

Pengembangan Model untuk *Dynamic Supplier Selection Problem* Menggunakan Metode *Mixed Integer Linear Programming* dengan Mempertimbangkan Faktor Diskon

Laila Izzatunnisa*, Purnawan Adi Wicaksono, Heru Prastawa

Email : lailaizzatunnisa@student.undip.ac.id

*Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275*

Abstrak

Pemilihan *supplier* merupakan salah satu elemen terpenting dalam manajemen rantai pasok. Hal ini melibatkan evaluasi banyak faktor seperti, biaya material, biaya transportasi, kualitas bahan, keterlambatan, kapasitas pemasok, kapasitas penyimpanan dan lain-lain. Masing-masing nilai dari faktor ini berbeda-beda sesuai dengan periode waktunya, sehingga *supplier* yang diidentifikasi untuk suatu periode tidak sama dengan periode berikutnya dalam memasok produk yang sama. *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) dikembangkan untuk mengatasi permasalahan pada *Dynamic Supplier Selection Problem* (DSSP). Dalam penelitian ini, MILP dibangun untuk memecahkan masalah pengadaan jika kondisinya multi *supplier*, multi periode, dan multi produk dengan mempertimbangkan faktor diskon. Jenis diskon yang digunakan adalah *all-unit* diskon. Untuk verifikasi model menggunakan data pada *numerical example* yang diolah dengan menggunakan *software* Lingo 17 dan untuk validasi model menggunakan analisis sensitivitas Taguchi. Model matematis yang diusulkan tersebut telah terverifikasi dan tervalidasi sehingga dapat menyelesaikan permasalahan yang terjadi pada *numerical example*. Total *cost* yang dihasilkan dalam pemilihan *supplier* sebanyak 792.418. Dari hasil perhitungan analisis sensitivitas Taguchi diperoleh parameter yang paling berpengaruh dalam pemilihan *supplier* tersebut adalah *unit price* yang memiliki persen kontribusi sebesar 84,25%. Hal ini terjadi karena adanya harga diskon yang diberikan *supplier* sehingga harga setiap produk menjadi lebih murah.

Kata kunci: *Dynamic Supplier Selection Problem, Mixed Integer Linear Programming, all-unit diskon, dan analisis sensitivitas Taguchi*

Abstract

Model Development for Dynamic Supplier Selection Problem Using Mixed Integer Linear Programming Methods Considering Discounts. *Supplier selection is one of the most important elements in supply chain management. This function involves evaluation of many factors such as, material costs, transportation costs, material quality, delays, supplier capacity, storage capacity and others. Each of these factors varies with time, therefore, supplier identified for one period is not necessarily be same for the next period to supply the same product. So, mixed integer linear programming (MILP) was developed to overcome the dynamic supplier selection problem (DSSP). In this research, a MILP model is built to solve the lot-sizing problem with multiple suppliers, multiple periods, multiple products and quantity discounts. The discount type used is an all-unit discount. The model is verified through case in numerical example and processed using Lingo 17 and the model is validated using sensitivity analysis Taguchi. The proposed mathematical model has been verified and validated so the model could solve the problems in numerical example. The total cost generated in supplier selection is 792,418. From sensitivity analysis Taguchi results obtained the most influential parameters in the supplier selection is unit price that has a contribution percentage of 84.25%. This happens because of the discount given by suppliers so that the price of each product becomes cheaper.*

Keywords: *Dynamic Supplier Selection Problem, Mixed Integer Linear Programming, all-unit discount, and sensitivity analysis Taguchi*

1. Pendahuluan

Dalam persaingan industri yang semakin meningkat, perusahaan harus menyadari pentingnya pemilihan *supplier* yang dapat memenuhi kebutuhan perusahaan sesuai dengan kualitas yang dibutuhkan dan waktu yang ditentukan. Perusahaan menghadapi permintaan konsumen yang semakin meningkat, siklus hidup produk yang semakin singkat, dan pengirisan harga yang semakin tajam. Kondisi ini mengakibatkan perusahaan untuk melakukan pemangkasan biaya dan memperbaiki rantai pasok. Perbaikan pada rantai pasok menjadi hal yang krusial dalam peningkatan daya saing perusahaan. Peningkatan daya saing perusahaan dapat dilakukan melalui proses pemilihan *supplier* (Sagar & Singh, 2012).

Kondisi permintaan yang fluktuatif dan bersifat dinamis menjadikan perusahaan sulit untuk menentukan berapa jumlah dan kapan pemesanan itu harus dilakukan agar permintaan konsumen dapat terpenuhi dan biaya persediaan dapat diminimalisasi, oleh karena itu *supplier* juga diharapkan untuk bersifat dinamis pula. Hal ini dapat terjadi karena sebuah perusahaan biasanya memiliki permintaan mengenai kapasitas *supplier*, tingkat kualitas, *lead time*, *unit part cost*, dan *fixed transportation cost* dengan waktu yang bervariasi. Oleh karena itu, *supplier* untuk suatu periode belum tentu sama untuk periode berikutnya (Ware, Singh, & Banwet, 2014). Masalah pemilihan *supplier* biasanya diklasifikasikan dalam hal multi-eselon, multi-produk, multi-*supplier* dan sifat dari jangka waktu tersebut.

Jika hanya menggunakan satu *supplier* mungkin tidak dapat memenuhi permintaan suatu perusahaan di setiap situasinya karena keterbatasan kapasitas *supplier*, *lead time*, dan kualitas bahan. Dalam hal tersebut, perusahaan membutuhkan beberapa *supplier* sehingga dalam kasus ini berlaku multi-*supplier* (Ghodsypour & O'Brien, 1998; Xia & Wu, 2007). Permintaan perusahaan berfluktuasi sehingga permintaan nilai terhadap waktu dianggap dinamis, tidak dengan perjanjian jangka pendek atau jangka panjang. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan membahas mengenai *Dynamic Supplier Selection Problem* (DSSP). Dalam DSSP, satu set pemasok dipilih untuk setiap periode. DSSP berbeda dengan TSSP (*Traditional Supplier Selection Problem*) di mana semua *supplier* dapat sepenuhnya memenuhi permintaan perusahaan dalam hal kuantitas, kualitas, pengiriman, dan lain-lain (Ware et al., 2014).

