

OPTIMASI PENDISTRIBUSIAN TANAH DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LINEAR PROGRAMMING*

Gaston Sudjaja¹ dan Iwan B. Santoso²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: gastonsudjaja@yahoo.co.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S Parman No.1 Jakarta
Email: iwsantoso@hotmail.com

ABSTRAK

Pembangunan jalan merupakan kebutuhan yang sangat vital sebagai pendukung utama dinamika dan aktivitas ekonomi. Salah satu faktor yang harus dikendalikan dalam pembangunan suatu jalan adalah masalah biaya konstruksi. Pada umumnya diperlukan dana yang besar dalam pembangunan jalan, namun dana yang disediakan untuk keperluan tersebut sangat terbatas. Salah satu cara untuk meminimalkan biaya pembangunan suatu jalan adalah meminimumkan biaya pendistribusian tanah. Pendistribusian tanah pada umumnya berkaitan dengan pemilihan alat – alat berat yang digunakan dan jarak pendistribusian tanah. Dalam penelitian ini digunakan metode *linear programming* untuk memudahkan dalam menentukan volume tanah yang akan dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lain. *Linear programming* terdiri dari *decision variabel*, *objective function*, dan *constraint*. Dari penelitian ini diperoleh hasil optimasi volume pendistribusian tanah dan biaya yang minimum.

Kata kunci: Pendistribusian Tanah, Alat Berat, *Linear Programming*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pekerjaan konstruksi merupakan keseluruhan atau sebagian kegiatan perencanaan untuk membangun sarana maupun prasarana dalam infrastruktur pembangunan. Pembangunan yang dimaksud adalah gedung, jembatan, jalan, dan pembangunan lainnya. Jalan merupakan infrastruktur yang menghubungkan satu daerah dengan daerah yang lain yang sangat penting dalam sistem pelayanan masyarakat (Wirahadikusumah, 2007). Kini pembangunan jalan di Indonesia sedang dilakukan secara besar – besaran karena pertumbuhan penduduk di Indonesia semakin meningkat, sedangkan kapasitas jalan yang ada sekarang ini bisa dikatakan tidak sesuai dengan kebutuhan penduduk. Hal ini disebabkan karena jumlah kendaraan yang ada di Indonesia semakin banyak.

Salah satu faktor yang harus dikendalikan dalam pembangunan suatu jalan adalah masalah biaya. Pada umumnya diperlukan dana yang besar dalam pembangunan jalan, padahal dana yang disediakan untuk keperluan tersebut sangat terbatas. Oleh sebab itu penggunaan dana yang tersedia harus dimanfaatkan dengan sebaik – baiknya. Secara umum sasaran yang harus dicapai untuk meminimalkan biaya pembangunan suatu jalan adalah pekerjaan tanah. Pekerjaan tanah di sini meliputi pekerjaan galian, timbunan, pengangkutan, dan pemadatan tanah. Pendistribusian tanah pada umumnya berkaitan dengan pemilihan alat – alat berat yang digunakan, jarak pendistribusian tanah dari suatu lokasi ke lokasi lain. Untuk menyelesaikan suatu pekerjaan atau bagian pekerjaan konstruksi diperlukan pemilihan alat dimana pemilihan alat – alat berat tergantung pada karakteristik masing- masing alat dan kondisi medan. Hal ini diperlukan agar alat tersebut dapat bekerja secara maksimal sehingga pekerjaan dapat diselesaikan tepat waktu dengan biaya sehemat mungkin. Selain itu pelaksanaan suatu proyek konstruksi juga selalu terdapat kendala-kendala, baik kendala yang sudah diperhitungkan maupun di luar perhitungan perencanaan. Tujuan dari pemilihan alat – alat berat tersebut adalah untuk memudahkan manusia dalam mengerjakan pekerjaannya sehingga hasil yang diharapkan dapat tercapai dengan lebih mudah pada waktu yang relatif lebih singkat. Manajemen alat berat sangat diperlukan, sehingga dapat menunjang kelancaran dari pekerjaan tersebut.

Pada proyek pembangunan jalan, umumnya masalah pendistribusian tanah didasarkan atas faktor pengalaman dari perencana atau dibantu dengan diagram *mass haul*. Jika ditinjau dari cara tersebut maka tidak ada kepastian bahwa hasil yang diperoleh akan pasti mengenai besarnya volume pendistribusian tanah. Untuk itu diperlukan suatu metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pendistribusian tanah untuk mengetahui jumlah dan arah pendistribusian tanah yang baik dengan biaya yang minimum. Metode yang digunakan adalah metode *linear programming*, *linear programming* merupakan sebuah metode matematika untuk memecahkan permasalahan dalam berbagai bidang untuk mencapai suatu tujuan yang optimal. Tujuan optimal yang dimaksud adalah dengan sumber

daya yang terbatas dapat membantu perencana untuk memperoleh biaya yang minimum dengan keuntungan maksimum. Maka dari itu, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian terhadap permasalahan yang ada.

Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, masalah yang akan dijadikan bahan penelitian yaitu biaya pendistribusian tanah untuk pembuatan jalan yang mahal dan ketidaktepatan dalam pemilihan alat berat yang digunakan.

Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang dituliskan di atas, terdapat masalah yang perlu untuk dibahas yaitu bagaimana perencanaan volume pendistribusian tanah *cut and fill* dan meminimalkan biaya pendistribusian tanah dengan menggunakan metode *linear programming*.

Tujuan Penelitian

1. Mengkaji perencanaan volume pendistribusian tanah *cut and fill* dan mengetahui biaya minimum untuk pendistribusian tanah dengan menggunakan metode *linear programming*.
2. Menganalisis hasil optimasi volume pendistribusian tanah *cut and fill*.

Batasan Penelitian

1. Penelitian yang dilakukan adalah jumlah volume *cut and fill* untuk pembangunan jalan sejauh 5 km.
2. Data yang didapat untuk penelitian merupakan data yang diperoleh dari proyek X di Karawang.
3. Metode perhitungan yang digunakan adalah *linear programming* dengan menggunakan program Lingo.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tanah

Menurut Das (1995) tanah diartikan sebagai material yang terdiri dari agregat mineral - mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.

