

MASALAH PELANGSIRAN UNIT KERETA PENUMPANG PADA STASIUN KERETA API

Dina Lianita Sari

Peneliti di Brighten Institute Bogor

I. PENDAHULUAN

Dalam suatu stasiun kereta api, pada jam-jam tertentu terdapat kereta api penumpang yang tidak dioperasikan untuk mengangkut penumpang. Perusahaan kereta api harus melakukan kegiatan pelangsiran dengan biaya minimum agar kereta api dapat beroperasi dengan baik. Dalam praktiknya, masalah pelangsiran adalah suatu masalah yang sangat kompleks yang harus dihadapi oleh perusahaan kereta api.

Dua proses penting dalam masalah pelangsiran adalah pendataan unit kereta api yang harus diparkir di tempat pelangsiran menjadi unit kereta api yang harus diberangkatkan dari tempat pelangsiran serta pemarkiran unit-unit kereta api pada rel pelangsiran.

Pada proses pendataan kereta-api-datang menjadi kereta-api-berangkat, didefinisikan *part* sebagai subset dari himpunan unit kereta yang berdampingan pada suatu kereta api. Dalam proses ini akan dicari suatu kombinasi *part* dari kereta-api-datang yang akan meminimumkan biaya untuk ditetapkan menjadi kereta-api-berangkat. Solusi dari masalah ini dapat dicari dengan menggunakan metode simpleks. Dari proses ini diperoleh himpunan *part* dari kereta-api-datang yang ditetapkan menjadi himpunan *part* dari kereta-api-berangkat yang disebut dengan blok. Blok-blok ini

akan digunakan dalam proses pemarkiran unit-unit kereta pada rel pelangsiran. *Assignment* fisibel adalah cara menyusun blok-blok pada suatu rel pelangsiran yang tidak boleh melebihi panjang rel dan tidak mengandung *crossing*. *Crossing* terjadi jika suatu blok menghalangi blok yang lain pada suatu rel pelangsiran. Memilih *assignment* fisibel pada proses pemarkiran unit kereta dapat dimodelkan sebagai masalah pemartisian himpunan dengan kendala tambahan dengan banyaknya variabel jauh lebih besar jika dibandingkan dengan banyaknya kendala. Solusi dari masalah pemartisian himpunan akan menghasilkan suatu himpunan *assignment* fisibel yang meminimumkan biaya pelangsiran. Dalam praktiknya, kegiatan pelangsiran adalah suatu masalah yang sangat kompleks yang harus dihadapi oleh perusahaan kereta api. Masalah pelangsiran ini telah banyak dibahas dan dipelajari, di antaranya oleh Richard Freling *et al* (2000) dan Ramon M. Lentink *et al.* (2003).

II. DESKRIPSI DAN FORMULASI MASALAH

2.1 Masalah Pelangsiran Unit Kereta Penumpang pada Stasiun Kereta

Dalam jam-jam sibuk, kereta api penumpang khusus dioperasikan untuk

mengangkut penumpang, sedangkan di luar jam sibuk, terdapat kelebihan kereta api yang tidak dioperasikan. Kelebihan kereta api tersebut dapat diparkir di rel-rel tertentu pada stasiun kereta api. Proses dari pendataan, pemarkiran, dan pemeliharaan unit kereta api beserta proses lain yang berhubungan disebut **pelangsiran** (*shunting*). Namun dalam tulisan ini hanya akan dibahas mengenai pendataan dan pemarkiran unit kereta api saja.

Pelangsiran dari unit kereta biasanya dilakukan di stasiun kereta yang memiliki jumlah rel yang banyak. Unit kereta-api-datang yang akan dilangsir (unit pelangsiran) dapat diletakkan pada rel-rel di depan peron ataupun rel-rel di sekitar peron. Ada dua jenis peron pada stasiun kereta, yaitu peron kedatangan dan peron keberangkatan. Unit kereta yang diparkir di depan peron adalah unit kereta dari kereta-api-terus. Kereta-api-terus adalah jenis kereta yang memiliki jangka waktu yang cukup dekat antara kedatangan ke stasiun dan keberangkatan dari stasiun. Rel yang jarang digunakan untuk memarkir unit pelangsiran adalah rel yang sering digunakan oleh kereta-api-terus. Hal ini bertujuan agar aktivitas kereta-api-terus tidak terganggu karena pelangsiran biasanya memerlukan waktu yang tidak singkat.

