

MODEL OPTIMASI PENJADWALAN KERETA API
(Studi Kasus pada Jadwal Kereta Api di PT Kereta Api Indonesia (Persero)
Daop 2 Bandung Lintasan Bandung-Cicalengka)

Oleh:

Dwi Agustina Sapriyanti ⁽¹⁾

Khusnul Novianingsih ⁽²⁾

Husty Serviana Husain ⁽²⁾

ABSTRAK

Kereta api merupakan angkutan umum yang banyak diminati oleh masyarakat khususnya di daerah Bandung, oleh karena itu diperlukan penjadwalan yang tepat agar dapat mengoptimalkan waktu tempuh kereta api. Pada skripsi ini dibangun sebuah model optimasi penjadwalan kereta api dengan pendekatan *integer programming* yang meminimumkan waktu keterlambatan di lintasan Bandung – Cicalengka. Untuk menyelesaikan optimasi tersebut digunakan algoritma *branch and bound*. *Branch and bound* secara sistematis mengabaikan sekumpulan kandidat solusi yang tidak potensial menuju solusi optimal dengan menggunakan estimasi batas atas dan batas bawah (*upper and lower estimated bounds*) dari kuantitas yang dioptimasi. Berdasarkan model optimasi yang telah dibangun, waktu keterlambatan yang diperoleh di lintasan Bandung – Cicalengka adalah sebesar 630 menit.

Kata kunci : Penjadwalan, Kereta api, *Integer programming*, *Branch and bound*

PENDAHULUAN

Kereta api adalah sarana transportasi berupa kendaraan dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan kendaraan lainnya, yang akan ataupun sedang bergerak di rel. Kereta api merupakan alat transportasi massal yang umumnya terdiri dari lokomotif (kendaraan dengan tenaga gerak yang berjalan sendiri) dan rangkaian kereta atau gerbong (dirangkaikan dengan kendaraan lainnya). Rangkaian kereta atau gerbong tersebut berukuran relatif luas sehingga mampu memuat penumpang maupun barang dalam skala besar. Karena sifatnya sebagai angkutan massal efektif, beberapa negara berusaha memanfaatkannya secara maksimal sebagai alat transportasi utama angkutan darat baik di dalam kota, antarkota, maupun antarnegara (Wikipedia: 2013).

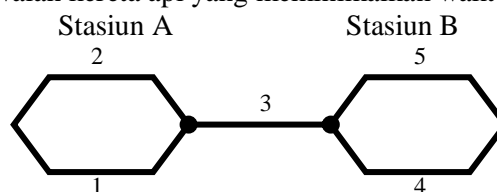
Di Indonesia, khususnya di daerah Bandung kereta api merupakan salah satu angkutan darat yang banyak diminati masyarakat, hal ini dikarenakan biaya yang relatif murah dan waktu tempuh yang cepat dibandingkan angkutan darat lainnya. Selain itu, kelebihan kereta api lainnya adalah ramah lingkungan dan relatif aman. Oleh karena itu, diperlukan penjadwalan yang tepat agar dapat mengoptimalkan perjalanan kereta api. Sistem penjadwalan kereta api merupakan masalah yang tidak mudah untuk dipecahkan karena harus memperhatikan banyak aturan dan batasan, salahsatunya adalah jalur yang digunakan merupakan jalur tunggal yaitu jalur yang digunakan untuk dua arah yang berbeda. Jadwal berisi tentang waktu kedatangan dan waktu keberangkatan kereta api pada setiap stasiun yang dilewati kereta api tersebut.

