

Perbaikan *Min-Max* Distribusi Dengan *Multiple Criteria ABC Analysis NG-Model* Untuk Pengoptimalan *List Part Number*

Zulhendra Hanif^{1a}, Muh Hisjam^{1b}, Wakhid Ahmad Jauhari^{1c}

Abstract. *PT GMF Aeroasia Tbk. is the largest MRO company in Indonesia. This company has 67 plants worldwide. With the many plants that must be serviced, the complex process of repairing aircraft with spare parts that exceeds 15,000 types. Part distribution is a very big challenge and must be faced by companies where part distribution is done with multi-stage warehouses. At present the main warehouse has problems with the inefficiency of the min-max distribution system at each plant where the system aims to bond the parts that have the greatest frequency of demand to the sub-warehouse at the plant. This study discusses the improvement of Min-Max distribution with ABC Analysis NG-Model Multiple Criteria which aims to improve the efficiency of the list part number with the frequency of order transfer requests and the most optimal performance at 9 internal plants with the largest part demand activity. The proposed method is known to be able to increase min-max accommodation including, Transfer Order frequency from 23% to 40.80% and weekly delivery performance from 22% to 62.69%. In addition, this method can also reduce the amount of part number on Min-max with the results of Transfer Order accommodation and increased performance from the methods currently used.*

Keywords: *internal distribution, ABC classification, NG-Model, multi-stage warehouse, MRO.*

Abstrak. *PT GMF Aeroasia Tbk. merupakan Perusahaan MRO terbesar di Indonesia. Perusahaan ini memiliki 67 plant di seluruh dunia. Dengan banyaknya plant yang harus dilayani dan kompleksnya proses perbaikan pesawat dengan suku cadang yang melebihi 15.000 jenis, distribusi part merupakan tantangan yang sangat besar dan harus dihadapi perusahaan yang dimana pendistribusian part dilakukan dengan Gudang bertingkat. Saat ini Gudang utama mengalami kendala tidak efisiennya sistem distribusi min-max pada setiap plant yang dimana sistem ini bertujuan untuk mendekatkan part yang memiliki frekuensi permintaan terbesar ke sub-gudang di plant. Pada Penelitian ini membahas mengenai perbaikan min-max distribusi dengan Multiple Criteria ABC Analysis NG-Model yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi list part number dengan frekuensi permintaan transfer order dan performansi yang paling optimal pada 9 plant internal dengan aktifitas permintaan part terbesar. Metode yang usulan ini diketahui mampu meningkatkan akomodasi min-max diantaranya, frekuensi Transfer Order dari 23% menjadi 40,80% serta performansi pengiriman mingguan dari 22% menjadi 62,69%. Selain itu, metode ini juga dapat mengurangi jumlah list part pada min-max dengan hasil akomodasi Transfer Order serta Performansi yang meningkat dari metode yang digunakan sekarang.*

Kata Kunci: *distribusi internal, klasifikasi ABC, NG-model, gudang bertingkat, MRO.*

I. PENDAHULUAN

Pengendalian persediaan / *inventory control* yang optimal merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi perusahaan dalam rantai pasok (Qu dkk., 2018). Manajemen persediaan

merupakan bagian dari manajemen rantai pasok yang merencanakan, mengimplementasikan, dan mengendalikan aliran dan penyimpanan barang, layanan dan informasi terkait agar *inventory* menjadi efisien, efektif, antara titik asal dan titik konsumsi untuk memenuhi kebutuhan atau permintaan pelanggan (Singh & Verma, 2018).

PT. GMF Aero Asia, Tbk. merupakan perusahaan bidang *maintenance, repair, and overhaul* (MRO) pesawat terbesar di Indonesia. Perusahaan ini memiliki sistem distribusi produk yang terdiri dari 67 *plant* atau gudang dengan 1 pusat distribusi yang disebut GMF Aeroasia Distribution Center (GADC). Permasalahan yang timbul adalah tidak efektifnya sistem persediaan yang terdapat di

¹ Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jalan Ir. Sutami 36 A, Surakarta, 57126

^a email: hendranhanif@gmail.com

^b email: hisjam@gmail.com

^c email: wachid_aj@yahoo.com

plant sehingga meningkatkan arus permintaan barang dari GADC ke *plant*. Hal ini berakibat buruk terhadap pelayanan permintaan barang oleh teknisi kepada GADC, karena produk yang sering dipakai di hangar pesawat masih banyak dipasok oleh GADC satu persatu setiap produk dibutuhkan. Umumnya hal ini dapat diminimalisir dengan mendekati produk yang sering dipakai terhadap hangar atau bagian produksi