Unit kereta api yang harus diparkir di tempat pelangsiran disebut **unit kereta-api-datang** (*arriving shunt unit*), sedangkan **unit kereta-api-berangkat** (*departing shunt unit*) didefinisikan sebagai unit kereta api yang harus diberangkatkan dari tempat pelangsiran. Unit kereta-api-datang dapat berasal dari kereta api yang telah selesai dioperasikan dalam jangka waktu tertentu, sedangkan unit kereta-api-berangkat membentuk suatu rangkaian kereta yang akan

Dioperasikan untuk melayani penumpang.

Sebagian besar kereta api dapat bergerak dalam dua arah dan tidak membutuhkan lokomotif. Dalam masalah ini, unit kereta diklasifikasikan berdasarkan tipe dan subtipe. Tipe dari suatu unit kereta api merupakan kelas kereta api, misalkan kereta api tipe (kelas) bisnis, ekonomi atau eksekutif. Pada masalah ini diasumsikan bahwa hanya unit kereta dari tipe yang sama yang dapat dikombinasikan untuk membentuk suatu rangkaian kereta api. Sedangkan subtipe dari suatu unit kereta didasarkan atas banyaknya gerbong per unit kereta. Sebagai contoh, kereta api dengan subtipe MAT1_3 terdiri atas 1 unit kereta tipe MAT1 dengan banyaknya gerbong 3 buah. Kereta api dengan subtipe MAT1_3 MAT1_4 terdiri atas 2 unit kereta MAT1 dengan banyaknya gerbong 7 buah, di mana unit pertama terdiri atas 3 gerbong dan unit kedua dengan 4 gerbong. Dalam penggunaannya, unit kereta dari subtipe yang sama dapat dipertukarkan urutannya.

Secara umum, masalah pelangsiran unit kereta terdiri atas dua submasalah. Pertama adalah pendataan unit kereta-api-datang menjadi unit kereta-api-berangkat. Kedua berhubungan dengan pemarkiran unit-unit kereta pada rel pelangsiran. Selanjutnya, akan diminimumkan ongkos dari sebuah rencana pelangsiran sehingga kapasitas dari rel pelangsiran tidak melebihi.

Kendala dari masalah pelangsiran unit kereta secara umum terdiri atas empat hal, yaitu:

1. Kedatangan dan keberangkatan dari unit kereta pada suatu stasiun tidak harus berurutan. Artinya, kereta yang pertama datang di stasiun tidak harus

yang pertama kali berangkat dari stasiun.

2. Rel-rel pelangsiran dapat memiliki tipe serta panjang yang berbeda. Tipe dari sebuah rel menentukan bagaimana suatu unit pelangsiran dapat memasuki rel. Dalam hal ini, rel pelangsiran dibagi menjadi dua tipe, yaitu **jalur-satu-arah (Last In First Out track)** yang dapat dimasuki hanya dari salah satu sisi rel dan **jalur-bebas (free track)** yang dapat dimasuki dari dua sisi.
3. Unit pelangsiran dapat memiliki subtipe (banyaknya gerbong) yang berbeda. Hal ini membatasi himpunan rel pelangsiran di mana unit pelangsiran dapat diparkir karena rel-rel pelangsiran memiliki ukuran panjang yang berbeda.
4. Kereta api mempunyai waktu yang tetap untuk kedatangan dan keberangkatan dari peron, namun mempunyai waktu kedatangan dan keberangkatan dari rel pelangsiran yang fleksibel. Sebagai contoh, waktu keberangkatan sebuah unit kereta-api-datang dari sebuah peron kedatangan ke tempat pelangsiran dapat fleksibel dalam suatu interval waktu. Keberangkatan dapat dimulai dari waktu kedatangan dari unit tersebut ke peron dan berakhir pada sebuah kedatangan selanjutnya dari sebuah unit kereta pada peron kedatangan yang sama.