Dalam skripsi ini akan dibahas penyelesaian masalah penjadwalan kereta api dengan pendekatan *integer linear programming* (ILP). *Integer linear programming* atau *integer*

programming adalah optimasi matematika untuk menemukan solusi dimana setiap solusinya berupa bilangan bulat. Dalam hal ini akan dibuat sebuah model matematis untuk meminimumkan waktu keterlambatan kereta api dengan tidak melanggar kapasitas jalur yang ada dan memperhatikan beberapa batasan yang lain, diantaranya adalah batasan waktu penggunaan rel kereta api dan aturan selisih waktu untuk dua kereta api agar kedua kereta api tersebut tidak bertabrakan. Untuk menyelesaikan model *integer programming* yang telah dibuat digunakan algoritma *branch and bound*. Menurut Suyanto (2010 : 81) *branch and bound* adalah suatu algoritma umum untuk pencarian solusi optimal dari berbagai masalah optimasi, khususnya optimasi diskrit. *Branch and bound* secara sistematis mengabaikan sekumpulan kandidat solusi yang tidak potensial menuju solusi optimal dengan menggunakan estimasi batas atas dan batas bawah (*upper and lower estimated bounds*) dari kuantitas yang dioptimasi. Metode ini pertama kali diusulkan oleh A. H. Land & A. G. Doig pada tahun 1960.

DESKRIPSI PERMASALAHAN

Perjalanan kereta api didefinisikan sebagai kereta api yang bergerak dari stasiun asal ke stasiun tujuan melewati sejumlah rel. Setiap perjalanan diberikan waktu kedatangan awal. Selain itu, setiap perjalanan mempunyai waktu tinggal minimal dan maksimal di setiap rel yang digunakan. Untuk rel yang berada di stasiun, waktu tinggal merupakan waktu untuk menghentikan perjalanan kereta api di stasiun itu. Sedangkan, untuk rel yang tidak berada di stasiun, waktu tinggal adalah waktu tempuh kereta api di rel tersebut. Berdasarkan banyaknya kereta api yang ditugaskan dan kapasitas jalur yang tersedia, akan dibuat sebuah penjadwalan kereta api yang meminimumkan waktu keterlambatan.



Contoh jalur kereta api antara Stasiun A dan Stasiun B
(1, 2, 3, 4, dan 5 adalah rel yang terdapat sepanjang jalur antara Stasiun A dan Stasiun B)

Asumsi-asumsi yang digunakan pada pemodelan ini adalah:

1. Jenis kereta api yang digunakan ada empat yaitu kereta api lokal ekonomi, kereta api lokal patas, kereta api ekspres jarak jauh, dan kereta api ekonomi jarak jauh. Kecepatan masing-masing kereta api tergantung kepada jenis kereta api dan dianggap konstan, ini menyebabkan waktu tinggal di setiap rel berbeda-beda, baik di rel yang berada di dalam stasiun maupun di luar stasiun.
2. Jadwal perjalanan kereta api yang akan ditentukan adalah jadwal perjalanan untuk satu hari.
3. Tidak ada prioritas kereta api.

MODEL MATEMATIKA

Sebelum memodelkan permasalahan penjadwalan kereta api ini diperlukan beberapa definisi dari himpunan, parameter, dan variabel yang diperlukan. Model matematika yang digunakan dalam skripsi ini merupakan kajian dari Transportation research part B, 43:837-851 karangan Yusin Lee dan Chuen-Yih Chen pada tahun 2009.

a. Himpunan

- K : Himpunan kereta api
 B : Himpunan rel

- S : Himpunan stasiun
 B_k : Himpunan dari semua rel yang dilewati oleh kereta api k
 B_s : Himpunan rel yang berada di stasiun
 $B_k \setminus B_s$: Himpunan rel yang berada di luar stasiun

b. Parameter

- $Trip_k$: Waktu minimal yang diperlukan oleh kereta api k untuk menyelesaikan perjalanan
 T_{ik}^{min} : Waktu tinggal minimal untuk kereta api k pada rel i
 T_{ik}^{max} : Waktu tinggal maksimal untuk kereta api k pada rel i
 B_k^0 : Rel pertama yang digunakan oleh kereta api k
 B_k^F : Rel terakhir yang digunakan oleh kereta api k
 B_{ik}^- : Rel yang digunakan oleh kereta api k sebelum menggunakan rel i
 C_{ikl} : Selisih minimum antara kereta api k dan l saat menggunakan rel i secara berurutan

c. Variabel

- $delay_k$: Total waktu keterlambatan untuk kereta api k (menit)
 a_{ik} : Waktu ketika kereta api k memasuki rel i (menit)
 d_{ik} : Waktu ketika kereta api k meninggalkan rel i (menit)
 y_{ik} : Waktu keterlambatan kereta api k pada rel i (menit)