Saat ini, GADC melayani sekitar 600-800 permintaan *part* melalui dokumen TO (*transfer order*). Jumlah permintaan yang datang dari bagian produksi ini harus dilayani dalam 24 jam untuk kepentingan produksi hangar maupun workshop. GADC memiliki permasalahan kekurangan tenaga kerja untuk melayani semua permintaan TO, sehingga terdapat permintaan yang terselesaikan lebih dari 24 jam, dimana terdapat hingga 15% permintaan yang tidak dapat dilayani pada hari yang sama. Hal ini menjadi catatan buruk untuk bagian GADC, dimana solusi penambahan tenaga kerja baik tenaga kerja tetap maupun pihak ketiga tidak bisa dilaksanakan. Keterbatasan kebijakan perusahaan untuk tidak membuka lowongan, sehingga diperlukan alternatif lain untuk menyelesaikan permasalahan ini.

Dalam jaringan yang ada di MRO, perencanaan rantai pasok suku cadang memiliki peran yang semakin penting dalam perusahaan tersebut. Semua kegiatan dalam rantai pasok suku cadang MRO harus dirancang dan direncanakan untuk memastikan ketersediaan suku cadang, serta memenuhi permintaan dengan sumber daya terbatas. Hal itu adalah tujuan dari masing-masing dari elemen jaringan MRO (Li dkk., 2017), terlebih pada MRO dilakukan perawatan pesawat yang memiliki mesin kompleks. Bagian *logistic control planner* dihadapkan dengan mempertahankan kesediaan part dengan intensitas yang sangat tinggi (Wong dkk., 2006).

Manajemen persediaan adalah salah satu faktor terpenting dalam MRO untuk mengurangi *turn around time* (TAT). Penanganan produk pada manajemen persediaan pada perusahaan MRO terdapat perbedaan dengan manufaktur biasa. Salah satu perbedaannya terdapat pada

pengelompokan sistem persediaannya, dimana pada MRO terdapat *rotatable component inventories* dan *regular inventory* pada perusahaan yang ada pada MRO dan manufaktur pada umumnya (Erkoc & Ertogral, 2016).

Pada MRO umumnya, tanggung jawab penyimpanan barang berada pada *warehouse* dan *storeroom*. Namun masalah yang timbul adalah pembagian tanggung jawab perawatan dan kontrol produk (Peters, 2015). Pada PT GMF Aeroasia, penyimpanan *part* dibagi menjadi 2 penanggung jawab, yaitu *warehouse* atau *main store* dengan nama lainnya adalah GMF Aeroasia Distribution Cental (GADC) dan *storeroom* yang terletak di 67 lokasi di seluruh Indonesia dan termasuk *store* pada hanggar dan *workshop*.

Saat ini, sistem distribusi dan penyimpanan barang di *plant* sudah dilakukan oleh pihak manajemen dengan sistem *min-max*. Dalam aplikasinya, sistem ini memiliki masalah, dimana produk yang dikategorikan di dalam daftar persediaan yang harus ada di *plant* sebagian besar bukan lagi produk yang sering digunakan dan tidak memiliki kuantitas besar. Sistem ini tidak memiliki utilitas dan efisiensi yang tinggi untuk mengurangi aktivitas di GADC, karena produk yang sering digunakan tetap dipasok dari GADC, bukan dari stok yang tersedia di *plant* atau berada didalam sistem *min-max*.

Pengembangan model *min-max* pada sistem *dual-echelon inventory* telah dilakukan oleh Bertazzi dkk. (2016). Sedangkan penentuan daftar *part number* pada sistem *min-max* umumnya menggunakan klasifikasi ABC dikembangkan pertama kali oleh Flores & Whybark (1986). Metode klasifikasi ini juga digunakan untuk menemukan *trade off* di antara tingkat layanan, biaya persediaan, dan laba bersih oleh artikel yang dikembangkan oleh Millstein dkk. (2014)

Pada penelitian ini diusulkan perbaikan metode penetapan *part number* yang dimasukkan ke dalam *list min-max* dengan *multiple criteria ABC analysis*, yaitu NG-model yang dikembangkan oleh Ng (2007). Model ini telah digunakan oleh Kampen dkk. (2012) untuk mengklasifikasi SKU pada sebuah perusahaan. Bacchetti & Saccani (2012), Roda dkk. (2014), Chien & Chou (2017), Molenaers dkk. (2012),