Tabel 1 adalah sebuah contoh dari tabel waktu (*time table*) untuk sebuah rel pelangsiran bertipe jalur-bebas. Tabel waktu ini berisi identitas (ID) kereta,

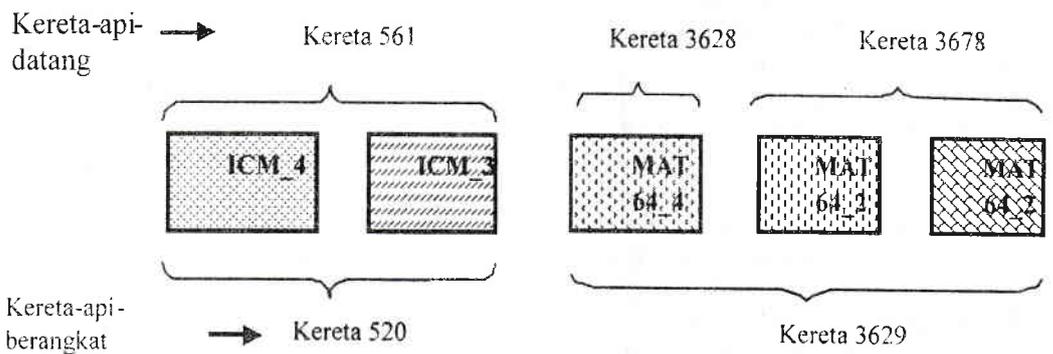
subtipe dari kereta, dan waktu kedatangan dan/atau keberangkatan kereta serta peron stasiun yang digunakan.

Tabel 1. Contoh tabel waktu untuk sebuah jalur-bebas

Kereta-api-datang			Kereta-api-berangkat			Subtipe Unit Kereta
ID Kereta	Peron	Waktu	ID Kereta	Peron	Waktu	
3628	5A	Senin 11:09	3629	5A	Selasa 07:49	MAT64_4
561	3B	Senin 21:02	520	1A	Selasa 07:18	ICM_4 ICM_3
3678	5B	Senin 23:43	3629	5A	Selasa 07:49	MAT64_2 MAT64_2

Tabel 1 menjelaskan sebuah rencana pelangsiran dari 5 unit kereta pada sebuah jalur-bebas. Setiap baris menunjukkan pendataan dari unit kereta-api-datang menjadi unit-kereta-api-berangkat. Dalam contoh ini, satu unit subtipe MAT64_4 dari kereta dengan ID 3628 tiba di peron 5A pada Senin pukul 11:09 dan unit ini akan meninggalkan stasiun dengan Kereta 3629 dari peron 5A pada Selasa pukul 07:49. Selanjutnya, baris ketiga menjelaskan bahwa dua unit kereta dengan subtipe MAT64_2 tiba dengan Kereta 3678 di peron 5B pada Senin pukul 23:43 dan akan berangkat juga dengan Kereta 3629 dari peron 5A pada Selasa 07:49. Jadi unit-unit dari Kereta 3628 dan Kereta 3678 dipasangkan berdekatan pada rel pelangsiran yang sama.

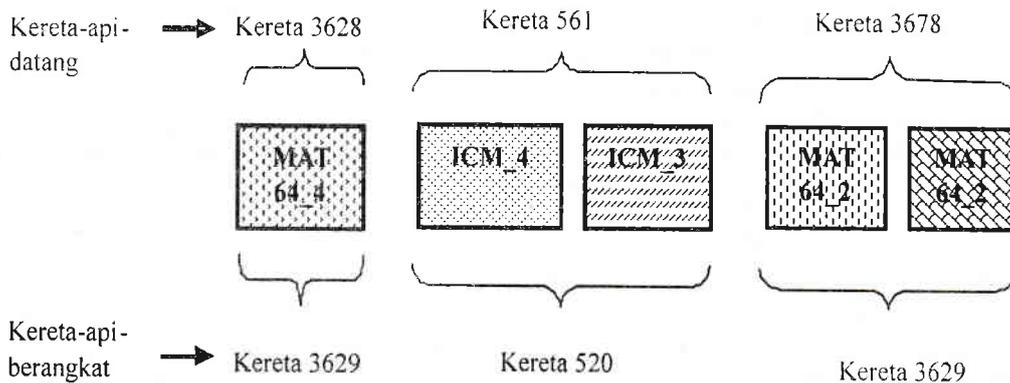
Gambar 1 menggambarkan situasi di rel pelangsiran bertipe jalur-bebas pada Selasa pagi pukul 06:00 berdasarkan Tabel 1



Gambar 1. Situasi di rel pelangsiran pada Selasa pukul 06:00.