Fungsi tujuan permasalahan ini adalah untuk meminimumkan waktu keterlambatan seluruh kereta api, sehingga dapat dirumuskan dalam fungsi berikut:

Minimumkan $\sum_{k \in K} delay_k$

Adapun kendala-kendala yang harus dipenuhi terdiri dari:

- Setiap kereta api k menempati rel i paling sedikit selama T_{ik}^{min} .
 $d_{ik} \geq a_{ik} + T_{ik}^{min} \quad \forall i \in B_k, \forall k \in K$
- Jika kereta api k menggunakan rel i lebih dari T_{ik}^{max} kelebihan waktu tersebut dianggap sebagai keterlambatan.
 $d_{ik} \leq a_{ik} + y_{ik} + T_{ik}^{max} \quad \forall i \in B_k, \forall k \in K$
- Aturan penggunaan satu rel oleh dua kereta pada saat yang bersamaan, sehingga harus ada selisih minimum waktu agar kedua kereta tidak bertabrakan.
 $a_{ik} - d_{il} \geq C_{ikl} \quad \forall i \in B_k \setminus B_s, \forall k, l \in K$
- Waktu kereta api k meninggalkan rel yang telah digunakannya tepat sebelum memasuki rel i sama dengan waktu kereta api k memasuki rel i .
 $d_{B_{ik}^-} = a_{ik} \quad \forall i \in B_k, \forall k \in K$
- Waktu saat kereta api k meninggalkan jalur terakhir dikurangi waktu saat kereta api k memasuki jalur pertama sama dengan total keterlambatan kereta api k ditambah dengan waktu minimal yang diperlukan kereta api k untuk menyelesaikan perjalanan.
 $d_{B_k^F} - a_{B_k^0} = delay_k + Trip_k \quad \forall k \in K$
- Variabel bernilai non-negatif dan integer.
 $a_{ik} \geq 0$ dan integer $\quad \forall i \in B_j, \forall k \in K$
 $d_{ik} \geq 0$ dan integer $\quad \forall i \in B_j, \forall k \in K$
 $y_{ik} \geq 0$ dan integer $\quad \forall i \in B_j, \forall k \in K$
 $delay_k \geq 0$ dan integer $\quad \forall k \in K$

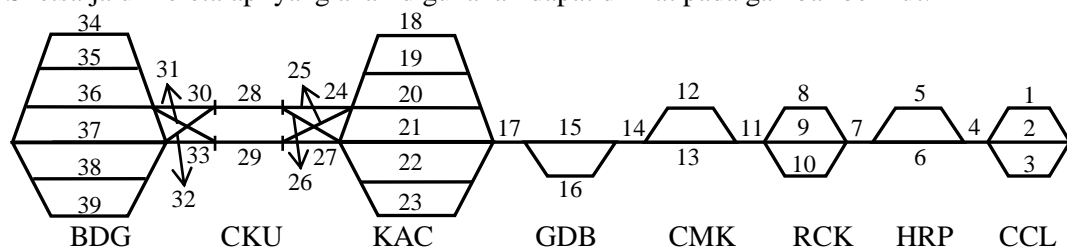
TEKNIK PENYELESAIAN

Teknik penyelesaian yang digunakan untuk menyelesaikan model *integer programming* di atas adalah menggunakan algoritma *branch and bound*. Berikut merupakan langkah-langkah algoritma *branch and bound* menurut Hartanto :