Menurut Bowles (1989) istilah pasir, lempung, lanau, atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedang pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

Keadaan material yang dapat mempengaruhi volume tanah yang dijumpai dalam usaha pendistribusian tanah menurut Rochmanhadi (1990) yaitu:

1. Keadaan asli (*Bank Measure* = BM)
Keadaan asli adalah keadaan material sebelum dilakukan pengerjaan atau masih sesuai dengan ukuran alam, digunakan sebagai dasar perhitungan jumlah pemindahan.
2. Keadaan lepas (*Loose Measure* = LM)
Keadaan lepas adalah keadaan tanah setelah diadakan pengerjaan, misalnya tanah yang terdapat di depan *dozer blade*, di atas *dump truck*, di dalam *bucket*, dan sebagainya. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan rongga udara di antara butiran – butiran tanah, sehingga volume menjadi lebih besar.
3. Keadaan padat (*Compacted Measure*)
Keadaan padat adalah keadaan material setelah ditimbun dan dilakukan pemadatan. Perubahan volume terjadi karena adanya penyusutan rongga udara di antara partikel – partikel tanah tersebut. Dengan demikian volume tanah akan berkurang, sedangkan beratnya tetap. Volume tanah setelah diadakan pemadatan, mungkin lebih besar atau mungkin juga lebih kecil, hal ini tergantung dari usaha pemadatan yang dilakukan.

Analisis Pendistribusian Tanah

Menurut Rochmanhadi (1990) dengan hanya mengetahui besarnya volume tanah baik volume *cut*, *fill*, *borrow pit*, dan *landfill* saja, tidak cukup memberikan informasi untuk melaksanakan suatu pendistribusian tanah. Maka diperlukan juga untuk mengetahui distribusi pemindahan tanah yang meliputi jumlah, arah, dan jarak angkut dalam perencanaan. Diusahakan supaya jarak angkut yang terjadi di lapangan tidak melebihi jarak angkut ekonomis alat – alat berat yang digunakan. Jarak ekonomis berkaitan dengan *free haul* dan *over haul* dari material yang diangkut.

Biasanya dalam suatu kontrak memuat perjanjian yang memberikan pembayaran tambahan untuk angkutan material jika melebihi jarak angkut tertentu (*free haul*). Bila pengangkutan melebihi batas *free haul* maka disebut sebagai *over haul*. Batasan untuk mencari jarak angkut ekonomis sama dengan batas dari *free haul* ditambah dengan hasil bagi yang didapat dari harga satuan untuk *borrow* lalu dibagi dengan harga satuan untuk *over haul*.

Dalam pelaksanaan pekerjaan pendistribusian tanah, biasanya dilakukan pengikisan lapisan tanah atas (*stripping*) terlebih dahulu untuk menghilangkan lapisan atas tanah yang memiliki sifat – sifat yang dapat merugikan kondisi jalan yang akan dibuat di atasnya. Pada umumnya dilihat dari potongan memanjang kontur asli pada sumbu jalan tidak sesuai dengan persyaratan geometris dari jalan yang direncanakan maka dilakukan *cut and fill*. Diusahakan agar tanah pada lokasi *cut* dapat diberikan pada lokasi *fill*. Untuk melaksanakan *cut and fill*, harus dilakukan pengetesan terhadap mutu, jenis, dan karakteristik tanah. Dari hasil pengetesan dapat diketahui tanah tersebut dapat digunakan atau tidak. Jika tanah pada lokasi *cut* tidak dapat diberikan pada lokasi *fill*, maka tanah tersebut harus dibuang ke tempat pembuangan tanah (*landfill*). Letak *landfill* sudah harus ditentukan terlebih dahulu berdasarkan pihak – pihak yang bersangkutan. Untuk pengisian tanah pada lokasi *fill* dapat menggunakan tanah yang berasal dari lokasi *cut* yang mempunyai sifat, jenis, dan karakteristik tanah yang sama maupun dapat menggunakan tanah yang berasal dari *borrow pit* yang sesuai persyaratan.

Menurut Rochmanhadi (1990) Terdapat beberapa cara untuk menyelesaikan analisis distribusi pemindahan tanah, antara lain:

1. Cara mencoba coba
Dalam suatu proyek yang tidak terlalu besar, jumlah volume *cut* dan *fill* relatif kecil sehingga cara mencoba coba merupakan cara yang efektif dan efisien untuk dilakukan dan ditambah juga faktor pengalaman dari perencanaan dapat memberikan hasil yang cukup memuaskan untuk melakukan distribusi pemindahan tanah.
2. Cara titik keseimbangan
Pada dasarnya titik – titik keseimbangan merupakan titik- titik pada garis keseimbangan yang ditarik secara horizontal pada potongan memanjang jalan atau pada diagram *mass haul*.

Alat – Alat Berat

Menurut Rochmanhadi (1992) alat berat merupakan mesin berukuran besar yang didesain untuk melaksanakan fungsi konstruksi seperti pengerjaan tanah (*earthworking*) dan memindahkan bahan bangunan. Alat berat umumnya terdiri atas lima komponen, yaitu implemen, alat traksi, struktur, sumber tenaga dan transmisinya (*power train*), serta sistem kendali. Sesuai dengan namanya, alat berat biasanya digunakan untuk membantu manusia mengerjakan pekerjaan yang berat seperti pembuatan danau, pembuatan jalan, dan sebagainya. Penggunaan alat berat yang kurang tepat dengan kondisi dan situasi lapangan pekerjaan akan berpengaruh berupa kerugian, antara lain rendahnya produksi, tidak tercapainya jadwal atau target yang telah ditentukan atau kerugian biaya perbaikan yang tidak semestinya.

Linear Programming

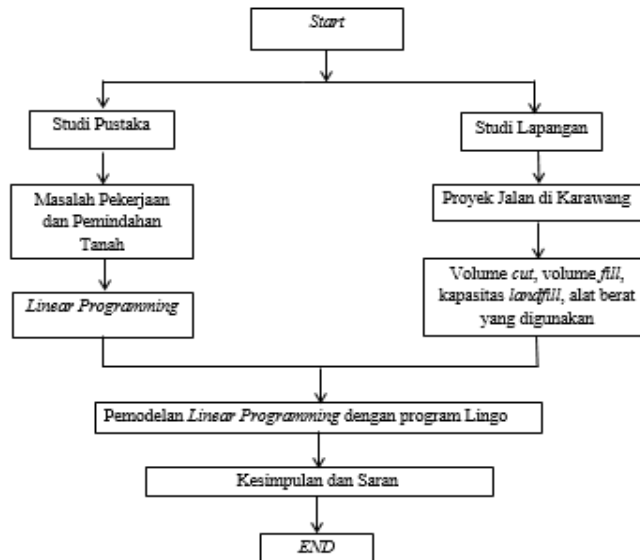
Chase, et al (2001) menyatakan program linear merupakan suatu metode pemecahan optimalisasi secara matematik melalui pengalokasian sumber daya yang terbatas diantara tipe penggunaan yang bersaing. Optimalisasi tersebut dapat berupa maksimalisasi kontribusi dan dapat pula merupakan minimalisasi biaya. Secara umum program linear dapat diartikan sebagai sebuah metode matematik yang diper-gunakan untuk pemecahan optimum sebuah fungsi tujuan linear melalui pengalokasian sumber daya yang terbatas yang dimiliki sebuah organisasi atau perusahaan.

