

Desain Petri-Net untuk Mengintegrasikan Tiga Moda Transportasi yang Menghubungkan Surabaya-Denpasar

Rani Kurnia Putri¹, Sari Cahyaningtias²
Universitas PGRI Adi Buana Surabaya^{1,2}
rani@unipasby.ac.id sari@unipasby.ac.id

Abstrak

Kereta api merupakan salah satu layanan publik yang berbenah secara signifikan dari segi kualitas armada, namun padatnya kereta dan persinggungan lintasan pada beberapa daerah membuat waktu tunggu (*time delay*) meningkat dan berakibat pada mundurnya jadwal kereta lain yang melewati jalur yang sama. Disamping itu, kecelakaan menjadi faktor lain penyebab keterlambatan kedatangan maupun keberangkatan suatu kereta. Sehingga keterlambatan kedatangan maupun keberangkatan kereta api ini menjadi efek domino bagi moda transportasi lain. Pada penelitian ini difokuskan pada jalur kereta api antara Stasiun Gubeng dan Stasiun Banyuwangi baru dengan mempertimbangkan stasiun-stasiun yang berada di kota-kota yang dilewati. Desain penjadwalan untuk jalur kereta api ini akan diintegrasikan dengan Bus damri tujuan Bali yang memanfaatkan Kapal Ferry menggunakan Aplikasi Petrinet

Keywords: Integrasi, Petri-net, Transportasi, Waktu optimal

Abstract

Railway is one of the public services that significantly improve in terms of fleet quality, but the density of trains and the intersection of trajectories in some areas makes a time delay increases and result in the retreat of other train schedules passing through the same line. In addition, accidents become another factor causing the delay of arrival or departure of a train. So that the delay of arrival or departure of this train becomes a domino effect for other transportation modes. This research is focused on the railway line between Gubeng Station and New Banyuwangi Station by considering the stations located in the cities passed. The scheduling design for this railway line will be integrated with Damri Bus with Bali destinations that utilize Ferry Ships using Petrinet Applications.

Keywords: Integration, Petri-net, Transportation, Optimal time

Pendahuluan

Permasalahan transportasi di Indonesia menjadi pekerjaan rumah yang sulit untuk diselesaikan oleh pemerintah, hal ini diperparah oleh kondisi geografis Indonesia serta persebaran daerah produktif dan tak produktif yang kurang merata. Peningkatan sarana dan prasarana, anjuran untuk beralih pada moda

transportasi umum merupakan usaha yang intens dilakukan oleh pemerintah saat ini.

Kereta api merupakan salah satu layanan publik yang berbenah secara signifikan dari segi kualitas armada, namun padatnya kereta dan persinggungan lintasan pada beberapa daerah membuat waktu tunggu (*time delay*) meningkat dan berakibat pada mundurnya jadwal kereta

lain yang melewati jalur yang sama. Disamping itu, kecelakaan menjadi faktor lain penyebab keterlambatan kedatangan maupun keberangkatan suatu kereta. Sehingga keterlambatan kedatangan maupun keberangkatan kereta api ini menjadi efek domino bagi moda transportasi lain.

Salah satu moda transportasi yang mendapatkan akibat langsung dari keterlambatan adalah bus, yang menghubungkan penumpang kereta dengan moda transportasi lanjutan seperti kapal penumpang. Kasus nyata dari permasalahan ini adalah jalur lintas yang menghubungkan kota Surabaya dengan pulau Bali, dimana melibatkan tiga moda transportasi sekaligus. Kota Surabaya yang merupakan pusat jaringan jalan kereta api yang dikelola oleh Daerah Operasi VIII dimana terdapat beberapa stasiun, yaitu Stasiun Kota, Stasiun Pasar Turi, Stasiun Gubeng dan Stasiun Wonokromo. Stasiun-stasiun tersebut menyebar jaringan jalan kereta api ke seluruh wilayah di Jawa Timur.

Pada penelitian ini difokuskan pada jalur kereta api antara Stasiun Gubeng dan Stasiun Banyuwangi baru dengan mempertimbangkan stasiun-stasiun yang berada di kota-kota yang dilewati. Desain penjadwalan untuk jalur kereta api ini akan diintegrasikan Kapal Ferry dan Bus damri menggunakan Aplikasi Petrinet.