1. Selesaikan *integer programming* dengan metode simpleks biasa tanpa pembatasan bilangan bulat.
2. Teliti solusi optimumnya. Jika variabel basis yang diharapkan bulat, solusi optimum bulat telah tercapai. Jika satu atau lebih variabel basis yang diharapkan bulat ternyata tidak bulat, lanjutkan ke langkah 3.
3. Nilai solusi pecah yang layak dicabangkan ke dalam sub-sub masalah. Tujuannya adalah untuk menghilangkan solusi kontinu yang tidak memenuhi persyaratan bulat dalam masalah itu. Pencabangan itu dilakukan melalui kendala-kendala *mutually exclusive* yang perlu untuk memenuhi persyaratan bulat dengan jaminan tidak ada solusi bulat layak yang tidak diikuti sertakan.
4. Untuk setiap sub-masalah, nilai solusi optimum fungsi tujuan ditetapkan sebagai batas atas. Solusi bulat terbaik menjadi batas bawah (pada awalnya, ini adalah solusi kontinu yang dibulatkan ke bawah). Sub-sub masalah yang memiliki batas atas kurang dari batas bawah yang ada, tidak diikuti sertakan pada analisa selanjutnya. Suatu solusi bulat layak adalah sama baik atau lebih baik dari batas atas untuk setiap sub masalah yang dicari. Jika solusi yang demikian terjadi, suatu sub masalah dengan batas atas terbaik dipilih untuk dicabangkan.
5. Kembali ke langkah 3.

HASIL STUDI KASUS PADA JADWAL KERETA API DI PT KERETA API INDONESIA (PERSERO) DAOP 2 BANDUNG LINTASAN BANDUNG-CICALENGKA

Studi kasus ini dilakukan terhadap 56 kereta api yang melintas di jalur antara Stasiun Bandung sampai dengan Stasiun Cicalengka yang berangkat pada pukul 04.00 WIB sampai dengan pukul 22.00 WIB. Kereta api akan melewati beberapa stasiun yaitu Stasiun Bandung (BDG), Stasiun Cikudapateuh (CKU), Stasiun Kiaracandong (KAC), Stasiun Gedebage (GDB), Stasiun Cimekar (CMK), Stasiun Rancaekek (RCK), Stasiun Haurpugur (HRP), dan Stasiun Cicalengka (CCL). Masing-masing stasiun memiliki kapasitas rel yang berbeda dan setiap kereta api berhenti di stasiun-stasiun tertentu. Sketsa jalur kereta api yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar berikut.



Dengan menggunakan *software* LINGO 10 diperoleh fungsi tujuan sebesar 630, artinya total keterlambatan untuk seluruh kereta api adalah 630 menit, dengan rincian masing-masing keterlambatan adalah sebagai berikut:

Tabel Keterlambatan Masing-masing Kereta Api

Indeks KA	Nama KA	Keterlambatan
1	KRD Ekonomi	3 menit
2	KRD Patas	Tidak mengalami keterlambatan
3	KRD Patas	9 menit
4	Pasundan	7 menit
5	KRD Patas	8 menit

