash berdasarkan penelitian – penelitian yang sudah ada:

- a. FABA sebagai pemberi nutrisi tanah dan penutrisi tanah pada tanaman Bunga Matahari
- b. Pemanfaatan FABA sebagai campuran over burden untuk mencegah air asam tambang
- c. Bottom Ash sebagai absorben bahan organik pada air payau
- d. Bottom Ash sebagai absorben ion logam Cd²⁺
- e. Bottom Ash untuk bahan baku bio briket
- f. Bottom Ash untuk di daur ulang melalui karbonisasi
- g. Bottom Ash sebagai pengganti agregat halus pada pembuatan beton
- h. Bottom Ash sebagai agregat buatan pada pembuatan beton
- i. Bottom Ash sebagai pengganti dan bahan baku semen
- j. Bottom Ash sebagai bahan baku keramik, gelas, batubata, dan refraktori
- k. Filler aspal beton, plastik, dan kertas.

Pemanfaatan Fly Ash yaitu:

- a. Portland Cement
- b. Batu Bata
- c. Beton Ringan
- d. Material Konstruksi Jalan
- e. Material Pekerjaan Tanah
- f. Stabilisasi Tanah

2.1.4 Simbiosis Industri

Simbiosis industri merupakan suatu bentuk kerja sama diantara industri-industri yang berbeda. Bentuk kerja sama ini dapat meningkatkan keuntungan masing-masing industri dan pada akhirnya berdampak positif pada lingkungan. Dalam proses simbiosis ini limbah suatu industri diolah menjadi bahan baku industri lain. Proses simbiosis ini akan sangat efektif jika komponen-komponen industri tersebut tertata

dalam suatu kawasan industri terpadu (eco-industrial parks). Beberapa karakteristik simbiosis industri yang efektif adalah sebagai berikut :

1. Industri anggota simbiosis ditempatkan dalam satu kawasan dan memiliki bidang produksi yang berbeda-beda.
2. Jarak antar industri dibuat dekat sehingga meningkatkan efisiensi transportasi bahan.
3. Masing-masing industri membuat suatu kesepakatan bersama dengan berprinsip ekonomi yaitu saling menguntungkan.
4. Masing-masing industri harus dapat berkomunikasi dengan baik.
5. Tiap industri bertanggung-jawab pada keselamatan lingkungan dalam kawasan tersebut.

2.2 Kerangka Berpikir

Ekologi industri adalah suatu sistem yang digunakan untuk mengelola aliran energi atau material sehingga diperoleh efisiensi yang tinggi dan menghasilkan sedikit polusi. Konsep ekologi industri merujuk kepada pertukaran antara sektor industri dimana pembuangan dari satu industri menjadi sumber bahan baku bagi industri lainnya. Pada ekologi industri tidak hanya membahas tentang masalah polusi dan lingkungan tetapi juga mempertimbangkan kesinambungan industri serta aspek ekonomi tetap diutamakan. Penerapan ekologi industri ke dalam agroindustri diharapkan memiliki nilai tambah terhadap produk, karena dari satu sumber bahan baku dapat dihasilkan beragam produk olahan. Pengembangan ekologi industri merupakan suatu usaha untuk membuat konsep baru dalam mempelajari dampak sistem industri pada lingkungan (Xuemei 2007).

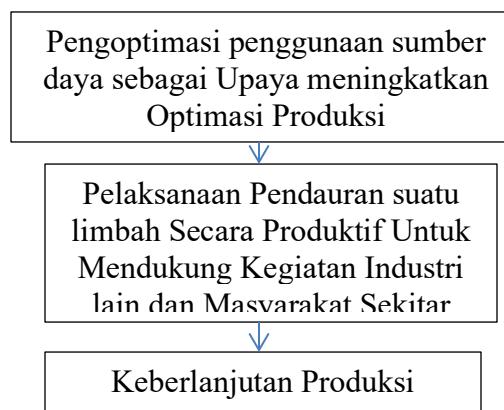
Konsep ekologi industri telah banyak dikembangkan di negara-negara maju seperti ekologi industri Kalundborg Denmark, Brownville Amerika Serikat dan Calgary Kanada. Di negara maju ekologi industri telah digunakan sebagai salah satu instrumen untuk merancang pembangunan ekonomi yang berkelanjutan dan

berwawasan lingkungan Di negara berkembang yang menjadi persoalan utama adalah sumber daya alam yang melimpah namun masih belum dapat mengoptimalkan penggunaannya. Hal lain yang menghambat adalah kurangnya dukungan pemerintah secara nyata terhadap pembangunan yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan (Erkman 2000). Tujuan utamanya adalah untuk mengorganisasi sistem industri sehingga diperoleh suatu jenis produk yang ramah lingkungan dan berkesinambungan. Strategi untuk mengimplementasikan konsep ekologi industri ada empat elemen utama, yaitu mengoptimasi penggunaan sumber daya yang ada, membuat suatu siklus material yang tertutup dan meminimalkan emisi, proses dematerialisasi dan pengurangan dan penghilangan ketergantungan pada sumber energi yang tidak terbarukan. dengan menerapkan konsep ekologi industri, kawasan industri dapat mengembangkan sistem pertukaran limbah yang dapat bermanfaat bagi industri tersebut (Allen 2002).

Perkembangan industri yang semakin pesat kurang diimbangi dengan pemahaman akan dampak dari limbah yang dihasilkan. Industri ramah lingkungan adalah strategi untuk mencegah, mengurangi, dan menghilangkan terbentuknya limbah atau bahan pencemar pada sumbernya. Untuk mencapai kondisi tersebut, maka pengendalian pencemaran dengan cara mengolah limbah tersebut dilakukan untuk menurunkan tingkat bahayanya atau menurunkan tingkat pencemarannya serta menjadikannya bahan yang memiliki nilai tambah dengan menerapkan model air limbah (zero waste), produksi bersih (cleaner production), produktivitas hijau (green productivity) atau perusahaan hijau (green company). Manfaat yang dapat diperoleh dengan menerapkan industri ramah lingkungan, salah satunya dapat mendorong pengembangan teknologi pengurangan limbah pada sumbernya, teknologi bersih dan produk ramah lingkungan (Sulaeman 2007). Menurut Djajadiningrat (2004), sistem industri terdapat tiga tipe. Tipe I adalah sistem proses linier. Pada tipe ini energi dan material masuk pada sistem kemudian menghasilkan produk, produk samping, dan limbah. Limbah yang dihasilkan tidak dilakukan proses olah ulang sehingga membutuhkan pasokan bahan baku dan energi yang banyak. Sistem industri yang paling banyak digunakan saat ini adalah tipe II. Pada tipe ini sebagian limbah telah diolah ulang dalam sistem dan sebagian lagi dibuang ke

lingkungan. Sistem tipe III merupakan sistem produksi kesetimbangan dinamik yang energi dan limbahnya diolah ulang secara baik dan digunakan sebagai bahan baku oleh komponen sistem lain. Pada sistem ini merupakan sistem industri yang tertutup total dan hanya energi matahari yang datang dari luar sistem. Hal ini merupakan sistem ideal yang menjadi tujuan ekologi industri.

