

PEMODELAN KOORDINASI SINYAL ANTAR SIMPANG MENGGUNAKAN PETRI NET

Setiyo Daru Cahyono¹⁾, Tomi Tristono²⁾, Sudarno³⁾, and Pradityo Utomo⁴⁾

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Merdeka Madiun
email: cahyono.ds@gmail.com

² Program Studi Manajemen Informatika, Universitas Merdeka Madiun
email: tomitristono@gmail.com

³ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Merdeka Madiun
email: sudarno@unmer-madiun.ac.id

⁴ Program Studi Manajemen Informatika, Universitas Merdeka Madiun
email: pradiyou@gmail.com

Abstract

Koordinasi sinyal antar simpang pada jaringan jalan di perkotaan sangat mendesak untuk dilakukan. Kita tahu bahwa penerapannya dapat mengoptimalkan kapasitas jaringan jalan, menurunkan tundaan perjalanan (*travel delay*), dan menghindarkan dari terjadinya antrian kendaraan yang panjang. Kali ini koordinasi sinyal dibangun antar dua simpang yaitu sebuah simpang master dan slaf yang berjarak 377 meter. Pengaturan simpang master menerapkan dua fase saja, sedangkan simpang slaf membaginya menjadi empat fase. Kedua simpang menerapkan pengaturan lampu lalu lintas dengan strategi waktu tetap dan mempunyai durasi siklus yang sama yaitu 80 detik. Metode pemodelan koordinasi sinyal di simpang menggunakan Petri Net (PN). Verifikasi dan validasinya menggunakan invariant dan simulasi. Hasil kajian menunjukkan bahwa urutan fase yang optimal pada simpang slaf yaitu dimulai dari lengan selatan – utara – timur – barat atau selatan – utara – barat – timur. Urutan tersebut memungkinkan *offset* terbaik yaitu 34 – 39 detik dan dengan *bandwidth* tertinggi yaitu 16 detik untuk arah arus kendaraan selatan ke utara serta sebaliknya.

Keywords: koordinasi sinyal, Petri Net (PN), simpang master, simpang slaf.

1. PENDAHULUAN

Banyaknya jumlah simpang pada jaringan jalan di wilayah perkotaan berpotensi menimbulkan permasalahan tersendiri. Jarak antar simpang umumnya berdekatan dan sinyal pada sinyalnya juga tak terkoordinasi. Pengendara mungkin saja berhenti pada setiap simpang karena selalu mendapati sinyal merah. Tentu saja hal ini akan menimbulkan ketidaknyamanan dan menambah tundaan perjalanan (Lubis, 2007).

Sehubungan dengan keadaan ini, maka koordinasi sinyal antar simpang menjadi hal yang sifatnya sangat mendesak untuk dilakukan. Sistem koordinasi sinyal antar simpang merupakan solusi untuk mengoptimalkan kapasitas jaringan jalan, menurunkan tundaan (*delay*), dan juga dapat menghindarkan dari terjadinya antrian kendaraan yang panjang (Amelia, 2008).

Menurut Taylor (1996), ada beberapa hal yang sebaiknya dipenuhi agar koordinasi

antar simpang bersinyal dapat diterapkan yaitu 1). durasi siklus pada sinyal tiap simpang sama dan 2). pengaturan jadwal sinyal perjalanan pada tiap simpang mempergunakan strategi waktu tetap (*fixed time strategy*). Sedangkan menurut Pedoman Sistem Pengendalian Lalu Lintas Terpusat No.AJ401/1/7/1991 Keputusan Direktur Jendral Perhubungan Darat, dasar pendekatan dari perencanaan sistem terkoordinasi pengaturan arus lalu lintas sepanjang suatu jalan arteri mengasumsikan bahwa kendaraan yang melewati jalan tersebut akan melaju dalam bentuk *platoon* dari satu simpang ke simpang berikutnya. Adapun tujuannya yaitu agar *platoon* (kelompok kendaraan) tersebut dapat melaju terus tanpa hambatan sepanjang jalan yang lampu lalu lintasnya terkoordinasikan. Menurut Shane *et all* (1990), terdapat empat syarat yang harus dipenuhi untuk implementasi koordinasi antar sinyal yaitu 1) Jarak antar simpang yang dikoordinasikan berdekatan dan tak lebih dari 800 meter. 2) Semua sinyal simpang

