

MODEL TRANSPORTASI UNTUK MASALAH PENDISTRIBUSIAN AIR MINUM (STUDI KASUS PDAM SURAKARTA)

Aridhanyati Arifin

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

aridhanyati@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan air bersih di kota Surakarta terus meningkat seiring dengan penambahan jumlah pelanggan PDAM Surakarta. Sementara itu permasalahan yang dihadapi adalah produktivitas air yang menurun serta minimnya dana untuk pemeliharaan sarana/prasarana dan operasional air. Diperlukan pemodelan yang tepat untuk masalah distribusi air di PDAM Surakarta yakni dengan model transportasi dan teknik-teknik penyelesaian transportasi, sehingga antara ketersediaan air dan kebutuhan air masyarakat konsumen dapat berjalan simultan ditengah keterbatasan-keterbatasan yang ada. Bertujuan untuk meminimumkan biaya operasional. Metode pemecahan yang digunakan adalah metode VAM (Vogel Approximation Method.) Diperoleh hasil yakni total biaya operasional yang minimum sebesar Rp 8.128.038, lebih kecil dari dana yang dianggarkan institusi dan semua daerah pelayanan mendapatkan pasokan air sesuai kebutuhan.

Kata Kunci: distribusi air minum, model transportasi, *Vogel Approximation Method (VAM)*.

Abstract

The requirement of drinking water in Surakarta city being increased as total of PDAM customer's increasing. Meanwhile the problems which is founded are water productivity decreased, limited cost budget for maintenance of infrastructures and water operational. The approximation modeling is needed for water distribution problem by model transportation model and transportation techniques solution, so that between water supply and customer's water demand working simultaneously among several constraints. The objective of research is minimizing operational cost. Using VAM (Vogel Approximation Method) as solution method. Obtained by calculation, the minimum of operational cost is Rp 8.128.038 per day. It is lower than institution's budget cost. All service area have water supply as they need.

Keywords: drinking water distribution, transportation model, *Vogel Approximation Method (VAM)*.

1. Pendahuluan

Air merupakan elemen penting dalam kehidupan. Manusia menggunakannya untuk minum, mandi, mencuci dan tujuan-tujuan lainnya. Distribusi air berkaitan dengan ketersediaan air dan produksinya (*supply*) serta permintaan air (*demand*) oleh masyarakat konsumen. Penyediaan air bersih dilaksanakan baik secara mandiri oleh masyarakat, maupun oleh swasta dan

negara. Pemerintah memberikan kewenangan kepada Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) sebagai Badan Usaha Milik Negara (BUMN) untuk mengelola pelayanan air bersih ke masyarakat melalui UU No. 5 tahun 1962 sebagai kesatuan usaha milik pemerintah daerah yang memberikan jasa pelayanan dan penyelenggaraan kemanfaatan umum di bidang air minum (Anonim, 2014).

Indriyani, dkk. (2004) memaparkan bahwa pengembangan wilayah merupakan salah satu permasalahan yang sering dihadapi oleh PDAM. Hal ini diakibatkan oleh penambahan jumlah penduduk yang sangat pesat di daerah perkotaan, sedangkan jumlah air relatif terbatas untuk dapat melayani akan kebutuhan air bersih.

Demikian pula halnya dengan kebutuhan air bersih kota Surakarta yang terus meningkat seiring dengan penambahan jumlah pelanggan PDAM Surakarta. Sementara itu, masalah yang dihadapi PDAM Surakarta adalah produksi sumur dalam yang menurun, degradasi lingkungan, perubahan tata kota yang mengurangi debit air, *reservoir* yang usianya sangat tua serta minimnya dana untuk peremajaan sarana/prasarana dan operasional air, adapun relokasi lahan dan pemukiman penduduk, sulit dilakukan.