Konsep ekologi industri dapat berhubungan dan diimplikasikan dalam sistem industri. Ada dua hal yang mendasari konsep ekologi industri, yaitu metabolisme industri dan ekosistem industri. Dasar utama dari ekologi industri untuk membentuk eco industrial park adalah metabolisme industri dan simbiosis industri. Metabolisme industri merupakan keseluruhan aliran material dan energi yang ada dalam sistem industri sedangkan simbiosis industri adalah kerja sama saling menguntungkan diantara industri – industri yang berbeda. Dapat digambarkan kerangka berpikir penelitian sebagai berikut:



Gambar 2 Kerangka Berpikir
Sumber: Tim Peneliti

2.3 Kerangka konsep

Konsep ekologi industri terkait secara dekat dengan proses produksi bersih (*cleaner production*) dan merupakan komplementer satu dengan lainnya. Kedua konsep melibatkan pencegahan pencemaran dalam rangka melindungi lingkungan dan meningkatkan efisiensi ekonomi. Produksi bersih lebih memfokuskan

pada aspek pengurangan limbah, sementara ekologi industri lebih menekankan pada pendauran suatu limbah yang terbentuknya tidak bisa dihindari (*unavoidably produced waste*) dengan mensinergikan antara unit satu dengan lainnya atau antara satu industri dengan industri lainnya. Selain terjadi pemanfaatan suatu material yang dihasilkan oleh suatu unit oleh unit lain, juga dimungkinkan terjadinya integrasi energi dari suatu unit oleh unit lain di dalam suatu kawasan. Strategi untuk mengimplementasikan konsep ekologi industri ada empat elemen utama yaitu mengoptimasi penggunaan sumber daya yang ada, membuat suatu siklus material yang tertutup dan meminimalkan emisi, proses dematerialisasi, dan pengurangan dan penghilangan ketergantungan pada sumber energi yang tidak terbarukan.

Optimasi penggunaan material dan energi dalam kegiatan industri dimulai dengan menganalisis proses produksi untuk menghilangkan produk yang terbuang percuma. Langkah ini bisa dilakukan oleh suatu industri secara sendiri yang disebut dengan pencegahan polusi atau proses produksi bersih. Pencegahan polusi ini secara tidak langsung telah menyelamatkan lingkungan dan sumber daya yang ada sehingga tidak menyulitkan generasi yang akan datang untuk memanfaatkannya kembali. Dalam ekologi industri, siklus material tertutup masih jauh dari optimal namun telah dapat memberikan hasil yang lebih baik. Hal ini karena dalam ekologi industri masih membutuhkan energi dari luar yang sebagian besar dari energi fosil. Pembakaran bahan bakar fosil merupakan sumber utama limbah yang dihasilkan industri. Ekologi industri secara nyata dapat meningkatkan efisiensi energi dan emisi. Siklus material yang tertutup dapat memberikan keuntungan.

Dalam ekologi industri juga berperan dalam meminimilisasi jumlah aliran bahan dan energi yang digunakan untuk proses produksi. Hal tersebut dapat dicapai dengan dematerialisasi. Pada saat ini ada dua proses dematerialisasi yang diperdebatkan yaitu proses dematerialisasi relatif dan dematerialisasi absolut. Proses dematerialisasi relatif menjelaskan bahwa suatu proses produksi dan jasa diusahakan dapat menghasilkan produk dan jasa yang sebesar-besarnya dari penggunaan bahan

baku yang ada. Proses dematerialisasi absolute menganggap bahwa dalam proses produksi harus meminimalkan penggunaan bahan baku. Selanjutnya yaitu pengurangan dan penghilangan ketergantungan pada sumber energi tidak terbarukan. Banyak usaha yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi energi dengan beberapa inovasi seperti co-generation.

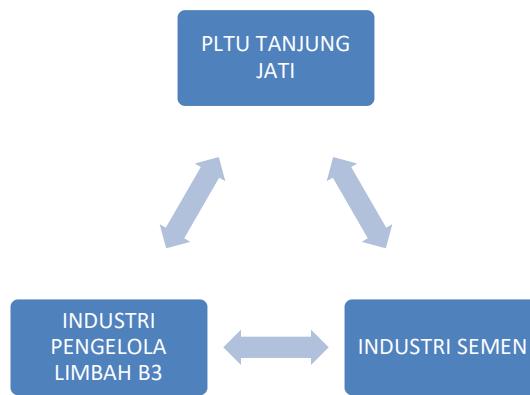
Hingga saat ini bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam merupakan sumber energi utama untuk industri. Penggunaan bahan bakar fosil dapat menyebabkan kerusakan lingkungan seperti efek gas rumah kaca, pemanasan global, dan hujan asam. Dalam rangka untuk mensinergikan dengan tujuan utama ekologi industri maka diperlukan langkah perbaikan. Pada tahap awal diperlukan usaha untuk membuat bahan bakar fosil yang ramah lingkungan seperti dengan proses dekarbonisasi dan pembersihan gas buang. Solusi di atas merupakan langkah perbaikan sementara, sehingga diperlukan usaha diversifikasi energi terutama energi yang dapat terbarukan seperti biodiesel, biogas, bioetanol, dan pemanfaatan energi matahari.