menggunakan model ini untuk klasifikasi *sparepart* untuk keperluan kontrol permintaan. Sarmah & Moharana (2015) dan Iraqi dkk. (2016) menggunakan model ini untuk kontrol persediaan *spare part*. Marichelvam dkk. (2017) telah menggunakan model ini untuk mengurangi persediaan *spare part* yang ada di gudang. Scala dkk. (2014), Sughayer dkk. (2017), Hu dkk. (2017), Wen dkk. (2018), telah menggunakan dan mengembangkan model ini untuk klasifikasi *sparepart* berdasarkan multi variabel pada industri manufaktur. Wang dkk. (2015) menggunakan model ini untuk klasifikasi peralatan untuk keperluan *maintenance*. Berdasarkan studi yang telah ada, belum ada paper yang membahas penggunaan dan pengembangan model ini untuk diterapkan di perusahaan MRO, serta distribusi internal di perusahaan. Model ini menjadi pembaruan dalam pengaplikasian metode NG-Model pada perusahaan MRO untuk pengendalian distribusi internal dengan cara penerapan pada sistem *min-max* distribusi internal.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan selama 33 hari kerja di Divisi *Logistic and Bonded* PT. GMF Aero Asia Tbk. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan jumlah *part number* yang akan didekatkan ke hangar melalui *plant store* dari GMF Aeroasia Distribution Center berdasarkan permintaan *transfer order* dengan frekuensi *order* jenis *part* terbanyak dengan performansi permintaan mingguan yang tinggi dan stabil.

Data yang digunakan adalah permintaan *transfer order* yang diajukan oleh *plant* ke GADC selama 26 minggu yang terhitung dari 1 Januari hingga 1 Juli. Penelitian ini difokuskan pada *part* non kimia dengan *part* yang dimasukkan ke dalam *list min-max* usulan adalah part kelas A yang telah diolah dengan metode klasifikasi ABC konvensional. Selanjutnya dilakukan pengolahan data berdasarkan multikriteria klasifikasi ABC NG-model yang dikembangkan oleh Ng (2007). Penelitian ini tidak mempertimbangkan kapasitas dan sumber daya manusia pada gudang utama dan sub-gudangnya. Kriteria performansi pada

penelitian ini adalah permintaan *transfer order* dan performansi pengiriman mingguan.

a. Klasifikasi ABC

Klasifikasi ABC atau analisis ABC adalah teknik yang banyak digunakan untuk klasifikasi persediaan dalam organisasi. Teknik ini didasarkan pada prinsip Pareto untuk membagi item persediaan kedalam tiga kelas yang sesuai dengan kriteria tertentu. Umumnya adalah item yang sangat banyak tetapi sedikit dalam jumlah *part number* dimasukkan kedalam kelas A, kelas C memiliki item yang sedikit tetapi jumlah *part number* sangat banyak, sedangkan kelas B berada diantara kelas A dan C (Silver dkk., 1998)

Analisis ABC sangat berguna untuk memfokuskan perhatian manajemen terhadap penentuan jenis barang yang paling penting dalam sistem persediaan. Konsep 80-20 berguna untuk merencanakan persediaan bilamana jumlah jenis barang mencapai ratusan bahkan ribuan. Sejumlah persediaan akan dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu kelompok A yang mempunyai nilai penjualan 60% - 80% dari 10% - 20% jenis *part number*, kelompok B yang mempunyai nilai penjualan sekitar 15% - 25% dari 30% jenis *part number*, dan kelompok C yang mempunyai nilai penjualan sekitar 5% - 10% dari 50% - 60% jenis *part number*. Konsep 80 - 20 memiliki arti bahwa 80% dari penjualan suatu perusahaan yang dihasilkan oleh 20% dari item lini produk.

b. Evaluasi *list min-max* yang digunakan saat ini

Evaluasi *list min-max* yang digunakan saat ini meliputi 2 variabel atau *indicator*, yaitu variabel jumlah *transfer order* dan *delivery performance*. *Transfer order* digunakan memiliki kesamaan definisi yaitu dokumen penyerahan material, *part*, komponen, yang memuat informasi tentang jenis, jumlah, ukuran, satuan, dan informasi lainnya yang penting diserahkan dari satu penanggung jawab gudang (*inventory holder*) ke penanggung jawab gudang lainnya (Meyliawati & Suprianto, 2016). Maksud digunakannya dokumen ini adalah sebagai media (bukti) penyerahan material, *part*, komponen, dari satu gudang atau *plant* ke lokasi atau *plant* lainnya dengan tujuan untuk dijadikan stok maupun pengalokasian penyimpanan.