Diperlukan pemodelan yang tepat untuk masalah distribusi air di PDAM Surakarta sehingga antara ketersediaan air dan kebutuhan air masyarakat konsumen dapat berjalan simultan ditengah keterbatasan-keterbatasan yang ada. Qomariyah dalam Suprayogi dkk. (2010) menyampaikan bahwa salah satu model analisis sistem dapat digunakan untuk menganalisis suatu sistem, dengan cara menguraikan masalah ke dalam bentuk persamaan matematik yang terdiri dari fungsi sasaran/tujuan (*objective function*) yaitu tujuan sistem yang ingin dicapai, parameter penentu (*decision variable*) yang merupakan variabel yang mempengaruhi dalam mencapai tujuan dari sistem tersebut, serta kendala atau batasan (*constraint*) yang merupakan faktor pembatas dari sistem yang dimodelkan. Kasus pendistribusian air minum ini dapat dimodelkan dengan model transportasi serta dapat diselesaikan dengan teknik penyelesaian persoalan transportasi. Salah satu model dalam model optimisasi adalah model transportasi. Model transportasi merupakan model matematika dan merupakan tipe khusus dari program linier (Ginting, 2012).

Oleh karena itu, pada penelitian ini, masalah pendistribusian air minum di PDAM Surakarta akan dimodelkan dengan model transportasi yang bertujuan untuk meminimumkan biaya operasional air. Adapun metode pemecahan yang digunakan adalah metode VAM (*Vogel Approximation Method*).

2. Metodologi

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di PDAM Kota Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia, yang berlangsung pada periode tahun 2008/2009. PDAM merupakan perusahaan daerah milik pemerintah kota Surakarta berdasarkan Peraturan Daerah Kota Surakarta Nomor 1 tahun 2004.

Pada kasus di PDAM Surakarta, air yang diproduksi di unit pengolahan air langsung didistribusikan ke daerah pelayanan. Terdapat 4 unit pengolahan air yakni Sumur Dalam Utara, Sumur Dalam Selatan, Instalasi Pengolahan Air (IPA) Jurug dan Kolam Air Kartosuro. Daerah pelayanan PDAM Surakarta adalah 5 (lima) kecamatan yang berada di bawah administrasi kota Surakarta yakni Banjarsari, Jebres, Pasar Kliwon, Serengan, dan Laweyan serta daerah luar kota. Sehingga terdapat 6 (enam) tujuan pendistribusian air minum.

2.2 Data Penelitian

Data yang dijadikan acuan dalam penelitian ini diolah dari penelitian Arifin (2011) yang meliputi:

- a. Data biaya operasional per unit

Biaya operasional dihitung dari biaya pegawai, biaya pengolahan air dan biaya energi. Data biaya operasional ditampilkan oleh Tabel 1.

Tabel 1 Biaya operasional per unit (Rp/hari)

| Sumber Pengelolaan Air | Biaya Operasional (Rp/hari) | | | | | |
|------------------------|-----------------------------|--------|---------|-----------|----------|-----------|
| | Banjarsari | Jebres | Laweyan | P. Kliwon | Serengan | Luar Kota |
| Kolam Kartosuro | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 |
| Sumur Utara | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 |
| Sumur Selatan | 403 | 403 | 403 | 403 | 403 | 403 |
| IPA Jurug | 887 | 887 | 887 | 887 | 887 | 887 |

- b. Data ketersediaan air

Data ketersediaan air menunjukkan jumlah air yang tersedia per hari dalam satuan m^3 di masing-masing unit pengolahan air (Tabel 2).

Tabel 2 Jumlah pasokan air di tiap unit pengolahan air (m^3 /hari)

| Kolam Kartosuro | Sumur Utara | Sumur Selatan | IPA Jurug |
|-----------------|-------------|---------------|-----------|
| 33.437 | 14.663 | 12.751 | 5.787 |

- c. Data kebutuhan air

Data kebutuhan air menunjukkan jumlah air yang dibutuhkan tiap daerah pelayanan PDAM Surakarta per hari dalam satuan m^3 (Tabel 3).

Tabel 3 Jumlah kebutuhan air di tiap kecamatan (m³/hari)

| Banjarsari | Jebres | Laweyan | P. Kliwon | Serengan | Luar Kota |
|------------|--------|---------|-----------|----------|-----------|
| 10.515 | 13.397 | 4.849 | 5.574 | 2.349 | 5.262 |

d. Data anggaran dana institusi

Anggaran dana institusi yang tersedia sebesar Rp 7.495.711.000 per tahun atau Rp 20.536.194,52 per hari.