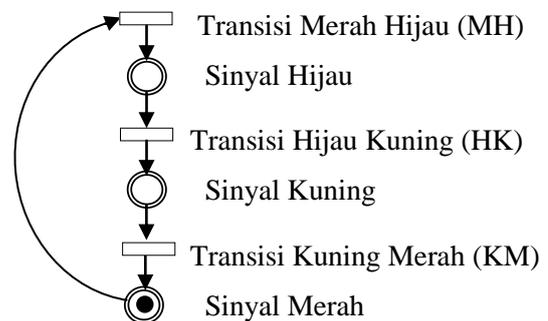
mempunyai durasi siklus (*cycle time*) yang sama. 3) Koordinasi digunakan pada jaringan jalan utama (arteri, kolektor) atau jaringan jalan yang berbentuk *grid*. 4) Terdapat *platoon* sebagai akibat lampu lalu lintas di bagian hulu.

Beberapa indikator pada koordinasi sinyal antar simpang diantaranya adalah *Offset* dan *Bandwidth*. *Offset* merupakan perbedaan waktu antara dimulainya sinyal hijau pada simpang pertama dan awal hijau pada simpang berikutnya (Papacostas, 2005). Waktu *offset* dapat disajikan melalui diagram koordinasi dan dapat digunakan untuk memulai membentuk jalur koordinasi. Sedangkan *bandwidth* adalah perbedaan waktu dalam lintasan paralel sinyal hijau antara lintasan pertama dan lintasan terakhir (Papacostas, 2005). Kedua indikator koordinasi antar simpang tersebut di atas mengasumsikan bahwa arus kendaraan melaju dalam kecepatan konstan. Diagram koordinasi merepresentasikan interval waktu bagi iring – iringan kendaraan dalam bentuk *platoon* yang tidak terhenti oleh sinyal merah sama sekali.

Pada penelitian ini dikaji koordinasi sinyal lampu lalu lintas di dua simpang yang berjarak 377 meter. Kecepatan rata-rata eksisting sebesar 40 km/jam. Waktu tempuh simpang *master* ke simpang *slaf* dan sebaliknya adalah 34 detik. Simpang *master* menerapkan dua fase lampu lalu – lintas sedangkan simpang *slaf* menggunakan empat fase. Adapun tujuan penelitian kali ini yaitu membahas yaitu model sistem koordinasi antar sinyal dua buah simpang yang mempunyai fase yang tak sama dengan menggunakan Petri net.

Perilaku lampu lalu lintas dapat dimodelkan oleh Sistem Event Diskrit (SED). Sistem ini dapat merumuskan untaian kejadian berdasarkan urutan waktu kejadiannya (Cassandras, 1999). Kami menggunakan SED untuk membuat desain sistem koorninasi lampu lalu lintas. Model SED diungkapkan dengan Petri Net/ PN yang sangat cocok untuk memodelkan sistem koordinasi lampu lalu lintas. Alasannya karena PN menawarkan bentuk representasi dari situasi konflik, berbagi alokasi jadwal perjalanan, sinkronisasi dan asinkronisasi, dan berbagai kendala yang mesti diprioritaskan terlebih dahulu (Soares, 2010).

Petri net terdiri dari empat unsur yaitu *place*, transisi, token dan busur. Unsur *place* pada graph diwakili oleh lingkaran ganda dan transisi oleh kotak. Keberadaan sebuah token pada sebuah *place* merepresentasikan bahwa sebuah sinyal lampu lalu lintas sedang menyala, dan busur menunjukkan arah arus token yang telah di *fire* oleh sebuah transisi (Cassandras, 1999). Lampu lalu – lintas menyala dengan durasi yang tertentu sesuai dengan volume arus kendaraan yang melintas. Pemodelan dengan PN klasik kali ini, interval waktu kejadian pada setiap *place* bersesuaian dengan durasi masing – masing sinyal. Penyajian *place* dengan lingkaran ganda bermaksud menyajikan durasi dengan tanpa mengubahnya menjadi Petri Net berwaktu (*Timed Place Petri Net/TPPN*).