Delivery performance merupakan penilaian performansi distribusi atau pengiriman, yang

digunakan dengan pendekatan performansi *supply chain*. Salah satunya adalah pengukuran normalisasi Snorm De Boer yang dikembangkan oleh Hvolby (2000). Model ini memiliki kemiripan dengan model *fuzzy* yang menjadi salah satu dasar yang digunakan pada NG-model. Adapun model yang disajikan pada Persamaan (1).

$$S_{norm} = \frac{S_i - S_{min}}{(S_{max} - S_{min})} \times 100 \quad \dots(1)$$

Dimana

- S_{norm} = performansi pengiriman
- S_i = nilai capaian pengiriman pada *item* i
- S_{max} = nilai capaian pengiriman tertinggi
- S_{min} = nilai capaian pengiriman terendah

Berdasarkan persamaan diatas, S_{norm} memiliki satuan %, sedangkan S_i , S_{max} dan S_{min} merupakan frekuensi pengiriman dengan satuan mingguan selama periode yang di review.

c. NG-Model

Klasifikasi *item* ke dalam grup A, B, C pada dasarnya hanya pada satu kriteria. Oleh karena itu, telah diakui secara umum bahwa analisis ABC konvensional tidak mungkin tidak dapat memberikan klasifikasi barang persediaan yang baik dalam pengimplementasian di dunia nyata (Guvener & Erel, 1998; Huiskonen, 2001; Chu dkk., 2008).

Literatur penelitian tentang alat keputusan untuk klasifikasi inventarisasi multi-kriteria telah dikembangkan dalam 20 tahun terakhir. Metodologi matriks *cross-tabulate* oleh Flores & Whybark (1987) untuk klasifikasi inventarisasi dua kriteria. Namun, metodologi menjadi rumit ketika memperluas untuk melibatkan lebih banyak kriteria. Skala masalah ketika melibatkan tiga atau lebih kriteria digunakan *multi-variate technique of cluster analysis* adalah pendekatan terhadap *item-item* kelompok dengan sifat-sifat yang sama (Partovi & Hopton, 1994).

Pada penelitian ini digunakan metode NG-model yang merupakan metode yang dikembangkan untuk klasifikasi inventarisasi multi-kriteria (Ng, 2007). Adapun metode NG-model mempertimbangkan inventaris dengan *i item* dan barang-barang diklasifikasikan berdasarkan kriteria *j*. Pengukuran *item* i dibawah kriteria *j* dilambangkan menjadi y_{ij} . Tahapan yang

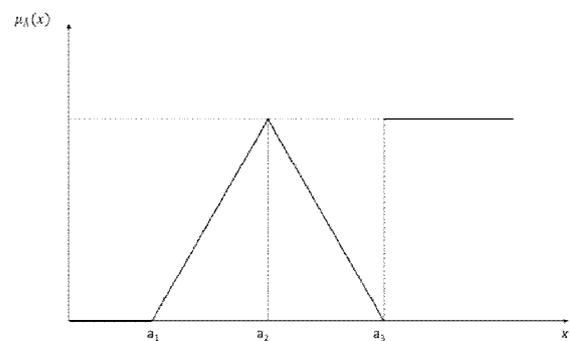
dilakukan dalam perhitungan adalah dalam 2 tahap.

1. *Triangular fuzzy*

Metode NG-model menggunakan *triangular fuzzy* untuk mengkonversi nilai *item* i pada kriteria j berdasarkan skor 0-1, dengan persamaan (Cheng, 1999):

$$\mu_{\tilde{A}} = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1} & a_1 < x < a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2} & a_2 < x < a_3 \\ 1 & x > a_3 \end{cases} \quad \dots(2)$$

Sedangkan *triangular fuzzy* digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Triangular fuzzy*

Berdasarkan persamaan (2), persamaan $\frac{x-a_1}{a_2-a_1}$ digunakan pada fungsi maksimum untuk mendapatkan nilai minimum. Persamaan $\frac{a_3-x}{a_3-a_2}$ merupakan fungsi minimum yang digunakan untuk mendapatkan nilai maksimum. Pada kasus ini digunakan tipe maksimum karena pada ng-model untuk kasus ini dibutuhkan nilai minimum, sehingga digunakan persamaan *triangular fuzzy* tipe maksimum. Adapun pada NG-model digunakan untuk mencari nilai transformasi x_{ij} . Sehingga pada kasus ini digunakan Persamaan (3).

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - \min_{j=1,2,\dots,r}\{y_{ij}\}}{\max_{j=1,2,\dots,r}\{y_{ij}\} - \min_{j=1,2,\dots,r}\{y_{ij}\}} \quad \dots(3)$$

Dengan;

x_{ij} = nilai konversi tiap unit pada masing-masing kriteria.

y_{ij} = nilai tiap unit pada masing-masing kriteria.

$\min_{j=1,2,\dots,r}\{y_{ij}\}$ = nilai unit terkecil pada kriteria j.
 $\max_{j=1,2,\dots,r}\{y_{ij}\}$ = nilai unit terbesar pada kriteria j.