Aljabar Max-Plus dipilih karena sistem integrasi antara kereta api, bus damri dan kapal ferry merupakan Sistem Even Diskrit (SED) dimana “kedinamikaannya” yaitu “event driven” bertolak belakang dengan “timed driven”, sehingga SED ditentukan oleh event daripada waktu (Subiono, 2016).

Aljabar max-plus telah banyak diterapkan pada bidang transportasi dan pelayanan. Penjadwalan jalur bus dalam kota dengan menerapkan petrinet dan aljabar max-plus telah dilakukan oleh Winarni pada tahun 2011. Sedangkan pada tahun 2013 Fahim mengintegrasikan jalur bus dengan jalur komuter dengan menerapkan aljabar max-plus, sehingga dapat meminimumkan waktu antrian/tunggu penumpang yang akan berpindah moda transportasi. Hal yang sama dilakukan oleh Afif (2014), menerapkan model aljabar max-plus untuk meminimumkan waktu tunggu rute kereta api se-provinsi Jawa Timur.

1. Metode penelitian

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data dengan metode survey lapangan. Langkah pertama yang akan dilakukan adalah dengan mengumpulkan data sekunder melalui situs-situs dan institusi terkait, yakni PT. KAI, Dinas Perhubungan Provinsi Jawa Timur, dan PT. Pelni selaku pengelola moda transportasi yang akan diteliti.

Selanjutnya, dilakukan survey lapangan, untuk memperoleh data presisi keterlambatan dan pos-pos yang mempengaruhi keterlambatan tersebut.

Tahapan selanjutnya adalah pembentukan desain Petri-Net. Pada tahap ini dilakukan identifikasi jalur-jalur jaringan kereta api, bus damri dan kapal feri serta jumlah dan distribusi moda tersebut di tiap-tiap pemberhentian (stasiun/terminal). Pendefinisian notasi pada petrinet, yaitu p sebagai *place*, T sebagai *transisi*, A sebagai himpunan *arc*, dan w sebagai fungsi bobot. Selanjutnya dilakukan sinkronisasi tiap-tiap variabel.

2. Pembahasan

Pembentukan desain petri-net diawali dengan penyusunan graf berarah, penyusunan graf berarah membutuhkan data-data berupa waktu tempuh antar stasiun sebagai bobot vertex. Penentuan waktu tempuh antar stasiun, didasarkan pada waktu tempuh seluruh kereta api yang beroperasi setiap hari dalam bentuk interval waktu. Dimana penentuan batas bawah adalah waktu tempuh tercepat sedangkan batas atas adalah waktu tempuh rata-rata pada setiap lintasan.

Penentuan jadwal keberangkatan diperoleh dari keberangkatan kereta api pertama dan terakhir dari waktu acuan masing-masing di setiap lintasan setelah

dikonversi dalam satuan menit. Waktu tempuh dan jadwal keberangkatan kereta api dinyatakan dalam bentuk interval waktu dalam satuan menit. Selain waktu tempuh, perlu diperhatikan waktu perpindahan penumpang, hanya saja, dalam penelitian ini, waktu perpindahan penumpang dan waktu tunggu kereta api pada kereta api yang sama dianggap nol, karena penumpang tidak melakukan perpindahan kereta (diasumsikan penumpang berangkat dari stasiun awal dan akan turun di stasiun akhir) dan kereta api tidak menunggu kereta lain. Sedangkan perpindahan penumpang dan waktu tunggu kereta api yang berbeda diperkirakan seminimal mungkin.

Data waktu tempuh antar stasiun kereta api di DAOP VIII dan DAOP IX diperoleh dari brosur perjalanan kereta api di masing-masing DAOP dan validasi waktu dilakukan dengan melakukan perjalanan langsung berdasarkan setiap lintasan jalur yang dilewati. Dalam penelitian ini, jumlah kereta api yang beroperasi pada setiap lintasan ditentukan berdasarkan interval waktu terpadat pada jalur tersebut. Acuan waktu yang digunakan pada 04.00-16.00 untuk seluruh kereta yang keluar dari Surabaya (Stasiun Gubeng) dan pukul 16.00-04.00 untuk seluruh kereta yang masuk ke Surabaya (Stasiun Gubeng). Selanjutnya, jadwal keberangkatan kereta api di

asumsikan beroperasi dengan suatu jadwal keberangkatan secara periodik dengan periode waktu 720 menit. Berikut diberikan tabel 1 sampai 2 jadwal keberangkatan, waktu tempuh, dan jalur yang dilalui untuk tujuan Surabaya-Banyuwangi PP dan Malang-Surabaya PP.

