

**PENERAPAN GRAF KOMPATIBEL DALAM OPTIMASI WAKTU
TUNGGU LAMPU LALU LINTAS DIPERSIMPANGAN NAPAR
KOTA PAYAKUMBUH**

SKRIPSI SARJANA MATEMATIKA

OLEH :

AINI NUR AZIZAH

BP. 1310431043



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2020**

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	20
BAB IV KESIMPULAN	34
DAFTAR PUSTAKA.....	35

DAFTAR TABEL

TABEL 2.1 Batasan Panjang waktu siklus	13
TABEL 2.2 Batasan Panjang waktu siklus	15
TABEL 4.1 Data lama siklus lampu lalu lintas simpang Napar	21
TABEL 4.2 Data Volume Kendaraan Jalan Tan Malaka (Utara)	22
TABEL 4.3 Data Volume Kendaraan Jalan Tan Malaka (Selatan).....	22
TABEL 4.4 Data Volume Kendaraan Jalan Imam Bonjol (Timur).....	23
TABEL 4.5 Data Volume Kendaraan Jalanb Prof.Dr.Hamka (Barat)	23
TABEL 4.6 Data Arus kompatibel.....	25
TABEL 4.7 Durasi Lampu Lalu Lintas Baru	29

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 2.1 Sebuah Graf	6
GAMBAR 2.2 Graf 2	7
GAMBAR 3.1 Simulasi Penelitian Simpang Napa.....	18
GAMBAR 4.1 Bentuk Geometri Simpang Napar	20
GAMBAR 4.2 Simpul Graf.....	24
GAMBAR 4.3 Menentukan Graf Sisi.....	25
GAMBAR 4.4 Graf Kompatibel.....	26

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kedua sebagai negara dengan tingkat kemacetan yang sangat tinggi di dunia. Masyarakat Indonesia rata-rata menghabiskan waktu 51 jam per tahun untuk menghadapi kemacetan di jalan raya [8] . Hal ini tidak efisien karena sangat berpengaruh terhadap kelangsungan aktivitas yang akan dikerjakan selanjutnya.

Lalu lintas merupakan suatu unsur penting sebagai media untuk menghubungkan beberapa aktivitas dalam suatu kegiatan. Pemerintah saat ini sangat menggencarkan program-program yang diharapkan menjadi solusi dari masalah kemacetan yang telah menjadi permasalahan abadi di negeri ini.

Banyaknya jumlah penduduk, instansi pemerintahan serta pusat pendidikan menjadi faktor utama penyebab terjadinya kemacetan. Payakumbuh merupakan kota yang dipadati oleh penduduk asli maupun penduduk pendatang yang datang dari berbagai daerah lainnya. Payakumbuh juga merupakan kota yang menjadi tempat persinggahan para pengguna transportasi yang datang dari suatu daerah menuju daerah lainnya. Kondisi geografis Payakumbuh yang terletak diantara dua kota yang cukup besar menjadikan Payakumbuh sering menjadi tempat persinggahan. Payakumbuh yang memiliki jarak 30 km dari

Kota Bukittinggi dan 186,9 km dari Kota Pekanbaru menjadikan Payakumbuh menjadi lokasi yang sering dilewati (jalan lintas) ketika melakukan perjalanan dari Kota Pekanbaru menuju Kota Bukittinggi.

Simpang Napar merupakan simpang yang menjadi pertemuan perjalanan baik dari daerah Pekanbaru menuju Kota Bukittinggi, maupun dari daerah Kabupaten Lima Puluh Kota menuju Pusat Kota Payakumbuh. Saat ini Simpang Napar dilengkapi dengan adanya CCTV pemantau lalu lintas dan juga lampu lalu lintas yang berada pada setiap simpangnya. Walaupun demikian setiap jam kerja simpang ini sering sekali terjadi kemacetan.

