

# BAB I

## PENDAHULUAN

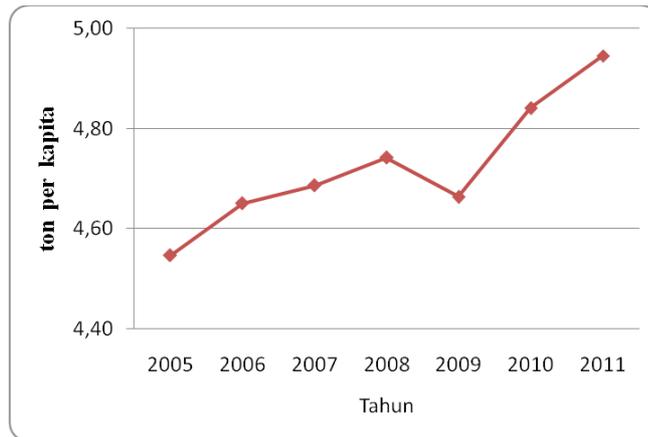
### 1.1 Latar Belakang

Subbab ini menjelaskan latar belakang dari penelitian yang dilaksanakan. Penelitian ini berangkat dari konsep *sustainability* dan penerapan konsep *sustainable manufacturing* terhadap produk yang telah habis masa pakainya. Berdasarkan hal tersebut didefinisikan permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini.

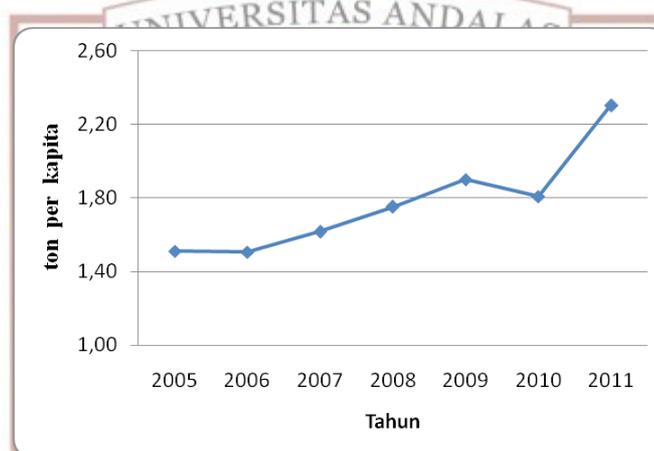
#### 1.1.1 Sustainability

Ilmu dan teknologi berkembang semakin pesat. Perkembangan ilmu dan teknologi ini membawa pengaruh pada sektor ekonomi yang terlihat dengan semakin berkembangnya sektor ekonomi, seperti industri, transportasi, pertanian dan sektor lainnya. Perkembangan ekonomi ini tidak hanya memberikan dampak positif terhadap masyarakat dan lingkungan, namun juga memberikan dampak negatif. Dampak negatif yang muncul yaitu semakin besarnya jumlah polusi yang dihasilkan akibat perkembangan ekonomi tersebut.

Menurut data Bank Dunia (World Bank, 2016), terjadi peningkatan emisi CO<sub>2</sub> di permukaan bumi setiap tahunnya. Pada tahun 2010 tercatat emisi CO<sub>2</sub> di dunia sebesar 4,84 ton per kapita dan meningkat sebesar 2,3% menjadi 4,95 ton per kapita pada tahun 2011. Peningkatan emisi CO<sub>2</sub> juga terjadi di Indonesia, menurut Bank Dunia (World Bank, 2016) pada tahun 2010 tercatat emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia sebesar 1,81 ton per kapita dan meningkat menjadi 2,30 ton per kapita pada tahun 2011, meningkat 27% dari tahun sebelumnya. Grafik peningkatan emisi CO<sub>2</sub> di dunia dan di Indonesia dapat dilihat pada **Gambar 1.1** dan **Gambar 1.2**