6	KRD Ekonomi	13 menit
7	Lodaya Pagi	10 menit
8	KRD Patas	Tidak mengalami keterlambatan
9	Argo Wilis	3 menit
10	KRD Ekonomi	8 menit
11	KRD Patas	5 menit
12	KRD Patas	Tidak mengalami keterlambatan
13	KRD Ekonomi	Tidak mengalami keterlambatan
14	Serayu Pagi	Tidak mengalami keterlambatan
15	KRD Patas	3 menit
16	KRD Ekonomi	11 menit
17	Cibatu	12 menit
18	KRD Patas	4 menit
19	KRD Ekonomi	17 menit
20	Malabar	4 menit
21	KRD Patas	13 menit
22	KRD Ekonomi	27 menit
23	Mutiara Selatan	7 menit
24	KRD Patas	28 menit
25	Lodaya Malam	30 menit
26	KRD Ekonomi	18 menit
27	Turangga	10 menit
28	Kahuripan	2 menit
29	KRD Ekonomi	11 menit
30	Kutojaya Selatan	2 menit
31	Kahuripan	9 menit
32	Mutiara Selatan	Tidak mengalami keterlambatan
33	KRD Patas	10 menit
34	KRD Ekonomi	5 menit
35	Cibatu	26 menit
36	Turangga	19 menit
37	KRD Patas	23 menit
38	KRD Patas	8 menit
39	KRD Ekonomi	3 menit
40	KRD Patas	10 menit
41	KRD Ekonomi	1 menit
42	KRD Patas	12 menit
43	KRD Patas	11 menit
44	KRD Ekonomi	4 menit
45	Serayu Pagi	14 menit
46	KRD Patas	33 menit
47	KRD Ekonomi	2 menit
48	Lodaya Pagi	Tidak mengalami keterlambatan
49	KRD Patas	7 menit
50	Kutojaya Selatan	17 menit
51	KRD Ekonomi	25 menit
52	KRD Patas	30 menit
53	Argo Wilis	28 menit

54	KRD Ekonomi	31 menit
55	KRD Patas	33 menit
56	KRD Ekonomi	4 menit

Jadwal kereta api yang telah diperoleh dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel Jadwal Kereta Api Bandung – Cicalengka

Indeks KA	Nama KA	No. KA	BDG		CKU		KAC		GDB		CMK		RCK		HRP		CCL	
			DAT	BER	DAT	BER	DAT	BER	DAT	BER	DAT	BER	DAT	BER	DAT	BER	DAT	BER
1	KRD Ekonomi	320	-	-	-	-	4:03	4:05	4:10	4:11	4:14	4:16	4:22	4:30	4:36	4:39	4:44	4:46
2	KRD Patas	180	4:23	4:25	4:28	4:29	4:32	4:33	4:37	4:44	4:46	4:48	4:53	5:02	-	-	-	-
3	KRD Patas	182	4:38	4:42	4:45	4:46	4:49	4:51	4:55	4:56	4:58	4:59	5:04	5:15	5:20	5:21	5:25	5:27
4	Pasundan	122	-	-	-	-	5:28	5:30	5:34	5:36	5:38	5:39	5:43	5:50	5:54	5:55	5:58	6:00
5	KRD Patas	184	6:13	6:15	6:18	6:19	6:22	6:24	6:28	6:29	6:31	6:40	6:45	6:49	6:54	6:55	6:59	7:01
6	KRD Ekonomi	322	6:20	6:24	6:28	6:31	6:35	6:47	6:52	6:57	7:00	7:02	7:08	7:13	7:19	7:22	7:27	7:29
7	Lodaya Pagi	66	6:58	7:00	7:02	7:03	7:05	7:07	7:10	7:11	7:23	7:24	7:27	7:28	7:31	7:32	7:35	7:37
8	KRD Patas	186	7:33	7:35	7:38	7:39	7:42	7:44	7:48	7:49	7:51	7:52	7:57	8:01	8:06	8:07	8:11	8:13
9	Argo Wilis	6	7:58	8:00	8:02	8:03	8:05	8:07	8:10	8:14	8:16	8:17	8:20	8:21	8:24	8:25	8:28	8:30
10	KRD Ekonomi	324	8:05	8:08	8:12	8:15	8:19	8:24	8:29	8:30	8:33	8:35	8:46	8:53	8:59	9:02	9:07	9:09
11	KRD Patas	188	9:47	9:49	9:52	9:53	9:56	9:58	10:02	10:03	10:05	10:11	10:16	10:20	10:25	10:26	10:30	10:32
12	KRD Patas	190	10:18	10:20	10:23	10:24	10:27	10:29	10:33	10:34	10:36	10:37	10:42	10:46	10:51	10:52	10:56	10:58
13	KRD Ekonomi	326	11:06	11:08	11:12	11:15	11:19	11:24	11:29	11:30	11:33	11:35	11:41	11:46	11:52	11:55	12:00	12:02
14	Serayu Pagi	142	11:42	11:44	11:47	11:48	11:50	11:54	11:58	11:59	12:01	12:02	12:06	12:07	12:11	12:12	12:15	12:17
15	KRD Patas	192	12:03	12:05	12:08	12:09	12:12	12:14	12:18	12:19	12:21	12:22	12:27	12:31	12:36	12:40	12:44	12:46
16	KRD Ekonomi	328	12:25	12:27	12:31	12:34	12:38	12:43	12:48	12:49	12:52	13:05	13:11	13:16	13:22	13:25	13:30	13:32
17	Cibatu	338	13:45	13:47	13:50	13:51	13:54	13:56	14:00	14:03	14:05	14:13	14:18	14:25	14:30	14:31	14:35	14:37
18	KRD Patas	196	14:18	14:20	14:23	14:24	14:27	14:29	14:33	14:38	14:40	14:41	14:46	14:50	14:55	14:56	15:00	15:02
19	KRD Ekonomi	330	15:16	15:19	15:23	15:26	15:30	15:35	15:41	15:55	16:00	16:02	16:08	16:13	16:19	16:22	16:27	16:29
20	Malabar	86	15:33	15:39	15:41	15:42	15:44	15:46	15:49	15:50	15:52	15:53	15:56	15:57	16:00	16:01	16:04	16:06
21	KRD Patas	198	16:08	16:10	16:13	16:14	16:17	16:19	16:23	16:26	16:32	16:40	16:45	16:49	16:54	16:55	16:59	17:01
22	KRD Ekonomi	332	16:46	16:48	16:52	16:55	16:59	17:04	17:09	17:37	17:40	17:42	17:48	17:53	17:59	18:02	18:07	18:09