Dengan melaksanakan seluruh strategi yang telah dipaparkan sebelumnya, maka berarti konsep pembangunan berkelanjutan juga telah dilaksanakan dengan baik (Garner 1995). Banyak contoh kasus penerapan ekologi industri dalam agroindustri, salah satunya adalah pada operasional PLTU yang merupakan salah satu industry yang memanfaatkan sumberdaya air baku sebagai bahan baku untuk menghasilkan suatu produk yang bernilai tambah lebih tinggi yaitu energi. Industri PLTU seperti juga industri-industri yang lain selain menghasilkan produk yang diinginkan, juga menghasilkan limbah baik limbah padat maupun limbah cair.

Dengan makin meningkatnya kepekaan global terhadap masalah lingkungan, produksi bersih menawarkan pemecahan yang secara ekonomis, paling baik dan masuk akal (Wiston 1994). Pendekatan pencegahan terhadap limbah menawarkan tingkat perlindungan yang paling tinggi terhadap pekerja dan kesehatan umum, termasuk perlindungan serta konservasi lingkungan baik lokal maupun global. Keuntungan lain selain daripada keuntungan yang bersifat lingkungan yaitu

keuntungan ekonomis yang dapat berupa reduksi biaya dari bahan baku, serta pengembangan produk baru dari limbah yang direkonversi (Hirschhorn 1994). Penerapan ekologi industri pada PLTU dapat dilakukan dengan optimasi pemanfaatan air limbah dan bahan baku serta pengelolaan alternatif perlakuan efluen. Penggunaan air yang besar pada PLTU menyebabkan efluen yang besar pula terhadap lingkungan, karena jumlah konsumsi air pada dasarnya sama jumlahnya dengan aliran efluen (Riveret al 1998); demikian juga dengan batu bara yang dipergunakan sebagai pembakaran.

Dapat digambarkan kerangka konsep penelitian sebagai berikut:



Gambar 3. Kerangka Konsep
Sumber: Tim Peneliti

2.4 Hipotesis

Berdasarkan kerangka konsep maka diajukan hipotesis penelitian sebagai berikut:

1. Pembangunan Industri pengelola Limbah B3 dan Industri Semen dapat mereduksi Jumlah timbulan limbah B3 di PLTU yang belum terkelola dengan baik (zero waste).
2. Manfaat dari industri pendukung ini dapat menyerap tenaga kerja lokal.

BAB 3 **METODOLOGI**

3.1 Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif. Metode penelitian yang digunakan adalah metode campuran kuantitatif dan kualitatif. Studi literatur dan observasi dilakukan untuk mengumpulkan data. Hasil penelitian tentang masalah yang terjadi di lapangan akan dianalisis kemudian disusun agar menghasilkan solusi pemecahan masalah.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian terlebih dahulu (*preliminary study*) dilakukan pada November 2019. Tempat penelitian Kawasan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati Jepara. Lokasi penelitian berada pada koordinat $6^{\circ} 26' LS$ $110^{\circ} 44' BT$

3.3 Populasi dan Sampel

3.3.1 Populasi

Populasi di dalam penelitian ini terdiri dari tiga yaitu:

1. PLTU Tanjung Jati Jepara
2. Industri Pengelolaan Limbah B3
3. Industri Semen dengan memanfaatkan abu batubara
4. Masyarakat Sekitar Kawasan PLTU Tanjung Jati

3.3.2 Sampel

Dalam penelitian ini, sampel penelitian terbagi atas tiga bagian, yaitu:

1. Potensi Limbah Abu batubara
2. Karakteristik Limbah B3 berupa Abu batubara
3. Industri Pemanfaat Limbah Abu Batubara.
4. Masyarakat Sekitar PLTU Tanjung Jati

3.4 Variabel Penelitian

Sesuai dengan tujuan penelitian dan kerangka konsep yang telah disusun, maka ditentukan variabel penelitiannya yang meliputi fasilitas, pemanfaatan lahan, dan cara perawatan fasilitas. Masing-masing variabel didefinisikan sebagai berikut:

Tabel 1. Definisi Operasional Variabel Riset

No.	Nama Variabel	Definisi Operasional Variabel	Alat Ukur	Satuan Pengukuran
1	PLTU Tanjung jati	Potensi dan karakteristik limbah B3	Uji laboratorium	-
2	Industri Pengelola Limbah B3	Pengumpulan, Pemanfaatan dan pengolahan Limbah b3	Observasi	-
3	Industri semen	Teknologi pemanfaatan limbah abu batubara	Observasi	-

3.5 Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah data primer dan sekunder. Data primer didapatkan dengan cara observasi dan pengukuran di lapangan terkait ukuran dan fasilitas yang tersedia. Data sekunder diperoleh dengan observasi gambar atau foto dan Dokumen Amdal PLTU Tanjung Jati. Selain observasi, Tim Peneliti melakukan studi literatur penelitian terdahulu untuk terkait pemanfaatan limbah abu batubara. Data yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain:

3.5.1 Potensi Limbah Abubatubara yang dihasilkan

Diperlukan data terkait dengan timbulan limbah fly ash dan bottom ash.

3.5.2 Pengelolaan Limbah Batu Bara saat ini

Data pengelolaan fly ash dan bottom ash yang telah dilakukan untuk penerapan eco industri.

3.5.3 Kesesuaian tata ruang (RTRW)

Data peruntukan ruang disekitar PLTU tanjung Jati.

3.5.4 Teknologi

Data teknologi yang digunakan untuk kegiatan industri limbah B3 dan industri semen.

3.5.5 Jumlah Pekerja

Jumlah pekerja yang diperlukan dari bangkitan industri pengelolaan limbah B3 dan industry semen.

