

## Analisis perbandingan biaya, waktu, dan dampak lingkungan pada pekerjaan lapis pondasi atas menggunakan material *recycle dan cut and fill* (studi kasus: proyek pembangunan jalur lintas selatan Tulungagung -Trenggalek)

Fahmi Firdaus Alrizal\*, Diah Listyaningsih, Ihsan Galang Saputra

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Institut Teknologi Adi Tama Surabaya

\*Corresponding authors: [fahmi.alrizal@itats.ac.id](mailto:fahmi.alrizal@itats.ac.id)

Submitted: 24 March 2023, Revised: 14 November 2023, Accepted: 21 November 2023

**ABSTRACT:** Nowadays, environmental issues in construction project activities that were previously ignored have become major problems as they trigger global warming. Consequently, green construction as a concept of sustainable development has begun to be implemented. It is sort of an effort to minimize the impact of damage to the environment. The construction project of the Tulungagung-Trenggalek southern route carried out material recycling from construction waste to top foundation layer material. The material processing will have an impact on the construction implementation. Therefore, it is necessary to have a study on a comparative analysis of costs, time, and environmental impacts on the work of the top layer using recycled materials and the cut-and-fill method. After using recycled materials, the cost was IDR 2,637,312,551.00, while the cut-and-fill method cost was IDR 2,535,283,401.00. The recycling method took 20 days, whereas the cut-and-fill method took 37 days. Material waste reached 5729.27 tons by the recycle method and 46586.82 tons by the cut-and-fill method. The recycling method caused emissions of 52774.4 kgCO<sub>2</sub>/liter, while the cut-and-fill method brought in 59935.34 kgCO<sub>2</sub>/liter. In conclusion, the recycling method can be categorized as a green construction method because it produces fewer emissions and waste than the cut-and-fill method. The recycling method can reduce the impact of environmental damage.

**KEYWORDS:** construction emissions; green construction; recycle.

**ABSTRAK:** Isu lingkungan yang semula kurang diperhatikan pada kegiatan proyek konstruksi saat ini menjadi permasalahan utama dan pemicu global warming. Green construction sebagai konsep pembangunan yang berkelanjutan mulai diterapkan, hal ini merupakan salah satu bentuk upaya untuk meminimalisir dampak kerusakan terhadap lingkungan. Pada proyek pembangunan jalur lintas selatan Tulungagung-Trenggalek proyek tersebut melaksanakan recycle material dari limbah konstruksi untuk digunakan sebagai material lapis pondasi atas. Dengan adanya pengolahan material maka akan berdampak terhadap pelaksanaan konstruksi. Sehingga perlu adanya sebuah penelitian mengenai analisis perbandingan biaya, waktu, dan dampak lingkungan pada pekerjaan lapis pondasi atas menggunakan material recycle dan cut and fill Berdasarkan hasil penelitian didapatkan hasil biaya menggunakan material recycle dalam pelaksanaan sebesar Rp.2,637,312,551.00 Sedangkan dengan menggunakan metode cut and fill biaya yang dikeluarkan sebesar Rp.2,535,283,401.00 dan dibutuhkan 20 hari dengan metode recycle. Pada metode cut and fill dibutuhkan 37 hari. Pelaksanaan menggunakan metode recycle limbah material yang ditimbulkan sebesar 5729.27 ton sedangkan dengan metode cut and fill sebesar 46586.82 ton. Dalam pelaksanaan konstruksi metode recycle menimbulkan emisi sebesar 52774.4 kgCO<sub>2</sub>/liter sedangkan dengan menggunakan metode cut and fill sebesar 59935.34 kgCO<sub>2</sub>/liter. Oleh karena itu, metode daur ulang (recycle) dapat dianggap sebagai salah satu pendekatan dalam pelaksanaan konstruksi ramah lingkungan dikarenakan emisi dan limbah yang lebih rendah dan dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan jika dibandingkan dengan metode cut and fill.

**KATA KUNCI:** emisi konstruksi; konstruksi hijau; daur ulang.

© The Author(s) 2020. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

### 1 PENDAHULUAN

Fenomena global warming saat ini menjadi permasalahan serius terhadap lingkungan yang diakibatkan oleh efek gas rumah kaca. Isu lingkungan yang semula kurang diperhatikan pada kegiatan proyek konstruksi saat ini menjadi permasalahan utama dan pemicu global warming. Peningkatan konsumsi energi tiap tahun mengalami pertumbuhan sebesar 2%,

apabila hingga tahun 2050 proses kegiatan konstruksi tidak memperhatikan dampak lingkungan maka konsentrasi CO<sub>2</sub> akan menjadi dua kali lipat lebih tinggi dari sebelumnya (Ervianto, 2013).

Selain peningkatan dalam sektor emisi, kegiatan konstruksi juga menimbulkan *waste material* yang berasal dari pengolahan, distribusi dan pengambilan material selama kegiatan konstruksi berlangsung

(Ervianto, 2013; Kibert, 2016). Pada proyek konstruksi umumnya segala kegiatan konstruksi menimbulkan emisi gas CO<sub>2</sub> dan menimbulkan *waste material* yang relatif tinggi (Intan et al., 2005). *Waste material* yang ditimbulkan akibat kegiatan konstruksi dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Pada dasarnya *waste material* konstruksi harus diolah dengan melalui 3R (*reduce, reuse, recycle*) sebelum dilakukan pembuangan (Bria et al., 2016; Devia et al., 2012; Waluyo, 2017; Zulkibli et al., 2017). Dalam upaya mengatasi dampak permasalahan lingkungan akibat kegiatan proyek konstruksi *green construction* sebagai konsep pembangunan yang berkelanjutan mulai diterapkan di Indonesia dan berbagai negara (Santosa & Lawalata, 2019; Luthan et al., 2020). Hal ini merupakan salah satu bentuk upaya untuk meminimalisir dampak kerusakan terhadap lingkungan yang timbul akibat sektor konstruksi (Ervianto, 2014).