2. Perhitungan bobot dengan NG-model

Untuk menghitung bobot pada masing-masing kriteria j , digunakan perhitungan bobot dengan hasil dinotasikan sebagai w_j . Adapun rumus yang digunakan dapat dilihat pada persamaan (4) dan (5).

$$w_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^I x_{ij}} \quad \dots(4)$$

$$\overline{w_{ij}} = \frac{\sum_{j=1}^J w_{ij}}{J} \quad \dots(5)$$

Dimana,

w_{ij} = bobot tiap unit pada kriteria j

$\overline{w_{ij}}$ = bobot rata-rata pada tiap unit.

3. Perhitungan skor NG-model

Setelah didapatkan bobot pada masing-masing kriteria (j) pada tiap *item* produk (i) dilakukan perhitungan skor (S_i) dengan menggunakan Persamaan (6).

$$S_i = \sum_{j=1}^J \overline{w_{ij}} x_{ij} \quad \dots(6)$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan persentase skor dengan notasi p_i dengan menggunakan perhitungan pada Persamaan (7).

$$p_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^I S_i} \quad \dots(7)$$

Sehingga didapatkan perhitungan persentase skor dan dilakukan pengurutan dari skor terbesar hingga terkecil. Setelah diurutkan, dilakukan klasifikasi ABC dengan cara yang sama dengan cara klasifikasi ABC konvensional tetapi variabel yang dihitung adalah persentase skor NG-model.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang didapatkan diolah dengan *tools software Ms. Excel*. Adapun hasil perhitungan dan pembahasannya dibahas pada bagian berikut.

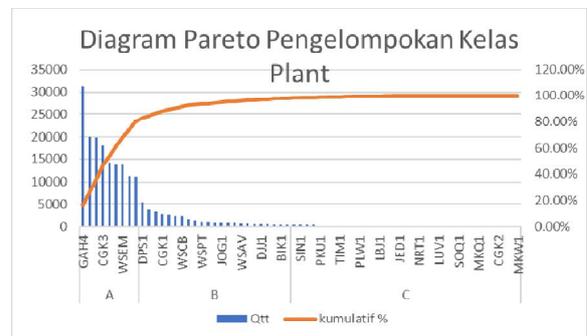
a. Analisis pengelompokan *plant* berdasarkan klasifikasi ABC

Berdasarkan hasil Perhitungan hasil klasifikasi

plant dilakukan pembuatann diagram pareto seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Kelas A garis kumulatif % (cum%) memiliki gradient atau kemiringan yang lebih curam kenaikannya dibandingkan kelas lainnya. Kelas A memiliki *plant* yang sangat mempengaruhi kontribusi permintaan TO, karena 79,79% permintaan *transfer order* berada di 9 *plant* pada kelas ini seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi kelas *plant*

No	Kelas	Plant	Jumlah TO	Persentase TO	Kumulatif TO
1		GAH4	31292	16.25%	16.25%
2		GAH2	20001	10.39%	26.64%
3		WSWB	19827	10.30%	36.93%
4		CGK3	18064	9.38%	46.31%
5	A	GAH1	14151	7.35%	53.66%
6		GAEM	14019	7.28%	60.94%
7		WSEM	13926	7.23%	68.17%
8		GAH3	11257	5.85%	74.02%
9		WSST	11083	5.76%	79.78%
Total			153620	79.79%	



Gambar 2. Diagram Pareto pengelompokan kelas *plant*

Sehingga pengendalian distribusi dengan menerapkan dan mengevaluasi sistem *min-max* pada 9 *plant* kelas A lebih efektif dengan usaha yang sangat minim. Serta hasil perhitungan ini sesuai dengan landasan teori yang dimana klasifikasi ABC dapat membantu mengeliminasi objek yang memiliki kontribusi tidak besar serta objek yang dipilih merupakan objek yang sangat berpengaruh besar. Adapun *plant* yang dimasukkan ke dalam kelas A disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui *plant* yang memiliki kontribusi permintaan.

TO terbesar adalah *plant* GAH4 atau Hangar 4, serta *plant* dengan permintaan TO terkecil di kelas A adalah *plant* Workshop WSST.