3.6 Metode Analisis

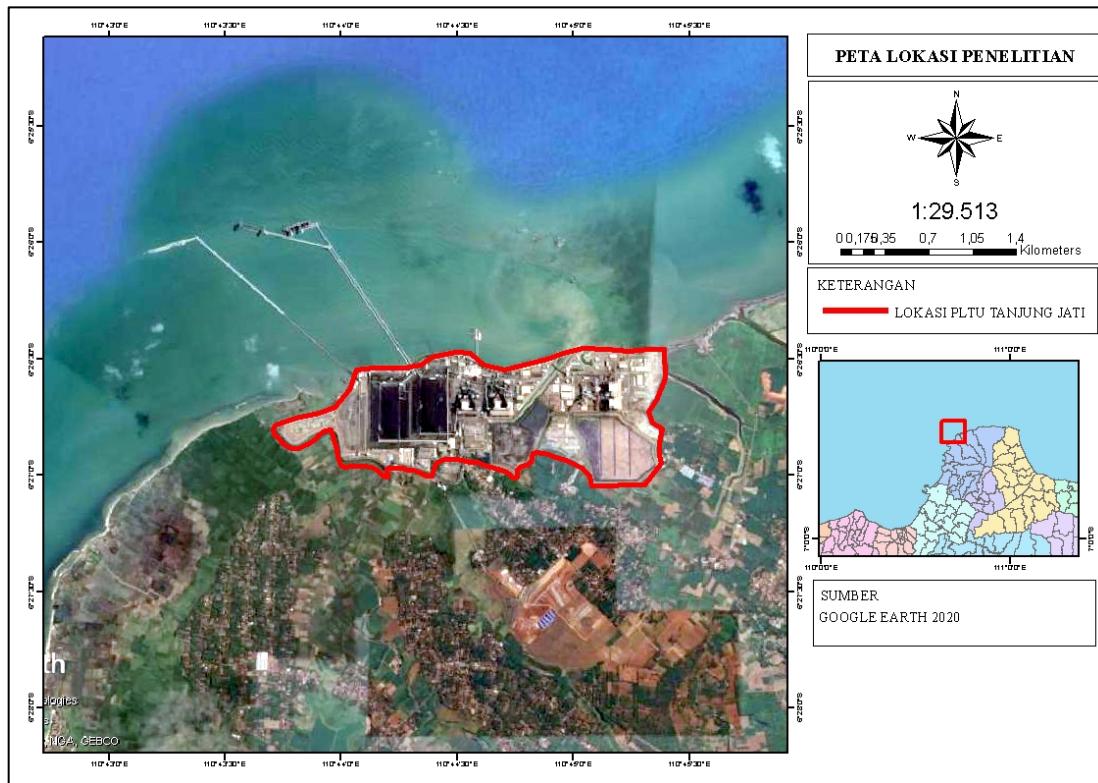
Metode analisis yang digunakan adalah dengan cara studi literatur dan analisis lapangan serta gambar atau foto Keadaan sekitar PLTU tanjung jati dan dokumen AMDAL PLTU tanjung jati. Hasil studi literatur akan dikumpulkan dan dianalisis untuk dicocokan dengan keadaan lapangan yang sebenarnya. Hasil observasi dan studi literatur akan dianalisis deskriptif kemudian diterapkan dalam penerapan konsep eco industri. Ajuan fasilitas akan disajikan dalam bentuk deskripsi, gambar, dan video.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Wilayah dan Hasil Riset

Kajian ini dilaksanakan di Sekitar PLTU Tanjung Jati Jepara adalah sebagaimana disajikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4 Lokasi PLTU Tanjung Jati

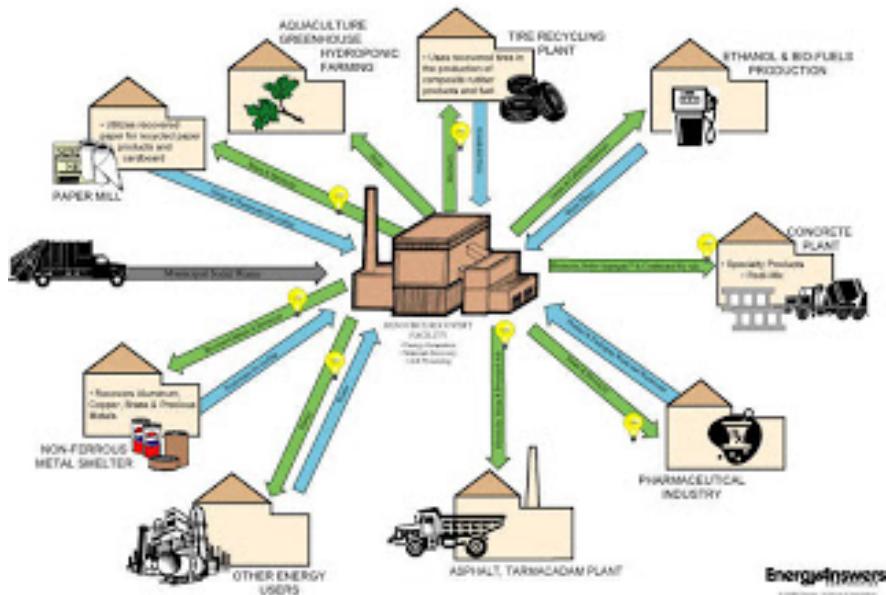
PLTU Tanjung Jati B yang dibangun di Kabupaten Jepara ini mempunyai kapasitas total 70 MW. Dalam operasionalnya akan menggunakan teknologi USC, tekanan steam ditambah/dinaikkan hingga melampaui tekanan kritis (tekanan $> 24,5$ MPa dan Temperatur $> 600^{\circ}\text{C}$). Dengan peningkatan tekanan steam utama maka berdasarkan siklus Rankine, kebutuhan steam superheat menjadi lebih sedikit sehingga efisiensi pembangkit semakin baik. Dengan efisiensi yang lebih baik, maka konsumsi bahan bakar akan lebih irit. Pemakaian bahan bakar dengan Teknologi USC lebih rendah 3% dibandingkan Teknologi Super critical dan lebih rendah 6%

dibandingkan Teknologi Subcritical. Selain itu, emisi gas buang (CO₂ dan gas-gas lain) lebih rendah 5,47% dibandingkan Teknologi Subcritical. Lokasi pembangkit berada di wilayah pesisir dengan jarak 1 km di sebelah Timur dari muara sungai Banjaran, dan jarak 0,5 km di sebelah Barat dari muara Sungai Ngarengan. Pemilihan lokasi ini sudah mempertimbangkan kebutuhan kedalaman laut dan kestabilan arus laut untuk mendukung transportasi bahan bakar melalui laut dan kebutuhan air laut untuk proses pendinginan.