Gambar 1. Model Petri Net lampu lalu lintas

Pada Gambar 1. Model Petri Net dengan sebuah token di sinyal merah. Transisi MH (Merah Hijau) dapat merubah sinyal merah menjadi hijau. Transisi HK (Hijau Kuning) berfungsi merubah sinyal hijau ke kuning, dan transisi KM (Kuning Merah) dapat melakukan *fire* sebuah token di sinyal kuning dan memindahkannya ke *place* merah.

Beberapa penelitian terdahulu banyak yang telah mengulas koordinasi sinyal dan studi tentang sistem transportasi, diantaranya adalah sebagai berikut ini. Amelia, SC. pada 2008 telah melakukan Analisis Koordinasi Sinyal Antar Simpang Jl. Merdeka–Jl. RE. Martadinata dan Jl. Merdeka – Jl. Aceh di Kota Bandung. Abdullah, Z, telah menganalisa koordinasi sinyal antar simpang dengan menggunakan software TRANSYT 14 yang berpedoman pada metode *Transport and Road Research Laboratory (TRRL)*, Inggris. Rosalina pada 2009 telah melakukan evaluasi operasional dan perbaikan koordinasi sinyal

antar simpang dengan sinyal pada ruas Jalan Merdeka Lhokseumawe. Saputra, Y.W. pada 2018 telah membuat perencanaan koordinasi antar simpang bersinyal dengan menggunakan perangkat lunak VISSIM. Hasilnya didapatkan alternatif terbaik dengan waktu siklus baru dengan durasi 116 detik. Belum ada diantara peneliti yang memodelkan dengan menggunakan Petri net.

2. METODE PENELITIAN

Model koordinasi antar simpang menerapkan pengaturan baku jadwal lampu lalu lintas dengan strategi waktu tetap. Adapun yang dimaksud merupakan bentuk pengaturan baku sebagai suatu sistem secara normal dengan keterkaitan pada berbagai variabel diantaranya adalah derajat kejenuhan (DS/ *Degree of Saturation*), panjang antrian (QL/ *Queue Length*), dan tundaan (Delay).

Berikut ini adalah langkah – langkah untuk mendisain model koordinasi sinyal kedua simpang:

2.1. Langkah pertama penetapan durasi siklus dan interval waktu hijau. Simpang *master* dan *slaf* harus mempunyai durasi siklus yang sama.

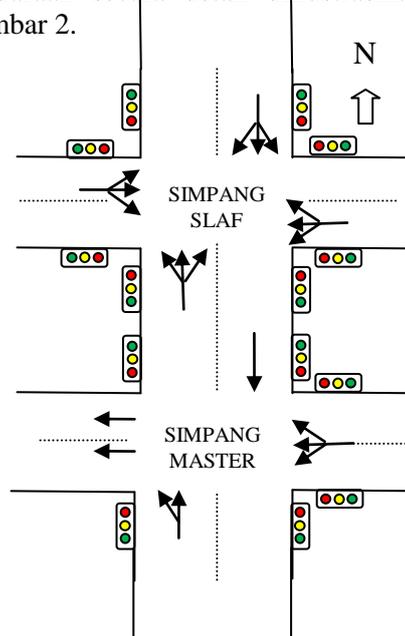
2.2. Langkah kedua adalah optimasi urutan 4 fase pada simpang *slaf* dan merencanakan jadwal strategis koordinasi antar simpang dengan menggunakan waktu *offset* dan *bandwitdh*. Sinyal hijau di lengan selatan simpang *slaf* menjadi acuan dan diletakkan pada urutan pertama dan penyalannya paling tidak lebih dari 34 detik sesudah sinyal hijau utara – selatan pada simpang *master*. Menurut aturan permutasi maka terdapat enam kemungkinan urutan fase pada simpang *slaf* yaitu :

- 1). Selatan – Utara – Timur – Barat,
- 2). Selatan – Utara – Barat – Timur,
- 3). Selatan – Timur – Utara – Barat,
- 4). Selatan – Timur – Barat – Utara,
- 5). Selatan – Barat – Utara – Timur, dan
- 6). Selatan – Barat – Timur – Utara.