2.3 Metode Transportasi

Masalah pendistribusian air dipresentasikan melalui model transportasi. Taha (2002) menjelaskan bahwa model transportasi membahas persoalan pendistribusian suatu komoditas dari sejumlah sumber kepada sejumlah tujuan dengan tujuan meminimalkan ongkos transportasi. Parameter-parameter yang dipakai dalam model transportasi adalah: ongkos transportasi per unit komoditas dari setiap sumber ke tiap tujuan; nilai permintaan di setiap tujuan dan nilai ketersediaan komoditas di setiap sumber.

Representasi masalah transportasi dalam standar model matematik program linier seperti pada persamaan (1).

$$\text{Minimumkan } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan batasan yang mengikuti bentuk *standard* pada persamaan (2).

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &\leq a_i, i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &\geq b_j, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana Z adalah total ongkos transportasi. Variabel x_{ij} merupakan jumlah komoditas yang didistribusikan dari sumber i ke tujuan j . Sebagai parameter model adalah a_i , b_j dan c_{ij} . Parameter a_i adalah jumlah pasokan dari sumber ke- i , sedangkan b_j menunjukkan besarnya kebutuhan/permintaan dari tujuan ke- j . Parameter c_{ij} berupa ongkos transportasi per unit dari sumber ke- i ke tujuan ke- j .

Jika masalah transportasi tersebut dalam kondisi tidak seimbang, dimana jumlah pasokan lebih sedikit dari jumlah kebutuhan atau sebaliknya, dapat dibuat seimbang dengan cara memasukkan variabel fiktif (*dummy*). Jika jumlah *demand* lebih besar dari jumlah *supply* maka dibuatlah sumber *dummy*, namun bila sebaliknya maka dibuatlah tujuan *dummy*. Diasumsikan adanya biaya transportasi per unit dari sumber *dummy* ke seluruh tujuan adalah nol, demikian

pula dengan biaya transportasi per unit dari semua sumber ke tujuan *dummy* adalah nol. Karena pada kenyataannya tidak pernah terjadi pengiriman dari sumber *dummy* atau menuju tujuan *dummy*.

2.4 Metode Vogel (VAM)

Metode VAM memberikan pemecahan awal yang lebih baik dibandingkan dengan dua metode lainnya (*Northwest Corner* dan *Least Cost*), umumnya menghasilkan pemecahan awal yang optimum. Prinsip VAM didasarkan pada konsep biaya penalti. Biaya penalti didefinisikan sebagai selisih antara biaya transportasi terkecil pertama dan biaya terkecil berikutnya pada sel di baris/kolom.

Metode VAM memiliki langkah-langkah sebagai berikut (Dimiyati, 1999):

1. Evaluasi penalti biaya operasi dari setiap baris dan kolom dengan mengurangi elemen biaya terkecil dalam baris/kolom dari elemen biaya terkecil berikutnya dalam baris/kolom yang sama.
2. Cari sel baris/kolom dengan biaya operasi terendah lalu alokasikan besaran nilai yang akan dikirimkan sebanyak mungkin pada sel tersebut, sesuaikan nilai *supply/demand*.
3. Tandai baris/kolom dengan *supply* yang habis atau nilai *demand* yang telah terpenuhi.
 - a. Jika terdapat 1 buah baris/kolom yang terpenuhi, tandai baris/kolom tersebut lalu kembali ke langkah 1.
 - b. Jika ada 2 buah baris/kolom yang terpenuhi secara simultan, pilih salah satu untuk ditandai, sehingga *supply/demand* pada baris/kolom yang tidak terpilih variabelnya adalah nol. Setiap baris/kolom dengan *demand/supply* sama dengan nol, tidak akan terbawa lagi dalam penghitungan penalti berikutnya.
 - c. Bila tinggal 1 kolom/baris yang belum ditandai, tentukan variabel basis pada baris/kolom dengan cara melihat sel dengan nilai biaya operasi terkecil. Alokasikan besaran nilai yang akan dikirimkan pada sel tersebut hingga terpenuhi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Penerapan Model Transportasi pada Kasus

Representasi masalah distribusi air minum di PDAM Surakarta dengan diagram model transportasi ditunjukkan oleh Gambar 1.