Sebagian besar model yang telah dikembangkan untuk masalah pemilihan *supplier* mengabaikan unsur transportasi yang memiliki dampak signifikan terhadap total biaya pengadaan. (Wicaksono et al., 2016). Namun sudah terdapat beberapa peneliti yang mempertimbangkan biaya transportasi dalam pemilihan *supplier* produk tunggal seperti (Burke et al.

2007; Liao & Rittscher 2007; Aguezzoul & Ladet 2007; Choudhary & Shankar 2011; Choudhary & Shankar 2013; Choudhary & Shankar 2014). Dan peneliti yang melakukan pemilihan *supplier* dengan multi-periode, multi-produk dan multi-*supplier* (Rezaei & Davoodi 2011; Ware et al. 2014; Wicaksono et al. 2016). Dalam hal lain, *supplier* memberikan diskon untuk setiap pembelian dalam jumlah yang besar. Hal ini dilakukan oleh *supplier* demi meningkatkan penjualan suatu produk barang / jasa. Dengan diskon pembeli dapat tertarik untuk membeli produk apalagi diskon yang diberikan cukup tinggi. Dalam prakteknya, besarnya jumlah pemesanan barang ketika jarak pengirimannya jauh dapat mengurangi biaya transportasi per unit (Shinn et al., 1996). Oleh karena itu dalam penelitian ini akan mengembangkan model yang mengintegrasikan keputusan pengadaan dengan biaya transportasi dan diskon.

Untuk meminimalkan pengeluaran pengadaan, biaya pembelian dan transportasi perlu dipertimbangkan. Peneliti mempelajari pengaturan pengadaan di mana perusahaan perlu membeli sejumlah produk dari beberapa *supplier* untuk memenuhi permintaan pelanggan. Para *supplier* menawarkan potongan harga total dan biaya transportasi berdasarkan pada tarif pengiriman truk. Tujuannya adalah untuk memilih beberapa *supplier* sehingga dapat memenuhi permintaan produk dengan biaya total minimal. Dalam penelitian ini peneliti akan membuat model untuk menyelesaikan masalah dalam memilih *supplier* jika kondisinya multi-periode, multi-produk dan multi-*supplier* berdasarkan pengembangan dari model pada paper sebelumnya (Ware et al., 2014) dengan mempertimbangkan faktor *all-unit* diskon. Metode yang digunakan adalah *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). Untuk verifikasi model menggunakan data random yang diolah dengan menggunakan *Software* Lingo 17. Selain itu menggunakan analisis Taguchi yang telah dilakukan oleh (Ahmad & Mondal, 2016) untuk validasi model. Analisis sensitivitas dilakukan terhadap beberapa parameter untuk menentukan parameter mana yang paling berpengaruh terhadap *total cost*. Metode Taguchi berguna dalam peningkatan nilai fungsi tujuan (*output*) melalui pengaturan parameter yang digunakan (*input*).

2. Tinjauan Pustaka

Pada pemilihan *supplier* terbagi menjadi dua kategori yaitu model kuantitatif dan model kualitatif. Model kuantitatif terdiri dari pemrograman linear, *mixed integer linear programming*, *mixed-integer non-linear programming*, *dynamic programming*, dan *multi-objective programming* (Masella & Rangone, 2000; Demirtas & Ustun 2008). Masella dan Rangone

(2000) mengusulkan empat pemilihan *supplier* yang bergantung pada jangka waktunya (jangka pendek atau jangka panjang) dan berdasarkan pada kontennya yaitu logistik atau strategis. Cakravastia dan Takahashi (2004) mengusulkan sebuah model *multi-objective* untuk proses pemilihan *supplier* dan mempertimbangkan dampak dari keputusan rencana manufaktur yang akan diputuskan. Pada kategori model kualitatif terdapat AHP (Saaty, 1980), Fuzzy-AHP dan metode pembobotan (Timmerman, 1986), pendekatan matriks (Gregory, 1986), *Analytical Network Process* (ANP) (Chia-Wei dan Allen, 2009), TOPSIS dan Fuzzy-TOPSIS (Wang, Cheng, & Chen, 2009) telah diusulkan oleh beberapa peneliti untuk memecahkan masalah TSSP.

Banyak peneliti telah mempelajari berbagai model matematika dan solusi untuk masalah pemilihan *supplier*. Rezaei & Davoodi (2008) mempelajari multi-periode pada model *Mixed Integer Linear Programming* untuk beberapa produk dan beberapa pemasok. Trevino-Garza (2015) menyajikan *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) untuk multi-product dan multi-periode untuk menyelesaikan masalah pemilihan pemasok. Ware et al., (2014) mengembangkan *Mixed Integer Non Linear Programming* untuk mengatasi masalah pemilihan *supplier* dinamis (DSSP).

Biaya transportasi memiliki dampak yang besar dalam keputusan pengadaan, seperti membagi pesanan pada beberapa pemasok akan membuat jumlah barang menjadi lebih sedikit sehingga akan menghasilkan biaya transportasi yang lebih besar (Aguezzoul & Ladet, 2007). Oleh karena itu, biaya transportasi dalam masalah pemilihan *supplier* merupakan faktor kunci untuk membuat pengadaan yang efisien. Wicaksono (2016) mempelajari DSSP dengan mempertimbangkan biaya transportasi menggunakan MILP untuk masalah pemilihan *supplier* multi produk, multi *supplier* dan multi period.

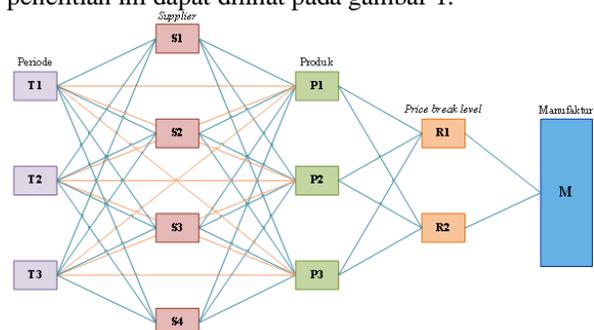
Terdapat dua jenis diskon yaitu diskon kuantitas dan diskon volume. Dalam konteks diskon kuantitas, volume penjualan produk tidak mempengaruhi harga dan diskon dari produk lainnya. Struktur tersebut dapat diterapkan untuk model item tunggal serta beberapa model barang dimana biaya produk yang dianggap independen, meskipun ditawarkan oleh vendor yang sama. Strategi diskon ini dapat berupa noncumulative (*incremental*) atau kumulatif (*all-unit*). Model pemrograman linier mempertimbangkan berbagai bentuk harga termasuk diskon kuantitas dan harga yang meningkat sesuai dengan jumlah pesanan (Aissaoui, Haouari, & Hassini, 2007). Selain itu, Chaudhry et al. (1993) menyajikan formulasi MILP untuk meminimalkan biaya pembelian untuk setiap item selama periode tunggal.