Untuk menyelesaikan masalah itu, matematika yang juga merupakan ilmu yang dapat diterapkan dalam segala bidang kehidupan, mampu memberikan solusi untuk masalah kemacetan ini. Tidak hanya itu, banyak aspek dalam kehidupan ini yang tak terlepas dari penerapan ilmu matematika. Graf merupakan cabang ilmu matematika yang sering digunakan untuk menyederhanakan suatu permasalahan yang sangat kompleks. Dengan adanya ilmu graf ini, maka akan memudahkan banyak pihak untuk mengerti suatu permasalahan tertentu. Permasalahan lalu lintas juga merupakan permasalahan yang juga bisa di selesaikan dengan menerapkan ilmu matematika. Graf Kompatibel merupakan salah satu contoh graf yang dapat di gunakan untuk melihat dan menyelesaikan permasalahan lampu lalu lintas. Hal ini di tunjukkan dengan adanya penelitian yang memanfaatkan teori graf kompatibel oleh beberapa orang peneliti di tempat berbeda.

Dengan adanya penelitian yang mengangkat tema ini diharapkan bisa menjadi salah satu pedoman untuk memecahkan masalah lalu lintas di persimpangan ini. Karena tidak dipungkiri bahwa masalah kemacetan di persimpangan ini mampu menjadi masalah yang besar dan mampu menghambat berbagai aktivitas dari masing-masing pengguna jalan ini.

1.2 Perumusan Masalah

Merujuk kepada latar belakang diatas dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana bentuk graf kompatibel lalu lintas Simpang Napar dari hasil pemodelan arus lalu lintas di persimpangan jalan?
2. Bagaimana hasil perhitungan waktu tunggu lampu lalu lintas optimal dengan menggunakan graf kompatibel tersebut?
3. Bagaimana perhitungan hasil waktu tunggu total optimal berdasarkan graf kompatibel dengan waktu lampu lalu lintas yang sudah diterapkan.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Dengan adanya pembahasan mengenai masalah kemacetan ini diharapkan bisa memberikan simulasi untuk memecahkan permasalahan kemacetan di Simpang Napar, Payakumbuh.
2. Untuk mendapatkan hasil perhitungan waktu lampu lalu lintas optimal di persimpangan Napar.
3. Untuk melihat perbandingan waktu lampu lalu lintas di lapangan dengan lampu lalu lintas hasil perhitungan.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini adalah Bab I sebagai pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan sistematika penulisan. Pada Bab II sebagai landasan teori yang membahas tentang konsep dasar teori graf dan materi tentang graf kompatibel. Pada Bab III sebagai metode penelitian. BAB IV sebagai Hasil dan Pembahasan. BAB V sebagai Kesimpulan dari Pembahasan yang diperoleh.

BAB II

LANDASAN TOERI

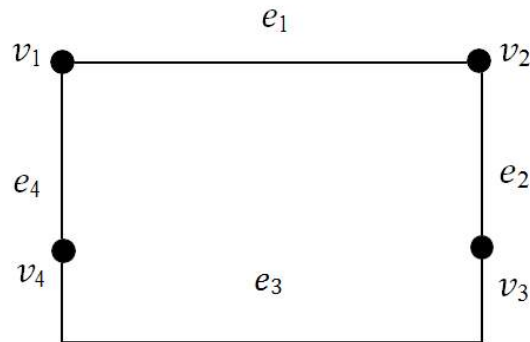
2.1 Graf

Teori graf adalah cabang dari matematika yang sudah ada sejak lebih dari dua ratus tahun yang silam. Jurnal pertama tentang teori graf muncul pada tahun 1736, oleh matematikawan terkenal dari Swiss bernama Euler. Pada awalnya teori graf hanya digunakan untuk memecahkan puzzle, oleh karenanya ketika itu teori graf tidak memiliki manfaat yang terlalu signifikan. Namun seiring perkembangan zaman, dalam kurun waktu beberapa puluh tahun terakhir ini, teori graf mendapat perhatian yang cukup besar, dikarenakan fungsinya yang semakin hari semakin memberikan manfaat yang luas, terutama dalam memecahkan permasalahan kehidupan sehari-hari.