2.3. Langkah ketiga yaitu menyajikan model koordinasi lampu lalu lintas antar simpang *master* dan *slaf* dengan Petri Net.

2.4. Langkah keempat adalah menyajikan invariant pada PN serta simulasi untuk verifikasi dan validasi .

Lokasi penelitian yaitu berada di wilayah jaringan jalan perkotaan kabupaten Jombang. Simpang *master* berada di timur stasiun kota Jombang dan simpang *slaf* berada di kompleks pujasera Kebonrojo. Arus kendaraan dari timur di simpang *master* didominasi kendaraan berat (*Heavy Vehicle/ HV*) dan kendaraan ringan (*Low Vehicle/ LV*) dan sebagian kecil sepeda motor (*Motor Cycle/ MC*). Sebaliknya arus kendaraan dari utara dan selatan didominasi kendaraan ringan (*LV*) dan sepeda motor (*MC*), dan demikian pula pada semua lengan di simpang *slaf* (Tristono, 2014). Arus pergerakan kendaraan secara detail diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sket simpang *master* dan simpang *slaf*. (Tristono, 2015)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penetapan durasi siklus.

Simpang *master* menerapkan dua fase saja. Adapun perencanaan durasi hijau untuk simpang *master* pada arus kendaraan dari lengan utara dan selatan adalah 31 detik dan untuk kendaraan yang datang dari lengan timur 37 detik. Simpang *slaf* menerapkan empat fase. Durasi hijau pada lengan selatan, barat, dan utara pada simpang *slaf* masing – masing adalah 16 detik sedangkan untuk lengan timur adalah 8 detik. Asumsinya hal itu telah sesuai dengan volume kendaraan yang melintas pada tiap – tiap lengan. Pertimbangan alasan penerapan durasi siklus 80 detik karena waktu interval ini masih diijinkan untuk penerapan pada pengaturan dengan dua maupun empat fase (MKJI, 1979).

3.2. Optimasi urutan fase pada simpang *slaf*.

Hasil optimasi urutan fase pada simpang *slaf* yaitu : 1). Selatan – Utara – Timur – Barat atau 2). Selatan – Utara – Barat – Timur. Fase selatan dan utara diterapkan secara berurutan. Pada pengaturan dengan pilihan yang pertama tampak pada Tabel 1 dan Tabel 2.

3.3. Model Petri net koordinasi lampu antar simpang *master* dan *slaf*

Sinyal *place* H_1 , K_1 , dan M_1 merepresentasikan secara berturut – turut sinyal Hijau, Kuning dan Merah pada fase satu simpang *master*. *place* H_2 , K_2 , dan M_2

memodelkan sinyal lampu lalu lintas Hijau, Kuning dan Merah pada fase kedua. *Place* S_1 dan S_2 adalah *state* intermediasi/ perantara untuk menciptakan urutan fase satu dan fase kedua.

Sinyal *place* H_3 , K_3 , dan M_3 merepresentasikan secara berturut – turut sinyal Hijau, Kuning dan Merah pada fase pertama simpang *slaf*. *Place* H_4 , K_4 , dan M_4 memodelkan secara berturut – turut sinyal Hijau, Kuning dan Merah pada fase kedua. *Place* H_5 , K_5 , dan M_5 menyajikan secara berturut – turut sinyal Hijau, Kuning dan Merah pada fase ketiga, dan *place* H_6 , K_6 , dan M_6 mewakili secara berturut – turut sinyal Hijau, Kuning dan Merah pada fase keempat. *Place* S_3 , S_4 , S_5 dan S_6 adalah *state* intermediasi untuk menciptakan urutan fase satu, fase kedua, fase ketiga, dan fase keempat pada simpang *slaf*.