Proses pemilihan *supplier* untuk beberapa periode berbeda dengan periode tunggal karena melibatkan kompleksitas yang lebih tinggi dalam hal memilih *supplier* untuk semua periode sehingga dapat menghasilkan total biaya yang minimal dengan *lead time* terpendek dan memenuhi tingkat kualitas yang diinginkan untuk masing-masing produk yang ditetapkan oleh perusahaan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan mengembangkan sebuah formulasi MILP untuk DSSP dengan mempertimbangkan biaya transportasi dan diskon jika kondisinya multi-periode, multi-produk dan multi-*supplier*.

3. Metode Penelitian

Dalam pengembangan model matematis ini metode yang digunakan adalah *Mixed Integer Linear Programming* dengan mempertimbangkan faktor *all-unit* diskon. Setelah membuat model matematis, selanjutnya membuat model komputasi dengan bahasa Lingo, kemudian membuat numerical example yang datanya di linkan ke Lingo. Setelah itu akan muncul hasil perhitungan dari Lingo. Kemudian dilakukan verifikasi model untuk menentukan apakah model simulasi telah merefleksikan model konseptual dengan tepat dan dilakukan Validasi model dengan menggunakan analisis sensitivitas Taguchi.

Model konseptual merupakan suatu kerangka untuk memberikan konstruksi visual untuk membantu dalam melihat bentuk penyelesaian masalah yang akan dilakukan dalam penelitian. Model konseptual dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Model Konseptual

Berikut ini merupakan langkah pembuatan model matematis:

➤ Pengembangan Model

Permasalahan yang terjadi dapat dijelaskan secara singkat sebagai berikut: manajemen pengadaan multi-periode dimana terjadi pemilihan *supplier* dengan mempertimbangkan biaya transportasi dan diskon yang diberikan oleh *supplier* dan terdapat permintaan yang bervariasi untuk berbagai produk selama periode t. Tujuannya adalah untuk memilih satu atau lebih *supplier* dan menentukan pengadaan akan berlangsung

di periode mana serta menentukan ukuran lot yang harus dibeli pada periode tersebut.

➤ Asumsi model

Model yang diusulkan dibatasi oleh beberapa asumsi yaitu permintaan barang berfluktuasi dan konstan, diketahui dengan pasti untuk setiap periode. *Shortage* diijinkan dan inventori diasumsikan bila total persediaan yang tersedia dalam periode tertentu tidak mencukupi untuk memenuhi permintaan pada periode tersebut. Kapasitas produksi pemasok terbatas. Kapasitas penyimpanan pembeli dalam setiap periode terbatas. Biaya pemesanan berlaku untuk setiap periode di mana pesanan diberikan kepada pemasok. Truk yang akan mengantarkan produk dari pemasok ke pembeli memiliki kapasitas yang sama. Biaya transportasi dari masing-masing pemasok bisa berbeda tergantung lokasi pemasok dari produsen. Biaya penyimpanan berlaku bila produk dilakukan sepanjang periode perencanaan. Pengiriman yang terlambat dari semua pemasok diasumsikan diterima pada periode berikutnya. Pemasok menanggung biaya transportasi keterlambatan pengiriman. Produk yang rusak dibuang pada periode yang sama dengan nilai sisa dan dikeluarkan dari persediaan yang dilakukan sepanjang periode perencanaan. Pengiriman terlambat diasumsikan berkualitas sempurna karena pemasok memiliki waktu yang cukup untuk inspeksi 100% sebelum pengiriman.

➤ Formulasi Model

Formulasi model akan digunakan untuk pengambilan keputusan memilih beberapa *supplier* sehingga dapat memenuhi permintaan pembeli dengan biaya total minimal.

Indeks

T	Set periode waktu; 1,2,...,t
R	Set <i>price break levels</i> ; 1,2,...,r
S	Set <i>suppliers</i> ; 1,2,...,s
P	Set produk; 1,2,...,p

Parameter

UP_{trsp}	: Harga satuan produk p yang dipasok oleh <i>supplier</i> s pada <i>price break level</i> r pada periode t
b_{rsp}	: Kuantitas pada <i>price break level</i> r yang terjadi pada <i>supplier</i> s pada produk p
TC_{ts}	: Biaya <i>Full Truck Load</i> dari <i>supplier</i> s pada periode t
NC_{ts}	: Biaya kontrak <i>supplier</i> baru pada periode t
SOC_{tp}	: Biaya <i>shortage</i> per unit produk p pada periode t
C	: Kapasitas <i>Full Truck Load</i>
D_{tp}	: Permintaan produk p untuk periode t
SC_{tsp}	: Kapasitas <i>supplier</i> pada produk p periode t

l_{tsp}	: Persentase produk terlambat yang dikirim dari <i>supplier</i> s pada <i>price break level</i> r pada periode t
d_{tsp}	: Persentase produk yang ditolak dari <i>supplier</i> s pada <i>price break level</i> r pada periode t
P_{tsp}^l	: Biaya penalti untuk produk pengiriman terlambat dari <i>supplier</i> s pada periode t
P_{tsp}^d	: Biaya penalti untuk produk yang cacat dari <i>supplier</i> s pada periode t
O_{ts}	: Biaya pesan untuk setiap <i>supplier</i> s pada periode t
H_{tp}	: Biaya simpan produk p pada periode t
MS_{tp}	: Kapasitas penyimpanan manufaktur untuk produk p pada periode t
\emptyset	: Persyaratan <i>service level</i> pembeli pada periode t sehingga $(1-\emptyset)$ adalah proporsi permintaan pembeli yang tidak dipenuhi oleh <i>supplier</i> pada periode t
M	: <i>Big number</i> (merupakan angka yang digunakan sebagai pembatas untuk nilai yang akan dikalikan dengan <i>big number</i> , sehingga membutuhkan angka yang besar, dalam model ini menggunakan angka 9999)