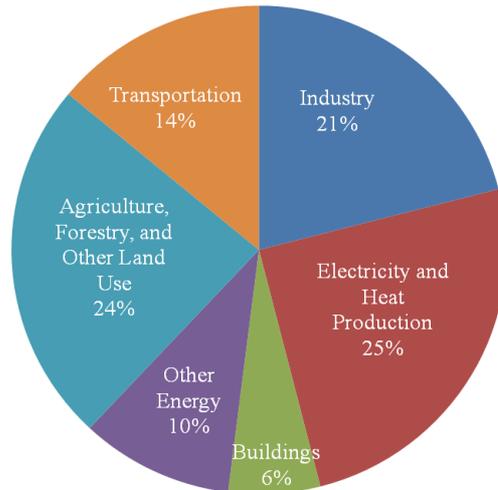


**Gambar 1.1** Emisi CO<sub>2</sub> di Dunia  
(World Bank, 2016)



**Gambar 1.2** Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia  
(World Bank, 2016)

Peningkatan jumlah emisi CO<sub>2</sub> tersebut diakibatkan oleh meningkatnya aktivitas pada sektor ekonomi. Menurut Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (U.S EPA, 2016), sektor industri menjadi salah satu penyumbang terbesar dari emisi CO<sub>2</sub>, yaitu sebesar 21%, lihat **Gambar 1.3**. Selain peningkatan emisi di permukaan bumi, perkembangan industri juga berpengaruh terhadap jumlah limbah industri yang dapat merusak lingkungan. Dampak dari pertumbuhan industri tersebut menyebabkan diperlukannya suatu konsep yang tidak hanya melihat industri dari segi ekonomi saja, namun juga melihat pengaruhnya terhadap lingkungan. Konsep tersebut dikenal dengan istilah *sustainability*.



**Gambar 1.3** Emisi Gas Rumah Kaca Global berdasarkan Sektor Ekonomi (U.S EPA, 2016)

Menurut Szekely (2005) *sustainability* adalah bagaimana membangun masyarakat dimana ekonomi, sosial dan lingkungan harus seimbang. Dari definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa konsep *sustainability* adalah bagaimana cara pemanfaatan sumber daya lingkungan yang ada dengan efektif, efisien dan ekonomis. Selain itu juga harus menghindari limbah sehingga tidak merusak sumber daya lingkungan, meningkatkan efisiensi pemanfaatan material dan energi untuk generasi masa depan. Saat ini konsep *sustainability* telah banyak diaplikasikan di segala bidang, salah satunya di bidang industri manufaktur. Pengaplikasian konsep *sustainability* di bidang industri manufaktur dikenal dengan *sustainable manufacturing*.

### 1.1.2 *Sustainable Manufacturing* dan Aktivitas Remanufaktur

*Sustainable manufacturing* merupakan suatu sistem manufaktur yang mengembangkan dan menggunakan teknologi untuk mengubah material dengan mengurangi konsumsi energi, mengurangi emisi dari gas rumah kaca, mengurangi pembuangan, dan mengurangi penggunaan material yang tidak dapat di daur ulang (Madu, 2001). *Sustainable manufacturing* memiliki ciri utama yang membedakannya dengan sistem manufaktur yang selama ini dikenal, yaitu *closed loop manufacturing*. *Closed loop manufacturing* adalah sebuah sistem dimana produk yang dibuat berasal dari produk yang telah digunakan oleh konsumen.

Sistem *closed loop manufacturing* tersebut mengambil barang-barang seperti *part*, komponen serta barang lainnya yang sudah rusak atau barang yang telah habis masa pakainya. Barang-barang tersebut selanjutnya akan diproses untuk dijual kembali kepada konsumen.

Dalam penerapan *sustainable manufacturing* terdapat tiga strategi utama yang digunakan yaitu *reuse*, *remanufacturing*, dan *recycling*. Menurut Anityasari (2008), strategi *reuse* dianggap sebagai strategi yang paling efektif dan efisien dari sisi dampak lingkungan dan pertimbangan ekonomi karena perlakuan yang diberikan hanya dibersihkan dan diinspeksi. Namun, tidak semua produk bisa menggunakan strategi *reuse*. Bila produk perlu diproses ulang, maka strategi yang digunakan adalah strategi *recycling* atau remanufaktur. Apabila strategi yang dipakai adalah *recycling* maka produk bekas tersebut ditransformasi menjadi material yang dapat digunakan untuk membuat produk lain yang bernilai lebih rendah dari produk asal. Apabila yang digunakan adalah strategi remanufaktur maka fungsi produk bekas dikembalikan seperti ketika produk masih baru sehingga menjadi setara dengan produk baru.