Gambar 5 Hasil studi foto kondisi eksisting PLTU Tanjung jati

Resource Recovery Based Eco-Industrial Park



Gambar 6 Gambar konsep Eco industri

4.2 Pembahasan

Apabila melihat masing – masing proses industri dapat dilihat bahwa dapat dilakukan integrasi untuk membentuk suatu Kawasan Eco Industrial Park. Adapun integrasi yang dapat dilakukan adalah: 1. PLTU dapat memasok listrik ke perusahaan tepung, semen, pengalengan ikan dan gula. Pada Refinery Unit tidak memerlukan pasokan listrik dari PLTU karena Refinery Unit telah memiliki pembangkit listrik tersendiri; 2. Sisa uap panas pada proses menghasilkan listrik di PLTU dapat digunakan sebagai steam pada proses pengawetan ikan di perusahaan pengalengan ikan; 3. Air demin di unit utilitas pada Refinery Unit dapat digunakan sebagai bahan pembuat steam pada PLTU; 4. Pabrik Tepung memiliki limbah kulit singkong yang dapat diolah menjadi briket kulit singkong dan bisa dimanfaatkan di PLTU sebagai bahan pembakaran, limbah ampas parutan singkong juga bisa ditransfer ke pabrik semen sebagai bahan bakar dari pabrik semen, pabrik tepung banyak menggunakan air untuk proses produksi, oleh karena itu pabrik tepung juga bisa memanfaatkan air bersih dari

Refinery Unit karena Refinery Unit memiliki sistem untuk mengolah air laut menjadi air tawar

Indonesia sebagai salah satu negara berkembang sedang memacu pertumbuhan industri. Salah satu kebijakan yang ditempuh adalah dengan membangun kawasan-kawasan industri terpadu. Pada awal perkembangan kawasan industri di Indonesia masih berupa kumpulan industri yang ditata dengan terpadu namun masih terpisah satu sama lain. Karakteristik kawasan industri di negara berkembang termasuk di Indonesia adalah: Ketersediaan sumber daya alam yang masih melimpah dan disubsidi pemerintah. 1. Bahan baku lebih murah dibandingkan dengan proses daur ulang bahan. 2. Pembuangan limbah atau polusi masih kurang diawasi secara ketat. 3. Kurangnya perhatian masyarakat konsumen pada dampak negatif proses produksi terhadap lingkungan

Saat terbaik untuk memasukkan pertimbangan penerapan ekologi industry adalah pada tahapan awal perancangan proses, yaitu pada saat riset dan pengembangan proses. Hal ini disebabkan kebijakan yang dibuat pada saat awal pengembangan proses seringkali akan menentukan aktifitas pengembangan pada tahapan selanjutnya, seperti dalam hal pemilihan jenis peralatan, material, dan kondisi proses. Secara singkat dapat dikatakan bahwa dengan mengarahkan isu lingkungan pada awal siklus pengembangan, masalah teknis dan non-teknis (konsekuensi ekonomis dan peraturan perundangan) yang akan muncul di depan dapat diantisipasi. Hal ini dapat mereduksi resiko teknis dan ekonomis yang berkaitan dengan isu lingkungan.

Kawasan ekologi industri dapat diimplementasikan dengan baik jika masing-masing industri dalam kawasan tersebut dapat saling terbuka dan terhubung dengan baik. Dalam hal ini diperlukan kesepakatan bersama tentang pengelolaan kawasan industri bersama dengan tetap berpegang pada prinsip ekonomi dan keselamatan lingkungan. Penerapan kawasan ekologi industri di Indonesia saat ini masih pada tahap pengembangan dan masih sangat sedikit kawasan industri yang menerapkannya. Hal ini disebabkan adanya ketakutan industri untuk membagi informasi tentang bahan

baku, proses produksi, dan limbah apa yang dihasilkan. Industri masih menganggap informasi tersebut dapat disalahgunakan oleh industri lain untuk meniru produknya. Peran pemerintah dan masyarakat sebagai konsumen sangat diperlukan untuk mendorong industri menerapkan ekologi industri. Pemerintah dapat berperan dalam pembuatan kebijakan peraturan dan pemberian insentif bagi industri yang menerapkan ekologi industri. Masyarakat sebagai konsumen dapat menekan industri dengan memilih produk yang dihasilkan dari proses yang ramah lingkungan.

Bagaimana persektif teknik dan ekologi dari pembangunan PLTU sebagai suatu unit proses industri yang menghasilkan produk-produk sampingan dan limbah yang dibuang ke lingkungan. Strategi pencegahan pencemaran adalah memfokuskan pada perbaikan sistem proses industri yang memberikan kinerja lingkungan yang lebih baik dan ekonomis dengan metode ekologi industri. Ekologi industri menawarkan solusi untuk menciptakan pembangunan industri yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. Dalam konsep ekologi industri kawasan industri ditata sedemikian rupa sehingga industri-industri mempunyai hubungan simbiosis mutualisme. Industri-industri di dalam kawasan saling terhubung untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi proses produksinya.

4.2.1. Pembangunan Industri Pengelolaan Limbah B3 dan Industri Semen

Pengolahan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B-3) adalah proses untuk mengubah jenis, jumlah dan karakteristik B-3 yang terdapat dalam limbah menjadi sesuatu yang tidak berbahaya dan/atau tidak beracun atau proses immobilisasi limbah B-3 dan/atau memungkinkan agar limbah B-3 tersebut dapat dimanfaatkan kembali (recycle). Proses pengolahan limbah B-3 dapat dilakukan dengan cara fisika dan kimia, insenerasi dan solidifikasi/stabilisasi. Proses pengolahan secara fisika dan kimia dimaksudkan untuk mengurangi sifat/daya racun dalam limbah B-3 dan/atau menghilangkan sifat limbah B-3 dari berbahaya menjadi tidak berbahaya lagi. Proses pengolahan limbah B-3 dengan cara insenerasi dimaksudkan untuk menghancurkan

limbah B-3 dengan cara pemanasan dengan suhu yang tinggi untuk dijadikan senyawa yang mempunyai sifat tidak mengandung B-3 lagi.