Variabel Keputusan

X_{trsp}	: Jumlah produk yang dipasok oleh <i>supplier</i> s pada <i>price break level</i> r pada periode t (bilangan bulat non negatif)
S_{ts}	: Frekuensi truck yang mengirim produk dari <i>supplier</i> s pada periode t (bilangan bulat non negatif)
Y_{trsp}	: Variabel biner yang digunakan untuk memisahkan <i>price break level</i> r untuk produk p dalam transaksi antara pembeli dan <i>supplier</i> pada periode t (bilangan biner)
Z_{ts}	: Variabel biner, 1 jika pesanan ditempatkan pada <i>supplier</i> s pada periode t dan karenanya biaya pemesanan dibebankan, 0 jika tidak (bilangan biner)
V_{tsp}	: Variabel biner yang menunjukkan apakah <i>supplier</i> s dipilih atau tidak pada periode t (bilangan biner)
W_{ts}	: Variabel biner untuk memilih <i>supplier</i> baru, 1 jika kontrak baru dibuat untuk <i>supplier</i> s pada periode t, 0 jika tidak (bilangan biner)
i_{tp}^+	: Inventori produk p pada periode t (bilangan bulat non negatif)
i_{tp}^-	: <i>Shortage</i> produk p pada periode t (bilangan bulat non negatif)

Formula Matematis

Dari parameter dan variabel keputusan di atas, maka diperoleh rumusan model dengan *Mixed Integer Linear Programming* sebagai berikut:

Fungsi Tujuan:

$$\text{Minimize } Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_8 \quad (1)$$

Fungsi tujuan tersebut merupakan tujuan yang digunakan untuk meminimalkan biaya pengadaan yang terdiri dari delapan bagian yaitu:

1. Biaya Pembelian Produk

$$Z_1 = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P X_{trsp} * UP_{trsp} \quad (2)$$

2. Biaya Transportasi

$$Z_2 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S TC_{ts} * S_{ts} \quad (3)$$

3. Biaya Pemesanan

$$Z_3 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S O_{ts} * Z_{ts} \quad (4)$$

4. Biaya Kontrak untuk *Supplier* Baru

$$Z_4 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S NC_{ts} * W_{ts} \quad (5)$$

5. *Holding cost*

$$Z_5 = \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P H_{tp} * i_{tp}^+ \quad (6)$$

6. *Shortage cost*

$$Z_6 = \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P SOC_{tp} * i_{tp}^- \quad (7)$$

7. Biaya penalti untuk produk cacat

$$Z_7 = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P P_{tsp}^d * d_{tsp} * X_{trsp} \quad (8)$$

8. Biaya penalti untuk produk terlambat

$$Z_8 = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P P_{tsp}^l * l_{tsp} * X_{trsp} \quad (9)$$

Kendala:

Pembeli ingin mengoptimalkan fungsi tujuan dengan beberapa kendala sebagai berikut:

1. Menjamin *demand* untuk produk tertentu dalam periode t harus dipenuhi dari persediaan yang tersedia pada periode sebelumnya, jumlah produk yang akan dipasok, dan semua pengiriman terlambat yang tiba pada periode tersebut. Dalam beberapa kasus terdapat permintaan yang tidak dapat dipenuhi, sehingga diperbolehkan untuk melakukan *back order*.

$$i_{(t-1)p}^+ + \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S X_{trsp} + \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S l_{tsp} X_{(t-1)rsp} - \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S l_{tsp} X_{trsp} - \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S d_{tsp} X_{trsp} \geq D_{tp} + i_{(t-1)p}^- + i_{tp}^+ - i_{tp}^- \quad \forall t \in T, \forall p \in P \quad (10)$$

2. Menjamin *demand* selama horison perencanaan terpenuhi.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S X_{trsp} \geq \sum_{t=1}^T D_{tp} \quad \forall p \in P \quad (11)$$

3. Memastikan bahwa pengadaan barang dari *supplier* dengan harga tertentu berada dalam interval diskon yang ditawarkan.

$$b_{(r-1)sp} Y_{trsp} \leq X_{trsp} \leq b_{rsp} Y_{trsp} \quad \forall t \in T, \forall r \in R, \forall s \in S, \forall p \in P \quad (12)$$

4. Memastikan hanya ada satu *price break level* yang digunakan jika dibeli pada periode t dari *supplier* i

$$\sum_{r=1}^R Y_{trsp} = V_{tsp} \quad \forall t \in T, \forall s \in S, \forall p \in P \quad (13)$$

5. Menjamin alokasi produk terhadap *supplier* terpilih hanya pada 1 *price break level*.

$$\sum_{r=1}^R X_{trsp} \geq V_{tsp} \quad \forall t \in T, \forall s \in S, \forall p \in P \quad (14)$$

6. Menjamin bahwa *supplier* yang terpilih dikenai 1 *price break level*.

$$X_{trsp} \geq Y_{rtsp} \quad \forall t \in T, \forall r \in R, \forall s \in S, \forall p \in P \quad (15)$$

7. Menjamin pengiriman untuk semua produk dari semua *supplier* tidak melebihi kapasitas truk (FTL).

$$\left| \frac{\sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R X_{trsp}}{C} \right| \leq S_{ts} \quad \forall t \in T, \forall s \in S \quad (16)$$

8. Menjamin pesanan dari pembeli tidak melebihi kapasitas *supplier*.

$$\sum_{r=1}^R X_{trsp} \leq SC_{tsp} \quad \forall t \in T, \forall s \in S, \forall p \in P \quad (17)$$

9. Menjamin persediaan pada periode t tidak melebihi kapasitas penyimpanan manufaktur.

$$i_{tp}^+ \leq MS_{tp} \quad \forall t \in T, \forall p \in P \quad (18)$$

10. Memastikan bahwa pembeli dikenai biaya pemesanan saat membeli produk dari *supplier*.

$$\sum_{r=1}^R \sum_{p=1}^P X_{trsp} \leq M * Z_{ts} \quad \forall t \in T, \forall s \in S \quad (19)$$

11. Memastikan bahwa *supplier* baru dikenai biaya pendirian kontrak. W_{ts} dikalikan dengan *big number* untuk mempertegas bahwa jika ada biaya kontrak yang dikenakan pada *supplier* baru maka *big number* digunakan untuk menjamin W_{ts} tidak kurang dari Z_{ts} sehingga membutuhkan angka yang besar sebagai pengali.

$$\sum_{t=1}^T Z_{ts} \leq M * W_{ts} \quad \forall t \in T, \forall s \in S \quad (20)$$

