PRISMA 1 (2018)
PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika
https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/prisma/

Penerapan Algoritma Kuhn-Munkres dalam Penyelesaian Masalah Penugasan *Multi-objective* pada Industri Konveksi Tas DP. SPORTY

Tiara Budi Utami, Isnaini Rosyida, Mulyono

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Kota Semarang

ytiarara@gmail.com

Abstrak

Pada penelitian ini, diberikan suatu prosedur untuk menyelesaikan masalah penugasan *multi-objective* (MOAP) dengan menggunakan Algoritma Kuhn-Munkres. Algoritma Kuhn-Munkres hanya dapat diterapkan pada kasus masalah penugasan sederhana (*single-objective*), sedangkan pada masalah penugasan *multi-objective* membutuhkan optimasi secara serempak dari beberapa tujuan pengoptimalan (biaya, waktu, dan kualitas). Untuk menyelesaikan masalah tersebut, dilakukan transformasi fungsi tujuan *multi-objective* ke dalam bentuk *single-objective* dengan menggunakan pendekatan vektor bobot. Kemudian, prosedur yang diusulkan diilustrasikan dengan studi kasus masalah penugasan pada industri konveksi tas DP. Sporty. Hasil penerapan metode pada data studi kasus diperoleh solusi masalah penugasan berupa pasangan pekerja dan tugas dengan total pemanfaatan sumber daya yang optimal secara bersamaan. Selain menggunakan Algoritma Kuhn-Munkres, dilakukan pencarian pasangan penugasan optimal menggunakan Solver. Hasil perhitungan dengan Solver memberikan pasangan penugasan yang sama dengan hasil perhitungan dengan Algoritma Kuhn-Munkres.

Kata Kunci: ***Matching*, Algoritma Kuhn-Munkres, Penugasan *Multi-objective***

PENDAHULUAN

Masalah umum penugasan meliputi x tugas yang harus ditetapkan kepada y pekerja di mana setiap pekerja memiliki kompetensi yang berbeda dalam menyelesaikan setiap tugas (Hillier & Lieberman, 2008). Tujuan dari masalah penugasan adalah untuk menetapkan tugas yang sesuai pada pekerja sehingga total pengeluaran sumber daya untuk menyelesaikan semua tugas dapat dioptimalkan.

Beberapa penelitian telah dikembangkan untuk memecahkan masalah penugasan. Sebagian besar metode yang dikembangkan hanya mempertimbangkan satu tujuan pengoptimalan. Masalah penugasan ini yang disebut sebagai masalah penugasan sederhana (*single-objective*).

Kebanyakan kasus penugasan yang mungkin diinginkan tidak ditentukan hanya berdasar pada satu pertimbangan. Dibutuhkan optimasi secara serempak dari beberapa kriteria sehingga diperoleh penugasan yang sesuai. Masalah penugasan yang mempunyai beberapa tujuan pengoptimalan terhadap beberapa jenis sumber daya yang dimiliki oleh pekerja dalam menyelesaikan tugas, baik berupa kuantitatif maupun kualitatif disebut sebagai masalah penugasan *multi-objective* (Przybylski *et al*., 2009).

Penelitian sebelumnya mencoba menyelesaikan masalah penugasan *multi-objective* yang terkait dengan biaya dan waktu (Geetha *et al*., 1993). Selanjutnya, Bao *et* *al*. (2007) memberikan pendekatan baru dalam menyelesaikan masalah penugasan *multi-objective* dengan metode pemrograman 0-1 di mana masalah penugasan *multi-objective* diterjemahkan menjadi masalah linier. Garrett *et al.* (2007) menyelesaikan masalah penugasan *multi-objective* pada pelaut (*Sailor Assignment Problem/ SAP)* yang dikenai kondisi bahwa banyaknya pelaut dan tugas tidak sama, yaitu dengan Algorima Hibrida. Metode lain untuk menyelesaikan masalah penugasan *multi-objective* adalah dengan metode dua fase (Przybylski *et al*., 2010) dan Algoritma Branch & Bound (Belhoul *et al*., 2014) di mana dalam metode ini seluruh kemungkinan solusi diperhitungkan sebagai kandidat solusi. Selain metode-metode yang telah disebutkan di atas, terdapat beberapa pendekatan pada kasus optimasi *multi-objective* yang dapat diterapkan untuk masalah penugasan, di antaranya dengan Algoritma Genetika (Deb *et al.*, 2002*)*, Pendekatan Pareto (Knowles & Corne, 2000), dan Algoritma Evolusioner *Multi-Objective* (Yen & Lu, 2003).