Proses solidifikasi/stabilisasi pada prinsipnya adalah mengubah sifat fisika dan kimia limbah B-3 dengan cara menambahkan bahan mengikat (cement) membentuk senyawa monolit dengan struktur yang kompak agar supaya pergerakan limbah B-3 terhambat atau dibatasi, daya larut diperkecil sehingga daya racunnya limbah B-3 tersebut berkurang sebelum limbah B-3 tersebut ditimbun atau dimanfaatkan kembali. Bahan-bahan yang dapat digunakan sebagai pengikat (cement) adalah kapur, tanah liat, aspal, semen portland. Tata cara kerja proses stabilisasi/solidifikasi adalah sebagai berikut:

- a. Limbah B-3 sebelum dilakukan proses stabilisasi/solidifikasi harus dianalisa karakteristiknya guna menentukan resep stabilisasi /solidifikasi yang akan dilakukan terhadap limbah B-3 tersebut.
- b. Setelah dilakukan stabilisasi/solidifikasi, selanjutnya terhadap hasil olahan tersebut harus dilakukan uji TCLP (Toxicity Characteristic Leached Procedure) untuk mengukur kadar/konsentrasi parameter dalam lindi (leached/extrac) sebagaimana yang tercantum dalam Keputusan Kepala Bapedal Nomor 03/Bapedal/09/1995 (lampiran 3) Hasil uji TCLP yang dilakukan kadarnya tidak boleh melebihi ambang batas.
- c. Terhadap hasil olahan tersebut selanjutnya dilakukan uji kuat tekan (compressive strength) dan harus mempunyai nilai tekanan minimum sebesar 10 ton/m² (Keputusan Kepala Bapedal Nomor 03/Bapedal/09/1995)

Abu terbang memiliki sifat pozolamik dan memiliki kehalusan yang samasemen, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengisi sekaligus bahan pengikat untuk bahan bangunan seperti pembuatan beton. Sampai sekarang abu terbang belum dimanfaatkan secara maksimal yang dapat mencemari lingkungan dan mengganggu kesehatan bila tidak ditangani dengan baik. Oleh karena itu pemanfaatan abu terbang sangat diperlukan untuk menangani polusi lingkungan. Dengan adanya

bahan alternatif pembuatan batu cetakan, kemudian perlu diadakan penelitian mengenai kuat tekan batu cetak menggunakan campuran abu terbang dan semen. Batu cetak ini diperkirakan lebih ringan dari batu cetakan pada umumnya karena tidak keberadaan pasir, serta memiliki permukaan lebih halus karena diameter abu terbang lebih kecil dari diameter pasir. Abu batubara dapat digunakan pada beton sebagai material terpisah atau sebagai bahan dalam campuran semen dengan tujuan untuk memperbaiki sifat-sifat beton. Fungsi abu batubara sebagai bahan aditif dalam beton bisa sebagai pengisi (filler) yang akan menambah internal kohesi dan mengurangi porositas daerah transisi yang merupakan daerah terkecil dalam beton, sehingga beton menjadi lebih kuat. Pada umur sampai dengan 7 hari, perubahan fisik abu batubara akan memberikan kontribusi terhadap perubahan kekuatan yang terjadi pada beton, sedangkan pada umur 7 sampai dengan 28 hari, penambahan kekuatan beton merupakan akibat dari kombinasi antara hidrasi semen dan reaksi pozzolan. (Jackson, 1977).

4.2.2 Teknologi Pemanfaatan Limbah abu batubara

Fly ash dan Bottom ash umumnya banyak dimanfaatkan dalam industri semen dan beton. Di negara Asia lainnya, Australia, Eropa, Amerika dan Afrika, abu batubara banyak dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi untuk jalan, reklamasi lahan tambang, bahan pembenah tanah dan lain lain seperti pada tabel berikut ini

Tabel 4.1. Pemanfaatan abu batubara di manca negara (Kurniawan *et al.*, 2010)

No	Pemanfaatan	Negara	
1	Jalan raya: material untuk: semen, konkret, pembetonan lereng, pengisi struktur, bahan dasar jalan, agregat sintetik, pengontrol salju dan es.	India, Serikat	Amerika
2	Reklamasi: umum digunakan pada reklamasi bekas tambang terbuka; reklamasi pada tambang terbuka yang masih aktif; remediasi dan kontrol pada penurunan muka tanah.	India, Amerika	Spanyol, Serikat, Australia
3	Aplikasi pertanian: bahan pemberah tanah; pengeras halaman peternakan, alas penyimpanan jerami	India, Amerika	Afrika Selatan, Serikat, Jepang
4	Pabrik: agregat; cat, industri semen; material pengisi pada industri plastik, karet dan alloy	Kanada, Italia, Afrika Amerika	Columbia, Belanda, Selatan, Serikat dan Inggris
5	Teknik sipil: batako, paving blok, media, penstabil sampah, media	Belgia, Perancis, Yunani, India, Spanyol, Amerika	Denmark, Jerman, Finlandia, Belanda, Inggris dan Serikat

Pemanfaatan sebagai bahan konstruksi ini menjadi menarik karena adanya sifat-sifat pozolan di dalam Fly Ash dan Bottom Ash tersebut dan juga karena alasan lingkungan yang didasarkan pada perkiraan bahwa logam-logam berbahaya akan tertahan dengan kuat pada matriks semen dan beton. Di samping itu, abu batubara juga banyak dimanfaatkan sebagai bahan pengisi pada bahan tambang, bahan galian dan bahan bangunan (Damayanti, 2018)

Pada PLTU Paiton di Jawa Timur, lebih dari 98% Fly Ash dan Bottom Ash yang dihasilkan sudah dimanfaatkan oleh industri semen dan ready mix (Sprint Consultant, 2015). Partikel Fly Ash dan Bottom Ash yang dipancarkan dari pembangkit listrik berbahan bakar batubara telah diketahui mengandung beberapa logam jejak beracun. Oleh karena ketersediaan abu batubara (FA) biasanya dalam jumlah besar dan konsentrasi Ca dan Mg dalam abu yang tinggi dalam banyak contoh abu batubara, maka

diperkirakan Fly Ash dan Bottom Ash dapat dimanfaatkan sebagai pemberat tanah yang sesuai untuk tujuan pembatasan dan untuk meningkatkan kandungan Ca dan Mg di dalam tanah. Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash sebagai pemberat tanah menunjukkan perlunya mengambil tindakan pencegahan terhadap akumulasi berlebihan logam berat oleh tanaman dalam media yang dicampur dengan Fly Ash dan Bottom Ash batubara. Keragaman sifat kimia di antara Fly Ash dan Bottom Ash menunjukkan bahwa setiap penggunaan FA sebagai pemberat tanah harus mengikuti analisis kimia rinci karena telah ditetapkan bahwa lindi dari tempat-tempat dengan konsentrasi Fly Ash dan Bottom Ash tinggi dapat mempengaruhi pasokan air (Hecker dan Bilski, 2014).