12. Memastikan bahwa *price break level* dikenakan sesuai dengan pemesanan yang dilakukan oleh pembeli. Y_{trsp} dikalikan dengan *big number* untuk

menjamin bahwa Y_{trsp} tidak kurang dari X_{trsp} sehingga membutuhkan angka yang besar sebagai pengali.

$$X_{trsp} \leq M * Y_{trsp} \quad \forall t \in T, \forall r \in R, \forall s \in S, \forall p \in P \quad (21)$$

13. Memastikan bahwa pembelian terhadap *supplier* yang terpilih sesuai dengan alokasi yang sudah ditentukan.

$$\sum_{r=1}^R X_{trsp} \leq M * V_{tsp} \quad \forall t \in T, \forall s \in S, \forall p \in P \quad (22)$$

14. Menjamin jumlah *stock out* tidak melebihi *service level* yang sudah ditentukan oleh pembeli.

$$\sum_t i_{tp}^- \leq (1 - \phi) \sum_t D_{tp} \quad \forall p \in P \quad (23)$$

15. Kendala bilangan bulat *non-negative* untuk variabel keputusan.

$$X_{trsp}, S_{ts}, i_{tp}^+, i_{tp}^- \geq 0 \quad (24)$$

16. Penentuan kebutuhan dari variabel biner (1 jika iya, 0 jika tidak)

$$Y_{trsp}, Z_{ts}, V_{tsp}, W_{ts} \in \{0,1\} \quad (25)$$

4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menggunakan *numerical example* untuk mengimplementasikan model matematis yang telah dibuat sebelumnya. *Numerical example* menggunakan data dari penelitian Ware et al., (2014) dengan rincian sebagai berikut.

➤ Numerical Example

Sebuah perusahaan yang bergerak dalam bidang manufaktur membuat sebuah produk yang kemudian akan dikirim ke pasar secara langsung untuk dijual. Produk tersebut memerlukan beberapa bahan baku yang akan pasok oleh beberapa *supplier*. Beberapa bahan baku tersebut untuk selanjutnya disebut dengan produk 1, produk 2 dan produk 3. Setiap produk diasumsikan memiliki ukuran packaging yang sama. Perusahaan telah menetapkan empat *supplier* yang akan memasok produk tersebut.

Permintaan perusahaan untuk setiap produk berubah seiring waktu karena fluktuasi pasar dan pola permintaan pelanggan dari produk mereka. Selain itu, kapasitas *supplier* juga berubah, tergantung vendor masing-masing dan juga terdapat kapasitas manufaktur yang berbeda-beda pula untuk setiap produk dan periodenya. Semua *supplier* memahami kemampuan mereka masing-masing untuk memasok setiap jenis produk pada horizon perencanaan yang telah ditentukan. Selain itu, data kinerja masa lalu *supplier* juga tersedia di perusahaan sesuai dengan kondisi nyata pada periode sebelumnya ketika mereka mengirim produk pada tempat dan waktu yang telah ditentukan serta data tingkat kualitas dari setiap produk yang dikirim ke perusahaan.

Perusahaan tersebut ingin membeli produk selama tiga periode, dimana dalam satu periode itu selama 3 bulan. Sehingga pemesanan dilakukan setiap 3 bulan sekali. Perusahaan telah menetapkan empat *supplier* dimana setiap *supplier* tersebut menyediakan tiga produk yang diinginkan oleh perusahaan. Setiap *supplier* menawarkan diskon untuk masing-masing produknya. Setiap produk memiliki ketentuan masing-masing untuk mendapatkan diskon. Ketentuan tersebut berdasarkan jumlah kuantitas dari setiap produk yang akan dibeli. Terdapat dua level pada diskon. Jumlah produk yang dibeli akan menentukan apakah masuk dalam level diskon yang pertama, atau ke dua. Jika masuk dalam level pertama artinya pembeli tidak mendapat diskon untuk produk tersebut, jika jumlah pembelian masuk ke level yang ke dua maka pembeli mendapat diskon berupa potongan harga untuk produk tersebut. Sehingga pada kondisi ini diilustrasikan terdapat dua periode, dua *price break*, empat *supplier*, dan tiga produk (3T-2R-4S-3P). Perusahaan tersebut ingin menentukan *supplier* mana yang akan terpilih untuk memasok produk tersebut dan menentukan berapa jumlah produk yang akan pasok oleh setiap *supplier* yang terpilih tersebut. Berikut ini merupakan data dari setiap parameter yang digunakan untuk mencari *total cost* yang minimum.

Tabel 1. Data Random untuk Periode Pertama

T ₁	P ₁	P ₂	P ₃
S ₁	600, 0.08, 0.01, 4, 2*	1000, 0.05, 0.021, 3, 0	2000, 0.1, 0.01, 5, 3
S ₂	1000, 0.12, 0.031, 4, 1	700, 0.13, 0.035, 3, 1	1500, 0.06, 0.02, 5, 0
S ₃	800, 0.07, 0.025, 4, 4	800, 0.14, 0.033, 3, 1	2000, 0.08, 0.03, 5, 2
S ₄	800, 0.07, 0.025, 4, 3	800, 0.1, 0.033, 3, 2	2500, 0.12, 0.02, 5, 0
D	1000	1600	2200
MS	3200	4000	3000
H	2	1	1
SOC	4	2	3

* SC_{tsp}, d_{tsp}, l_{tsp}, P^d_{tsp}, P^l_{tsp}

Tabel 2. Data Random untuk Periode Kedua

T ₁	P ₁	P ₂	P ₃
S ₁	1200, 0.14, 0.015, 5, 2*	1800, 0.11, 0.015, 7, 0	2200, 0.13, 0.02, 6, 3
S ₂	2000, 0.01, 0.01, 5, 1	1600, 0.12, 0.01, 7, 1	1500, 0.15, 0.02, 6, 0
S ₃	1400, 0.08, 0.005, 5, 4	1200, 0.08, 0.012, 7, 1	1500, 0.08, 0.005, 6, 2
S ₄	1500, 0.03, 0.015, 5, 3	2000, 0.12, 0.01, 7, 2	1500, 0.11, 0.01, 6, 0
D	2500	3200	4500
MS	4500	3900	5200
H	1	2	1
SOC	2	3	2