23	Mutiara Selatan	94	16:58	17:07	17:09	17:10	17:12	17:14	17:17	17:18	17:20	17:21	17:24	17:25	17:28	17:29	17:32	17:34
24	KRD Patas	200	17:37	17:39	17:42	17:43	17:46	17:48	17:52	17:53	17:57	18:24	18:29	18:33	18:38	18:39	18:43	18:45
25	Lodaya Malam	68	18:58	19:30	19:32	19:33	19:35	19:37	19:40	19:41	19:43	19:44	19:47	19:48	19:51	19:52	19:55	19:57
26	KRD Ekonomi	334	19:33	19:38	19:42	19:45	19:49	19:54	19:59	20:00	20:03	20:05	20:11	20:16	20:22	20:40	20:45	20:47
27	Turangga	38	19:58	20:00	20:02	20:03	20:05	20:07	20:13	20:14	20:16	20:17	20:25	20:28	20:31	20:32	20:35	20:37
28	Kahuripan	124	-	-	-	-	20:28	20:30	20:34	20:35	20:37	20:38	20:42	20:43	20:49	20:50	20:53	20:55
29	KRD Ekonomi	336	21:00	21:02	21:06	21:09	21:19	21:24	21:29	21:30	21:33	21:40	21:46	21:51	21:57	22:00	22:05	22:07
30	Kutojaya Selatan	146	-	-	-	-	21:08	21:10	21:14	21:15	21:17	21:18	21:22	21:25	21:29	21:30	21:33	21:35