Total pasokan air di semua sumber pengolahan air PDAM nilainya lebih besar dari total kebutuhan air di area pelayanan, sehingga perlu ditambahkan variabel *dummy* di daerah pelayanan (kecamatan). Biaya operasional per unit dari sumber *dummy* ke seluruh daerah pelayanan adalah nol, demikian pula sebaliknya, maka biaya operasional per unit yang diberikan adalah nol. Formulasi dari permasalahan ini adalah:

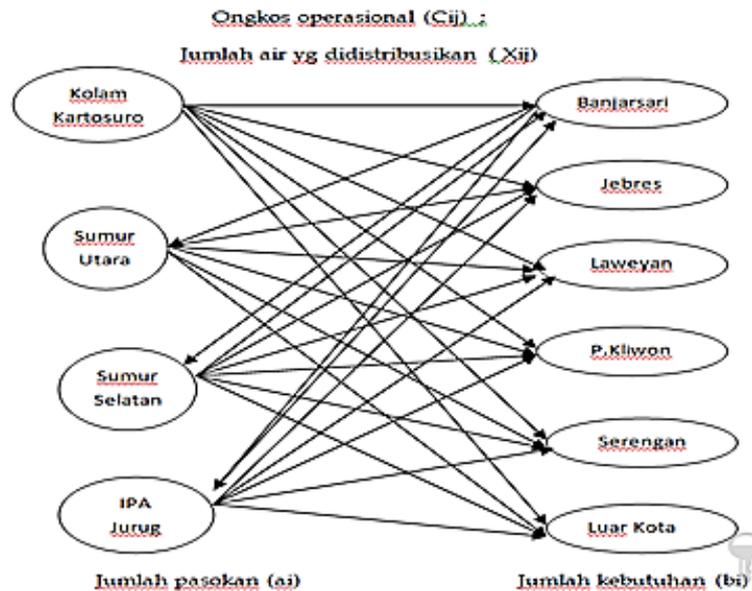
Fungsi tujuan: meminimalkan total biaya operasional

$$154x_{11} + 154x_{12} + 154x_{13} + 154x_{14} + 154x_{15} + 154x_{16} + 0x_{17}$$

$$350x_{21} + 350x_{22} + 350x_{23} + 350x_{24} + 350x_{25} + 350x_{26} + 0x_{27}$$

$$403x_{31} + 403x_{32} + 403x_{33} + 403x_{34} + 403x_{35} + 403x_{36} + 0x_{37}$$

$$887x_{41} + 887x_{42} + 887x_{43} + 887x_{44} + 887x_{45} + 887x_{46} + 0x_{47}$$



Gambar 1 Alur distribusi air minum PDAM Surakarta

Batasan-batasan yang memodelkan data pasokan air di tiap unit pengolahan air (Tabel 2), yakni sebagai berikut ini:

(1) Batasan untuk pasokan air di Kolam Cokrotulung:

$$154x_{11} + 154x_{12} + 154x_{13} + 154x_{14} + 154x_{15} + 154x_{16} + 0x_{17} \leq 333.434$$

(2) Batasan untuk pasokan air di Sumur Utara:

$$350x_{21} + 350x_{22} + 350x_{23} + 350x_{24} + 350x_{25} + 350x_{26} + 0x_{27} \leq 14.663$$

(3) Batasan untuk pasokan air di Sumur Selatan:

$$403x_{31} + 403x_{32} + 403x_{33} + 403x_{34} + 403x_{35} + 403x_{36} + 0x_{37} \leq 12.751$$

(4) Batasan untuk pasokan air di IPA Jurug:

$$887x_{41} + 887x_{42} + 887x_{43} + 887x_{44} + 887x_{45} + 887x_{46} + 0x_{47} \leq 57.877$$

Batasan-batasan untuk kebutuhan air di tiap daerah pelayanan (Tabel 3) adalah sebagai berikut ini:

- (5) Batasan untuk kebutuhan air di Kecamatan Banjarsari:

$$154x_{11} + 350x_{21} + 403x_{31} + 887x_{41} \leq 10.515$$

- (6) Batasan untuk kebutuhan air di Kecamatan Jebres:

$$154x_{12} + 350x_{22} + 403x_{32} + 887x_{42} \leq 13.397$$

- (7) Batasan untuk kebutuhan air di Kecamatan Laweyan:

$$154x_{13} + 350x_{23} + 403x_{33} + 887x_{43} \leq 4.849$$

- (8) Batasan untuk kebutuhan air di Kecamatan Pasar Kliwon:

$$154x_{14} + 350x_{24} + 403x_{34} + 887x_{44} \leq 5.574$$

- (9) Batasan untuk kebutuhan air di Kecamatan Serengan:

$$154x_{15} + 350x_{25} + 403x_{35} + 887x_{45} \leq 2.349$$

- (10) Batasan untuk kebutuhan air di luar kota:

$$154x_{16} + 350x_{26} + 403x_{36} + 887x_{46} \leq 5.262$$

- (11) Batasan untuk kebutuhan *dummy*:

$$0x_{17} + 0x_{27} + 0x_{37} + 0x_{47} \leq 24.689$$

3.2 Penyelesaian Masalah Transportasi

Metode VAM digunakan untuk memberikan pemecahan dasar awal bagi masalah distribusi air minum. Dari formulasi model matematik dapat dibentuk ke tabel transportasi, dengan aturan sebagai berikut:

- Sumber pendistribusian air yaitu 4 unit pengolahan air diposisikan sebagai baris
- Tujuan pendistribusian air yaitu 6 daerah pelayanan PDAM diposisikan sebagai kolom
- Dummy* diposisikan sebagai kolom
- Jumlah ketersediaan air tiap-tiap unit pengolahan air diposisikan sebagai kolom terakhir setelah kolom *dummy*
- Jumlah kebutuhan air tiap-tiap daerah pelayanan PDAM diposisikan sebagai baris terakhir
- Biaya operasional per unit distribusi diposisikan pada *cell* yang merelasikan masing-masing unit pengolahan air dengan daerah pelayanan PDAM

Langkah-langkah penyelesaian dengan VAM dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Tabel transportasi untuk distribusi air minum dengan metode VAM

| Sumber \ Tujuan | Banjarsari (1) | Jebres (2) | Laweyan (3) | P.Kliwon (4) | Serengan (5) | Luar kota (6) | dummy | Qt Supply | P1 | P2 | P3 | P4 |
|---------------------|----------------|------------|-------------|--------------|--------------|---------------|--------|-----------|-----|-----|-----|-----|
| Kolam Kartosuro (1) | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 | 0 | 33,434.00 | 154 | 154 | 154 | 154 |
| | 10,515 | 13,397 | 4,849 | 4,673 | | | | - | | | | |
| Sumur Utara (2) | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 0 | 14,663.00 | 350 | 350 | 350 | |
| | | | | 901 | 2,349 | 5,262 | 6,151 | - | | | | |
| Sumur Selatan (3) | 403 | 403 | 403 | 403 | 403 | 403 | 0 | 12,751.00 | 403 | 403 | | |
| | | | | | | | 12,751 | - | | | | |
| IPA Junug (4) | 887 | 887 | 887 | 887 | 887 | 887 | - | 5,787.00 | 887 | | | |
| | | | | | | | 5,787 | - | | | | |
| Qt Demand | 10,515 | 13,397 | 4,849 | 5,574 | 2,349 | 5,262 | 24,689 | - | | | | |
| | | | | - | - | - | - | | | | | |
| P1 | 196 | 196 | 196 | 196 | 196 | 196 | 0 | | | | | |
| P2 | 196 | 196 | 196 | 196 | 196 | 196 | 0 | | | | | |
| P3 | 196 | 196 | 196 | 196 | 196 | 196 | 0 | | | | | |
| P4 | 196 | 196 | 196 | 196 | 196 | 196 | 196 | | | | | |

Berdasarkan Tabel 4, *cell* dengan warna *font* merah pada tabel tersebut merupakan jumlah air yang didistribusikan (x_{ij}). Proses VAM mendapatkan solusi visibel pada penalti yang ke-4 (P4). Adapun rincian distribusi air minum PDAM Surakarta dari sumber pengolahan air ke tujuan (daerah pelayanan) yakni sebagai mana pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5 Rincian hasil pendistribusian air dan minimasi biaya

| Sumber | Tujuan | Jumlah air didistribusikan | Biaya |
|--------------------------------|--------------|----------------------------|--------------|
| Kolam Kartosuro | Banjarsari | 10.515 m ³ | Rp 1.619.310 |
| | Jebres | 13.397 m ³ | Rp 2.063.138 |
| | Laweyan | 4.849 m ³ | Rp 746.746 |
| | Pasar Kliwon | 4.673 m ³ | Rp 719.642 |
| Sumur Utara | Pasar Kliwon | 901 m ³ | Rp 315.350 |
| | Serengan | 2.349 m ³ | Rp 822.150 |
| | Luar Kota | 5.262 m ³ | Rp 1.841.700 |
| Total biaya operasional | | | Rp 8.128.036 |