Menurut Todd (2002) model *linear programming* merupakan bentuk atau susunan dalam menyajikan masalah - masalah yang akan dipecahkan dengan teknik *linear programming*. Dalam model *linear programming* dikenal variable keputusan (*decision variable*), fungsi tujuan (*objective function*), dan fungsi batasan (*constraint function*). Variabel keputusan adalah variable yang menguraikan secara lengkap keputusan – keputusan yang akan dibuat, dinyatakan dengan $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n$. Fungsi tujuan adalah fungsi yang menggambarkan tujuan / sasaran didalam permasalahan *linear programming* yang berkaitan dengan pengaturan secara optimal sumber daya, untuk memperoleh keuntungan maksimal atau biaya minimal. Pada umumnya nilai *objective function* yang akan dimaksimumkan atau diminimumkan dinyatakan dengan Z , sedangkan fungsi batasan merupakan bentuk penyajian secara matematis batasan kapasitas yang tersedia yang akan dialokasikan secara optimal keberbagai kegiatan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Kerangka Berpikir

Seluruh langkah kerja yang akan dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat melalui kerangka berpikir yang dapat dilihat melalui gambar 1.



Gambar 1 Kerangka Berpikir

Pengolahan Data

Setelah mengumpulkan data yang akan diolah dengan menggunakan metode *linear programming*, tahap – tahap yang harus dilakukan dalam pengolahan data dengan metode ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan penyesuaian mengenai data – data yang didapat dengan data yang diperlukan untuk analisis.
2. Menentukan variabel keputusan (*decision variable*) dan dinyatakan dalam bentuk simbol.
3. Menentukan fungsi tujuan (*objection function*) yang diinginkan (maksimalisasi atau minimalisasi) berdasarkan variabel keputusan.
4. Menentukan batasan masalah (*constraint*) yang terdapat dalam data dan menuliskan ke dalam bentuk persamaan atau pertidaksamaan berdasarkan *decision variable* yang ada.
5. Melakukan pengolahan data menggunakan metode *linear programming* dengan bantuan program Lingo.
6. Membandingkan hasil yang didapat dari optimasi menggunakan *linear programming* berdasarkan data aktual yang didapat dari perusahaan untuk menunjukkan perhitungan mana yang lebih baik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Biaya Operasional Alat Berat

Perhitungan biaya untuk alat berat yang dimiliki sendiri adalah sebagai berikut:

1. *Excavator*

Perhitungan biaya satuan *excavator* terdiri dari biaya pemilikan alat ditambah biaya operasi.

- a. Biaya pemilikan alat

Harga alat: Rp 685.000.000, -

Perkiraan umur alat: 4 tahun → 14400 jam

Biaya pemilikan / jam = $685000000 / 14400$ jam

= 47.569,4444 → 48.000

- b. Biaya operasi

Horse Power = 140

Harga bahan bakar solar = Rp 5150, -

Biaya operasi / jam bahan bakar

= $F \times 0.2 \text{ (solar)} \times h \times PK$

= $0.7 \times 0.2 \times 5150 \times 140$

= 100.940 → 101.000

Biaya operasi perbaikan = (faktor perbaikan x harga mesin) / umur alat = $(1.1 \times 685.000.000) / 14400$

= 52.326,3889 → 52.500

Maka total biaya = Rp 48.000, - + Rp 101.000, - + Rp 52.500, -

= Rp 201.500, - / jam
Produktivitas alat = $67.26 \text{ m}^3 / \text{jam}$
Jadi biaya satuan alat *excavator* = $201500 / 67.26$
= Rp 2995.8371 → Rp 3000, - / m^3

2. *Bulldozer*

Perhitungan biaya satuan *bulldozer* terdiri dari biaya pemilikan alat ditambah biaya operasi.

a. Biaya pemilikan alat

Harga alat: Rp 1.000.000.000, -
Perkiraan umur alat: 4 tahun → 14400 jam
Biaya pemilikan / jam = $1000000000 / 14400 \text{ jam}$
= 69.444,4444 → 70.000

b. Biaya operasi

Horse Power = 205
Harga bahan bakar solar = Rp 5150, -
Biaya operasi / jam bahan bakar
= $F \times 0.2 \text{ (solar)} \times h \times \text{PK}$
= $0.7 \times 0.2 \times 5150 \times 205$
= 147.805 → 148.000
Biaya operasi perbaikan = (faktor perbaikan x harga mesin) / umur alat = $(1.1 \times 1.000.000.000) / 14400$
= 76.388,8889 → 76.500
Maka total biaya = Rp 70.000, - + Rp 148.000, - + Rp 76.500, -
= Rp 294.500, - / jam
Produktivitas alat = $54.46 \text{ m}^3 / \text{jam}$
Jadi biaya satuan alat *bulldozer* = $294500 / 54.46$
= Rp 5407,6386 → Rp 5500, - / m^3

3. *Vibro Roller*

Perhitungan biaya satuan *vibro roller* terdiri dari biaya pemilikan alat ditambah biaya operasi.

a. Biaya pemilikan alat

Harga alat: Rp 350.000.000, -
Perkiraan umur alat: 2 tahun → 7200 jam
Biaya pemilikan / jam = $350000000 / 7200 \text{ jam}$
= 48611,1111 → 49.000

b. Biaya operasi

Horse Power = 110
Harga bahan bakar solar = Rp 5150, -
Biaya operasi / jam bahan bakar
= $F \times 0.2 \text{ (solar)} \times h \times \text{PK}$
= $0.7 \times 0.2 \times 5150 \times 110$
= 79.310 → 79.500
Biaya operasi perbaikan = (faktor perbaikan x harga mesin) / umur alat
= $(1.1 \times 350.000.000) / 7200$
= 53.472,2222 → 53.500
Maka total biaya = Rp 49.000, - + Rp 79.500, - + Rp 53.500, -
= Rp 182.000, - / jam
Produktivitas alat = $106.5 \text{ m}^3 / \text{jam}$
Jadi biaya satuan alat *vibro roller* = $182000 / 106.5$
= Rp 1708,9202 → Rp 1800, - / m^3