4.2.3 Mekanisme Pemanfaatan Limbah abu batubara

Pemanfaatan limbah batu bara berupa Fly Ash yaitu dapat sebagai campuran bahan pembuatan semen. Secara garis besar proses produksi semen melalui 6 tahap, yaitu :

1. Penambangan dan penyimpanan bahan mentah

Semen yang paling umum yaitu semen portland memerlukan empat komponen bahan kimia yang utama untuk mendapatkan komposisi kimia yang sesuai. Bahan tersebut adalah kapur (batu kapur), silika (pasir silika), alumina (tanah liat), dan besi oksida (bijih besi). Gipsum dalam jumlah yang sedikit ditambahkan selama penghalusan untuk memperlambat pengerasan.

2. Penggilingan dan pencampuran bahan mentah

Semua bahan baku dihancurkan sampai menjadi bubuk halus dan dicampur sebelum memasuki proses pembakaran.

3. Homogenisasi dan pencampuran bahan mentah

4. Pembakaran

Tahap paling rumit dalam produksi semen portland adalah proses pembakaran, dimana terjadi proses konversi kimiawi sesuai rancangan dan proses fisika untuk mempersiapkan campuran bahan baku membentuk klinker. Proses ini dilakukan di dalam rotary kiln dengan menggunakan bahan bakar fosil berupa padat (batubara),

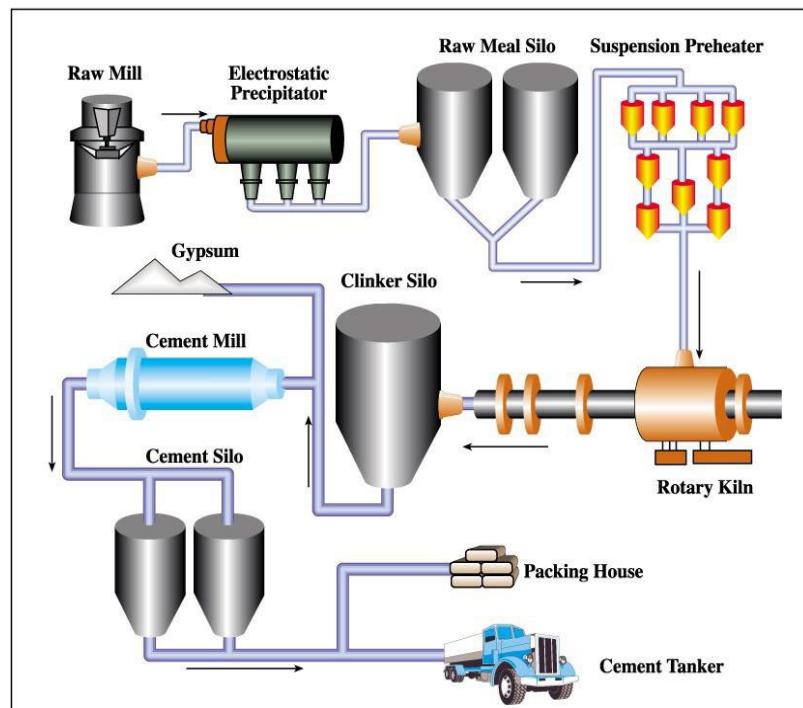
cair (solar), atau bahan bakar alternatif. Batubara adalah bahan bakar yang paling umum dipergunakan karena pertimbangan biaya. Pada proses ini klinker jika bahan bakar digunakan batubara maka akan dihasilkan abu batubara yang masuk ke dalam komposisi klinker dan kualitas batubara sebagai bahan bakar akan berfluktuasi sehingga mempengaruhi kualitas klinker.

5. Penggilingan hasil pembakaran

Proses selanjutnya adalah penghalusan klinker dengan tambahan sedikit gipsum, kurang dari 4%, untuk dihasilkan semen portland tipe 1. Jenis semen lain dihasilkan dengan penambahan bahan aditif posolon atau batu kapur di dalam penghalusan semen.