b. Perbandingan *list part number min-max* saat ini dan usulan

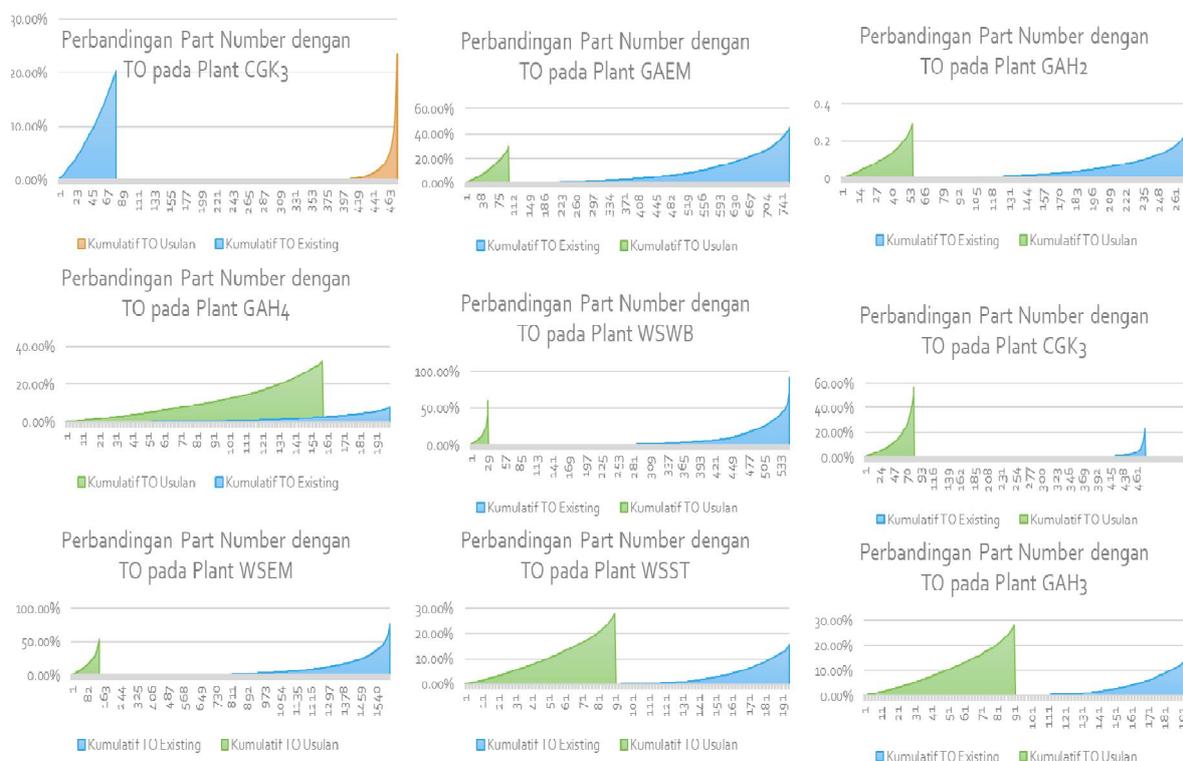
Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan perbandingan hasil *list min-max* saat ini dan usulan yang disajikan pada Tabel 2. Didapatkan pengurangan jumlah *part number* yang disimpan pada hampir semua *plant*. Pengurangan ini dikarenakan pada *list part number* saat ini terlalu banyak *part number* yang dimasukkan kedalam *list*. Pada *plant* GAH 4 didapatkan peningkatan

jumlah *part number* yang dikarenakan *part* yang disimpan pada *plant* ini terlalu sedikit, sehingga tidak akan terlalu membantu mengurangi aktifitas pelayanan pada GADC.

Berdasarkan persentase TO, didapatkan kenaikan pada hampir semua *plant*. Hal ini dikarenakan temuan masih banyak *part* yang tidak digunakan atau jarang digunakan, tetapi masuk kedalam *list part number* yang digunakan saat ini. Pada *plant* WSWB, GAEM, dan WSEM didapati penurunan persentase TO, dikarenakan hampir seluruh *part* yang digunakan pada *plant* ini, baik yang sering digunakan maupun jarang

Tabel 2. Perbandingan hasil perhitungan yang sudah ada dengan usulan

Perbandingan	Periode	GAH4	GAH2	WSWB	CGK3	GAH1	GAEM	WSEM	GAH3	WSST
Jumlah <i>part number</i>	Sekarang	201	273	551	476	67	763	1616	196	196
	Usulan	158	56	44	84	81	103	142	91	26
Persentase TO	Sekarang	7.89%	27.00%	92.43%	23.42%	5.88%	45.12%	76.50%	16.10%	44.91%
	Usulan	31.90%	29.26%	60.40%	56.13%	28.23%	29.71%	54.17%	27.89%	49.79%
Performansi	Sekarang	19.65%	33.30%	21.16%	3.73%	15.55%	18.95%	9.30%	15.73%	8.59%
	Usulan	63.26%	74.79%	97.29%	57.06%	52.76%	68.60%	87.12%	57.90%	59.23%



Gambar 3. Perbandingan jumlah *part number* terhadap *transfer order*

digunakan, dimasukkan ke *list part number*.