Tabel Jadwal Kereta Api Cicalengka – Bandung

Indeks KA	Nama KA	No. KA	CCL		HRP		RCK		CMK		GDB		KAC		CKU		BDG	
			Dat	Ber	Dat	Ber	Dat	Ber	Dat	Ber	Dat	Ber	Dat	Ber	Dat	Ber	Dat	Ber
31	Kahuripan	123	4:14	4:16	4:19	4:20	4:24	4:28	4:38	4:39	4:41	4:42	4:46	4:48	-	-	-	-
32	Mutiara Selatan	93	5:00	5:02	5:05	5:06	5:09	5:10	5:13	5:14	5:16	5:17	5:20	5:22	5:24	5:25	5:27	5:29
33	KRD Patas	179	-	-	-	-	5:18	5:20	5:27	5:28	5:33	5:39	5:43	5:44	5:47	5:48	5:51	5:53
34	KRD Ekonomi	321	5:23	5:30	5:35	5:38	5:44	5:49	5:55	5:57	6:00	6:01	6:06	6:11	6:15	6:18	6:22	6:24
35	Cibatu	339	5:51	6:03	6:07	6:14	6:20	6:21	6:25	6:34	6:36	6:37	6:42	6:47	6:50	6:51	6:55	6:57
36	Turangga	37	6:21	6:23	6:26	6:27	6:30	6:31	6:34	6:52	6:54	6:57	7:00	7:02	7:04	7:05	7:07	7:09
37	KRD Patas	181	6:28	6:31	6:35	6:38	6:43	6:51	6:56	7:03	7:05	7:15	7:19	7:20	7:23	7:24	7:27	7:29
38	KRD Patas	183	7:43	7:45	7:49	7:50	7:55	8:03	8:08	8:09	8:11	8:15	8:19	8:20	8:23	8:24	8:27	8:29
39	KRD Ekonomi	323	8:28	8:33	8:38	8:41	8:47	8:52	8:58	9:00	9:03	9:04	9:09	9:14	9:18	9:21	9:25	9:27
40	KRD Patas	185	8:48	8:50	8:57	9:05	9:10	9:13	9:18	9:19	9:21	9:22	9:26	9:27	9:30	9:31	9:34	9:36
41	KRD Ekonomi	325	9:38	9:40	9:45	9:48	9:54	9:59	10:05	10:08	10:11	10:12	10:17	10:22	10:26	10:29	10:33	10:35
42	KRD Patas	187	10:58	11:02	11:06	11:07	11:14	11:19	11:24	11:25	11:27	11:34	11:38	11:39	11:42	11:43	11:46	11:48
43	KRD Patas	189	11:28	11:30	11:34	11:35	11:40	11:47	11:52	11:53	11:55	12:02	12:06	12:07	12:10	12:11	12:14	12:16

44	KRD Ekonomi	327	12:28	12:30	12:35	12:42	12:48	12:53	12:59	13:01	13:04	13:05	13:10	13:15	13:19	13:22	13:26	13:28
45	Serayu Pagi	141	12:52	12:54	12:57	12:58	13:02	13:17	13:21	13:22	13:24	13:25	13:29	13:33	13:35	13:36	13:39	13:41
46	KRD Patas	191	13:08	13:10	13:20	13:28	13:33	13:36	13:41	13:42	14:00	14:05	14:09	14:10	14:13	14:14	14:17	14:19
47	KRD Ekonomi	329	14:03	14:05	14:10	14:13	14:19	14:24	14:30	14:32	14:35	14:38	14:43	14:48	14:52	14:55	14:59	15:01
48	Lodaya Pagi	65	15:10	15:12	15:15	15:16	15:19	15:20	15:23	15:24	15:26	15:27	15:30	15:32	15:34	15:35	15:37	15:39
49	KRD Patas	195	15:23	15:25	15:29	15:30	15:35	15:38	15:43	15:44	15:46	15:54	15:58	15:59	16:02	16:03	16:06	16:08
50	Kutojaya Selatan	145	16:02	16:09	16:17	16:25	16:29	16:30	16:34	16:35	16:37	16:38	16:42	16:43	-	-	-	-
51	KRD Ekonomi	331	16:59	17:03	17:10	17:13	17:19	17:30	17:36	17:43	17:46	17:57	18:02	18:07	18:11	18:14	18:18	18:20
52	KRD Patas	197	17:28	17:37	17:41	18:05	18:10	18:13	18:18	18:19	18:21	18:22	18:26	18:27	18:30	18:31	18:34	18:36
53	Argo Wilis	5	18:18	18:48	18:51	18:52	18:55	18:56	18:59	19:00	19:02	19:03	19:06	19:08	19:10	19:11	19:13	19:15
54	KRD Ekonomi	333	18:23	18:56	19:01	19:04	19:10	19:15	19:21	19:23	19:26	19:27	19:32	19:37	19:41	19:44	19:48	19:50
55	KRD Patas	199	18:48	19:06	19:10	19:16	19:21	19:28	19:33	19:36	19:38	19:45	19:49	19:50	19:53	19:54	19:57	19:59
56	KRD Ekonomi	335	21:03	21:05	21:10	21:13	21:19	21:28	21:34	21:36	21:39	21:40	21:45	21:50	21:54	21:57	22:01	22:03