Menurut Jiang *et al.* (2015), kegiatan remanufaktur memberikan keuntungan dari segi ekonomi dan lingkungan, karena dalam prosesnya remanufaktur menggunakan kembali sumber daya yang telah digunakan. Proses remanufaktur jika dibandingkan dengan memproduksi produk baru dapat mengurangi konsumsi energi hingga 60%, material 70%, biaya 50%, dan polusi udara 80%. Sedangkan menurut Afrinaldi *et al.* (2016), proses remanufaktur dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub> sebesar 74%, karbon monoksida (CO) 23%, SO<sub>2</sub> 71% dan menghemat konsumsi energi sebesar 39,83%. Selain itu, harga produk remanufaktur umumnya 30%-40% lebih murah dibandingkan dengan produk baru (Jiang *et al.*, 2015). Dengan demikian, proses remanufaktur tidak hanya memberikan manfaat ekonomi, tetapi juga dapat mengurangi penggunaan sumber daya dan mengurangi pembuangan limbah.

Penelitian mengenai dampak lingkungan dan ekonomi (biaya) aktivitas remanufaktur telah banyak dilakukan sebelumnya. Akan tetapi, penelitian tersebut hanya dilakukan untuk kasus-kasus tertentu saja. Sebagai contoh, Jardine dan Tsang (2013) dan Feldman dan Valdez-Flores (2010) membahas model matematika penggantian komponen untuk meminimasi biaya, Liu *et al.* (2014) menentukan waktu optimal remanufaktur mesin diesel berdasarkan dampak lingkungan, Jiang *et al.* (2015) menyajikan metode optimasi untuk perencanaan proses remanufaktur, dan Wilson *et al.* (2014) menilai dampak lingkungan remanufaktur pada *turbine blades*. Untuk melihat lebih jelas penelitian terdahulu mengenai remanufaktur dan objek kajiannya dari segi biaya dan dampak lingkungan dapat dilihat pada **Tabel 1.1**. Menurut Ajukumar dan Gandhi (2013), penelitian mengenai bagaimana kegiatan remanufaktur dapat dioptimalkan untuk mengurangi dampak lingkungan produk masih terbatas.

**Tabel 1.1** Penelitian Terdahulu

Penulis	Tahun	Tipe	Parameter		Ket
			Biaya	Dampak Lingkungan	
Jardine dan Tsang	2013	Buku	√		Membahas model matematika penggantian komponen untuk meminimasi biaya
Feldman dan Valdez-Flores	2010	Buku	√		Membahas model matematika penggantian komponen untuk meminimasi biaya
Liu <i>et al.</i>	2014	Jurnal		√	Menentukan waktu optimal remanufaktur mesin diesel berdasarkan dampak lingkungan
Yang <i>et al.</i>	2015	Jurnal		√	Menilai dampak lingkungan aktivitas remanufaktur produk otomotif
Wilson <i>et al.</i>	2014	Jurnal		√	Menilai dampak lingkungan remanufaktur pada <i>turbine blades</i>
Jiang <i>et al.</i>	2015	Jurnal	√		Menyajikan model optimasi perencanaan proses remanufaktur dengan mempertimbangkan keandalan dan biaya
Ovchinnikov <i>et al.</i>	2013	Jurnal	√	√	Memberikan penilaian berbasis data terhadap aktivitas remanufaktur dari aspek ekonomi dan lingkungan.

Liu <i>et al.</i>	2016	Jurnal		√	Menyajikan model untuk menentukan waktu remanufaktur optimal berdasarkan dampak lingkungan.
-------------------	------	--------	--	---	---

### 1.1.3 Model Optimasi *Remanufacturing Timing*

Berdasarkan penelitian terdahulu, apabila produk yang telah habis masa pakainya dan perlu diproses ulang, maka melakukan remanufaktur merupakan opsi terbaik untuk meminimasi dampak lingkungan dan biaya (Jiang *et al.*, 2015; Afrinaldi *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2016). Tetapi, kapan proses remanufaktur harus dilakukan masih menjadi masalah, karena komponen yang dipakai akan berkontribusi terhadap biaya yang dikeluarkan dan masalah dampak lingkungan. Proses remanufaktur komponen memerlukan biaya, sehingga apabila proses remanufaktur dilakukan dengan *remanufacturing timing* yang panjang, maka biaya remanufaktur akan menjadi rendah. Biaya remanufaktur yang rendah merupakan solusi yang diharapkan. Namun, *remanufacturing timing* yang panjang juga akan menyebabkan kemungkinan terjadinya kegagalan komponen meningkat, sehingga biaya kehilangan pendapatan karena kegagalan yang bersifat tiba-tiba akan menjadi semakin besar. Selain itu, *remanufacturing timing* yang panjang juga menyebabkan biaya operasi yang dikeluarkan menjadi lebih besar. Biaya operasi nilainya tergantung pada panjang fase penggunaan, kondisi kerja dan efisiensi komponen. Permasalahan ini dimodelkan oleh **Gambar 1.4**.