4. *Dump truck*

Perhitungan biaya satuan *dump truck* terdiri dari biaya pemilikan alat ditambah biaya operasi.

a. Biaya pemilikan alat

Harga alat: Rp 500.000.000, -
Perkiraan umur alat: 4 tahun → 14400 jam
Biaya pemilikan / jam = $500000000 / 14400 \text{ jam}$
= 34.722,2222 → 35.000

b. Biaya operasi

Horse Power = 245
Harga bahan bakar solar = Rp 5150, -
Biaya operasi / jam bahan bakar
= $F \times 0.2 \text{ (solar)} \times h \times \text{PK}$

$$\begin{aligned} &= 0.7 \times 0.2 \times 5150 \times 245 \\ &= 187.460 \rightarrow 187.500 \\ \text{Biaya operasi perbaikan} &= (\text{faktor perbaikan} \times \text{harga mesin}) / \text{umur alat} \\ &= (1.1 \times 500.000.000) / 14400 \\ &= 38.194,4444 \rightarrow 38500 \\ \text{Maka total biaya} &= \text{Rp } 35.000, - + \text{Rp } 187.500, - + \text{Rp } 38.500, - \\ &= \text{Rp } 261.000, - / \text{jam} \\ \text{Produktivitas alat} &= 39.4 \text{ m}^3 / \text{jam} / 3500 \text{ m} \\ \text{Jadi biaya satuan alat } \textit{dump truck} &= 261000 / 39.4 / 3000 \\ &= \text{Rp } 2,2081 \rightarrow \text{Rp } 2,5 / \text{m}^3 \end{aligned}$$

Perhitungan Biaya Satuan Pekerjaan Pendistribusian Tanah

Setelah menghitung biaya operasional alat berat, selanjutnya menghitung biaya satuan pekerjaan yang terdiri dari:

1. Biaya satuan dari pekerjaan *excavation* termasuk *loading*
Biaya satuan dari *excavator* + biaya satuan dari *bulldozer*
= Rp 3000, - + Rp 5500, -
= Rp 8500, - / m^3
2. Biaya satuan dari pekerjaan *hauling*
Biaya satuan dari *dump truck*
= Rp 2,5 / m^3 / m
3. Biaya satuan dari pekerjaan *embankment* termasuk *placement* dan *compaction*
Biaya satuan dari *excavator* + biaya satuan dari *vibro roller*
= Rp 3000, - + Rp 1800, -
= Rp 4800, - / m^3

Maka untuk menghitung biaya satuan pekerjaan pendistribusian tanah dari lokasi *cut* ke lokasi *fill*, dari lokasi *cut* ke lokasi *landfill*, dan dari lokasi *borrow pit* ke lokasi *fill* dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C(i, j) = Ue + Si (Uh * dij + Uc)$$

Keterangan:

- $C(i, j)$ = biaya pendistribusian tanah dari lokasi *i* ke lokasi *j*
 Ue = biaya satuan dari pekerjaan *excavation* termasuk *loading*
 Si = 1.3 (faktor *swell* tanah akibat pengangkutan)
 Uh = biaya satuan dari pekerjaan *hauling*
 dij = jarak pendistribusian tanah dari lokasi *i* ke lokasi *j*
 Uc = biaya satuan dari pekerjaan *embankment* termasuk *placement* dan *compaction*

Pemodelan *Linear Programming*

Pemodelan optimasi pendistribusian tanah dalam bentuk *linear programming* adalah sebagai berikut:

1. *Decision Variable*
Decision variable yang digunakan untuk pendistribusian tanah dari lokasi *cut* 9, 14, 16, 17, 22, 28, dan 32 ke lokasi *fill* (sebagai contoh pendistribusian dari lokasi *cut* 9):
 - a. $x(9,1)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 1 (m^3)
 - b. $x(9,2)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 2 (m^3)
 - c. $x(9,3)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 3 (m^3)
 - d. $x(9,4)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 4 (m^3)
 - e. $x(9,5)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 5 (m^3)
 - f. $x(9,6)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 6 (m^3)
 - g. $x(9,8)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 8 (m^3)
 - h. $x(9,11)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 11 (m^3)
 - i. $x(9,13)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 13 (m^3)
 - j. $x(9,15)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 15 (m^3)
 - k. $x(9,18)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 18 (m^3)
 - l. $x(9,20)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 20 (m^3)
 - m. $x(9,21)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 21 (m^3)
 - n. $x(9,23)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 23 (m^3)
 - o. $x(9,24)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 24 (m^3)
 - p. $x(9,26)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 26 (m^3)

- q. $x(9,27)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 27 (m^3)
- r. $x(9,29)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 29 (m^3)
- s. $x(9,30)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 30 (m^3)
- t. $x(9,31)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 31 (m^3)
- u. $x(9,33)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 33 (m^3)
- v. $x(9,34)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 34 (m^3)
- w. $xD(9,K1)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi K1 (m^3)
- x. $xD(9,K2)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi K2 (m^3)
- y. $xD(9,K3)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi K3 (m^3)

Decision variable yang digunakan untuk pendistribusian tanah dari lokasi *cut* 7, 10, 12, 19, dan 25 ke lokasi *landfill* (sebagai contoh pendistribusian dari lokasi *cut* 7):

- a. $xD(7,K1)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 7 ke lokasi K1 (m^3)
- b. $xD(7,K2)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 7 ke lokasi K2 (m^3)
- c. $xD(7,K3)$ = volume pendistribusian tanah dari lokasi 7 ke lokasi K3 (m^3)

Decision variable yang digunakan untuk pendistribusian tanah dari lokasi *borrow pit* ke lokasi *fill*