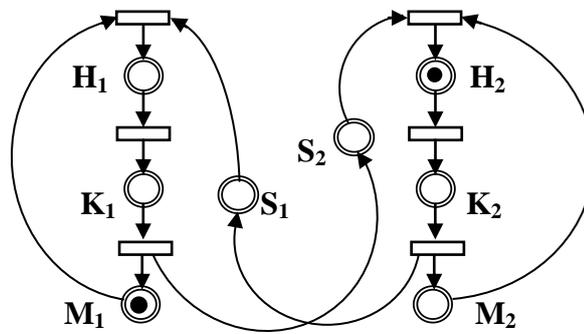
Model koordinasi antara simpang *master* ke simpang *slaf* diciptakan dengan *Marking* pada *place* H_3 paling cepat dimulai 34 detik setelah *Marking* pada H_1 dan paling lambat yaitu dengan *delay* 39 detik. Asumsinya, pada *delay* 39 detik maka 5 detik yang pertama dapat dipergunakan untuk menuntaskan antrian kendaraan dari siklus sebelumnya dan 34 detik berikutnya disediakan bagi iring – iringan kendaraan yang secara langsung datang dari simpang *master* agar tak mengalami *delay* tambahan pada simpang *slaf*. Adapun sinyal hijau simpang *slaf* lebih awal 24 detik atau 19 detik dari simpang *master*.

Tabel 1. Jadwal Pengaturan Sinyal Lampu Lalu-Lintas Simpang Master

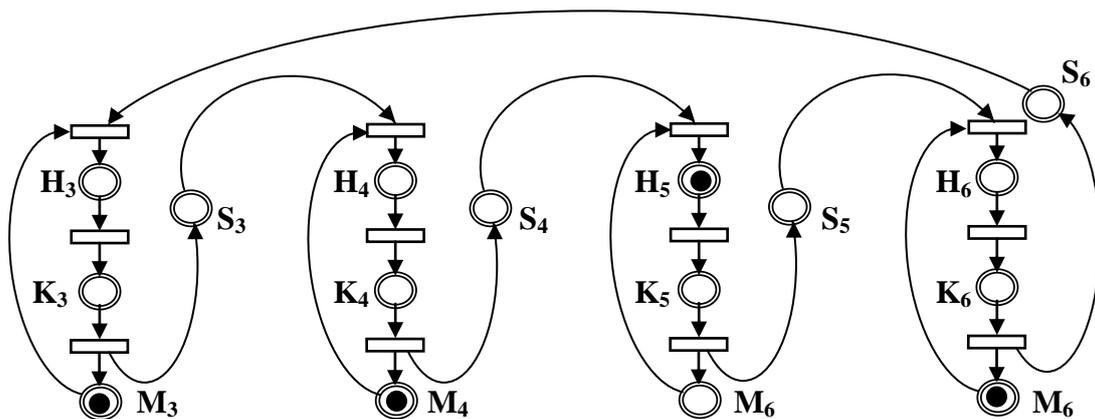
Fase	Hijau	Inter Green		Merah	Siklus
		Kuning	All red (detik)		
Utara-selatan	31	3	3	46	80
Timur-barat	37	3	3	40	80

Tabel 2. Jadwal Pengaturan Sinyal Lampu Lalu-Lintas Simpang *Slaf*

Fase	Hijau	Inter Green		Merah	Siklus
		Kuning	All red (detik)		
Selatan-utara	16	3	3	61	80
Utara-selatan	16	3	3	61	80
Timur-barat	8	3	3	69	80
Barat-timur	16	3	3	61	80



Gambar 3. Model Petri Net Lampu lalu – lintas dengan dua Fase dengan sinyal hijau pada fase kedua.



Gambar 4. Model Petri Net Lampu lalu – lintas dengan empat fase dengan sinyal hijau pada fase ketiga.

4.1. Invariant

Marking ditandai dengan keberadaan sebuah token pada *place*. Urutan *Marking* pada model Petri net dapat disajikan dengan urutan *firing* transisi yang *enable* untuk semua *reachable marking* (penandaan yang mungkin dicapai). *Firing* transisi memindahkan sebuah token dari *place* sinyal asal ke *place* sinyal tujuan berikutnya sesuai dengan panah pada busur yang terkait. Beberapa syarat yang harus dipenuhi yang menjamin bahwa hasil *fire* tidak akan mempunyai *output* yang berbeda ditulis dalam invariant.