Dampak lingkungan juga menjadi parameter dalam penentuan kapan proses remanufaktur harus dilakukan. Terdapat dua dampak lingkungan yang terkait dengan proses remanufaktur, yaitu dampak lingkungan karena penggunaan komponen saat ini dan dampak lingkungan karena aktivitas remanufaktur. Apabila proses remanufaktur dilakukan dengan *remanufacturing timing* yang panjang, maka akan menyebabkan dampak lingkungan karena aktivitas remanufaktur menjadi lebih rendah, hal ini dikarenakan jumlah komponen yang diremanufaktur tidak banyak. Akan tetapi *remanufacturing timing* yang panjang akan menyebabkan dampak lingkungan karena penggunaan komponen akan menjadi semakin tinggi. Hal ini dikarenakan menurunnya kinerja komponen seiring

dengan lamanya penggunaan komponen. Contohnya mobil, ketika mobil masih baru konsumsi bahan bakarnya tidak boros, akan tetapi setelah mobil tersebut lama digunakan, maka konsumsi bahan bakar per kilometernya akan meningkat. Permasalahan ini dimodelkan oleh **Gambar 1.5**.

Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu ditentukan kapan proses remanufaktur komponen dilakukan sehingga biaya atau dampak lingkungan yang dihasilkan oleh komponen dapat diminimalkan. Dampak lingkungan yang dikaji terdiri dari dampak lingkungan penggunaan komponen dan dampak lingkungan karena aktivitas remanufaktur komponen, dan biaya yang dikaji terdiri dari biaya operasi, biaya kehilangan pendapatan karena kerusakan komponen yang bersifat tiba-tiba dan biaya remanufaktur.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya diketahui bahwa belum terdapat penelitian mengenai kapan proses remanufaktur harus dilakukan. Oleh karena itu, maka diperlukan sebuah model untuk menentukan kapan sebuah komponen harus diremanufaktur sehingga total biaya per satuan waktu atau total dampak lingkungan per satuan waktu minimum.

## 1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah membangun model matematika untuk menentukan kapan sebuah komponen harus diremanufaktur sehingga dampak lingkungan per satuan waktu atau biaya per satuan waktu dari komponen tersebut minimum. Model optimasi *remanufacturing timing* dibangun berdasarkan model matematika penggantian pencegahan untuk meminimasi biaya yang dikembangkan oleh Jardine dan Tsang (2013) dan Feldman dan Valdez-Flores (2010).

Fungsi tujuan dari model yang dibangun adalah meminimasi biaya atau dampak lingkungan komponen. Variabel keputusan dari model yang dibangun yaitu *remanufacturing timing*. Model yang dibangun akan diaplikasikan dan divalidasi menggunakan sebuah studi kasus yang dilakukan di perusahaan transportasi bus Trans Padang. Dengan objek penelitian yaitu bus tipe 750-16 yang dipakai bus Trans Padang.

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian tugas akhir ini, yaitu :

1. Dampak lingkungan yang dikaji adalah *global warming potential*.
2. *Global warming potential* yang dikaji meliputi *global warming potential* proses remanufaktur dan *global warming potential* penggunaan komponen.
3. Biaya yang dikaji adalah biaya remanufaktur, biaya kehilangan pendapatan karena kegagalan komponen yang bersifat tiba-tiba, dan biaya operasi.
4. Kualitas atau kondisi komponen tidak dipertimbangkan dalam menentukan waktu yang tepat untuk proses remanufaktur.
5. Model yang dibangun ditujukan untuk komponen tunggal saja.

#### 1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terdiri dari lima bab. Adapun sistematika penulisan dapat dijabarkan sebagai berikut :

#### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan.

## BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisikan *literatur review* yang berkaitan langsung dengan permasalahan yang diteliti. Adapun teori-teori yang berkaitan dengan penelitian ini adalah *sustainability*, *sustainable manufacturing*, *remanufacturing*, *replacement* model, dan pemodelan sistem.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahap-tahap penelitian dalam pembuatan tugas akhir. Metode penelitian digunakan agar penelitian yang dilakukan dapat terstruktur dengan baik.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang formulasi model matematis, uji verifikasi, implementasi model, uji validitas dan analisis sensitivitas.

## BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran.