- a. $xB1$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 1 (m^3)
- b. $xB2$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 2 (m^3)
- c. $xB3$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 3 (m^3)
- d. $xB4$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 4 (m^3)
- e. $xB5$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 5 (m^3)
- f. $xB6$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 6 (m^3)
- g. $xB8$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 8 (m^3)
- h. $xB11$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 11 (m^3)
- i. $xB13$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 13 (m^3)
- j. $xB15$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 15 (m^3)
- k. $xB18$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 18 (m^3)
- l. $xB20$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 20 (m^3)
- m. $xB21$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 21 (m^3)
- n. $xB23$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 23 (m^3)
- o. $xB24$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 24 (m^3)
- p. $xB26$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 26 (m^3)
- q. $xB27$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 27 (m^3)
- r. $xB29$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 29 (m^3)
- s. $xB30$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 30 (m^3)
- t. $xB31$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 31 (m^3)
- u. $xB33$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 33 (m^3)
- v. $xB34$ = volume pendistribusian tanah dari borrow pit ke lokasi 34 (m^3)

2. Objective Function

Objective Function dari penelitian ini adalah untuk meminimalkan biaya pendistribusian tanah dengan memperhitungkan biaya satuan dari pekerjaan *excavation* termasuk *loading*, biaya satuan dari pekerjaan *hauling*, dan biaya satuan dari pekerjaan *embankment* termasuk *placement* dan *compaction*, serta memperhitungkan biaya pembelian tanah sebesar Rp 75.000, -.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z = & 20000 \cdot x(9,1) + 19500 \cdot x(9,2) + 18500 \cdot x(9,3) + 18000 \cdot x(9,4) + 17000 \cdot x(9,5) + \\ & 16500 \cdot x(9,6) + 15500 \cdot x(9,8) + 15500 \cdot x(9,11) + 16000 \cdot x(9,13) + 16500 \cdot x(9,15) + 18000 \cdot x(9,18) + \\ & 18500 \cdot x(9,20) + 19500 \cdot x(9,21) + 20000 \cdot x(9,23) + 20500 \cdot x(9,24) + 21500 \cdot x(9,26) + 22000 \cdot x(9,27) + \\ & 23000 \cdot x(9,29) + 24000 \cdot x(9,30) + 24500 \cdot x(9,31) + 25500 \cdot x(9,33) + 26000 \cdot x(9,34) + 18000 \cdot x(9,K1) + \\ & 17000 \cdot x(9,K2) + 22000 \cdot x(9,K3) + 21000 \cdot x(14,1) + 20500 \cdot x(14,2) + 19500 \cdot x(14,3) + 19000 \cdot x(14,4) + \\ & 18500 \cdot x(14,5) + 18000 \cdot x(14,6) + 16500 \cdot x(14,8) + 15500 \cdot x(14,11) + 15000 \cdot x(14,13) + 15000 \cdot x(14,15) + \\ & 16500 \cdot x(14,18) + 17500 \cdot x(14,20) + 18000 \cdot x(14,21) + 19000 \cdot x(14,23) + 19500 \cdot x(14,24) + \\ & 20500 \cdot x(14,26) + 21000 \cdot x(14,27) + 22000 \cdot x(14,29) + 22500 \cdot x(14,30) + 23000 \cdot x(14,31) + \\ & 24500 \cdot x(14,33) + 25000 \cdot x(14,34) + 19500 \cdot x(14,K1) + 15500 \cdot x(14,K2) + 21000 \cdot x(14,K3) + \\ & 21500 \cdot x(16,1) + 21000 \cdot x(16,2) + 20000 \cdot x(16,3) + 19500 \cdot x(16,4) + 19000 \cdot x(16,5) + 18500 \cdot x(16,6) + \\ & 17000 \cdot x(16,8) + 16000 \cdot x(16,11) + 15500 \cdot x(16,13) + 15500 \cdot x(16,15) + 16000 \cdot x(16,18) + 17000 \cdot x(16,20) + \\ & 17500 \cdot x(16,21) + 18500 \cdot x(16,23) + 19000 \cdot x(16,24) + 20000 \cdot x(16,26) + 20500 \cdot x(16,27) + \\ & 21500 \cdot x(16,29) + 22000 \cdot x(16,30) + 22500 \cdot x(16,31) + 24000 \cdot x(16,33) + 24500 \cdot x(16,34) + \\ & 20000 \cdot x(16,K1) + 16000 \cdot x(16,K2) + 20500 \cdot x(16,K3) + 22000 \cdot x(17,1) + 21500 \cdot x(17,2) + \\ & 21000 \cdot x(17,3) + 20000 \cdot x(17,4) + 19500 \cdot x(17,5) + 19000 \cdot x(17,6) + 18000 \cdot x(17,8) + 16500 \cdot x(17,11) + \\ & 16500 \cdot x(17,13) + 16000 \cdot x(17,15) + 15500 \cdot x(17,18) + 15500 \cdot x(17,20) + 17000 \cdot x(17,21) + \\ & 18000 \cdot x(17,23) + 18000 \cdot x(17,24) + 19500 \cdot x(17,26) + 19500 \cdot x(17,27) + 20500 \cdot x(17,29) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &21500 \cdot x(17,30) + 22000 \cdot x(17,31) + 23000 \cdot x(17,33) + 23500 \cdot x(17,34) + 20500 \cdot x(17,K1) + \\
 &16500 \cdot x(17,K2) + 19500 \cdot x(17,K3) + 24500 \cdot x(22,1) + 24000 \cdot x(22,2) + 23500 \cdot x(22,3) + 22500 \cdot x(22,4) + \\
 &22000 \cdot x(22,5) + 21500 \cdot x(22,6) + 20500 \cdot x(22,8) + 19500 \cdot x(22,11) + 19000 \cdot x(22,13) + 18500 \cdot x(22,15) + \\
 &17000 \cdot x(22,18) + 16000 \cdot x(22,20) + 15500 \cdot x(22,21) + 15500 \cdot x(22,23) + 16000 \cdot x(22,24) + \\
 &17000 \cdot x(22,26) + 17500 \cdot x(22,27) + 18000 \cdot x(22,29) + 19000 \cdot x(22,30) + 19500 \cdot x(22,31) + \\
 &21000 \cdot x(22,33) + 21500 \cdot x(22,34) + 23000 \cdot x(22,K1) + 19000 \cdot x(22,K2) + 17000 \cdot x(22,K3) + \\
 &27500 \cdot x(28,1) + 26500 \cdot x(28,2) + 26000 \cdot x(28,3) + 25500 \cdot x(28,4) + 24500 \cdot x(28,5) + 24000 \cdot x(28,6) + \\
 &23000 \cdot x(28,8) + 22000 \cdot x(28,11) + 21500 \cdot x(28,13) + 21000 \cdot x(28,15) + 19500 \cdot x(28,18) + 19000 \cdot x(28,20) + \\
 &18000 \cdot x(28,21) + 17500 \cdot x(28,23) + 17000 \cdot x(28,24) + 16000 \cdot x(28,26) + 15500 \cdot x(28,27) + \\
 &16000 \cdot x(28,29) + 16500 \cdot x(28,30) + 17000 \cdot x(28,31) + 18500 \cdot x(28,33) + 19000 \cdot x(28,34) + \\
 &25500 \cdot x(28,K1) + 21500 \cdot x(28,K2) + 16500 \cdot x(28,K3) + 29500 \cdot x(32,1) + 28500 \cdot x(32,2) + \\
 &28000 \cdot x(32,3) + 27500 \cdot x(32,4) + 26500 \cdot x(32,5) + 26000 \cdot x(32,6) + 25000 \cdot x(32,8) + 24000 \cdot x(32,11) + \\
 &23500 \cdot x(32,13) + 23000 \cdot x(32,15) + 21500 \cdot x(32,18) + 21000 \cdot x(32,20) + 20000 \cdot x(32,21) + \\
 &19500 \cdot x(32,23) + 19000 \cdot x(32,24) + 18000 \cdot x(32,26) + 17500 \cdot x(32,27) + 17000 \cdot x(32,29) + \\
 &16000 \cdot x(32,30) + 15500 \cdot x(32,31) + 16000 \cdot x(32,33) + 16000 \cdot x(32,34) + 28000 \cdot x(32,K1) + \\
 &24000 \cdot x(32,K2) + 18500 \cdot x(32,K3) + 17000 \cdot xD7K1 + 18000 \cdot xD7K2 + 23000 \cdot xD7K3 + 18500 \cdot xD10K1 + \\
 &16500 \cdot xD10K2 + 21500 \cdot xD10K3 + 19000 \cdot xD12K1 + 16000 \cdot xD12K2 + 21500 \cdot xD12K3 + \\
 &21500 \cdot xD19K1 + 17500 \cdot xD19K2 + 19000 \cdot xD19K3 + 24000 \cdot xD25K1 + 20000 \cdot xD25K2 + 16000 \cdot xD25K3 + \\
 &75000 \cdot xB1 + 75000 \cdot xB2 + 75000 \cdot xB3 + 75000 \cdot xB4 + 75000 \cdot xB5 + 75000 \cdot xB6 + 75000 \cdot xB8 + \\
 &75000 \cdot xB11 + 75000 \cdot xB13 + 75000 \cdot xB15 + 75000 \cdot xB18 + 75000 \cdot xB20 + 75000 \cdot xB21 + \\
 &75000 \cdot xB23 + 75000 \cdot xB24 + 75000 \cdot xB26 + 75000 \cdot xB27 + 75000 \cdot xB29 + 75000 \cdot xB30 + \\
 &75000 \cdot xB31 + 75000 \cdot xB33 + 75000 \cdot xB34
 \end{aligned}$$