Metode yang dapat diterapkan untuk menentukan penyelesaian dari masalah penugasan optimal salah satunya melalui pendekatan teori graf dengan Algoritma Kuhn-Munkres yang dikembangkan oleh Kuhn (1955) dan Munkres (1957) (Bondy & Murty, 1976). Masalah penugasan dinyatakan dengan graf bipartisi komplit berbobot, kemudian dicari solusi optimalnya berupa penjodohan sempurna (*perfect matching*) dengan bobot maksimum (Mills-Tettey *et al*., 2007).

Selama ini Algoritma Kuhn-Munkres hanya diterapkan pada kasus masalah penugasan sederhana (*single-objective*). Pada penelitian ini penulis mencoba menerapkan Algoritma Kuhn-Munkres dalam menentukan solusi optimal dari contoh kasus masalah penugasan *multi-objective* pada industri konveksi tas DP. Sporty, sehingga melalui langkah penyelesaian yang diusulkan dapat memberikan hasil penugasan yang optimal.

METODE

Pada penelitian ini digunakan metode kajian pustaka. Langkah-langkah yang dilakukan yaitu identifikasi masalah, persiapan penelitian, analisis dan pemecahan masalah, dan penarikan simpulan.

Pada tahap identifikasi masalah, dilakukan pencarian ide dari bidang kajian yang dipilih dan dijadikan permasalahan untuk dikaji. Masalah utama yang muncul adalah apakah Algoritma Kuhn-Munkres dapat diterapkan dalam penyelesaian masalah penugasan *multi-objective.*

Langkah selanjutnya, untuk menjawab permasalahan yang ditemukan dilakukan pengkajian secara teoritis terhadap sejumlah literatur dan sumber pustaka yang relevan. Studi pustaka diawali dengan mengumpulkan data dan informasi dari berbagai sumber pustaka yang berkaitan dengan masalah penugasan optimal (*optimal assignment problem*), penugasan *multi-objective*, penjodohan pada graf (*matching*), dan Algoritma Kuhn-Munkres.

Setelah dilakukan pengkajian terhadap teori-teori yang mendukung, kemudian membuat rancangan metode penyelesaian yang nantinya akan menjadi jawaban dari masalah yang ditemukan. Perancangan solusi diawali dengan menerapkan Algoritma Kuhn-Munkres untuk masalah penugasan sederhana (*single-objective*). Kemudian, mencoba menerapkan Algoritma Kuhn-Munkres pada contoh kasus masalah penugasan *multi-objective.*

Dalam proses memperoleh jawaban dari masalah yang diangkat dalam penelitian ini dilakukan analisis terhadap metode penyelesaian yang telah dirancang untuk masalah penugasan *multi-objective*. Langkah-langkah penyelesaiannya adalah sebagai berikut: 1)

Menyusun model matematika; 2) Melakukan normalisasi data (Grodzevichl & Romanko, 2006); 3) Modifikasi fungsi tujuan menggunakan pendekatan vektor bobot, maksimumkan (minimumkan):

$$z(X) = \alpha_1 \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}^{1}{''}\, x_{ij} + \alpha_2 \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}^{2}{''}\, x_{ij} + \cdots + \alpha_p \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}^{p}{''}\, x_{ij} \qquad (1)$$

(Bao, *et al*., 2007); 4) Menentukan solusi optimal masalah penugasan *multi-objective* yang direpresentasikan dalam graf bipartisi komplit berbobot dengan menerapkan Algoritma Kuhn-Munkres (Chartrand & Oellermann, 1993).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fokus utama dari masalah penugasan *multi-objective* adalah mengoptimalkan $p-$fungsi tujuan secara bersamaan. Tujuan pengoptimalan yang dimaksud adalah maksimisasi, minimisasi, atau kombinasi dari maksimisasi dan minimisasi dari masing-masing $p-$fungsi tujuan. Model matematis untuk masalah penugasan *multi-objective* dengan $p-$ tujuan (pAP) dirumuskan sebagai berikut:

Minimumkan (maksimumkan):

$$z(X) = \{z_1(X), z_2(X), \dots, z_p(X)\} \quad \text{di mana}$$

$$z_k(X) = \sum^{n}\sum^{n} c_{ij}^{k}\, x_i\ , \text{ untuk setiap } k = 1,2,\dots,p$$

dengan kendala:

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, \text{ untuk setiap } i = 1,2,\dots,n$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1, \text{ untuk setiap } j = 1,2,\dots,n \qquad (2)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ jika tugas } j \text{ ditetapkan untuk pekerja } i. \\ 0, \text{ jika tugas } j \text{ tidak ditetapkan untuk pekerja } i. \end{cases}$$

Keterangan:

$z(X)$: fungsi tujuan yang dicari nilai optimalnya (maksimum atau minimum).
k : banyaknya tujuan (obyektif).
n : banyaknya tugas (dan pekerja).
x_{ij} : penugasan dari pekerja i ke tugas j.
c_{ij}^{k} : parameter alokasi (biaya operasi non-negatif) dari pekerja i ke tugas j dengan tujuan k.

Contoh Kasus

Dalam memahami langkah penyelesaian masalah penugasan *multi-objective*, diberikan contoh kasus masalah dalam situasi nyata.

Seorang Kabag produksi Konveksi Tas DP Sporty bertugas untuk menetapkan tujuh penjahit ke tujuh mesin jahit yang berbeda. Kriteria dalam proses penempatan penjahit dilihat dari segi upah penjahit (C), waktu penyelesaian (T), dan kualitas jahitan (S). Berdasarkan data riwayat produksi pada 2 bulan sebelumnya, jika penjahit P_i ditempatkan pada mesin T_j, banyaknya upah yang dibayar per hari (dalam ribuan), lamanya waktu penyelesaian per produk (dalam detik), dan kualitas jahitan (skor 1-100), dari masing-masing penjahit diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Riwayat produksi I

Penjahit \ Mesin		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7
P_1	c	49	45	45	49	53	53	54
	t	256	220	204	221	289	301	318
	s	86	90	80	85	92	93	92
P_2	c	46	42	47	47	45	47	44
	t	248	188	172	180	212	263	226
	s	80	74	72	92	81	83	77
P_3	c	51	54	51	52	52	50	53
	t	259	225	243	240	245	270	311
	s	89	83	82	85	84	89	92
P_4	c	52	47	47	49	50	51	48
	t	267	264	265	234	251	250	255
	s	89	77	80	83	84	90	85
P_5	c	53	50	52	50	53	49	52
	t	288	270	308	273	310	274	303
	s	92	91	94	82	92	86	93
P_6	c	44	41	40	45	39	41	40
	t	224	155	180	213	142	176	149
	s	77	83	90	80	70	90	76
P_7	c	50	49	48	53	52	46	48
	t	256	238	234	291	359	277	253
	s	90	82	76	94	92	94	78

(Sumber: Laporan dan Evaluasi Produksi DP. Sporty Bulan April dan Mei 2017)

di mana c_{ij} adalah upah yang harus dibayarkan jika penjahit i ditempatkan di mesin j, t_{ij} adalah waktu yang diperlukan penjahit i untuk menyelesaikan tugas di mesin j, dan s_{ij} adalah skor akhir penjahit i dalam menghasilkan tas dengan mesin j.

Fokus utama masalah adalah bagaimana menempatkan tiap penjahit pada tiap mesin sehingga total banyaknya upah yang dibayarkan, lamanya waktu penyelesaian dapat minimum dan skor penjahit dapat maksimum secara bersamaan.

Langkah-langkah penyelesaian dari masalah pada kasus di atas adalah sebagai berikut:

1) Menyusun model matematika

   Tujuan dari masalah penugasan pada kasus di atas adalah meminimumkan upah dan waktu, serta memaksimumkan kualitas secara bersamaan. Karena terdapat tipe masalah minimum, dilakukan rekonstruksi bobot pada data upah (c_{ij}), dan waktu (t_{ij}), sedangkan untuk data skor (s_{ij}) tetap karena sudah bertujuan maksimum. Kemudian, direkonstruksi dengan menentukan nilai maksimum dari tiap tujuan, kemudian nilai maksimum tersebut dikurangkan dengan setiap nilai dari tujuan tersebut. Dari hasil rekonstruksi diperoleh data baru (c_{ij}', t_{ij}') yang diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data riwayat produksi II (rekonstruksi)