Pada Gambar 1, Kereta 3628 berangkat dari peron 5A ke rel pelangsiran melalui salah satu sisi rel. Kemudian dari peron 3B Kereta 561 memasuki rel pelangsiran melalui sisi kiri rel, sedangkan Kereta 3678 berangkat dari peron 5A ke rel pelangsiran melalui sisi kanan rel. Kereta 561 dan 3678 tidak dapat

memasuki rel pelangsiran dari sisi yang sama baik kiri maupun kanan. Gambar 2 menggambarkan situasi di rel pelangsiran Selasa pukul 06:00 jika unit-unit dari Kereta 561 dan 3678 memasuki rel pelangsiran melalui sisi yang sama (dalam contoh ini melalui sisi kanan)



Gambar 2. Situasi di rel pelangsiran pada Selasa pukul 06:00 jika Kereta 561 dan Kereta 3678 memasuki rel pelangsiran melalui sisi yang sama.

Pada Gambar 2, Kereta 520 yang harus berangkat lebih dulu daripada Kereta 3629 akan tertutup dari kedua sisi rel oleh Kereta 3628 dan Kereta 3678. Hal ini disebut *crossing* dan tidak diperbolehkan karena akan menyulitkan proses pemberangkatan kereta. Selanjutnya, dalam kasus ini Kereta 3628 dan Kereta 3678 yang akan membentuk Kereta-api-berangkat 3629 tidak dapat diparkir berdekatan pada rel pelangsiran yang sama. Hal ini juga akan menyulitkan proses pelangsiran pada pagi hari. Jika rel berupa jalur-bebas, *crossing* hanya dapat dihindari dengan memarkir beberapa unit pada rel yang berbeda.

2.2 Pendekatan Solusi

Untuk mencari solusi dari masalah pelangsiran secara utuh adalah hal yang rumit. Oleh karena itu, untuk memudahkan pencarian solusi dari masalah pelangsiran, pendekatan solusi dipecah ke dalam dua submasalah.

Langkah pertama adalah proses pemadanan dari sejumlah unit kereta-api-datang menjadi unit kereta-api-berangkat. Setiap unit kereta-api-datang ditetapkan menjadi unit kereta-api-berangkat.

Misalkan berdasarkan tabel waktu pada Tabel 1, unit kereta-api-datang dengan sub tipe MAT64_4 dari Kereta 3628 ditetapkan menjadi unit kereta-api-berangkat dengan sub tipe yang sama dari Kereta 3629. Hal yang perlu diperhatikan bahwa unit kereta-api-datang dan unit kereta-api-berangkat dari suatu kereta tertentu adalah dua unit kereta dari sub tipe yang sama, hanya saja penamaan keretanya yang berbeda. Pada contoh ini kereta yang datang dinamakan Kereta 3628, sedangkan kereta yang berangkat dinamakan Kereta 3629.

Hasil dari langkah ini adalah

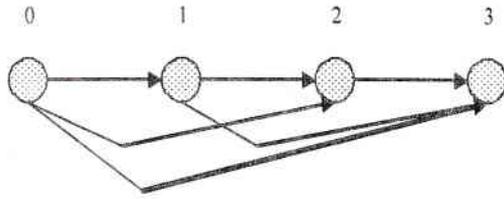
unit kereta yang digunakan secara bersama-sama selama periode tertentu yang didefinisikan sebagai **blok**. Sebagai contoh, unit kereta ICM_4 dan ICM_3 dalam Gambar 1 membentuk sebuah blok karena kedua unit ini digunakan secara bersama-sama pada Kereta 561. Unit kereta ICM_3 dan MAT64_4 tidak membentuk blok karena kedua unit ini tidak digunakan secara bersama-sama dalam pembentukan suatu kereta.

Langkah kedua berkaitan dengan pemarkiran unit-unit pelangsiran pada rel-rel pelangsiran. Dalam hal ini, setiap blok diparkir di suatu rel pelangsiran sedemikian sehingga kapasitas rel tidak melebihi dan *crossing* tidak terjadi.

2.2.1 Formulasi Masalah Pemadanan kereta-api-datang menjadi kereta-api-berangkat

Untuk setiap kereta-api-datang dan kereta-api-berangkat didefinisikan sebuah *network*. Simpul-simpul dari *network* menyatakan unit-unit kereta dan sebuah simpul rekaan (*dummy*/simpul 0). Simpul-simpul tersebut dapat mewakili tempat-tempat di mana unit kereta dapat dibagi ke dalam beberapa *part*. *Part* adalah himpunan bagian dari unit-unit kereta yang berdampingan pada suatu kereta api. Sisi berarah pada *network* mewakili *part* yang mungkin terbentuk dari suatu kereta. Secara matematis, banyaknya *part* yang dapat dibentuk dari suatu kereta dapat dinyatakan sebagai p , dengan m adalah banyaknya simpul dari suatu kereta dan n adalah banyaknya simpul yang berada di antara simpul sumber dan simpul tujuan pada suatu *network* dari kereta.