Pada proyek pembangunan jalur lintas selatan Tulungagung – Trenggalek terdapat *waste material* konstruksi namun proyek tersebut melaksanakan *recycle* material dari limbah konstruksi untuk digunakan sebagai material lapis pondasi atas. Dengan adanya pengolahan terhadap limbah material maka akan berdampak terhadap proses pelaksanaan konstruksi, baik berupa peningkatan terhadap biaya, waktu, serta dampak lingkungan.

Sehingga perlu adanya sebuah penelitian mengenai analisis perbandingan biaya, waktu, dan dampak lingkungan pada pekerjaan lapis pondasi atas dengan tujuan pada penelitian ini adalah agar dapat mengetahui dan meminimalisir terhadap kerusakan lingkungan yang menyebabkan kerugian dimasa mendatang dan dapat diketahui dampak terhadap biaya dan waktu pada pelaksanaan *recycle* material dan *cut and fill* proyek konstruksi khususnya pada penggunaan material *recycle* sebagai material lapis pondasi atas pada proyek konstruksi.

## 2 METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan observasi langsung dalam pengambilan data pada proyek konstruksi jalan yang berlokasi di perbatasan Kabupaten Tulungagung dan Kabupaten Trenggalek. Proyek pembangunan jalur lintas selatan Tulungagung-Trenggalek yang dilakukan penelitian pada STA 12+000 sampai STA 14+900. Dalam pengumpulan data pada penelitian adalah dilakukan dengan observasi langsung dilapangan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan yaitu mengumpulkan data sekunder dengan meminta pada pihak kontraktor serta melakukan observasi lapangan dengan pengamatan langsung untuk memperoleh informasi mengenai produktivitas pekerjaan dan kemudian dari hasil data yang diperoleh maka dilakukan perhitungan produktivitas pekerjaan, harga satuan yang digunakan untuk menghitung biaya serta durasi tingkat waste dan emisi pada proyek tersebut.

Analisis data pada penelitian diperoleh berdasarkan data primer dan sekunder yang dikumpulkan berdasarkan tujuan penelitian yang kemudian dilakukan analisis dari tiap data yang diperoleh sehingga didapatkan hasil sesuai dengan konsep dan tujuan penelitian. Analisa data dilakukan dalam beberapa tahapan.

### 2.1 Analisis Volume Pekerjaan Lapis Pondasi Atas Kelas A

Lapisan pondasi atas di dalam proyek ini menggunakan lapis pondasi atas dengan spesifikasi kelas A. Sebelum menentukan waktu dan biaya pelaksanaan yang dibutuhkan, maka perlu menentukan volume dan komposisi bahan material yang digunakan, serta kapasitas produksi dari sumber daya yang digunakan (Kementerian PUPR, 2016). Pada perhitungan volume pekerjaan dilakukan dengan menghitung volume kebutuhan pekerjaan lapis pondasi atas yang dapat dilihat pada persamaan 1. Adapun untuk menghitung volume lapis pondasi atas agregat dengan spesifikasi kelas A.

$$V = P \times L \times T \dots\dots\dots (1)$$

dimana, V adalah volume pekerjaan (m<sup>3</sup>), P mengindikasikan panjang (m), L menjelaskan lebar (m), dan T adalah tebal urugan (m).

### 2.2 Analisis Produktivitas dan Koefisien Alat Berat

Pada tahap analisis produktivitas alat dilakukan observasi lapangan dalam menentukan produktivitas alat dan jenis kebutuhan alat kemudian dari hasil observasi dilakukan perhitungan produktivitas alat, dari data hasil perhitungan produktivitas alat kemudian dilakukan perhitungan koefisien alat berat yang hasilnya dijadikan acuan dalam menghitung biaya pekerjaan. Adapun dalam menghitung koefisien alat dapat dihitung pada persamaan bab 2 dengan perhitungan sesuai jenis alat (KemenPUPR, 2016). Dari hasil perhitungan tersebut maka dapat dilakukan perhitungan biaya dalam penyelesaian pekerjaan. Dalam menentukan koefisien alat maka dapat digunakan Persamaan 2:

$$\text{Koefisien alat berat} = \frac{1}{\text{Produktifitas alat}} \dots\dots\dots (2)$$

#### 2.2.1 Excavator

Dalam melakukan analisis produktifitas *excavator* maka dapat dilakukan analisis sebagaimana Persamaan 3.

$$\text{Produktivitas Excavator (Q1)} = \frac{V \times F_b \times F_a \times 60}{T_s \times F_v} \dots\dots\dots (3)$$

keterangan: V = merupakan kapasitas *bucked* pada alat *Excavator* (m<sup>3</sup>), F<sub>b</sub> = merupakan faktor *bucked* pada alat *excavator*, F<sub>a</sub> = merupakan faktor efisiensi alat *excavator*, F<sub>v</sub> = merupakan faktor konversi galian material alat *excavator*, T<sub>s</sub> = merupakan waktu siklus

alat *excavator* (menit),  $T_s = T_{putar} + T_{gali} + T_{buang} + T_{lain-lain}$ .