* SC_{tsp}, d_{tsp}, l_{tsp}, P^d_{tsp}, P^l_{tsp}

Tabel 3. Data Random untuk Periode Ketiga

T ₁	P ₁	P ₂	P ₃
S ₁	1000, 0.1, 0.012, 4, 2*	1500, 0.09, 0.017, 5, 1	2000, 0.1, 0.02, 5, 3
S ₂	1800, 0.08, 0.015, 4, 1	1400, 0.1, 0.015, 5, 1	1300, 0.12, 0.02, 5, 1
S ₃	1200, 0.08, 0.015, 4, 4	1000, 0.12, 0.016, 5, 1	1800, 0.08, 0.015, 5, 2
S ₄	1300, 0.04, 0.015, 4, 3	1700, 0.12, 0.02, 5, 2	2000, 0.11, 0.01, 5, 1
D	1500	2700	3300
MS	4000	3500	4000
H	1	1	2
SOC	3	2	3

* SC_{tsp}, d_{tsp}, l_{tsp}, P^d_{tsp}, P^l_{tsp}

Tabel 4. Nilai dari UP, TC, O, NC, D, MS, H and SOC untuk Periode Pertama

UP										TC	O	NC
R ₁			R ₂									
T ₁	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃						
S ₁	30	15	30	27	13	28	600	280	520			
S ₂	35	14	22	33	13	20	750	360	680			
S ₃	32	20	25	29	18	23	650	315	570			
S ₄	35	22	30	32	19	27	650	310	575			

Tabel 5. Nilai dari UP, TC, O, NC, D, MS, H and SOC untuk Periode Kedua

UP										TC	O	NC
R ₁			R ₂									
T ₁	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃						
S ₁	40	25	40	37	22	39	1000	490	920			
S ₂	45	24	32	40	23	34	1200	590	1125			
S ₃	42	30	35	41	25	34	1500	730	1420			
S ₄	45	32	40	43	30	36	1200	580	1125			

Tabel 6. Nilai dari UP, TC, O, NC, D, MS, H and SOC untuk Periode Ketiga

UP										TC	O	NC
R ₁			R ₂									
T ₁	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃						
S ₁	35	20	35	32	17	30	900	310	590			
S ₂	42	20	30	39	16	26	1000	410	705			
S ₃	38	25	30	35	22	27	1300	350	615			
S ₄	39	29	35	35	26	33	1000	360	590			

Model matematis yang telah dibuat sebelumnya harus diubah ke dalam program Lingo 17.0 dengan mengikuti bahasa Lingo. Selain Lingo dalam penelitian ini juga memanfaatkan microsoft Ms. Excel sebagai tools pembantu. *Software* Lingo 17.0 mengimpor data dari Ms. Excel dan solusi di ekspor menuju Ms. Excel pula dengan menggunakan fungsi @OLE yang terdapat pada Lingo.

Berdasarkan contoh numerik di atas didapatkan solusi model yang menghasilkan nilai objective sebesar 792418.4 dalam kondisi global optimum. Waktu komputasi yang diperlukan adalah 8 detik.

Berikut merupakan hasil dari perhitungan Lingo untuk permasalahan yang ada pada *numerical example*.

Tabel 7. Jumlah Produk yang Akan dipasok oleh Supplier

		R ₁				R ₂			
		S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
T ₁	P ₁	600	0	800	0	0	1000	0	800
	P ₂	0	700	0	800	1000	0	800	0
	P ₃	0	0	0	300	2000	1500	2000	0
T ₂	P ₁	0	30	0	0	800	0	0	0
	P ₂	0	370	0	0	1795	0	0	0
	P ₃	205	0	0	0	0	1500	0	0
T ₃	P ₁	0	21	0	0	1000	0	0	0
	P ₂	0	0	0	0	1074	1079	0	0
	P ₃	0	0	0	0	1305	1300	0	0

Tabel 8. Rincian Biaya Pengadaan

Rincian Biaya Pengadaan	
Biaya Pembelian Produk	571874
Biaya Transportasi	186750
Biaya pemesanan	2765
Biaya kontrak untuk <i>supplier</i> baru	5035
<i> Holding cost</i>	8035
<i> Shortage cost</i>	6000
Biaya penalti untuk produk cacat	11175.37
Biaya penalti untuk produk terlambat	783.983
Total Cost	792418.35

Dari Tabel 7 dapat kita lihat bahwa pada periode 1 semua *supplier* akan memasok produk. Produk 1 dipasok oleh S1, S2, dan S3 pada price break level yang pertama serta S2 dan S4 pada price break level yang ke 2. Produk 2 dipasok oleh S2 dan S4 pada price break level yang pertama serta dipasok oleh S1 dan S3 pada price break level yang kedua. Dan produk 3 dipasok oleh S4 pada price break level pertama dan S1, S2, S3 pada price break level ke dua. Sedangkan untuk periode 2 dan 3 hanya dipasok oleh S1 dan S2 dengan alokasi produk sesuai dengan tabel diatas. Nilai fungsi tujuan untuk model tersebut adalah 792418.

➤ **Verifikasi Model**

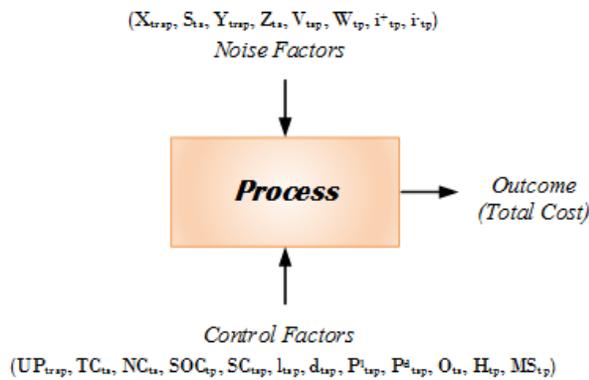
Proses verifikasi model terdiri dari dua tahap. Pertama, yaitu verifikasi kendala yang dilakukan oleh perangkat lunak Lingo saat pengambilan solusi, untuk memeriksa apakah model sudah logis dengan cara memasukan model pada program Lingo, kemudian setiap kendalanya satu per satu di cek apakah sudah sesuai dengan model. Hal ini dilakukan dengan cara men-generate setiap kendalanya. Setelah semua kendala logis maka dilakukan running program Lingo. Ketika Lingo 17.0 tidak menunjukkan *error* pada saat *run* dan *build* model, maka dapat dipastikan bahwa semua kode yang

ditulis dalam bahasa pemrograman adalah benar. Dari verifikasi yang telah dilakukan, hasil generate pada program Lingo untuk setiap kendalanya telah sesuai dengan model matematis yang dibuat.