Pemecahan masalah distribusi air minum di PDAM Surakarta dengan menggunakan metode VAM memberikan hasil total biaya operasional yang minimum, dengan menerapkan persamaan (1) maka diperoleh total biaya operasional minimum yakni Rp 8.128.038 per hari. Nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan dana yang dianggarkan PDAM. Semua kebutuhan air di tiap daerah pelayanan dapat dipenuhi sehingga antara ketersediaan air dan kebutuhan air dapat berjalan secara simultan.

4. Penutup

Penelitian ini dilakukan untuk memodelkan masalah distribusi air di PDAM Surakarta sehingga antara ketersediaan air dan kebutuhan air masyarakat konsumen dapat berjalan simultan ditengah keterbatasan-keterbatasan yang ada. Penerapan model transportasi dan teknik penyelesaian dengan VAM memberikan hasil yakni total biaya operasional yang minimum yaitu Rp 8.128.038 per hari dan pasokan air PDAM dapat memenuhi kebutuhan air masyarakat pelanggan. Dimana kecamatan Banjarsari menerima pasokan air sebesar 10.515 m³ hanya dari Kolam Kartosuro. Kecamatan Jebres menerima pasokan air sebesar 13.397 m³ dari Kolam Kartosuro. Kecamatan Pasar Kliwon menerima pasokan air sebesar 4.673 m³ dari Kolam Kartosuro dan 901 m³ dari Sumur Utara. Kecamatan Laweyan menerima pasokan air sebesar 13.397 m³ dari Kolam Kartosuro. Kecamatan Serengan menerima pasokan air dari Sumur Utara sebesar 2.349 m³ dan luar kota menerima pasokan air dari Sumur Utara sebesar 5.262 m³.

Hasil perhitungan total biaya operasional dengan VAM telah optimum atau mendekati optimum, namun belum dilakukan uji optimalitas. Oleh karena itu, perlu dikembangkan dalam penelitian selanjutnya, uji optimalitas dengan metode-metode yang ada seperti MODI (*Modified Distribution*) atau *Stepping Stone*.

Daftar Pustaka

- Anonim, 2014. *Profil Kabupaten/Kota – Kota Surakarta Jawa Tengah*. [Online] Available at: <http://ciptakarya.pu.go.id/profil/profil/barat/jateng/surakarta.pdf> [Accessed 8/2/2014].
- Arifin, A., 2011. Implementasi Fuzzy Integer Transportation Dalam Sistem Pendukung Keputusan Untuk Distribusi Air Bersih (Studi Kasus PDAM Surakarta). *Tesis*. Yogyakarta: Program Studi S2 Ilmu Komputer Universitas Gajah Mada.
- Dimiyati, T. T., & Dimiyati, A., 1999. *Operation Research: Model-model Pengambilan Keputusan*. Bandung: PT. Sinar Baru Algesindo Offset.
- Ginting, M., 2012. Penggunaan Solver Add-Ins Dalam Pengalokasian Distribusi Barang Dengan Total Biaya Distribusi Minimum. *Jurnal Wira Ekonomi Mikroskil*, 2(1), pp. 23-30.
- Indrayani, R., Suprayitno, H. & Astana, I. N. Y., 2004. Model Transportasi Untuk Pengembangan Air Bersih di Kabupaten Badung, Provinsi Bali. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh November*, Edisi Maret, pp. 19-28.
- Nelwan, C., Kekenusi, S. J. & Langi, Y., 2013. Optimasi Pendistribusian Air dengan Menggunakan Metode Least Cost dan Metode Modified Distribution (Studi Kasus: PDAM Kabupaten Minahasa Utara). *Jurnal Ilmiah Sains Universitas Sam Ratulangi*, 13(1), pp. 46-50.
- Suprayogi, I., Joleha & Hasibuan, H. S., 2010. Model Transportasi Distribusi Air Minum PDAM Menggunakan Program Bantu Lingo 8.0. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 9(2), pp. 55-60.
- Taha, H. A., 2002. *Riset Operasi: Suatu Pengantar*, Jilid I. Jakarta: Bina Rupa Aksara.