$$m(H_1) + m(K_1) + m(M_1) = 1 \quad (1)$$

$m(H_i), m(K_i), m(M_i), m(S_i) \in \{0, 1\}$ dengan $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$. *Marking* dengan nilai nol bermakna bahwa sebuah sinyal sedang padam atau tidak aktif, sedangkan untuk nilai satu berarti menyala atau aktif. Invariant (1) –

Invariant (6) mempunyai maksud bahwa hanya satu sinyal saja yang boleh menyala pada lengan satu sebuah simpang.

$$m(H_2) + m(K_2) + m(M_2) = 1 \quad (2)$$

$$m(H_3) + m(K_3) + m(M_3) = 1 \quad (3)$$

$$m(H_4) + m(K_4) + m(M_4) = 1 \quad (4)$$

$$m(H_5) + m(K_5) + m(M_5) = 1 \quad (5)$$

$$m(H_6) + m(K_6) + m(M_6) = 1 \quad (6)$$

Invariant (7) artinya yaitu jika sinyal hijau atau kuning atau merah pada lengan satu sedang menyala maka pada lengan yang kedua harus menyala merah. Invariant (7) dan Invariant (8) penerapannya pada lampu lalu lintas yang menggunakan dua fase saja. Hal yang sama juga diterapkan pada Invariant (9)

– Invariant (12) namun untuk pengaturan lampu lalu lintas yang menerapkan empat fase.

$$m(H_1) + m(K_1) + m(M_1) = m(R_2) \quad (7)$$

jika $m(R_2) = 1$

$$m(H_2) + m(K_2) + m(M_2) = m(R_1) \quad (8)$$

jika $m(R_1) = 1$

$$m(H_3) + m(K_3) + m(M_3) = m(R_4) = m(R_5) = m(R_6) = 1 \quad (9)$$

jika $m(R_4) = m(R_5) = m(R_6) = 1$

$$m(H_4) + m(K_4) + m(M_4) = m(R_3) = m(R_5) = m(R_6) = 1 \quad (10)$$

jika $m(R_3) = m(R_5) = m(R_6) = 1$

$$m(H_5) + m(K_5) + m(M_5) = m(R_3) = m(R_4) = m(R_6) = 1 \quad (11)$$

jika $m(R_3) = m(R_4) = m(R_6) = 1$

$$m(H_6) + m(K_6) + m(M_6) = m(R_3) = m(R_4) = m(R_5) = 1 \quad (12)$$

jika $m(R_3) = m(R_4) = m(R_5) = 1$

Place S_i pada Invariant (13) dan Invariant (14) merupakan sinyal semu diterapkan untuk menciptakan urutan sinyal fase lampu lalu lintas. *Marking* pada S_i dengan $i=1, 2, 3, 4, 5, 6$ bermakna bahwa semua sinyal pada simpang yang bersangkutan sedang menyala merah pada semua lengan. Durasinya adalah

selama 3 detik. Waktu ini dipergunakan untuk mengosongkan simpang karena akan segera terjadi perubahan sinyal hijau ke arus kendaraan ke lengan yang lain.

$$m(H_1) + m(K_1) + m(H_2) + m(K_2) + S_1 + S_2 = 1 \quad (13)$$

$$m(H_3) + m(K_3) + m(H_4) + m(K_4) + m(H_5) + m(K_5) + m(H_6) + m(K_6) + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 = 1 \quad (14)$$

4.2. Simulasi.

Marking $m(H_1)$, $m(K_1)$ dan $m(M_1)$ berkorelasi pada fase satu simpang *master* yaitu sinyal pada lengan utara – selatan. *Marking* $m(H_2)$, $m(K_2)$ dan $m(M_2)$ adalah fase kedua simpang *master* yang merepresentasikan sinyal untuk arus kendaraan yang datang dari lengan timur. *Marking* $m(H_3)$, $m(K_3)$ dan $m(M_3)$ adalah model untuk sinyal simpang *slaf* pada fase pertama yaitu untuk lengan selatan. Berturut – turut *Marking* $m(H_4)$, $m(K_4)$ dan $m(M_4)$ adalah model untuk fase kedua simpang *slaf* yaitu pada lengan utara. *Marking* $m(H_5)$, $m(K_5)$ dan $m(M_5)$ adalah model untuk fase ketiga yaitu sinyal pada lengan timur, dan *Marking* $m(H_6)$, $m(K_6)$ dan $m(M_6)$ adalah model bagi fase keempat pada sinyal lengan barat.