Penjahit	Mesin	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7
P_1	c'	5	9	9	5	1	1	0
	t'	103	139	155	138	70	58	41
	s	86	90	80	85	92	93	92
P_2	c'	8	12	7	7	9	7	10
	t'	111	171	187	179	147	96	133
	s	80	74	72	92	81	83	77
P_3	c'	3	0	3	2	2	4	1
	t'	100	134	116	119	114	89	48
	s	89	83	82	85	84	89	92
P_4	c'	2	7	7	5	4	3	6
	t'	92	95	94	125	108	109	104
	s	89	77	80	83	84	90	85
P_5	c'	1	4	2	4	1	5	2
	t'	71	89	51	86	49	85	56
	s	92	91	94	82	92	86	93
P_6	c'	10	13	14	9	15	13	14
	t'	135	204	179	146	217	183	210
	s	77	83	90	80	70	90	76
P_7	c'	4	5	6	1	2	8	6
	t'	103	121	125	68	0	82	106
	s	90	82	76	94	92	94	78

2) Normalisasi data

Dalam kasus penugasan dengan tujuan mengoptimalkan upah, waktu, dan skor penjahit, diketahui ketiga tujuan tersebut mempunyai satuan ukur yang berbeda. Maka dari itu, data upah, waktu, dan skor penjahit perlu dinormalisasi terlebih dahulu yaitu menyetarakan semua data dengan cara membagi data jenis sumber daya yang akan dioptimalkan (biaya, waktu, dan skor) dengan data maksimum dari masing-masing. Hasil normalisasi diperoleh data baru $(c_{ij}'', t_{ij}'', s_{ij}'')$ yang diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data riwayat produksi III (normalisasi)

Penjahit	Mesin	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7
P_1	c''	0.33	0.60	0.60	0.33	0.07	0.07	0.00
	t''	0.47	0.64	0.71	0.64	0.32	0.27	0.19
	s''	0.91	0.96	0.85	0.90	0.98	0.99	0.98
P_2	c''	0.53	0.80	0.47	0.47	0.60	0.47	0.67
	t''	0.51	0.79	0.86	0.82	0.68	0.44	0.61
	s''	0.85	0.79	0.77	0.98	0.86	0.88	0.82

	c''	0.20	0.00	0.20	0.13	0.13	0.27	0.07
P_3	t''	0.46	0.62	0.53	0.55	0.53	0.41	0.22
	s''	0.95	0.88	0.87	0.90	0.89	0.95	0.98
	c''	0.13	0.47	0.47	0.33	0.27	0.20	0.40
P_4	t''	0.42	0.44	0.43	0.58	0.50	0.50	0.48
	s''	0.95	0.82	0.85	0.88	0.89	0.96	0.90
	c''	0.07	0.27	0.13	0.27	0.07	0.33	0.13
P_5	t''	0.33	0.41	0.24	0.40	0.23	0.39	0.26
	s''	0.98	0.97	1.00	0.87	0.98	0.91	0.99
	c''	0.67	0.87	0.93	0.60	1.00	0.87	0.93
P_6	t''	0.62	0.94	0.82	0.67	1.00	0.84	0.97
	s''	0.82	0.88	0.96	0.85	0.74	0.96	0.81
	c''	0.27	0.33	0.40	0.07	0.13	0.53	0.40
P_7	t''	0.47	0.56	0.58	0.31	0.00	0.38	0.49
	s''	0.96	0.87	0.81	1.00	0.98	1.00	0.83

3) Modifikasi fungsi tujuan

Masalah penugasan pada contoh kasus di atas adalah masalah penugasan dengan tiga tujuan pengoptimalan, sehingga diasumsikan bobot tujuan adalah $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \frac{1}{3}$ dengan $\alpha_1 =$ bobot upah, $\alpha_2 =$ bobot waktu, dan $\alpha_3 =$ bobot skor. Kemudian, fungsi tujuan dimodifikasi ke dalam bentuk fungsi *single-objective* dengan pendekatan seperti pada persamaan (1), diperoleh fungsi tujuan baru seperti berikut:

Maksimumkan:

$$C, T, S = \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{7}\sum_{j=1}^{7} c_{ij}'' x_{ij} + \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{7}\sum_{j=1}^{7} t_{ij}'' x_{ij} + \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{7}\sum_{j=1}^{7} s_{ij}'' x_{ij}. \qquad (3)$$

Kemudian, substitusi data dari Tabel 3. ke fungsi tujuan (3) hingga diperoleh fungsi tujuan dalam bentuk *single-objective.* Koefisien-koefisien dari fungsi yang diperoleh terangkum dalam Tabel 4.