**2.2.2 Bulldozer**

Dalam melakukan analisis produktifitas *bulldozer* maka dapat dilakukan analisis sebagaimana Persamaan 4 dan 5. Kapasitas produksi *bulldozer*/jam, untuk pengupasan:

$$Q = \frac{q \times F_b \times F_m \times F_a \times 60}{T_s}; (m^3/jam) \dots\dots\dots (4)$$

Kapasitas produksi *bulldozer*/jam, untuk perataan:

$$Q = \frac{1 \times \{n(L-L_0)+L_0\} \times F_b \times F_m \times F_a \times 60}{N \times n \times T_s}; (m^3/jam) \dots\dots (5)$$

keterangan: Q = merupakan kapasitas produksi *bulldozer* ( $m^3/jam$ ),  $F_b$  = faktor dari pisau *bulldozer*,  $F_m$  = faktor kemiringan pisau *bulldozer*, (nilai 1 untuk datar dan 1.2 untuk turun - 15%, 0.7 untuk menanjak +15%),  $F_a$  = faktor efisiensi kerja *bulldozer*,  $V_f$  = kecepatan mengupas ( $km/jam$ ),  $V_r$  = kecepatan *bulldozer* pada saat mundur ( $km/jam$ ), q = kapasitas pisau,  $q = 1 \times h^2$  (l: lebar pisau, h: tinggi pisau),  $T_1$  = waktu *bulldozer* mengusur =  $\frac{1 \times 60}{V_r}$ ,  $T_2$  = waktu *bulldozer* kembali =  $\frac{1 \times 60}{V_r}$ ,  $T_3$  = waktu lain-lain (menit),  $T_s$  = waktu siklus alat *bulldozer*,  $T_s = \sum_{n-1}^n T_n$  (menit),  $L_0$  = lebar *overlab* (m), l = jarak pengupasan, n = jumlah lajur lintasan alat, N = jumlah lintasan pengupasan.

**2.2.3 Vibration roller**

Dalam melakukan analisis terhadap produktifitas vibrator roller maka dapat dilihat pada Persamaan 6:

$$KP = \frac{(b \times v \times 1000) \times t \times F_a}{n} \dots\dots\dots (6)$$

keterangan: be = merupakan lebar efektif *vibrator roller* dalam memadatkan material  $be = b-b_0$  (m), b = adalah lebar efektif pemadatan material (m), t = tebal pemadatan material (m), v = kecepatan rata-rata alat *vibrator roller* dalam pekerjaan ( $km/jam$ ), n = merupakan jumlah lintasan kerja alat *vibrator roller* (lintasan),  $F_a$  = merupakan nilai faktor efisiensi kerja *vibrator roller*.

**2.2.4 Dump truck**

Dalam menentukan produktivitas alat *dump truck* dapat dihitung berdasarkan Persamaan 7:

$$Q = \frac{V \times F_u \times 60}{D \times T_s} \dots\dots\dots (7)$$

keterangan: Q = kapasitas produksi alat *dump truck* per jam ( $m^3/jam$ ), V = kapasitas bak pada *dump truck* (ton),  $F_u$  = faktor efisiensi kerja alat *dump truck*,  $F_k$  = faktor pengembangan bahan material (sebesar 1.333), D = berat isi pada material ( $ton/m^3$ ),  $v_1$  = adalah kecepatan *dump truck* rata rata bermuatan ( $km/jam$ ),  $v_2$  = adalah kecepatan *dump truck* rata-rata kosong ( $km/jam$ ),  $T_s$  = waktu siklus *dump truck*  $T_s = \sum_{n-1}^n T_n$  (menit),  $T_1$  = waktu tempuh dalam kondisi bermuatan  $(L/v_1) \times 60$  (menit),  $T_2$  = waktu tempuh dalam kondisi kosong

$(L/v_2) \times 60$  (menit),  $T_3$  = waktu muat (menit),  $T_4$  = waktu dump (menit),  $T_5$  = waktu tunggu (menit),  $T_6$  = waktu lain-lain (menit).

**2.2.5 Motor grader**

Waktu produktivitas motor grader diperhitungkan pada Persamaan 8:

$$Q = \frac{Lh \times \{n(b-b_0)+b_0\} \times F_a \times 60}{N \times n \times T_s}; (m^3/jam) \dots\dots\dots (8)$$

keterangan: Lb = Panjang hamparan material lapis pondasi atas atau LPA (m),  $b_0$  = lebar *overlab* (m),  $F_a$  = faktor efisiensi kerja *motor grader*, n = jumlah lintasan (lintasan), N = adalah jumlah pengupasan LPA tiap lintasan, v = kecepatan rata-rata ( $km/h$ ), b = lebar pisau efektif (m),  $T_1$  = waktu 1 kali lintasan :  $(Lh \times 60) / (v \times 1000)$  (menit),  $T_s$  = waktu siklus  $T_s = \sum_{n-1}^n T_n$  (menit),  $T_2$  = waktu lain-lain (menit).

**2.2.6 Stone crusher**

Produktivitas alat secara umum, produktivitas suatu alat berat, dihitung dengan menggunakan Persamaan 9:

$$\text{Produksi stone crusher/jam } Q_b = \frac{(F_{a1})}{D_3 \times C_{p1}} \dots\dots\dots (9)$$

keterangan:  $D_3$  = merupakan berat isi material batu pecah ( $ton/m^3$ ),  $C_{p1}$  = kapasitas alat pemecah batu (sesuai spesifikasi alat) ( $ton/jam$ ),  $F_{a1}$  = merupakan faktor efisiensi alat pemecah batu (*stone crusher*).