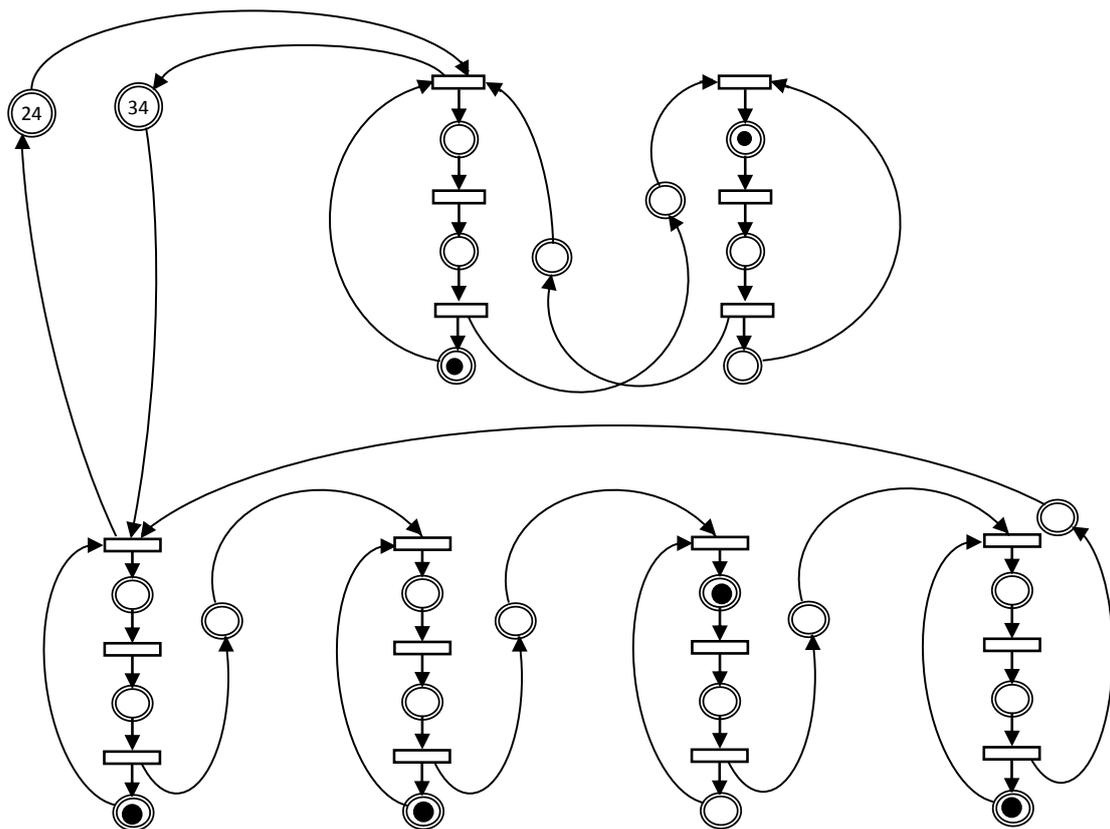
Bandwith arus selatan ke utara dan sebaliknya yaitu dari utara ke selatan keduanya adalah 16 detik. Adapun *offset* simpang *master* ke *slaf* yaitu antara interval 34 s/d 39 detik.



Gambar 5. Hasil simulasi lampu lalu – lintas simpang *master* dengan durasi hijau setiap lengan .



Gambar 6. Hasil Simulasi Lampu Lalu – Lintas Simpang *slaf* dengan durasi hijau setiap lengan.



Gambar 7. Model Koordinasi lampu lalu – lintas dengan Petri Net.