Berdasar performansi, diperoleh peningkatan performansi pada semua *plant*. Peningkatan yang didapatkan sangat signifikan. Peningkatan performansi terbesar didapatkan pada *plant* WSEM dari 9,30% menjadi 87,12% atau peningkatan sebesar 77,82%. Sedangkan peningkatan performansi terkecil berada pada *plant* GAH1 sebesar 37,21%.

c. Perbandingan jumlah *part number* terhadap *transfer order*

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan hasil perbandingan *Transfer Order* kumulatif terhadap jumlah part. berdasarkan Gambar 3, hasil akomodasi TO pada *min-max* usulan lebih baik dari daripada yang digunakan saat ini. Hal ini dapat dilihat pada sumbu x (jumlah *part*) yang berada pada *min-max* usulan lebih sedikit daripada *min-max* yang digunakan saat ini dengan nilai sumbu y (kumulatif TO) yang lebih tinggi. Sehingga dapat dilihat dengan part yang lebih sedikit, kumulatif TO yang diakomodasi oleh *min-max* usulan lebih besar. Hal ini dapat mengurangi resiko penyimpanan di *plant* dikarenakan resiko kehilangan dan distorsi data pada *plant* dapat diminimalisir atau lebih terantau.

IV. SIMPULAN

Pengelompokan *part number* dengan metode NG-model didapatkan hasil pengelompokan yang mengakomodasi kumulatif *transfer order* yang tinggi serta mempertimbangkan performansi yang tinggi pula, berbeda dengan klasifikasi ABC yang konvensional yang dapat memastikan persentase TO diatas 60% karena hanya mempertimbangkan satu variabel. Pada NG-model, sebagian besar perbaikan tidak memiliki persentase TO diatas 60%. Pada kasus ini, performansi pengiriman memiliki nilai yang lebih dari 55% sehingga efisiensi dan efektifitasnya dapat ditingkatkan. Pada jumlah *transfer order* yang tidak lebih dari 60%, tidak seperti pada metode konvensional yang performansi pengirimannya tidak dapat dipertimbangkan.

Perbandingan antara *list existing* dengan usulan yang lebih rendah di semua *plant*, kecuali

GAH1. Persentase transfer TO yang meningkat di semua *plant*, kecuali pada WSWB dan WSEM. Performansi pengiriman pada semua *plant* mengalami peningkatan secara drastis. Sehingga dapat dilihat *list min-max* usulan lebih efektif dan efisien dibandingkan pada *list min-max* yang digunakan saat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bacchetti, A.; Sacconi, N. (2012). "Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice". *Omega*, 40 (6), 722–737. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.06.008>
- Bertazzi, L.; Bosco, A.; Laganà, D. (2016). "Min–Max exact and heuristic policies for a two-echelon supply chain with inventory and transportation procurement decisions". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 93, 57–70.
- Chien, K.-C.; Chou, Y.-C. (2017). "An analytic method of service parts classification for inventory management". In *Proceedings of International Conference on Computers and Industrial Engineering, CIE*.
- Cheng, C.-H. (1999). "Evaluating weapon systems using ranking fuzzy numbers". *Fuzzy Sets and Systems*, 107(1), 25–35. doi: 10.1016/S0165-0114(97)00348-5
- Chu, C.-W.; Liang, G.-S.; Liao, C.-T. (2008). "Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification". *Computers & Industrial Engineering*, 55 (4), 841–851. doi: 10.1016/j.cie.2008.03.006
- Erkoc, M.; Ertogral, K. (2016). "Overhaul planning and exchange scheduling for maintenance services with rotatable inventory and limited processing capacity". *Computers & Industrial Engineering*, 98, 30–39. doi: 10.1016/j.cie.2016.05.021
- Flores, B.E.; Whybark, D.C. (1986). "Multiple criteria ABC analysis". *International Journal of Operations & Production Management*, 6 (3), 38–46. doi: 10.1108/eb054765
- Flores, B.E.; Whybark, D.C. (1987). "Implementing multiple criteria ABC analysis". *Journal of Operations Management*, 7 (1), 79–85. doi: 10.1016/0272-6963(87)90008-8
- Güvenir, H.A.; Erel, E. (1998). "Multicriteria inventory classification using a genetic algorithm". *European Journal of Operational Research*, 105 (1), 29–37.
- Hu, Q.; Chakhar, S.; Siraj, S.; Labib, A. (2017). "Spare parts classification in industrial manufacturing using the dominance-based rough set approach".