Kedua, verifikasi juga dilakukan dengan memeriksa hasil keluaran model. Output yang diharapkan dari model ini adalah dapat mengetahui jumlah dari setiap produk yang akan dipasok oleh *supplier*, jumlah frekuensi truk untuk setiap *supplier*, jumlah *inventory* dan *shortage*, serta variabel biner yang menentukan apakah terjadi pemesanan saat itu atau tidak. Pada penelitian ini, model mampu mengeluarkan *output* yang diinginkan tersebut. Dan hubungan antar variabel keputusan tersebut telah sesuai dan benar. Dengan demikian, model ini berhasil melewati tahap verifikasi.

➤ **Validasi Model**

Proses validasi dalam penelitian ini dilakukan dengan menganalisis sensitivitas model dengan metode Taguchi. Berikut merupakan gambaran dari faktor kontrol, gangguan dan output pada model ini.



Gambar 2. Basic Proses untuk Metode Taguchi pada Model yang dikembangkan

Dalam penentuan jumlah level yang digunakan, penelitian ini menggunakan 3 level karena ini merupakan model baru dan belum pernah dilakukan analisis untuk setiap parameternya. Sehingga notasi matriks ortogonalnya adalah $L_{27}(3^{12})$. Dalam penelitian ini penentuan matriks OA dilakukan dengan menggunakan *software* minitab 16.

Tabel 9. Matriks Orthogonal dengan 3 Level

	Up	SC	d	lt	Pl	Pd	MS	H	SOC	TC	O	NC
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2

Lanjutan Tabel 9. Matriks Orthogonal dengan 3 Level

	Up	SC	d	lt	Pl	Pd	MS	H	SOC	TC	O	NC
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3

Dalam penelitian ini melakukan 27 percobaan sesuai dengan matriks orthogonal 3 level yang digunakan. Nilai SN Ratio diperoleh dari hasil transformasi beberapa perulangan data sehingga nilainya mewakili kualitas penyajian variasi. Dalam penelitian ini menggunakan karakteristik perhitungan SN Ratio *smaller is better* karena ingin mencari total *cost* yang minimum. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, berikut ini merupakan outcome (*total cost*) yang dihasilkan dari masing-masing percobaan beserta SN Rationya.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Rasio S/N untuk Setiap Respon

Percobaan ke-	Outcome	Rasio S/N
1	792418.4	-117.979
2	816054.8	-118.234
3	827512.9	-118.355
4	815649.7	-118.230
5	831430.6	-118.397
6	800178.6	-118.064
7	834773.0	-118.431
8	805585.3	-118.122
9	828789.4	-118.369
10	903398.6	-119.118
11	900541.2	-119.090
12	908332.7	-119.165
13	887382.3	-118.962
14	905431.0	-119.137
15	888459.0	-118.973
16	871352.3	-118.804
17	867642.4	-118.767
18	855853.6	-118.648
19	935035.1	-119.417
20	929009.6	-119.360
21	930239.4	-119.372
22	895055.9	-119.037
23	886126.4	-118.950
24	890714.6	-118.995
25	897134.9	-119.057

Lanjutan Tabel 10. Hasil Perhitungan Rasio S/N untuk Setiap Respon

Percobaan ke-	Outcome	Rasio S/N
26	889935.4	-118.987
27	899493.0	-119.080

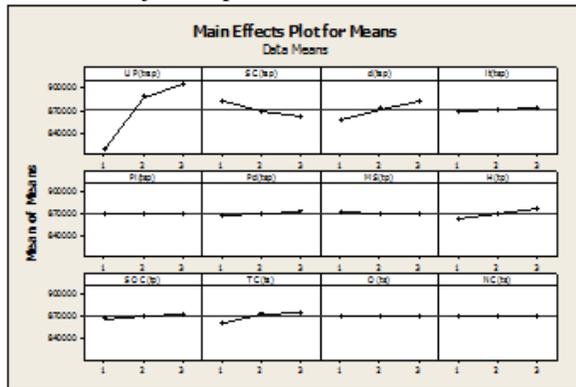
Contoh proses perhitungan untuk Rasio S/N pada percobaan pertama:

$$\eta = -10 \times \log \left(\frac{1}{g} \sum_{e=1}^T Y_e^2 \right)$$

$$\eta = -10 \times \log \left(\frac{1}{1} \times 792418.4^2 \right)$$

$$\eta = -117.979$$

Pemilihan parameter yang paling optimal dapat diperoleh dengan memilih nilai rata-rata SN Ratio dari level yang memberikan nilai terbesar untuk setiap respon. Untuk menentukan parameter yang paling optimal dapat menggunakan output Minitab 16 hasil tersebut ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Plot Efek Setiap Faktor

Berdasarkan Gambar tersebut terlihat bahwa pada faktor UP_{trsp} level 3 memiliki kedudukan paling tinggi dibandingkan level 1 dan level 2. Dan memiliki kedudukan yang tertinggi diantara faktor yang lainnya. Dan pada faktor *unit price* tersebut terlihat bahwa terdapat perbedaan yang tinggi antara level 1 ke level 2 dan level 2 ke level 3, sehingga kombinasi level tersebut merupakan kondisi optimum untuk parameter yang paling berpengaruh dalam *total cost* yang dihasilkan.

Tabel 11. Hasil Perhitungan Mean S/N Rasio untuk Setiap Level

	Mean S/N Ratio for each level			Max - Min	Rank
	Level 1	Level 2	Level 3		
UP_{trsp}	-118.24	-118.96	-119.14	0.897	1
SC_{trsp}	-118.90	-118.75	-118.70	0.203	3
d_{trsp}	-118.64	-118.80	-118.90	0.264	2

Lanjutan Tabel 11. Hasil Perhitungan Mean S/N Rasio untuk Setiap Level

	Mean S/N Ratio for each level			Max - Min	Rank
	Level 1	Level 2	Level 3		
I_{trsp}	-118.75	-118.78	-118.81	0.057	8
P^l_{trsp}	-118.78	-118.78	-118.78	0.003	12
P^d_{trsp}	-118.75	-118.79	-118.81	0.063	6
MS_{tp}	-118.79	-118.78	-118.77	0.012	9
H_{tp}	-118.71	-118.78	-118.85	0.139	5
SOC_{tp}	-118.75	-118.79	-118.81	0.059	7
TC_{ts}	-118.69	-118.82	-118.84	0.142	4
O_{ts}	-118.79	-118.78	-118.78	0.011	10
NC_{ts}	-118.78	-118.78	-118.78	0.003	11

Persen kontribusi mengindikasikan kekuatan relatif dari suatu faktor dan atau interaksi dalam mengurangi variasi. Berikut merupakan hasil perhitungan dari persen kontribusi.