KESIMPULAN

1. Masalah penjadwalan kereta api dapat dimodelkan dalam bentuk model *integer programming* dengan fungsi objektif meminimumkan total waktu keterlambatan kereta api yang ada.
2. Dengan menerapkan algoritma *branch and bound* model penjadwalan kereta api dapat diselesaikan sehingga menghasilkan penjadwalan kereta yang optimal, yaitu jadwal kereta api yang akan meminimumkan total waktu keterlambatan kereta api.
3. Implementasi model matematika yang dibangun untuk kasus penjadwalan kereta di PT Kereta Api Indonesia (Persero) Daop 2 Bandung lintasan Bandung–Cicalengka menunjukkan bahwa model tersebut dapat diaplikasikan dengan baik (*well implemented*).

SARAN

1. Model penjadwalan kereta api ini dapat dikembangkan misalnya dengan menambahkan kendala supaya dapat meminimumkan biaya operasional, prioritas kereta api, dan lain sebagainya.
2. Menggunakan model *integer programming* yang lain untuk mencari jadwal kereta api yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2003). *Operation Research* : 343. [Online]. Tersedia : <http://www.doc.ic.ac.uk/~br/berc/linearprog.pdf>
- Hartanto, Eko. (t.t). *Integer Programming*. [Online]. Tersedia : http://eko_hartanto.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/28374/Integer.pdf [11 Maret 2013]
- Kaufmann, Arnold. (1964). *Methods and Models of Operations Research*. London : Prentice-Hall, Inc
- Komarudin. (2012). *Algoritma Branch And Bound untuk Programa Integer*. [Online]. Tersedia : <http://staff.blog.ui.ac.id/komarudin74/2012/04/08/algoritma-branch-and-bound-untuk-programa-integer/> [28 Mei 2013]
- Lee, Yusin, and Chen, Chuen-Yih. (2009). *Modeling and Solving Train Pathing Problem*. *Transportation research part B*, 43:837-851.
- Setianto, Dwi. (2011). *Penjadwalan Kereta Api Menggunakan Pemrograman Linear Integer*. Skripsi pada Departemen Matematika IPB : tidak diterbitkan.
- Siswanto. (2007). *Operation Research Jilid 1*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Suyanto. (2010). *Algoritma Optimasi (Deterministik atau Probabilistik)*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Taha, Hamdy A. (1996). *Riset Operasi, Jilid 1*. Tangerang : Binarupa Aksara.
- Tapilouw, Marthen. (t.t). *Modul 1 Model Matematika Suatu Program Linear*. Jurusan Pendidikan Matematika Universitas Pendidikan Indonesia : Tidak diterbitkan.
- Wikipedia. (2012). *Pemrograman Linear*. [Online]. Tersedia : http://id.wikipedia.org/wiki/Pemrograman_linear
- Wikipedia. (2013). *Kereta Api*. [Online]. Tersedia : https://id.wikipedia.org/wiki/Kereta_api