6. Pendinginan dan pengemasan

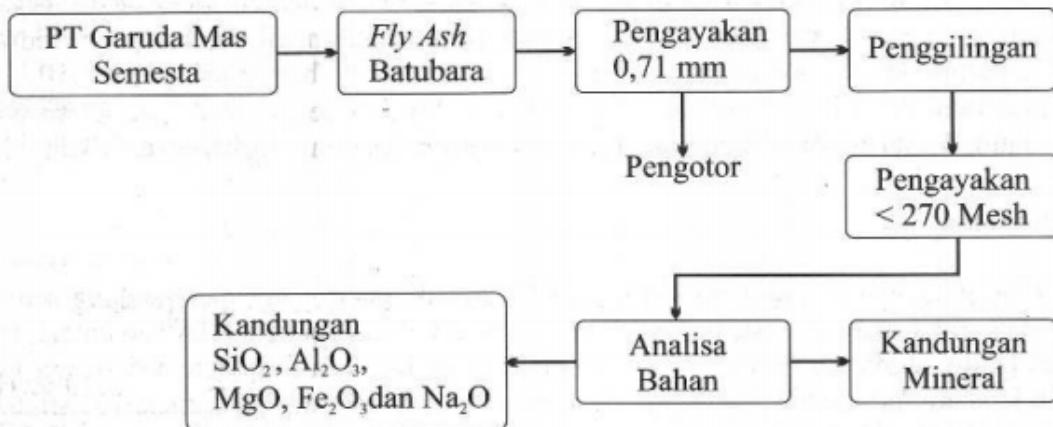
Cement Production Process



Gambar 7 Flowsheet Produksi Semen

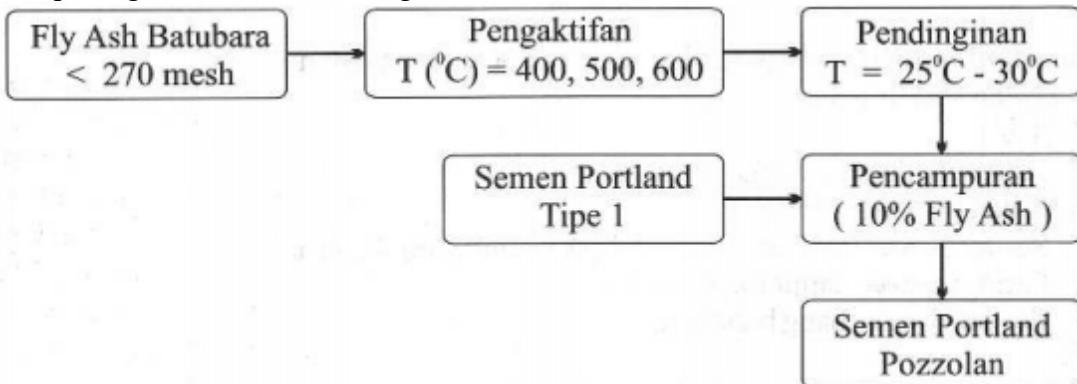
Menurut penelitian yang dilakukan oleh Romli (2010) limbah abu batu bara dapat dimanfaatkan untuk pembuatan Semen Portland Pozzolan dengan metode sebagai berikut:

Tahap Persiapan Bahan



Gambar 8. Tahap Persiapan Bahan

Tahap Pengaktifan dan Finishing



Gambar 9. Tahap Pengaktifan dan Finishing

Selanjutnya adalah tahap pengujian yang dilakukan terhadap semen yang telah dibuat. Hasil pengujian kuat tekan beton dengan komposisi campuran fly ash, semen portland pozzolan dan pasir (1:4) pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari. Secara umum dapat dilihat bahwa kuat tekan meningkat. Hal ini terjadi karena butiran fly ash yang halus (yang lolos ayakan 270 mesh), akan cepat menyerap dan membentuk Ca(OH)_2 , hasil dari proses hidrasi pada silikat dan aluminat aktif yang terkandung dalam abu terbang batubara, serta mencegah pembentukan silikat gel yang berubah menjadi kalsium silikat hidrat dan kalsium aluminat hidrat yang menutupi pori-pori. Pada saat abu terbang ditambahkan air, maka SiO_2 , yang terkandung didalamnya akan menggumpal karena terbentuknya ikatan hidrogen yang dihasilkan dari gugus silinol

(Si-OH), setelah itu, gugus silinol tersebut akan membentuk ikatan koagulasi dalam bentuk jejaring siloksan, dan silolksan tersebutlah yang akan menambah daya rekat antara pasir, fly ash dan semen yang menyebabkan kenaikan kuat tekan (Romli, 2010)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diambil dari hasil penelitian ini antara lain:

1. Pengolahan limbah B3 di PLTU sudah sesuai dengan aturan yang ada dan mampu mengurangi limbah yang terbuang dari aktivitas PLTU.
2. Pengolahan limbah berupa Fly Ash dan Bottom Ash dapat berupa bahan campuran semen maupun dibuat batako yang dapat dimanfaatkan kembali.
3. Manfaat dari pengelolaan limbah berupa Fly Ash dan Bottom Ash tentunya dapat dirasakan oleh masyarakat dan pihak dari PLTU sehingga dapat mencapai industri yang ramah lingkungan dengan pengelolaan limbah yang baik

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil pembahasan dan kesimpulan adalah

1. Pengelolaan limbah B3 perlu adanya perhatian karena dapat mencemari lingkungan dan berbahaya bagi masyarakat sekitar
2. Perlunya partisipasi dari pemerintah dan masyarakat dalam melakukan pengelolaan limbah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anis, M., Afiff, A. Z., Kiswanto, G., Suwartha, N., & Sari, R. F. (2018). Managing university landscape and infrastructure towards green and sustainable campus. *E3S Web of Conferences*, 48, 02001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184802001>
- Damayanti, R. (2018). Abu batubara dan pemanfaatannya: Tinjauan teknis karakteristik secara kimia dan toksikologinya. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 14(3), 213-231.
- Effendy, sahrul dkk modul pemanfaatan batubara 2013. Palembang: polsri
- Kurniawan, A. R., Adenan, D. D., Untung, S. R., Hadijah, N. R. and Alimano, M. (2010) Pemanfaatan abu batubara PLTU untuk penimbunan pada pra reklamasi tambang batubara. Bandung: Puslitbang tekMIRA.
- Kurniawan, A. R., Surono, W. and Alimano, M. (2014) "Potensi pemanfaatan limbah pembakaran batubara PLTU sebagai media tanam dalam kegiatan revegetasi lahan bekas tambang batubara," *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 10(3), pp. 142–154. Available at: <http://jurnal.tekmira.esdm.go.id/index.php/minerba/article/view/730>.
- Kurniawan. 2012. Pembangkit Listrik Tenaga Uap. *Jurnal Teknik Elektro*. Gresik: Universitas Muhamadiyah Gresik.
- Romli, A. (2010). Pemanfaatan Fly Ash (Abu Terbang) Batubara untuk Pembuatan Semen Portland Pozzolan. *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik*, 9(1), 1-6.
- Setiawati, M. (2018). Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton. Prosiding Semnastek.
- Sudarmadji. 2008. *Jurnal Pembangunan Berkelanjutan, Lingkungan Hidup dan Otonomi Daerah*.
- Swantomo, Deni dan Maria Christina, Kartini Megasari. 2007. *Kajian Penerapan Ekologi Industri di Indonesia*. Yogyakarta: STTN (BATAN).
- Ismail, Y. (2016). Kebijakan Pembangunan Kawasan Industri Yang Berwawasan Lingkungan (Eco-Industrial Park). *FIRM Journal of Management Studies*, 1(1).
- Jackson, N. 1977. *Civil Engineering Material Third Edition*. England: Great Britain, Unwin Brothers.
- Ningrum, S. S., & Guntama, D. (2020). Penerapan Ekologi Industri Dalam Membangun Eco Industrial Park Pada Kawasan Industri Kota X. *Jurnal Migasian*, 4(1), 8-14.
- <http://sahabatumar.blogspot.com/2013/02/pltu-batu-bar.html> diakses tanggal 2 desember 2013