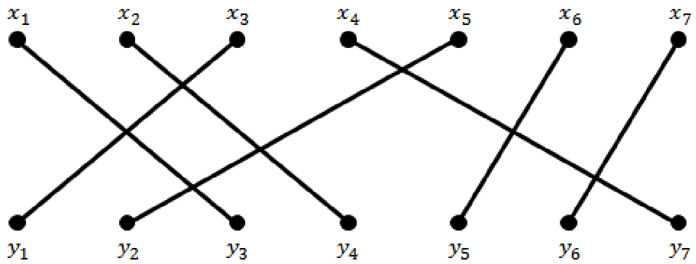
Tabel 4. Data riwayat produksi IV (*single-objective*)

Mesin Penjahit	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7
P_1	0.57	0.73	0.72	0.62	0.46	0.44	0.39
P_2	0.63	0.79	0.70	0.76	0.71	0.60	0.70
P_3	0.54	0.50	0.54	0.53	0.52	0.54	0.42
P_4	0.50	0.57	0.58	0.60	0.55	0.55	0.59
P_5	0.46	0.55	0.46	0.51	0.42	0.55	0.46
P_6	0.70	0.90	0.91	0.71	0.91	0.89	0.90
P_7	0.57	0.59	0.59	0.46	0.37	0.64	0.57

4) Penyelesaian dengan Algoritma Kuhn-Munkres

Setelah diperoleh data dalam bentuk *single-objective* (Tabel 4), kemudian dicari pasangan penugasan dengan menerapkan Algoritma Kuhn-Munkres. Dipunyai P_i adalah anggota himpunan pekerja (penjahit) dengan $i = 1,2,\ldots,7$ dan T_j adalah anggota himpunan tugas (mesin) dengan $j = 1,2,\ldots,7$.

Hasil perhitungan dengan Algoritma Kuhn-Munkres diperoleh penjodohan sempurna (optimal):
$M' = \{x_1y_3, x_2y_4, x_3y_1, x_4y_7, x_5y_2, x_6y_5, x_7y_6\}$.
Jadi, pasangan penugasan yang dihasilkan adalah P_1 ditugaskan ke T_3, P_2 ditugaskan ke T_4, P_3 ditugaskan ke T_1, P_4 ditugaskan ke T_7, P_5 ditugaskan ke T_2, P_6 ditugaskan ke T_5, dan P_7 ditugaskan ke T_6.



Gambar 1. Graf G_ℓ dengan penjodohan M'

Kemudian, substitusi data Tabel 1 pada pasangan penugasan yang dihasilkan sehingga diperoleh,
total upah yang harus dibayar:
$C = 45 + 47 + 51 + 48 + 50 + 39 + 46 = 326;$
total waktu penyelesaian:
$$T = 204 + 180 + 259 + 255 + 270 + 142 + 277$$
$$= 1587;$$
total skor maksimal:
$S = 80 + 92 + 89 + 85 + 91 + 70 + 94 = 601.$

Selain menggunakan Algoritma Kuhn-Munkres, dilakukan pencarian pasangan penugasan data *single-objective* pada Tabel 4 menggunakan Solver. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	
2	P1	0.57	0.73	0.72	0.62	0.46	0.44	0.39	
3	P2	0.63	0.79	0.70	0.76	0.71	0.60	0.70	
4	P3	0.54	0.50	0.54	0.53	0.52	0.54	0.42	
5	P4	0.50	0.57	0.58	0.60	0.55	0.55	0.59	
6	P5	0.46	0.55	0.46	0.51	0.42	0.55	0.46	
7	P6	0.70	0.90	0.91	0.71	0.91	0.89	0.90	
8	P7	0.57	0.59	0.59	0.46	0.37	0.64	0.57	
9									
10									
11		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	
12	P1	0	0	1	0	0	0	0	1
13	P2	0	0	0	1	0	0	0	1
14	P3	1	0	0	0	0	0	0	1
15	P4	0	0	0	0	0	0	1	1
16	P5	0	1	0	0	0	0	0	1
17	P6	0	0	0	0	1	0	0	1
18	P7	0	0	0	0	0	1	0	1
19		1	1	1	1	1	1	1	

Gambar 2. Hasil Perhitungan dengan Solver

Berdasarkan hasil perhitungan dengan bantuan Solver pada Tabel 5, diperoleh pasangan penugasan yang sama dengan hasil perhitungan dengan Algoritma Kuhn-Munkres, kesimpulan yaitu P_1 ditugaskan ke T_3, P_2 ditugaskan ke T_4, P_3 ditugaskan ke T_1, P_4 ditugaskan ke T_7, P_5 ditugaskan ke T_2, P_6 ditugaskan ke T_5, dan P_7 ditugaskan ke T_6.