Gambar 3 menggambarkan suatu *network* untuk Kereta-api-berangkat 3629 pada Tabel 1.



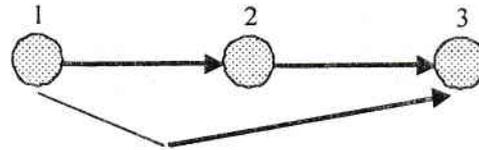
Gambar 3. *Network* dari Kereta 3629 pada Tabel 1.

Simpul 0 adalah simpul rekaan, sedangkan simpul 1, 2, 3 adalah unit kereta dari Kereta 3629, yang secara berurutan memiliki subtype MAT64_4, MAT64_2, MAT64_2.

Setiap sisi berarah bersesuaian dengan satu *part* dan terdapat 6 *part* yang berbeda yang mungkin pada contoh ini. Himpunan *part* yang terbentuk pada *network* di Gambar 3 diperoleh dari kombinasi yang mungkin semua subtype unit kereta dari Kereta 3629 pada Tabel 1 dan sebuah simpul rekaan. Sebagai contoh sisi berarah (0,1) pada *network* menyatakan bahwa subtype MAT64_4 dari Kereta 3629 membentuk suatu *part*, sedangkan sisi berarah (0,2) menyatakan bahwa subtype MAT64_4 dan MAT64_2 dari Kereta 3629 membentuk suatu *part*. Sebuah *path* dari simpul pertama sampai yang terakhir pada *network* ini bersesuaian dengan pembagian kereta ke dalam beberapa *part*. Sebagai contoh, *path* 0-2-3 pada Gambar 3 menyatakan bahwa unit kereta 1 dan 2 membentuk satu *part* dan unit kereta 3 membentuk *part* yang lain. Sebuah blok merupakan suatu kombinasi dari sebuah *part* dari kereta-api-datang menjadi sebuah *part* yang identik dari kereta-api-berangkat.

Simpul rekaan pada *network* dari Kereta 3629 dibutuhkan karena terdapat kemungkinan bahwa dua unit kereta

Membentuk satu *part* dan unit kereta lainnya membentuk *part* yang berbeda.



Gambar 4. *Network* dari Kereta 3629 pada Tabel 1 tanpa simpul rekaan.

Jika tidak ada simpul rekaan pada *network* ini, maka hanya ada 3 *part* yang mungkin terbentuk. Dalam hal ini *path* yang dapat terbentuk hanya ada dua. Pertama, *path* 1-2-3 pada Gambar 4 yang menyatakan bahwa ketiga unit kereta membentuk *part* yang berbeda, sedangkan yang kedua, *path* 1-3 pada Gambar 4 yang menyatakan bahwa ketiga unit kereta hanya membentuk 1 *part*.

Misalkan diberikan I sebagai himpunan dari semua *part* yang mungkin untuk kereta-api-datang dan J sebagai himpunan dari semua *part* yang mungkin untuk kereta-api-berangkat. Secara formal diperkenalkan sebuah formulasi matematika dengan variabel biner sebagai berikut:

$$x_k^s = \begin{cases} \text{jika assignment} \text{ fisibel } k \in K \\ \text{digunakan pada rel} \\ \text{pelangiran } s \in S \\ 0, \text{selainnya} \end{cases}$$

$$y_b = \begin{cases} 1, \text{ jika blok } b \in B \text{ tidak} \\ \text{diparkir pada rel} \\ \text{pelangiran } s \in S \\ 0, \text{selainnya} \end{cases}$$

Misalkan c_k^s menyatakan ongkos dari suatu *assignment* k pada rel s . Ongkos ini merupakan jumlah ongkos rute pelangsiran dari rel-rel di depan peron kedatangan ke rel pelangsiran kemudian kembali ke rel-rel di depan peron keberangkatan dari blok-blok yang berbeda pada suatu *assignment*.