Dari	Tujuan	Interval Jadwal Keberangkatan	Interval Waktu Tempuh	Jumlah KA
Surabaya	Bangil	[65,341]	$t_1 = [50, 58]$	3
Gubeng	Probolinggo	[164, 294]	$t_2 = [68, 71]$	2
Bangil	Tanggul	[239,366]	$t_3 = [61, 69]$	2
Probolinggo	Jember	[431, 541]	$t_4 = [35, 41]$	2
Tanggul	Rogojampi	[15, 385]	$t_5 = [114, 127]$	3
Jember	Banyuwangi	[389,389]	$t_6 = [29, 29]$	1
Rogojampi	Rogojampi	[37;274,5]	$t_7 = [29, 30]$	2
Banyuwangi	Jember	[85,317,5]	$t_8 = [121, 129]$	2
Rogojampi	Probolinggo	[182,402]	$t_9 = [36, 40]$	2
Banyuwangi	Rogojampi	[252, 471]	$t_{10} = [71, 80]$	2
Rogojampi	Jember	[308,308]	$t_{11} = [66, 68]$	2
Jember	Tanggul		$t_{12} = [47, 66]$	
Tanggul	Probolinggo			
Probolinggo	Bangil			
Bangil	Surabaya			
	Gubeng			

Tabel 1 Jalur 1 (Surabaya-Banyuwangi PP)

Dari	Tujuan	Jadwal Keberangkatan	Interval Waktu Tempuh	Jumlah KA
Malang	Bangil	[120,340]	$t_{13} = [48,53]$	2
Bangil	Surabaya	[170,199]	$t_{14} = [63,75]$	1
Surabaya	Gubeng	[80,220]	$t_{15} = [68,76]$	2
Gubeng	Bangil	[178,315]	$t_{16} = [45,52]$	2
Bangil	Malang			

Tabel 2 Jalur 2 (Malang-Surabaya PP)

Dari	Tujuan	Jadwal Keberangkatan	Interval Waktu Tempuh	Jumlah Kapal
Ketapang	Gilimanuk	[120,125]	$t_{17} = [58,63]$	2
Gilimanuk	Ketapang	[115,120]	$t_{18} = [55,56]$	2

Tabel 3 Jalur 3 (Pelabuhan Ketapang Banyuwangi- Pelabuhan Gilimanuk Bali PP)

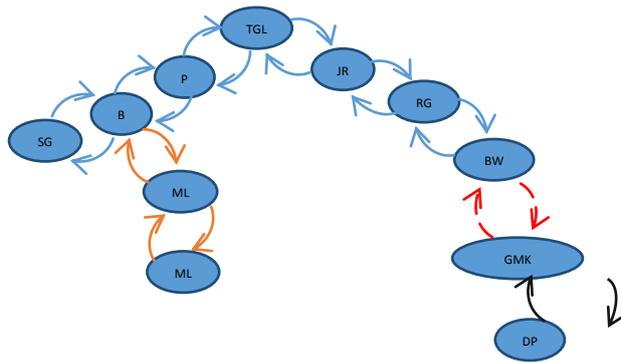
Dari	Tujuan	Jadwal Keberangkatan	Interval Waktu Tempuh	Jumlah Bus
T. Gilimanuk	T. Denpasar	[300,310] [320,330]	$t_{19} = [300,360]$	1 1
T. Denpasar	T. Gilimanuk		$t_{20} = [300,360]$	