Tabel 12. Hasil Perhitungan Persen Kontribusi

Persentase Kontribusi (P)	
P UP_{trsp}	84.2583
P SC_{trsp}	4.1209
P d_{trsp}	6.5699
P I_{trsp}	0.2985
P P^l_{trsp}	-0.0042
P P^d_{trsp}	0.3770
P MS_{tp}	0.0104
P H_{tp}	1.7897
P SOC_{tp}	0.3279
P TC_{ts}	2.1840
P O_{ts}	0.0078
P NC_{ts}	-0.0038
P _{error}	0.0636
Total	100

Dapat dilihat pada Tabel 4.42 yang mendapat peringkat pertama adalah faktor *unit price*, hal ini menyatakan bahwa parameter *unit price* merupakan parameter yang paling berpengaruh dalam menentukan *total cost* yang minimum. Hal ini logis karena dalam kondisinya terdapat diskon yang diberikan oleh *supplier* jika membeli produk yang lebih banyak dengan kuantitas yang telah ditentukan, maka akan mendapat harga lebih murah. Sehingga harga setiap produk sangat berpengaruh dalam model ini.

5. Kesimpulan

Berdasarkan pada pengolahan dan analisis penelitian yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya,

maka dapat ditarik kesimpulan terkait pengembangan model untuk DSSP yang telah diusulkan, yaitu:

1. Indeks diskon dapat ditambahkan ke dalam model matematis yang diusulkan dan model tersebut telah terverifikasi dan tervalidasi sehingga dapat menyelesaikan permasalahan yang terjadi pada *numerical example*. Optimasi menggunakan Lingo 17.0 dapat dipecahkan selama 8 detik dengan skenario 3T-2R-4S-3P. Total *cost* yang dihasilkan dalam pemilihan *supplier* sebanyak 792.418. Secara keseluruhan pemesanan produk banyak terjadi pada *price break level* yang ke dua dari *supplier* satu dan *supplier* dua karena *unit price* dari *supplier* tersebut lebih murah daripada yang lainnya.
2. Dari hasil perhitungan analisis Taguchi diperoleh parameter yang paling berpengaruh dalam pemilihan *supplier* tersebut yaitu *unit price*. Terlihat bahwa *unit price* memiliki persen kontribusi yang paling besar yaitu 84,25% karena adanya harga diskon yang diberikan *supplier* sehingga harga setiap produk menjadi lebih murah. Kemudian diikuti oleh *quality level* yang memiliki kontribusi sebesar 6,5%, selanjutnya kontribusi terbesar ke tiga yaitu *supplier* kapasitas sebesar 4,1%.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguezzoul, A., & Ladet, P. (2007). A nonlinear multiobjective approach for the *supplier* selection , integrating transportation policies.
- Ahmad, M. T., & Mondal, S. (2016). Dynamic *supplier* selection model under two-echelon supply network. *Expert Systems with Applications*, 65, 255–270.
- Aissaoui, N., Haouari, M., & Hassini, E. (2007). *Supplier* selection and order lot sizing modeling: A review. *Computers and Operations Research*, 34(12), 3516–3540.
- Burke, G. J., Carrillo, J. E., & Vakharia, A. J. (2007). Single versus multiple *supplier* sourcing strategies, 182, 95–112.
- Cakravastia, A., & Takahashi, K. (2004). Integrated model for *supplier* selection and negotiation in a make-to-order environment. *International Journal of Production Research*, 42(21), 4457–4474.
- Cárdenas-Barrón, L. E., González-Velarde, J. L., & Treviño-Garza, G. (2015). A new approach to solve the multi-product multi-period inventory lot sizing with *supplier* selection problem. *Computers & Operations Research*, 64, 225–232.
- Chaudhry, S. S., Forst, F. G., & Zydiak, J. L. (1993). Vendor selection with price breaks. *European Journal of Operational Research*, 70(1), 52–66.
- Choudhary, D., & Shankar, R. (2011). Modeling and analysis of single item multi-period procurement lot-sizing problem considering rejections and late deliveries. *Computers and Industrial Engineering*, 61(4), 1318–1323.
- Choudhary, D., & Shankar, R. (2013). Joint decision of procurement lot-size, *supplier* selection, and carrier selection. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 19(1), 16–26.
- Demirtas, E. A., & Üstün, Ö. (2008). An integrated multiobjective decision making process for *supplier* selection and order allocation. *Omega*, 36(1), 76–90.
- Landry, M. (1983). Model validation in operations research.
- Liao, Z., & Rittscher, J. (2007). Integration of *supplier* selection , procurement lot sizing and carrier selection under dynamic demand conditions, 107, 502–510.
- Lin, J. R., & Lei, H. C. (2009). Distribution systems design with two-level routing considerations. *Annals of Operations Research*, 172(1), 329–347.
- Masella, C., & Rangone, A. (2000). A contingent approach to the design of vendor selection systems for different types of co-operative customer/ *supplier* relationships. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(1), 70–84.
- Rezaei, J., & Davoodi, M. (2011). Multi-objective models for lot-sizing with *supplier* selection. *International Journal of Production Economics*, 130(1), 77–86.
- Sagar, M., & Singh, D. (2012). *Supplier* Selection Criteria: Study of Automobile Sector in India. *International Journal of Engineering Research and Development*, 4(4), 34–39.
- Shinn, S. W., Hwang, H., & Park, S. S. (1996). Joint price and lot size determination under conditions of permissible delay in payments and quantity discounts for freight *cost*. *European Journal of Operational Research*, 91(3), 528–542.
- Smith, J., & Taskin, Z. (2008). A Tutorial Guide to Mixed Integer Programming Models and Solution Techniques. *Optimization in Medicine and Biology*, 1–23.
- Ware, N. R., Singh, S. P., & Banwet, D. K. (2014). Expert Systems with Applications A mixed-integer non-linear program to model dynamic *supplier* selection problem. *Expert Systems With Applications*, 41(2), 671–678.
- Wicaksono. (2016). *Supplier* Selection Model Considering Truckload Shipping. *Operations and Supply Chain Management*.