SIMPULAN

Masalah penugasan *multi-objective* merupakan masalah penugasan yang memungkinkan untuk mengoptimalkan beberapa tujuan (*objectives*) secara bersamaan. Dalam menerapkan Algoritma Kuhn-Munkres pada masalah penugasan multi-objective, langkah-langkah penyelesaiannya adalah menyusun model matematika, melakukan normalisasi data, modifikasi fungsi tujuan menjadi bentuk *single-objective*, kemudian menentukan solusi optimal masalah penugasan *multi-objective* yang direpresentasikan dalam graf bipartisi komplit berbobot dengan Algoritma Kuhn-Munkres.

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian berikutnya adalah mengkaji penyelesain masalah penugasan *multi-objective* dengan Algoritma Kuhn-Munkres pada kasus banyaknya pekerja dan tugas tidak sama serta disarankan untuk membuat program yang dikombinasikan dengan pendekatan yang digunakan untuk menyelesaikan masalah penugasan *multi-objective*.

DAFTAR PUSTAKA

Bao, C., Ming-Chi, T. & Meei-ing, T. 2007. A New Approach to Study The Multi-Objective Assignment Problem. *WHAMPOA – An Interdisciplinary Journal*, 53: 123-132.

Belhoul, L., Galand, L., & Vanderpooten, D. 2014. An Efficient Procedure for Finding Best Compromise Solutions to the Multi-Objective Assignment Problem. *In Computers & Operations Research*. Elsevier.

Bondy, J.A. & Murty, U. S. 1976. *Graph Theory with Applications.* New York: Elsevier Science Publishing Co., Inc.

Chartrand, G. & Oellermann, O. R. 1993. *Applied and Algorithmic Graph Theory*. New York: Mc Graw Hill, Inc.

Deb K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. 2002. A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II. *Journal of IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2): 182-97.

Garrett, J.D., Vannucci, J., Silva, R., Dasgupta, D., & Simien, J. 2007. Applying Hybrid Multiobjective Evolutionary Algorithms to the Sailor Assignment Problem. *In Advances in Evolutionary Computing for System Design*. Springer Verlag.

Geetha, S. & Nair, K. P. K. 1993. A Variation of the Assignment Problem. *European Journal of Operational Research*, 68(3): 422-426.

Hillier, S. F. & Lieberman, J. G. 2008. *Introduction To Operations Research* (9^{th} ed.). New York: Mc Graw-Hill, Inc.

Knowles, J.D. & Corne, D.W. 2000. Approximating the Nondominated Front Using the Pareto Archived Evolution Strategy. *Journal of Evolutionary Computation*, 8(2): 149–72.

Kuhn, H.W. 1955. The Hungarian Method for the Assignment Problem. *Journal of Naval Research Logistics Quarterly*, 2: 83-97.

Mills-Tettey, G. A., Stentz, A., & Dias, M. B. 2007. *The Dynamic Hungarian Algorithm for the Assignment Problem with Changing Cost.* Pittsburgh: Carnegie Mellon University.

Munkres, J. 1957. Algorithms for the Assignment and Transportation Problems. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics,* 5(1): 32-38.

Przybylski, A., Gandibleux, X., & Ehrgott, M. 2009. Computational Results for Four Exact Methods to Solve the Three-Objective Assignment Problem. In *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 618: 79-88. Edited by V. Barichard, M. Ehrgott, X. Gandibleux, & V. T'Kindt. Berlin: Springer Verlag.

Przybylski, A., Gandibleux, X., & Ehrgott, M. 2010. A Two Phase Method for Multi-Objective Integer Programming and Its Application to the Assignment Problem with Three Objectives. *Journal of Discrete Optimization,* 7: 149-165.

Yen, G.G. & Lu, H. 2003. Dynamic Multiobjective Evolutionary Algorithm: Adaptive Cell-Based Rank and Density Estimation. *Journal of IEEE Transactions on Evolutionary Computation,* 7(3): 253–74.