Tabel 4 Jalur 4. Terminal Gilimanuk Bali – Terminal Denpasar Bali PP

Interval Jadwal keberangkatan dalam tabel 1 sampai dengan 5 merepresentasikan waktu keberangkatan kereta, waktu keberangkatan kapal laut dan waktu keberangkatan bus damri. Waktu keberangkatan masing-masing moda tersebut disesuaikan dengan acuan waktu yang telah ditetapkan, sebagai contoh kereta yang berangkat dari stasiun Gubeng menuju stasiun sidoarjo beroperasi paling pagi pada pukul 09.00, mengikuti waktu acuan kereta yang keluar dari Surabaya (Surabaya gubeng) pada interval waktu 04.00-16.00 maka dikonversi dalam menit sebesar 300 menit dengan waktu keberangkatan rata-rata sebesar

Graf berarah dengan bobot setiap edge menyatakan waktu tempuh kereta api dan vertex-vertex nya menyatakan stasiun yang dijadikan tempat pemberhentian. Gambar dari graf berarah dapat dilihat pada Gambar 1

Gambar 1 Graf Berarah Integrasi Tiga Moda



Keterangan:

- : Jalur 1
- : Jalur 2
- - - : Jalur 3
- : Jalur 4

- | | |
|------------------|-----------------|
| SGU :Surabaya | BW : Banyuwangi |
| Gubeng | GMK : Pelabuhan |
| BG : Bangil | Gilimanuk |
| PB : Probolinggo | DPS : Terminal |
| TGL : Tanggul | Denpasar |
| JR : Jember | MLK : Malang |
| RGP : Rogojampi | Kota Lama |
| | ML : Malang |

Penyusunan model sistem jaringan kereta api di Jalur Surabaya-Banyuwangi, Malang-Surabaya, Pelabuhan Ketapang Banyuwangi – Pelabuhan Gilimanuk Bali dan Terminal Bus Damri Denpasar Bali perlu dilakukan sinkronisasi. Hal ini perlu dimaksudkan untuk menjamin penumpang dapat berpindah dari moda transportasi yang berbeda dan menjamin keamanan dalam satu jalur tidak terdapat dua kereta api secara bersamaan. Berikut aturan sinkronisasi diantara kereta api berdasarkan jalur yang diberikan pada gambar 4.1

Tabel 5 Pendefinisian Variabel

No	Variabel	Definisi Keberangkatan
----	----------	------------------------

		Kereta Api dari Stasiun:
1	$x_1(k)$	SGU ke BG pada saat ke-k
2	$x_2(k)$	BG ke PB pada saat ke-k
3	$x_3(k)$	PB ke TGL pada saat ke-k
4	$x_4(k)$	TGL ke JR pada saat ke-k
5	$x_5(k)$	JR ke RGP pada saat ke-k
6	$x_6(k)$	RGP ke BW pada saat ke-k
7	$x_7(k)$	BW ke GMK pada saat ke-k
8	$x_8(k)$	GMK ke DPS pada saat ke-k
9	$x_9(k)$	MLK ke ML pada saat ke-k
10	$x_{10}(k)$	ML ke BG ₁ pada saat ke-k
11	$x_{11}(k)$	BG ₁ ke SGU ₁ pada saat ke-k
12	$x_{12}(k)$	BG ke SGU pada saat ke-k
13	$x_{13}(k)$	PB ke BG pada saat ke-k
14	$x_{14}(k)$	TGL ke PB pada saat ke-k
15	$x_{15}(k)$	JR ke TGL pada saat ke-k
16	$x_{16}(k)$	RGP ke JR pada saat ke-k
17	$x_{17}(k)$	BW ke RGP pada saat ke-k
18	$x_{18}(k)$	GMK ke BW pada saat ke-k
19	$x_{19}(k)$	DPS ke GMK pada saat ke-k
20	$x_{20}(k)$	ML ke MLK pada saat ke-k
21	$x_{21}(k)$	BG ₁ ke ML pada saat ke-k
22	$x_{22}(k)$	SGU ₁ ke BG ₁ pada saat ke-k

2.1 Model Petrinet

Alur penyusunan model petri-net pada sebuah sistem jaringan integrasi tiga moda adalah menentukan place dan transisi. Karena tiga moda yang diintegrasikan adalah kereta api, Kapal Laut dan Bus damri, maka perlu disamakan definisinya untuk memudahkan dalam mendesain system menggunakan Software PIPE. Pada model petrinet, Place merupakan variabel keadaan, dimana kondisi kereta api, kapal laut, dan bus damri dapat dijalankan menuju stasiun berikutnya. Jaringan integrasi ini memiliki sifat yaitu dalam satu lintasan antara stasiun dan antara