3. Constraint

Constraint yang dibutuhkan agar *linear programming* mendapatkan hasil yang direncanakan adalah sebagai berikut:

Constraint untuk cut

- $x(9,1) + x(9,2) + x(9,3) + x(9,4) + x(9,5) + x(9,6) + x(9,8) + x(9,11) + x(9,13) + x(9,15) + x(9,18) + x(9,20) + x(9,21) + x(9,23) + x(9,24) + x(9,26) + x(9,27) + x(9,29) + x(9,30) + x(9,31) + x(9,33) + x(9,34) + x(9,K1) + x(9,K2) + x(9,K3) = 411.50;$
- $x(14,1) + x(14,2) + x(14,3) + x(14,4) + x(14,5) + x(14,6) + x(14,8) + x(14,11) + x(14,13) + x(14,15) + x(14,18) + x(14,20) + x(14,21) + x(14,23) + x(14,24) + x(14,26) + x(14,27) + x(14,29) + x(14,30) + x(14,31) + x(14,33) + x(14,34) + x(14,K1) + x(14,K2) + x(14,K3) = 40.50;$
- $x(16,1) + x(16,2) + x(16,3) + x(16,4) + x(16,5) + x(16,6) + x(16,8) + x(16,11) + x(16,13) + x(16,15) + x(16,18) + x(16,20) + x(16,21) + x(16,23) + x(16,24) + x(16,26) + x(16,27) + x(16,29) + x(16,30) + x(16,31) + x(16,33) + x(16,34) + x(16,K1) + x(16,K2) + x(16,K3) = 324.50;$
- $x(17,1) + x(17,2) + x(17,3) + x(17,4) + x(17,5) + x(17,6) + x(17,8) + x(17,11) + x(17,13) + x(17,15) + x(17,18) + x(17,20) + x(17,21) + x(17,23) + x(17,24) + x(17,26) + x(17,27) + x(17,29) + x(17,30) + x(17,31) + x(17,33) + x(17,34) + x(17,K1) + x(17,K2) + x(17,K3) = 1746.75;$
- $x(22,1) + x(22,2) + x(22,3) + x(22,4) + x(22,5) + x(22,6) + x(22,8) + x(22,11) + x(22,13) + x(22,15) + x(22,18) + x(22,20) + x(22,21) + x(22,23) + x(22,24) + x(22,26) + x(22,27) + x(22,29) + x(22,30) + x(22,31) + x(22,33) + x(22,34) + x(22,K1) + x(22,K2) + x(22,K3) = 216.50;$
- $x(28,1) + x(28,2) + x(28,3) + x(28,4) + x(28,5) + x(28,6) + x(28,8) + x(28,11) + x(28,13) + x(28,15) + x(28,18) + x(28,20) + x(28,21) + x(28,23) + x(28,24) + x(28,26) + x(28,27) + x(28,29) + x(28,30) + x(28,31) + x(28,33) + x(28,34) + x(28,K1) + x(28,K2) + x(28,K3) = 845;$
- $x(32,1) + x(32,2) + x(32,3) + x(32,4) + x(32,5) + x(32,6) + x(32,8) + x(32,11) + x(32,13) + x(32,15) + x(32,18) + x(32,20) + x(32,21) + x(32,23) + x(32,24) + x(32,26) + x(32,27) + x(32,29) + x(32,30) + x(32,31) + x(32,33) + x(32,34) + x(32,K1) + x(32,K2) + x(32,K3) = 2250;$