Misalkan d menyatakan penalti jika sebuah blok tidak diparkir pada sebuah rel. *TAP* kemudian diformulasikan sebagai berikut

$$\text{Minimumkan } \sum_{s \in S} \sum_{k \in K^s} c_k^s x_k^s + d \sum_{b \in B} y_b \quad \dots\dots(8)$$

$$\text{Terhadap } \sum_{s \in S} \sum_{k \in K^s} x_k^s + y_b = 1 \quad \forall b \in B \quad \dots\dots(9)$$

$$\sum_{k \in K^s} x_k^s \leq 1 \quad \forall s \in S \quad \dots\dots(10)$$

$$x_k^s \in \{0,1\} \quad \forall s \in S, \forall k \in K^s \quad \dots\dots(11)$$

$$y_b \in \{0,1\} \quad \forall b \in B \quad \dots\dots(12)$$

Tujuan dari fungsi objektif (8) adalah meminimumkan ongkos dari *assignment-assignment* yang fisibel serta meminimumkan jumlah blok yang tidak diparkir pada rel pelangsiran. Kendala (9) menyatakan bahwa setiap blok *discover* oleh tepat satu *assignment* pada satu rel pelangsiran atau tidak diparkir sama sekali. Selanjutnya, kendala (10) menyatakan bahwa setiap rel pelangsiran dapat mempunyai paling banyak satu *assignment*. Kendala (11) dan (12) menyatakan bahwa variabel yang digunakan adalah variabel 0-1 yang telah didefinisikan.

Kolom pada matriks dari masalah *TAP* di atas menunjukkan *assignment* pada rel pelangsiran tertentu dan baris pada matriks menunjukkan blok dan rel pelangsiran. Jika blok b tercover dalam

assignment k pada suatu rel s , maka elemen matriks pada baris b dan kolom k memiliki nilai 1, dan 0 jika blok b tidak tercover dalam *assignment* tersebut.

III. SIMPULAN DAN SARAN

3.1. Kesimpulan

Pelangsiran adalah suatu proses dari pendataan, pemarkiran, dan pemeliharaan unit kereta api beserta proses lain yang berhubungan yang harus dilakukan oleh Perusahaan Kereta Api agar kereta api dapat beroperasi dengan baik dalam mengangkut penumpang. Model matematika dari pendataan kereta-api-datang menjadi kereta-api-berangkat dan pemarkiran unit-unit kereta-api-datang pada masalah dapat diselesaikan dengan menggunakan metode simpleks.

3.2. Saran

Pada tulisan ini telah dibahas mengenai penetapan blok pada rel pelangsiran dengan menggunakan teknik pembangkitan kolom. *Assignment* fisibel yang terbentuk dari blok-blok ini sangat banyak dan membutuhkan waktu serta ketelitian yang tinggi dalam pemeriksaannya, oleh karena itu alangkah lebih baik jika pencarian *assignment* fisibel tersebut menggunakan program komputasi

DAFTAR PUSTAKA

Barnhart, C., E.L. Johnson, G.L. Nemhauser, M.W.P. Savelsbergh & P.H. Vance. 1998. Branch and Price: Column Generation for Solving Huge Integer Programs. *Operation Research*, **46**: 316-329.

- Foulds, L.R.** 1992. *Graph Theory Applications*. Springer-Verlag, New York.
- Frelling, R., R.M. Lentink, L.G. Kroon & D. Huisman.** 2002. Shunting of passenger train units in a railway station. <http://www2.eur.nl/WebDOC/doc/econometrie/feweco20020917130601.pdf>. [13 Juli 2005]
- Frelling, R., R.M. Lentink & M.A. Oduk.** 2000. Scheduling train crews: a case study for the dutch railways. <http://www2.eur.nl/WebDOC/doc/econometrie/feweco20000510163950.pdf>. [11 Januari 2006]
- Garfinkel, R.S & G.L. Nemhauser.** 1972. *Integer Programming*. John Wiley & Sons, New York.
- Hillier, F.S. & G.J. Lieberman.** 1990. *Introduction to Mathematical Programming*. McGraw-Hill, New York.
- Lentink, R.M., P.J. Fioole, L.G. Kroon & C.V. Woudt.** 2003. Applying operations research techniques to planning of train shunting. <https://ep.eur.nl/bitstream/1765/1100/1/ERS+2003+094+LIS+.pdf>. [11 Januari 2006]
- Nash, S.G. & A. Sofer.** 1996. *Linear and Nonlinear Programming*. McGraw-Hill, New York.
- Williams, H.P.** 1985. *Model Building in Mathematical Programming 2nd ed.* Universities Pr, Northern Ireland.
- Winston, W.L.** 1995. *Introduction to Mathematical Programming 2nd ed.* Duxbury, New York.