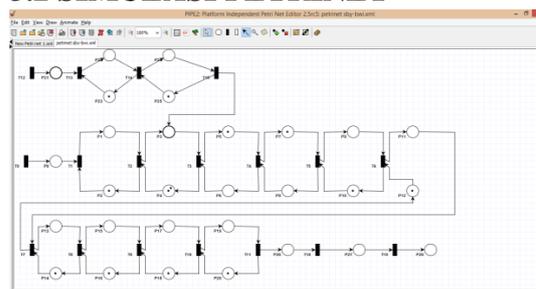
pelabuhan tidak diperkenankan dua moda melintas sekaligus, baik menyusul maupun bersilangan. Sehingga diperlukan aturan yang membuat kondisi tersebut dipenuhi, yaitu kondisi lintasan dalam keadaan tidak ada moda transportasi dan kondisi lintasan tersebut ada moda transportasi. Selanjutnya, menentukan transisi yang dibutuhkan. Karena place merepresentasikan kondisi perjalanan moda transportasi (kereta api, kapal laut dan bus damri) sehingga transisi merepresentasikan stasiun-stasiun, pelabuhan dan terminal yang dijadikan pemberhentian seluruh moda yang terintegrasi.

Penentuan keadaan awal petrinet berkaitan dengan jumlah token pada setiap place. Place yang memiliki token menyatakan bahwa dalam lintasan antar dua stasiun tersebut terdapat kereta yang lewat, dan sebaliknya jika place tidak memiliki token maka diartikan dalam lintasan antar dua stasiun tersebut tidak ada kereta yang lewat, atau dengan kata lain jalur tersebut free.

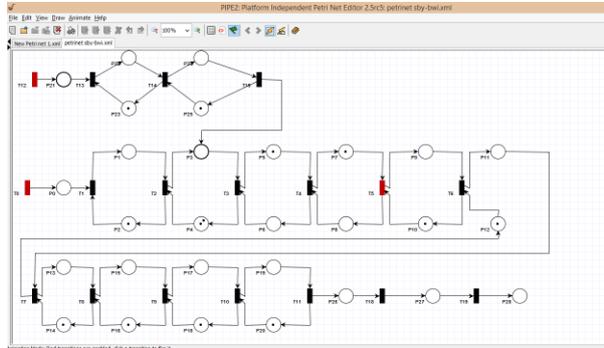
Dibawah ini dibuat model petri net integrasi tiga moda yaitu jaringan kereta api untuk jalur Surabaya-Banyuwangi dan Surabaya-Malang, Jalur Kapal Ferry tujuan Ketapang Banyuwangi – Gilimanuk Bali dan Bus Damri tujuan Gilimanuk-Denpasar, dengan kondisi satu jalur yang didasarkan pada graf berarah dan aturan

sinkronisasi. Pertama disusun petri net untuk setiap jalur, kemudian disinkronisasi berdasarkan aturan yang telah dibuat diatas. Petri net yang disusun dimaksudkan untuk menggambarkan sinkronisasi antar keberangkatan kereta api di kedua jalur tersebut. Berdasarkan definisi petri net, variabel-variabel yang dipakai adalah sebagai berikut: Himpunan berhingga place, $P = \{p_1, p_4, p_6, \dots, p_{26}\}$, dengan jumlah token pada masing-masing place $p_2, p_4, p_6, \dots, p_{26}$ menunjukkan jumlah kereta api pada masing-masing lintasan, sedangkan token pada $p_3, p_5, p_7, \dots, p_{25}$ menunjukkan idle, idle dalam penelitian ini bukan menunjukkan jumlah kereta api akan tetapi dimaksudkan untuk membantu menyesuaikan permasalahan berdasarkan kasus nyata. Himpunan berhingga transisi, $= \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_{15}\}$. Transisi menunjukkan event keberangkatan kereta api di setiap stasiun. Untuk selanjutnya, notasi t pada transisi diganti dengan x , menjadi $T = \{x, x_2, x_3, \dots, x_{15}\}$. Hal ini supaya sesuai dengan tabel 4.2 pendefinisian variabel.