Constraint untuk fill

- $0.8 \cdot x(9,1) + 0.8 \cdot x(14,1) + 0.8 \cdot x(16,1) + 0.8 \cdot x(17,1) + 0.8 \cdot x(22,1) + 0.8 \cdot x(28,1) + 0.8 \cdot x(32,1) + 0.9 \cdot xB1 = 527.25;$
- $0.8 \cdot x(9,2) + 0.8 \cdot x(14,2) + 0.8 \cdot x(16,2) + 0.8 \cdot x(17,2) + 0.8 \cdot x(22,2) + 0.8 \cdot x(28,2) + 0.8 \cdot x(32,2) + 0.9 \cdot xB2 = 492.75;$
- $0.8 \cdot x(9,3) + 0.8 \cdot x(14,3) + 0.8 \cdot x(16,3) + 0.8 \cdot x(17,3) + 0.8 \cdot x(22,3) + 0.8 \cdot x(28,3) + 0.8 \cdot x(32,3) + 0.9 \cdot xB3 = 326.25;$
- $0.8 \cdot x(9,4) + 0.8 \cdot x(14,4) + 0.8 \cdot x(16,4) + 0.8 \cdot x(17,4) + 0.8 \cdot x(22,4) + 0.8 \cdot x(28,4) + 0.8 \cdot x(32,4) + 0.9 \cdot xB4 = 559.75;$
- $0.8 \cdot x(9,5) + 0.8 \cdot x(14,5) + 0.8 \cdot x(16,5) + 0.8 \cdot x(17,5) + 0.8 \cdot x(22,5) + 0.8 \cdot x(28,5) + 0.8 \cdot x(32,5) + 0.9 \cdot xB5 = 475.25;$

- f. $0.8 \times (9,6) + 0.8 \times (14,6) + 0.8 \times (16,6) + 0.8 \times (17,6) + 0.8 \times (22,6) + 0.8 \times (28,6) + 0.8 \times (32,6) + 0.9 \times B6 = 135;$
- g. $0.8 \times (9,8) + 0.8 \times (14,8) + 0.8 \times (16,8) + 0.8 \times (17,8) + 0.8 \times (22,8) + 0.8 \times (28,8) + 0.8 \times (32,8) + 0.9 \times B8 = 28.75;$
- h. $0.8 \times (9,11) + 0.8 \times (14,11) + 0.8 \times (16,11) + 0.8 \times (17,11) + 0.8 \times (22,11) + 0.8 \times (28,11) + 0.8 \times (32,11) + 0.9 \times B11 = 114.50;$
- i. $0.8 \times (9,13) + 0.8 \times (14,13) + 0.8 \times (16,13) + 0.8 \times (17,13) + 0.8 \times (22,13) + 0.8 \times (28,13) + 0.8 \times (32,13) + 0.9 \times B13 = 188.75;$
- j. $0.8 \times (9,15) + 0.8 \times (14,15) + 0.8 \times (16,15) + 0.8 \times (17,15) + 0.8 \times (22,15) + 0.8 \times (28,15) + 0.8 \times (32,15) + 0.9 \times B15 = 260;$
- k. $0.8 \times (9,18) + 0.8 \times (14,18) + 0.8 \times (16,18) + 0.8 \times (17,18) + 0.8 \times (22,18) + 0.8 \times (28,18) + 0.8 \times (32,18) + 0.9 \times B18 = 414.25;$
- l. $0.8 \times (9,20) + 0.8 \times (14,20) + 0.8 \times (16,20) + 0.8 \times (17,20) + 0.8 \times (22,20) + 0.8 \times (28,20) + 0.8 \times (32,20) + 0.9 \times B20 = 726.75;$
- m. $0.8 \times (9,21) + 0.8 \times (14,21) + 0.8 \times (16,21) + 0.8 \times (17,21) + 0.8 \times (22,21) + 0.8 \times (28,21) + 0.8 \times (32,21) + 0.9 \times B21 = 333;$
- n. $0.8 \times (9,23) + 0.8 \times (14,23) + 0.8 \times (16,23) + 0.8 \times (17,23) + 0.8 \times (22,23) + 0.8 \times (28,23) + 0.8 \times (32,23) + 0.9 \times B23 = 144;$
- o. $0.8 \times (9,24) + 0.8 \times (14,24) + 0.8 \times (16,24) + 0.8 \times (17,24) + 0.8 \times (22,24) + 0.8 \times (28,24) + 0.8 \times (32,24) + 0.9 \times B24 = 328.50;$
- p. $0.8 \times (9,26) + 0.8 \times (14,26) + 0.8 \times (16,26) + 0.8 \times (17,26) + 0.8 \times (22,26) + 0.8 \times (28,26) + 0.8 \times (32,26) + 0.9 \times B26 = 363.75;$
- q. $0.8 \times (9,27) + 0.8 \times (14,27) + 0.8 \times (16,27) + 0.8 \times (17,27) + 0.8 \times (22,27) + 0.8 \times (28,27) + 0.8 \times (32,27) + 0.9 \times B27 = 150.75;$
- r. $0.8 \times (9,29) + 0.8 \times (14,29) + 0.8 \times (16,29) + 0.8 \times (17,29) + 0.8 \times (22,29) + 0.8 \times (28,29) + 0.8 \times (32,29) + 0.9 \times B29 = 663.50;$
- s. $0.8 \times (9,30) + 0.8 \times (14,30) + 0.8 \times (16,30) + 0.8 \times (17,30) + 0.8 \times (22,30) + 0.8 \times (28,30) + 0.8 \times (32,30) + 0.9 \times B30 = 506.25;$
- t. $0.8 \times (9,31) + 0.8 \times (14,31) + 0.8 \times (16,31) + 0.8 \times (17,31) + 0.8 \times (22,31) + 0.8 \times (28,31) + 0.8 \times (32,31) + 0.9 \times B31 = 149.25;$
- u. $0.8 \times (9,33) + 0.8 \times (14,33) + 0.8 \times (16,33) + 0.8 \times (17,33) + 0.8 \times (22,33) + 0.8 \times (28,33) + 0.8 \times (32,33) + 0.9 \times B33 = 626.50;$
- v. $0.8 \times (9,34) + 0.8 \times (14,34) + 0.8 \times (16,34) + 0.8 \times (17,34) + 0.8 \times (22,34) + 0.8 \times (28,34) + 0.8 \times (32,34) + 0.9 \times B34 = 459.50;$
- Constraint untuk landfill*
- a. $x_{D7K1} + x_{D7K2} + x_{D7K3} = 965.25;$
- b. $x_{D10K1} + x_{D10K2} + x_{D10K3} = 45.50;$
- c. $x_{D12K1} + x_{D12K2} + x_{D12K3} = 34.50;$
- d. $x_{D19K1} + x_{D19K2} + x_{D19K3} = 1538;$
- e. $x_{D25K1} + x_{D25K2} + x_{D25K3} = 712.50;$