**2.3 Analisis Kebutuhan Alat**

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap kebutuhan alat berat dalam penyelesaian pekerjaan. Perhitungan dilakukan sesuai dengan jenis alat yang digunakan pada pekerjaan. Sehingga dapat diketahui kebutuhan alat dalam menyelesaikan volume pekerjaan yang ada (Kementerian PUPR, 2016). Adapun dalam menghitung jumlah kebutuhan alat.

$$\text{Jumlah kebutuhan alat} = \frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{produktifitas alat}} \dots\dots\dots (10)$$

**2.4 Analisis Harga Satuan Pekerjaan**

Analisis yang berisikan analisis biaya material, biaya tenaga kerja dan peralatan sebagai acuan dalam menentukan biaya pada satu satuan pekerjaan tertentu yang didasarkan pada harga satuan pekerjaan (Khasanah & Hartantyo, 2021). Pada tahap perhitungan biaya dari hasil data yang diperoleh kemudian dilakukan analisis terhadap biaya pekerjaan lapis pondasi atas antara menggunakan metode *recycle* terhadap metode *cut and fill*. Dalam menentukan kebutuhan maka dilakukan analisis harga satuan yaitu pada Persamaan 11:

$$\text{Analisis harga satuan} = (A \times D) + (B \times E) + (C \times F) \dots\dots\dots (11)$$

keterangan: A = koefisien pekerja, B = harga satuan pekerja, C = koefisien material, D = harga satuan dasar material, E = koefisien alat berat, F = harga sewa per jam alat berat.

**2.5 Analisis Waktu Pelaksanaan**

Pada tahap analisis dilakukan dengan menghitung waktu pelaksanaan agar terselesainya pekerjaan. Dari hasil perhitungan maka dapat diketahui perbandingan durasi yang dibutuhkan antara metode *recycle* dan metode *cut and fill* serta diharapkan mengetahui metode mana dengan tingkat durasi lebih cepat. Adapun dalam menghitung waktu pelaksanaan dapat dihitung dengan Persamaan 12:

$$\frac{\text{Waktu pelaksanaan alat}}{\frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{produktifitas alat} \times \text{jumlah alat}}} = \dots\dots\dots (12)$$

**2.6 Analisis Emisi Konstruksi**

Tingkatan emisi dalam proyek konstruksi bisa berasal dari transportasi dan penggunaan alat berat konstruksi. Seberapa besar emisi ini tergantung pada jenis bahan bakar yang dipakai dan seberapa banyak energi yang diperlukan untuk mendistribusikan material (Erviyanto, 2011). Pada tahap ini dilakukan analisis mengenai tingkat emisi karbon (CO<sub>2</sub>) berdasar proses kegiatan konstruksi dengan tujuan mengetahui tingkat emisi yang dikeluarkan akibat distribusi, pengadaan material dan pelaksanaan pekerjaan antara *cut and fill* dan *recycle*. Dimulai dari perhitungan emisi terhadap pelaksanaan konstruksi, distribusi dan pengadaan material serta pengolahan material waste yang kemudian melakukan analisis emisi alat terhadap pelaksanaan pekerjaan LPA. Dalam menentukan tingkat emisi dapat dilihat pada Persamaan 13, Sedangkan untuk menghitung emisi pada proses kegiatan konstruksi dapat dihitung dengan Persamaan 14 (Wirahadikusumah & Sahana, 2012):

$$\text{Emisi distribusi material} = \text{Kebutuhan bahan bakar} \times \text{Fk} \dots\dots\dots (13)$$

$$\frac{\text{Emisi proses konstruksi}}{\frac{\text{Konsumsi Energi} \times \text{Faktor Efisiensi bahan bakar}}{\text{Total Produksi}}} = \dots\dots\dots (14)$$

**2.7 Analisis waste material**

Pada tahap ini bertujuan untuk menganalisis tingkat *waste material* yang terjadi akibat kegiatan konstruksi. sehingga diharapkan dapat diketahui tingkat *waste material* yang paling rendah dari kedua metode tersebut antara *recycle* dan *cut and fill*. Dalam melakukan analisis terhadap limbah maka ditentukan dengan menganalisis terhadap volume blasting untuk metode *recycle* dan menghitung volume galian timbunan untuk metode *cut and fill*, dapat dilihat pada Persamaan 15-20:

$$\text{Volume solid (Vs)} = B \times S \times L \times N \dots\dots\dots (15)$$

$$\text{Volume loose (VL)} = \frac{B \times S \times L \times N}{SF} \dots\dots\dots (16)$$

$$\text{Kapasitas volume total peledakan (W)} = \text{VL} \times \text{SGs} \dots\dots\dots (17)$$

$$\text{Volume rencana blasting} = \text{volume 1 lubang} \times \text{jumlah lubang} \times \text{alat/hari} \times \text{jumlah alat} \dots\dots\dots (18)$$

$$\text{Durasi blasting} = \frac{\text{Volume Peledakan}}{\text{Kapasitas blasting/hari}} \dots\dots\dots (19)$$

$$\text{Perhitungan volume galian batu} = \text{volume} \times \text{panjang galian batu} \dots\dots\dots (20)$$

keterangan: B = jarak antar lubang bor arah x *burden*, S = Jarak antar lubang bor arah y spasi, L = Tinggi jenjang kedalaman lubang bor, N = jumlah lubang, SF = 82%, SGs = *spesific grafity limestone* = 2.7 (ton/m<sup>3</sup>).