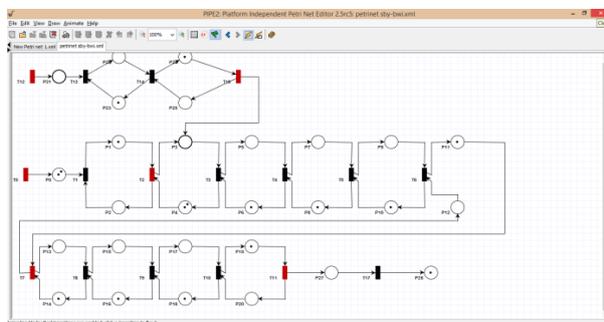
3.2 SIMULASI PETRINET



Representasi petrinet diatas menunjukkan bahwa semua jalur sudah diintegrasikan menjadi satu sistem yang utuh.



Desain simulasi petrinet diatas dilakukan dengan memfire salah satu transisi, sebagai contoh transisi yang berwarna merah menunjukkan sistem aktif dan siap untuk dijalankan, atau dengan kata lain jalur tersebut siap dilewati oleh moda transportasi yang bersesuaian. T0 menunjukkan Stasiun Surabaya Gubeng, dan T12 menunjukkan stasiun Malang. Kedua stasiun tersebut merupakan stasiun ujung. Sehingga stasiun tersebut menjadi patokan kereta-kereta yang lain berangkat.



Petrinet dapat di fire bila jalur tersebut tidak ada moda yang lewat. Pada prinsipnya, transisi dapat di fire bila jalur

tersebut kosong, dan bila jalur atau token terisi, maka transisi tidak dapat di fire, dan harus menunggu keberangkatan moda tersebut terlebih dahulu.

Analisis model petrinet yang telah dilakukan diatas, perlu dianalisis mengenai kestabilan modelnya. Syarat model petrinet tersebut dan transisinya berhingga dan kurang dari satu (boundedness). Analisis boundedness dilakukan dengan Scilab dan petri Net Toolbox dan diperoleh hasil bahwa Desain Petrinet yang dilakukan sudah boundedness atau dengan kata lain Stabil.

3. Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil simulasi dengan aplikasi petri-net, dapat disimpulkan bahwa Pembuatan graf berarah dan desain petrinet didasarkan pada kondisi nyata dilapangan yang divalidasi oleh data yang diperoleh dari PT KAI DAOP VIII dan DAOP IX serta ASDP Ferry dan Damri stabil.

Daftar pustaka

- Adzkiya, D. 2009, *Membangun Model Petri Net Lampu Lalu Lintas dan Simulasinya*, Tesis Magister Matematika, Istitut Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Andersen, M.H., 2002, *Max-Plus Algebra: Properties And Applications*, Master of

Science in Mathematic Thesis Department of Mathematics, Laramie, WY.

Cassandra, C.G. 1993, *Discrete even system : Modelling and Performance Analysis*. Aksen Associates Incorporated Publisher, Boston.

Fahim, K. "Aplikasi Aljabar Max-plus pada Pemodelan dan Penjadwalan Busway yang Diintergrasikan dengan Kereta Api Komuter". *Jurnal Teknik POMITS* Vol.1, No. 1 (2013). Hal. 1-6.

H. ElMaraghy, S.A. "Max-plus Modeling of Manufacturing Flow Lines" *Procedia CIRP* 17 (2014) 71-75.

Merlet, G. Et al. "Weak CSR expansions and transience bounds in max-plus algebra". *Linear Algebra and its Applications* 461 (2014) 163-199.

Didaktika, Vol.24, Nomor 1, September 2017

Nitica, V. dan Sergeev, S. "On the dimension of max-min convex sets". *Fuzzy Sets and Systems* 271 (2015) 85-101

Subiono, Adzikiya, D. 2012. "Max-plus Algebra Toolbox Ver 1.1.0". Jurusan Matematika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Subiono. 2012. "Aljabar Max-plus dan Terapannya". Buku Ajar Mata Kuliah Pilihan Pasca Sarjana Matematika, ITS. Surabaya.

Winarni. "Penjadwalan Jalur Bus dalam Kota dengan Model Petrinet dan Aljabar Max-plus (Studi Kasus Busway Trans Jakarta). *Jurnal Cauchy* vol 1(4) 2011. Hal. 192-206.