Hasil Nilai Optimasi

Berdasarkan hasil pengolahan data dengan menggunakan Lingo, maka didapatkan hasil optimasi pendistribusian tanah pada proyek X dengan biaya pendistribusian tanah sebesar Rp 423.965.100, -. Hasil nilai optimasi yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 5 adalah $63,6875 \text{ m}^3$
2. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 6 adalah $168,750 \text{ m}^3$
3. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 8 adalah $35,9375 \text{ m}^3$
4. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 9 ke lokasi 11 adalah $143,125 \text{ m}^3$
5. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 14 ke lokasi 13 adalah $40,50 \text{ m}^3$
6. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 16 ke lokasi 13 adalah $195,4375 \text{ m}^3$
7. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 16 ke lokasi 15 adalah $129,0625 \text{ m}^3$
8. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 17 ke lokasi 15 adalah $195,9375 \text{ m}^3$
9. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 17 ke lokasi 18 adalah $517,8125 \text{ m}^3$
10. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 17 ke lokasi 20 adalah $908,4375 \text{ m}^3$
11. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 17 ke lokasi 21 adalah $124,5625 \text{ m}^3$
12. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 22 ke lokasi 21 adalah $36,50 \text{ m}^3$
13. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 22 ke lokasi 23 adalah 180 m^3

14. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 28 ke lokasi 27 adalah 188,4375 m³
15. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 28 ke lokasi 29 adalah 656,5625 m³
16. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 32 ke lokasi 29 adalah 73,1250 m³
17. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 32 ke lokasi 30 adalah 632,8125 m³
18. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 32 ke lokasi 31 adalah 186,5625 m³
19. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 32 ke lokasi 33 adalah 783,1250 m³
20. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 32 ke lokasi 34 adalah 574,3750 m³
21. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 7 ke lokasi K1 adalah 965,250 m³
22. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 10 ke lokasi K2 adalah 45,50 m³
23. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 12 ke lokasi K2 adalah 34,50 m³
24. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 19 ke lokasi K2 adalah 1538 m³
25. Volume pendistribusian tanah dari lokasi 25 ke lokasi K3 adalah 712,50 m³
26. Volume pendistribusian tanah dari lokasi *borrow pit* ke lokasi 1 adalah 585,8333 m³
27. Volume pendistribusian tanah dari lokasi *borrow pit* ke lokasi 2 adalah 547,500 m³
28. Volume pendistribusian tanah dari lokasi *borrow pit* ke lokasi 3 adalah 362,500 m³
29. Volume pendistribusian tanah dari lokasi *borrow pit* ke lokasi 4 adalah 621,9444 m³
30. Volume pendistribusian tanah dari lokasi *borrow pit* ke lokasi 5 adalah 471,4444 m³
31. Volume pendistribusian tanah dari lokasi *borrow pit* ke lokasi 21 adalah 226,8333 m³
32. Volume pendistribusian tanah dari lokasi *borrow pit* ke lokasi 24 adalah 365,00 m³
33. Volume pendistribusian tanah dari lokasi *borrow pit* ke lokasi 26 adalah 404,1667 m³
34. Volume pendistribusian tanah dari lokasi *borrow pit* ke lokasi 29 adalah 88,6111 m³

Keterangan: variable yang tidak ada berarti bernilai 0

5. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Hasil biaya pendistribusian tanah yang didapat setelah dilakukan optimasi dengan menggunakan *linear programming* adalah sebesar Rp 423.965.100, - dengan pendistribusian tanah sebagai berikut:
 - a. Dari lokasi 9 ke lokasi 5, 6, 8, dan 11
 - b. Dari lokasi 14 ke 13
 - c. Dari lokasi 16 ke 13 dan 15
 - d. Dari lokasi 17 ke 15, 18, 20, dan 21
 - e. Dari lokasi 22 ke 21 dan 23
 - f. Dari lokasi 28 ke 27 dan 29
 - g. Dari lokasi 32 ke 29, 30, 31, 33, dan 34
 - h. Dari lokasi 7 ke K1, 10 ke K2, 12 ke K2, 19 ke K2, dan 25 ke K3
 - i. Dari *borrow pit* ke lokasi 1, 2, 3, 4, 5, 21, 24, 26, dan 29
2. Pada hasil optimasi volume pendistribusian tanah, dapat dilihat bahwa untuk menghasilkan biaya pendistribusian tanah yang minimum maka tanah pada lokasi *cut* didistribusikan ke lokasi *fill* yang dekat. Sedangkan untuk lokasi *fill* yang letaknya jauh terhadap lokasi *cut* menerima tanah dari *borrow pit*. Jika tanah pada lokasi *cut* tersebut tidak didistribusi ke lokasi *fill* yang dekat tetapi ke lokasi *fill* yang jauh, tanah pada lokasi *fill* yang dekat akan menerima tanah dari *borrow pit* maka biaya pendistribusian tanah akan menjadi lebih mahal.
3. Pada hasil optimasi volume pendistribusian tanah, ada beberapa *decision variabel* yang bernilai 0. Hal ini disebabkan karena tanah pada lokasi *cut* yang akan didistribusikan ke lokasi *fill* tersebut sudah habis terdistribusi ke lokasi *fill* yang lain. Tanah pada lokasi *fill* tersebut nantinya akan menerima tanah dari lokasi *cut* yang lain atau menerima tanah dari *borrow pit*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, E.J. 1989. Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Erlangga. Jakarta.
- Chase, R.B. Aquilano, N.J. and Jacobs, F.R. 2001. *Operations Management for Competitive Advantage*. McGraw-Hill Irwin. New York.
- Das, Braja M. 1995. Mekanika Tanah 1. Erlangga. Jakarta.
- Mayer, R.H and Stark, R.M. 1981. *Earthmoving Logistics*. *Journal of the Construction Division*, Vol. 107, Issue 2.
- Rochmanhadi. 1990. Pengantar dan Dasar – Dasar Pemindahan Tanah Mekanis. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Rochmanhadi. 1992. Alat - Alat Berat dan Penggunaannya. Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Todd, M.J. 2002. *The Many Facets of Linear Programming*. *Journal of Mathematical Programming*, Vol. 91. Cornell University. New York.