**3 HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Perhitungan Volume Pekerjaan**

Dalam perhitungan pekerjaan lapis pondasi atas dihasilkan jumlah volume pekerjaan STA 12+000 s/d 14+900 sebesar 6637.5 m<sup>3</sup>.

**3.2 Analisis Produktivitas Alat Berat Metode Cut and Fill**

Pada pelaksanaan pekerjaan lapis pondasi atas dengan metode *cut and fill* maka meliputi pengadaan material LPA yang didatangkan dari luar lokasi proyek dengan dilakukan pengangkutan menuju lokasi proyek kemudian dilaksanakan pengadaan material sesuai dengan kebutuhan volume material yang akan dikerjakan. Material yang datang dengan kondisi siap dilakukan pengamparan ditimbun pada lokasi yang ditentukan untuk mempermudah dalam distribusi material ke lapangan. Dibutuhkan beberapa alat berat dalam melakukan pelaksanaan pengadaan material yang berupa *dump truck* yang bertugas untuk mendistribusikan material menuju lokasi proyek dan *excavator* yang digunakan untuk mengangkut material LPA kedalam *dump truck*.

**3.3 Pengadaan Material LPA**

Pada pekerjaan pengadaan material LPA dengan menggunakan alat berat *dump truck* dengan produktifitas alat/hari sebesar 19.74 m<sup>3</sup>/hari dan koefisien alat 0.0506 didapatkan 15 unit.

**3.4 Analisis Distribusi Material LPA dari Stock Pile Menuju Lokasi Proyek**

Pada pekerjaan distribusi material LPA dari *stock pile* menuju lokasi proyek dengan menggunakan alat berat *excavator* dan *dump truck*. Maka hasil yang didapatkan dapat dilihat berdasarkan Tabel 1.

**3.5 Analisis Produktivitas Alat Berat Metode Recycle**

Dalam pelaksanaan pekerjaan pengangkutan limbah batu hasil blasting yang akan diolah dan digunakan sebagai material bahan lapis pondasi atas menggunakan alat berat yang bertugas mengangkut dan memecah material sehingga perlu adanya analisis mengenai tingkat produktivitas alat yang dapt dilihat pada Tabel 2.

**3.6 Produktivitas Alat untuk Daur Ulang Material**

Dalam pengolahan limbah material diperlukan alat berat dalam proses pelaksanaannya dengan tujuan untuk mempercepat proses kegiatan konstruksi dengan mempertimbangkan waktu pelaksanaan. Oleh sebab itu dari hasil material kegiatan konstruksi dari limbah dan hasil sisa kegiatan konstruksi maka dilakukan analisis produktivitas pengolahan meliputi *stone crusher*, *breaker*, dan transportasi ke dalam *stone crusher* yang dilihat pada Tabel 3.

**3.7 Analisis Produktivitas Pelaksanaan Pekerjaan Hampar LPA**

Proses pengolahan selanjutnya yaitu material tersebut dilakukan pengangkutan *dump truck* menuju lokasi pelaksanaan. Pada lokasi pelaksanaan hampar LPA tersedia *bulldozer* D31 yang bertugas untuk menggusur dan meratakan material LPA dibantu dengan *motor grader* untuk meratakan material LPA kemudian *vibrator roller* melakukan pemadatan material hingga ketebalan LPA terpenuhi dengan kepadatan sesuai spesifikasi. Produktivitas alat pelaksanaan pekerjaan terlihat pada Tabel 4.

**Tabel 1.** Produktifitas alat distribusi material

Jenis alat	Produktifitas Alat (m <sup>3</sup> /jam)	Produktifitas alat/hari (m <sup>3</sup> /hari)	Koefisien alat	Kebutuhan alat (unit)
<i>Excavator</i> PC 300	2.82	19.74	0.0506	1
<i>Dump truck</i> tronton	27.47	192.27	0.0052	5

**Tabel 2.** Produktifitas alat pengangkut limbah

Jenis alat	Produktifitas Alat (m <sup>3</sup> /jam)	Produktifitas alat/hari (m <sup>3</sup> /hari)	Koefisien alat	Kebutuhan alat (unit)
<i>Excavator</i> PC 200 ( <i>breaker</i> )	18.376	128.632	0.0240	2
<i>Excavator</i> PC 200	41.538	290.77	0.0544	3
<i>Dump truck</i>	12.255	85.785	0.0816	10

**Tabel 3.** Produktifitas alat daur ulang

Jenis alat	Produktifitas Alat (m <sup>3</sup> /jam)	Produktifitas alat/hari (m <sup>3</sup> /hari)	Koefisien alat	Kebutuhan alat (unit)
<i>Excavator</i> PC 200	46.85	290.77	0.0213	2
<i>Excavator</i> PC 200 ( <i>breaker</i> )	18.376	128.632	0.0544	1
<i>Stone crusher</i>	200	1400	0.005	1