4. KESIMPULAN

Koordinasi sinyal sebuah simpang *master* dan sebuah simpang *slaf* yang berjarak 377 meter dapat dilakukan meskipun pengaturan simpang *master* menerapkan dua fase saja, sedangkan simpang *slaf* membaginya menjadi empat fase. Kedua simpang menerapkan pengaturan lampu lalu lintas dengan strategi waktu tetap (*Fixed Time Strategy*) dan mempunyai durasi siklus yang sama yaitu 80 detik. Pemodelan koordinasi simpang mengaplikasikan Petri Net (PN) klasik. Verifikasi dan validasinya menggunakan invariant pada model Petri Net dan juga simulasi. Urutan fase yang optimal pada simpang *slaf* yaitu dimulai dari lengan selatan – utara – timur – barat atau selatan – utara – barat – timur. Urutan tersebut memungkinkan *Offset* yaitu antara 34 – 39 detik dan dengan *bandwidth* maksimal yaitu 16 detik untuk arah arus kendaraan selatan ke utara serta sebaliknya dari utara ke selatan.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada mahasiswa Teknik Sipil Universitas Merdeka Madiun yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

5. REFERENSI

- Abdullah, Z, (2016), Analisa Koordinasi Sinyal Antar Simpang dengan Menggunakan Software TRANSYT 14 (Studi Kasus Simpang Empat & Simpang BPD Kota Lhokseumawe), Teras Jurnal, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 6, No. 1, Teknik Sipil – Fak. Teknik Univ. Malikussaleh
- Amelia, SC. (2008). Analisis Koordinasi Sinyal Antar Simpang (Studi Kasus Pada Simpang Jl. Merdeka – Jl. RE. Martadinata dan Jl. Merdeka – Jl. Aceh Kota Bandung). Tugas Akhir, UII Yogyakarta.
- Cassandras, CG., Lafortune, S., (1999). *Introduction to Discrete Event Systems*”, The International series on Discrete Event Dynamic Systems, Kluwer Academic Publisher, Norwell, Massachusetts, USA.

- MKJI, (1997), *Manual Kapasitas Jalan Indonesian*, Direktorat Bina Marga Direktorat Bina Jalan Kota, Jakarta.
- Lubis, M. (2007), Studi Manajemen Lalu Lintas Meningkatkan Kinerja Jaringan Jalan Pada Daerah Lingkar Dalam Kota Medan, Thesis, Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara Medan.
- Papacostas, CS., & Prevedouros, P.D. (2005). *Transportation Engineering & Planning*. Singapura: Prentice Hall Inc.
- Pedoman Sistem Pengendalian Lalu Lintas Terpusat., (1991), Keputusan Direktur Jendral Perhubungan Darat No:AJ 401/1/7, Jakarta.
- Rosalina, (2009), Evaluasi Operasional dan Perbaikan Koordinasi Sinyal Antar Simpang dengan Sinyal pada Ruas Jalan Merdeka Lhokseumawe, Portal, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 1, No. 1, Teknik Sipil-Politeknik Negeri Lhokseumawe
- Saputra, Y. W. (2018) Perencanaan Koordinasi Antar Simpang Bersinyal Menggunakan Perangkat Lunak VISSIM (Studi Kasus : Simpang 4 Kolonel Sugiyono–Taman Siswa dan Simpang 3 Kolonel Sugiyono – Sisingamangaraja), Skripsi, UGM, Yogyakarta
- Shane, Mc.W.R and Roess, R.P. (1990). *Traffic Engineering*. New Jersey: Printice Hall Inc
- Soares, M., (2010). *Architecture-Driven Integration of Modeling Languages for the Design of Software-Intensive Systems*, Thesis, Next Generation Infrastructures Foundation, Delft The Netherlands, Chapter 7, pp 99-133.
- Taylor, M., and Young, W. (1996). *Understanding Traffic System*. Sydney: Avebury Technical
- Tristonno, T., (2014). Studi Tundaan Perjalanan Kendaraan di Simpang Bersinyal yang Terintegrasi dengan Palang Pintu Kereta Api, Jurnal Agritek, Vol. 15, No. 1, Universitas Merdeka Madiun.
- Tristonno, T., Cahyono, SD., Sutomo, Utomo, P., (2015), Model Koordinasi Lampu Lalu-Lintas dengan Interupsi, Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXI, Prog. Studi MMT-ITS, Surabaya.