- European Journal of Operational Research*, 262 (3), 1136–1163. doi: 10.1016/j.ejor.2017.04.040
- Huiskonen, J. (2001). "Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices". *International Journal of Production Economics*, 71 (1-3), 125-133.
- Hvolby, H.H. (2000). "Performance measurement and improvement in supply chains". *Proceedings of the 3rd (Euro) CINet Conference CI2000 From Improvement to Innovation*, (Aalborg Universitet), 399–408.
- Iraqi, Z.; Barkany, A.E.; Biyaali, A.E. (2016). "Models of spare parts inventories' optimisation: A literature review". *International Journal of Services, Economics and Management*, 7 (2-4), 95–110. doi: 10.1504/IJSEM.2016.081845
- Li, L.; Liu, M.; Shen, W.; Cheng, G. (2017). "An improved stochastic programming model for supply chain planning of MRO spare parts". *Applied Mathematical Modelling*, 47, 189–207. doi: 10.1016/j.apm.2017.03.031
- Ng, W.L. (2007). "A simple classifier for multiple criteria ABC analysis". *European Journal of Operational Research*, 177 (1), 344-353. doi: 10.1016/j.ejor.2005.11.018
- Marichelvam, M.K.; Azhagurajan, A.; Geetha, M. (2017). "Reduction of spare parts inventory through combined analysis technique - a case study in a public sector company in India". *International Journal of Services and Operations Management*, 28 (4), 495–523. doi: 10.1504/IJSOM.2017.087851
- Meyliawati, M.; Suprianto, E. (2016). "Tinjauan sistem prosedur pengeluaran material C212 di gudang manajemen persediaan PT. X". *Indept*, 6, 17–23.
- Millstein, M.A.; Yang, L.; Li, H. (2014). "Optimizing ABC inventory grouping decisions". *International Journal of Production Economics*, 148, 71–80.
- Molenaers, A.; Baets, H.; Pintelon, L.; Waeyenbergh, G. (2012). "Criticality classification of spare parts: A case study". *International Journal of Production Economics*, 140 (2), 570–578.
- Partovi, F.Y.; Hopton, W.E. (1994). "The analytic hierarchy process as applied to two types of inventory problems". *Production and Inventory Management Journal*, 26 (1), 13-19.
- Peters, R.W. (2015). *17 - Maintenance, Repair, and Operations (MRO) Material Management: The Missing Link in Reliability*. In R. W. B. T.-R. M. P. Peters Estimating, and Scheduling (Ed.) (hal. 277–283). Boston: Gulf Professional Publishing.
- Qu, Z.; Raff, H.; Schmitt, N. (2018). "Incentives through inventory control in supply chains". *International Journal of Industrial Organization*, 59, 486–513.
- Roda, I.; Macchi, M.; Fumagalli, L.; Viveros, P. (2014). "A review of multi-criteria classification of spare parts: From literature analysis to industrial evidences". *Journal of Manufacturing Technology Management*, 25 (4), 528–549. doi: 10.1108/JMTM-04-2013-0038
- Sarmah, S.P.; Moharana, U.C. (2015). "Multi-criteria classification of spare parts inventories - A web based approach". *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21 (4), 456–477.
- Scala, N.M.; Rajgopal, J.; Needy, K.L. (2014). "Managing nuclear spare parts inventories: A data driven methodology". *IEEE Transactions on Engineering Management*, 61 (1), 28–37.
- Silver, E.; Pyke, D.; Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Scheduling*. The John Wiley & Sons.
- Singh, D.; Verma, A. (2018). "Inventory Management in Supply Chain". *Materials Today: Proceedings*, 5 (2), 3867–3872. doi: 10.1016/j.matpr.2017.11.641
- Sughayer, Z.A.; Attia, E.-A.; El-Assal, A. (2017). "Spare parts classification in marine rescue and fire services' stores with case study". In *ACM International Conference Proceeding Series* (hal. 100–106). doi: 10.1145/3178264.3178270
- van Kampen, T.J.; Akkerman, R.; van Donk, D.P. (2012). "SKU classification: A literature review and conceptual framework". *International Journal of Operations and Production Management*, 32 (7), 850–876. doi: 10.1108/01443571211250112
- Wang, X.; Shu, Z.; Bai, J. (2015). "An analysis of the ABC classification method for equipment maintenance materials inventory control based on the fuzzy theory". In *Electronics, Communications and Networks IV - Proceedings of the 4th International Conference on Electronics, Communications and Networks, CECNet2014* (Vol. 2, hal. 1733–1736).
- Wen, M.; Zu, T.; Guo, M.; Kang, R.; Yang, Y. (2018). "Optimization of Spare Parts Varieties Based on Stochastic DEA Model". *IEEE Access*, 6, 22174–22183. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2829480
- Wong, H.; van Houtum, G.J.; Cattrysse, D.; Oudheusden, D. (2006). "Multi-item spare parts systems with lateral transshipments and waiting time constraints". *European Journal of Operational Research*, 171 (3), 1071–1093.