**Tabel 4.** Produktivitas pelaksanaan pekerjaan hampar LPA

Jenis alat	Produktifitas Alat (m <sup>3</sup> /jam)	Produktifitas alat/hari (m <sup>3</sup> /hari)	Koefisien alat	Kebutuhan alat (unit)
<i>Excavator</i> PC 300	110.89	776.23	0.00128	1
<i>Dump truck</i> tronton	12.244	85.708	0.01167	2
<i>Bulldozer</i> D31	74	518	0.00193	1
<i>Motor grader</i>	98.28	687.96	0.0145	1
<i>Vibrator roller</i>	51.386	359.386	0.00278	1

**3.8 Analisis durasi pelaksanaan LPA**

Dalam menentukan darasi pelaksanaan pekerjaan LPA dengan menggunakan metode *cut and fill* maka dilakukan analisis terhadap durasi pelaksanaan LPA pada Tabel 5 yang meliputi: (1) durasi pengadaan material LPA menuju *stockpile*, (2) distribusi material

dari *stockpile* menuju lokasi hampar LPA, dan (3) pelaksanaan pekerjaan hampar material LPA. Sedangkan untuk metode yang *recycle* meliputi: (1) distribusi limbah material menuju lokasi pengolahan, (2) daur ulang material LPA, dan (3) pelaksanaan pekerjaan hampar material LPA.

**Tabel 5.** Durasi pelaksanaan LPA

Metode <i>cut and fill</i>		Metode <i>recycle</i>	
Item pekerjaan	Durasi	Item pekerjaan	Durasi
Pengadaan material LPA menuju <i>stockpile</i>	23 hari	Distribusi limbah material menuju lokasi pengolahan	8 hari
Distribusi material dari <i>stockpile</i> menuju lokasi hampar LPA	7 hari	Daur ulang material LPA	5 hari
Pelaksanaan pekerjaan hampar material LPA	7 hari	Pelaksanaan pekerjaan hampar material LPA	7 hari
Total	37 hari	Total	20 hari

### 3.9 Analisis Waste Material

Analisis *waste material* ditentukan dengan menganalisis volume *waste material* pekerjaan pembentukan badan jalan dari hasil pemecahan batu baik dari metode konvensional (*cut and fill*) dan metode *green construction* dimana material yang gunakan hasil dari peledakan (*blasting*) yang digunakan dalam material timbunan dengan persentase limbah 10% dari proses tersebut. Hasil analisis *waste material* dari proses konvensional yaitu *cut and fill* sebesar 46586.82 ton. Sedangkan metode *recycle* menghasilkan *waste* yang lebih sedikit yaitu 5729.27 ton.

### 3.10 Analisis Biaya Alat Berat

Dalam analisis perbandingan biaya pada alat berat dengan metode *green construction* dan konvensional yang terdiri dari analisis biaya alat dengan 5 hari dan tiap hari beroperasi 7 jam berdasarkan Persamaan 2-9. Hasil analisis mengenai biaya alat berat dapat dilihat berdasarkan Tabel 6.

**Tabel 6.** Hasil analisis biaya alat

No.	Alat	Biaya Sewa/jam (Rp.)
1	<i>Dump truck tronton</i>	407,440.22
2	<i>Excavator PC 200/breaker</i>	457,390.08
4	<i>Excavator PC 300</i>	721,428.21
5	<i>Bulldozer</i>	277,455.59
6	<i>Vibrator roller</i>	267,142.14
7	<i>Stone crusher</i>	1,249,888.46
8	<i>Motor grader</i>	443,556.72

### 3.11 Analisis Biaya Pelaksanaan

Dalam penentuan analisis mengenai biaya pelaksanaan mengacu pada metode *green construction* dan konvensional yaitu *cut and fill*. Analisis perhitungan biaya pelaksanaan pada metode *cut and fill* meliputi, pengadaan material LPA dan pelaksanaan dan distribusi LPA menuju lokasi proyek. Sedangkan pada metode *green construction* meliputi distribusi

material limbah menuju lokasi daur ulang material. maka dapat dilihat pada Tabel 7.

### 3.12 Analisis Emisi Pelaksanaan

Proses kegiatan konstruksi pasti menimbulkan emisi dari setiap kegiatan sehingga perlu diperhatikan agar tidak menimbulkan dampak kerusakan lingkungan dan pencemaran udara akibat proyek konstruksi. Analisis dilakukan perhitungan menentukan emisi pada pelaksanaan dengan metode *recycle* dan *cut and fill* dimana pada metode *cut and fill* meliputi kegiatan dalam perngadaan materia LPA, Distribusi material menuju lokasi pelaksanaan dan proses pelaksanaan. Sedangkan pada metode *green construction* meliputi emisi *blasting*, distribusi material limbah, pengolahan daur ulang material, distribusi material menuju lokasi pelaksanaan dan pelaksanaan konstruksi. Hasil analisis mengenai emisi pelaksanaan dapat dilihat berdasarkan Tabel 8.

Berdasarkan pada Tabel 5, 6, 7 dan 8 dapat dilihat mengenai hasil perbandingan penggunaan metode *recycle* dan *cut and fill* terhadap penelitian terdahulu adalah menurut penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Prasaji et al. (2012) dan Alverina & Tantama (2020) terhadap penerapan metode *green construction* dalam proyek konstruksi dapat menambah biaya konstruksi hal ini disebabkan oleh proses daur ulang material konstruksi yang berdampak pada peningkatan biaya pekerjaan akibat proses daur ulang material. Penanganan *waste material* di lapangan selalu berdampak pada biaya produksi (Purba & Syahrizal, 2021).

Dapat diketahui bahwa biaya pelaksanaan kegiatan konstruksi pada pekerjaan LPA dengan menggunakan metode *recycle* menimbulkan biaya lebih. hal ini disebabkan pada pelaksanaan proses daur ulang dan pendistribusian material limbah yang dilakukan pada lingkungan konstruksi membutuhkan alat berat yang lebih untuk melakukan pengolahan, sehingga biaya terhadap pelaksanaan pekerjaan menjadi bertambah dibandingkan dengan metode *cut and fill*. Hal tersebut menjadi perhatian khusus dalam penentuan limbah dalam konstruksi (Hartono et al., 2016).

**Tabel 7.** Hasil analisis biaya pelaksanaan

Uraian	Cut and fill (Rp.)	Recycle (Rp.)
Pengadaan Material	177,540,580.10	
Pelaksanaan dan distribusi LPA menuju lokasi proyek	2,357,742,820.65	
Distribusi material limbah menuju lokasi daur ulang material.		196,635,077.10
Biaya pengolahan material limbah		82,934,652.92
Biaya pelaksanaan LPA		2,357,742,820.65
Total analisa biaya pelaksanaan	2,535,283,400.75	2,637,312,550.67
Dibulatkan	2,535,283,401.00	2,637,312,551.00

**Tabel 8.** Hasil analisis emisi pelaksanaan konstruksi

Recycle		Cut and fill	
Kegiatan	Emisi kgCO <sub>2</sub> /liter	Kegiatan	Emisi kgCO <sub>2</sub> /liter
Emisi <i>Blasting</i>	5586	Pengadaan material LPA	70290.5
Distribusi material limbah	21643.25	Distribusi material menuju lokasi pelaksanaan	4959.437
Pengolahan daur ulang material	28129.5	Pelaksanaan konstruksi	3617.6
Distribusi material menuju lokasi pelaksanaan	4603.61		
Pelaksanaan konstruksi	4282.6		
Total Emisi	64244.96	Total Emisi	78867.54

Sedangkan durasi pelaksanaan dengan metode *recycle* memerlukan durasi yang cukup singkat dibandingkan dengan metode konvensional hal ini disebabkan oleh pengolahan material dan distribusi material yang hanya terjadi pada lingkungan proyek mengingat hal tersebut sangat berpengaruh pada proses pelaksanaan konstruksi terutama pada durasi pengadaan material LPA jauh lebih singkat. Percepatan kegiatan konstruksi dengan menggunakan proses *green construction* memberikan dampak dari segi durasi pelaksanaan. (Hwang & Leongg, 2013).

Pada proses kegiatan konstruksi emisi yang ditimbulkan dengan menggunakan metode *recycle* lebih rendah dibandingkan dengan metode *cut and fill* hal ini disebabkan akibat proses distribusi pengadaan material yang membutuhkan jarak tempu yang lebih jauh. Hal ini kemudian menyebabkan terjadinya peningkatan emisi akibat konsumsi bahan bakar minyak pada kendaraan meningkat yang meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> sehingga perlu dilakukan penanganan khususnya material dan alat yang digunakan. (Nugrahardani et al. 2017). Dengan adanya penggunaan teknologi daur ulang dapat meningkatkan nilai ekonomi serta menghemat energi (Harefa, 2020). Sehingga dengan metode konvensional menyumbang emisi yang dapat meningkatkan kerusakan kualitas udara lebih tinggi dibandingkan metode *recycle*.

Dalam proses konstruksi penggunaan metode *cut and fill* limbah material yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan metode *green construction* hal

ini disebabkan pada metode *cut and fill* keseluruhan hasil proses pembentukan badan jalan dari hasil galian digunakan sebagai timbunan namun berbeda pada metode *recycle* dalam metode ini dilakukan pengolahan sehingga dapat mengurangi dampak kerusakan lingkungan akibat limbah konstruksi (Jawat, 2014).

#### 4 KESIMPULAN

Analisis biaya menggunakan metode *recycle* dalam pengadaan material sebesar Rp.2,637,312,551.00 sedangkan dengan menggunakan metode *cut and fill* biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 2,535,283,401.00 sehingga dapat diketahui bahwa pelaksanaan dengan menggunakan metode *recycle* pada pengadaan material menambah biaya konstruksi sebesar Rp.102,029,150.00 sehingga berdasarkan penelitian terdahulu dapat diketahui bahwa *recycle* menambah biaya pelaksanaan dibandingkan dengan metode *cut and fill*. Dalam waktu pelaksanaan dibutuhkan 20 hari dengan metode *recycle*. Pada metode konvensional dibutuhkan durasi waktu pelaksanaan 37 hari, lebih lama dibandingkan dengan metode *recycle*.

Dalam perhitungan mengenai tingkat emisi pada pelaksanaan menggunakan metode *recycle* sebesar 64244.96 kgCO<sub>2</sub>/liter sedangkan dengan menggunakan metode *cut and fill* sebesar 76119.757 kgCO<sub>2</sub>/liter sehingga dapat diketahui bahwa tingkat emisi yang ditimbulkan metode dengan tingkat emisi yang rendah

adalah menggunakan metode *recycle*. Dalam metode *cut and fill* didapatkan material limbah sebesar 46586.82 ton serta dengan menggunakan metode *recycle* limbah material didapatkan sebesar 5729.27 ton dapat diketahui bahwa dengan menggunakan metode *recycle* dapat mengurangi dampak kerusakan lingkungan akibat kegiatan konstruksi.

Sedangkan saran dari penelitian ini adalah adanya upaya dan komitmen dan regulasi bagi pelaksanaan konstruksi untuk lebih meningkatkan penerapan metode *green construction* baik dari segi pelatihan, pemahaman agar proyek konstruksi dapat meminimalkan dampak terhadap kerusakan lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alverina, C., & Tamtana, J. S. (2020). Analisis biaya pelaksanaan proyek konstruksi gedung bertingkat dengan konsep konstruksi hijau. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(2), 245-254.
- Bria, M., Muda, A. H., & Dumin, L. (2016). Penggunaan teknologi daur ulang perkerasan aspal untuk meningkatkan aksesibilitas menuju lokasi wisata di Timor. *Seminar Nasional Riset Inovatif (Senari) IV*.
- Devia, Y. P., El Unas, S., & Nariswari, W. (2012). Identifikasi sisa material konstruksi dalam upaya memenuhi bangunan berkelanjutan. *Rekayasa Sipil*, 4(3), 195-203.
- Ervianto, W. I. (2011). Carbon tracing komponen struktur bangunan gedung (studi kasus gedung isipol universitas atma jaya yogyakarta). *Seminar Nasional-1 BMPTSSI, Konteks (Vol. 5)*.
- Ervianto, W. I. (2013). Kajian faktor green construction infrastruktur jalan berdasarkan sistem rating greenroad dan invest (013K). *Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-7 Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta*.
- Ervianto, W. I. (2014). Kendala kontraktor dalam menerapkan green construction untuk proyek konstruksi di Indonesia. *Seminar Nasional Institut Teknologi Sepuluh Nopember Ke-X. Surabaya: Teknik Sipil ITS Surabaya*.
- Harefa, M. B. (2020). Implementasi manajemen pengolahan limbah konstruksi dalam mewujudkan green construction (studi kasus: pembangunan Transmart Carrefour Padang). *JUITECH: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Quality*, 4(1), 20-30. <http://dx.doi.org/10.36764/ju.v4i1.352>
- Hartono W., Ali I. H., & Sugiyarto. (2016). Evaluasi sistem manajemen limbah konstruksi pada kontraktor pembangunan perumahan di Kota Surakarta untuk mendukung green construction. *Matriks Teknik Sipil*, 4(1), 271-278. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v4i1.37139>
- Hwang, B. G., & Leong, L. P. (2013). Comparison of schedule delay and causal factors between traditional and Green Construction projects. *Technological and Economic Development of Economy*, 19(2), 310-330. <http://dx.doi.org/10.3846/20294913.2013.798596>
- Intan, S., Alifen, S. R., & Arijanto, L. (2005). Analisis dan evaluasi sisa material konstruksi: sumber penyebab, kuantitas, dan biaya, *Civil Engineering Dimension*, 7 (1), 36-45. <https://doi.org/10.9744/ced.7.1.pp.%2036-45>
- Jawat, I. M. (2014). Penerapan metode konstruksi dalam mewujudkan green construction (studi kasus: pekerjaan tanah pada proyek jalan). *Paduraksa*, 3(2), 61-80.
- Kementerian PUPR. (2016), *Peraturan Menteri PUPR No.28/PRT/M/2016 tentang pedoman analisis harga satuan pekerjaan bidang pekerjaan umum*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia.
- Khasanah, F., & Hartantyo, S. D. (2021). Analisis biaya bangunan pekerjaan konstruksi baja menggunakan metode HSPK dan SNI. *Civilla: Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan*, 1(2), 17-22. <https://doi.org/10.30736/cvl.v1i2.567>
- Kibert, C. J. (2016). *Sustainable construction: green building design and delivery*. John Wiley & Sons.
- Luthan, P. L. A., Sitanggang, N., Betaubun, P., & Prima, J. (2020). Implementation of green construction on the use of formwork at St. Thomas Building construction project. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 473(1), 012084.
- Nugrahardani, A, Jatmiko, I. S, Wibowo, M. A, & Budienny, H. (2017). Evaluasi material *cut and fill* dan carbon footprint pada penerapan green construction. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(1), 375-384.
- Prasaji M. A., Sinan M. P., & Wibowo M.A. (2012). Evaluasi biaya dan dampak lingkungan penerapan *green construction* (studi kasus: proyek pembangunan Paviliun Garuda 2 RSUP dr. Kariadi Semarang). *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 1(1), 1-10.
- Purba, K. A., & Syahrizal. (2021). Analisis waste material konstruksi dengan metode pareto dan fault tree analysis (fta)(studi kasus: proyek pembangunan gedung Fakultas Kehutanan Universitas Sumatera Utara). *Jurnal Teknik Sipil USU*, 1(1), 1-10. <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/31459>
- Santosa, W., & Lawalata, G. M. (2019). Implementasi program jalan hijau untuk mendukung pelaksanaan konstruksi rendah karbon. *Jurnal HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia)*, 5(2), 65-74.
- Waluyo, G. A. (2017). Analisis sisa material konstruksi pada proyek pembangunan hotel kawasan Marvell City [Undergraduate Theses, Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
- Wirahadikusumah, R. D., & Sahana, H. P. (2012). Estimasi konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca pada pekerjaan pengaspalan jalan. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 19(1), 25-36.
- Zulkibli, Z., Rasidi, N., & Arifianto, A. K. (2017). Hubungan antara pengelolaan, pengendalian sisa material dengan biaya dan waktu penyelesaian pembangunan gedung pisik di Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang. *UREKA: Jurnal Penelitian Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 1(2), 253-262.