2.1.1 Definisi Graf

Sebuah graf G berisikan dua himpunan yaitu himpunan berhingga tak kosong $V(G)$ dari objek-objek yang disebut **titik** dan himpunan berhingga (mungkin kosong) $E(G)$ yang elemen-elemennya disebut **sisi** sedemikian hingga setiap elemen e dalam $E(G)$ merupakan pasangan tak berurutan dari titik-titik di $V(G)$ disebut **himpunan titik G** . Graf G didefinisikan sebagai pasangan himpunan (V, E) , ditulis dengan notasi $G = (V, E)$, yang dalam hal ini V adalah himpunan tidak kosong dari titik-titik (*vertices* atau *node*) dan E adalah himpunan sisi (*edges* atau *arcs*) yang menghubungkan sepasang titik, E boleh kosong. Jadi, sebuah graf dimungkinkan tidak mempunyai sisi, tetapi titiknya harus ada minimal satu. Graf yang hanya mempunyai satu buah titik tanpa sisi dinamakan graf trivial [2].

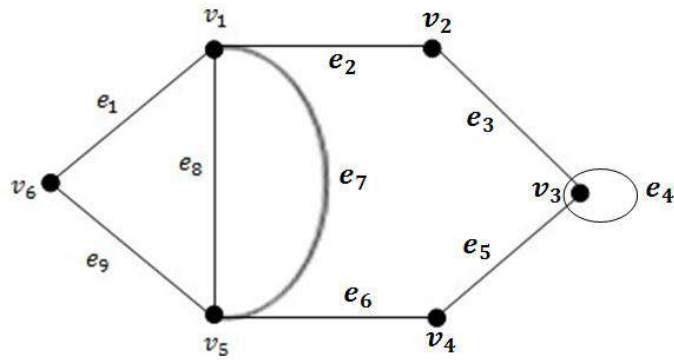
Contoh graf $G = (V, E)$ dengan $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$ dan $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4\}$ dimana graf $G = (V, E)$ dengan $e_1 = v_1, v_2$, $e_2 = v_2, v_3$, $e_3 = v_3, v_4$, $e_4 = v_4, v_5$ dapat dipresentasikan dalam bentuk gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Contoh Graf

Sebuah sisi yang hanya menghubungkan sebuah titik dengan dirinya sendiri disebut gelung (*loop*). Jika terdapat lebih dari satu sisi yang menghubungkan dua titik u dan v pada suatu graf, maka sisi-sisi tersebut disebut sisi ganda. Misalkan G adalah sebuah graf. Sebuah jalan (*walk*) di G adalah sebuah barisan berhingga tak kosong $W = (v_0, e_1, v_1, e_2, v_2, \dots, e_k, v_k)$ yang suku-sukunya bergantian titik dan sisi sedemikian sehingga v_{i-1} dan v_i adalah titik-titik akhir sisi e_i , untuk $1 \leq i \leq k$. Dapat dinyatakan W adalah sebuah jalan dari titik v_0 ke titik v_k atau jalan (v_0, v_k) . Titik v_0 dan titik v_k berturut-turut disebut titik awal dan titik akhir W . Jika semua sisi $e_1, e_2, e_3, \dots, e_k$ dalam jalan W yang berbeda, maka W disebut jejak (*trail*). Jika semua titik $v_0, v_1, v_2, \dots, v_k$ dalam jalan W juga berbeda, maka W disebut lintasan (*path*).

Misalkan G adalah sebuah graf. Sebuah jalan W disebut tertutup jika titik awal dan titik akhir dari W sama. Jejak tertutup disebut sirkuit. Sirkuit dengan titik awal dan titik akhir internalnya berlainan disebut siklus (*cycle*). Siklus dengan n titik dinotasikan dengan C_n [3].



Gambar 2.2 Contoh Graf 2

2.1.1 Jenis-Jenis Graf

Graf dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori (jenis) bergantung pada sudut pandang pengelompokannya. Pengelompokan graf dapat dipandang berdasarkan ada tidaknya sisi ganda, berdasarkan jumlah titik, atau berdasarkan orientasi arah pada sisi [2].

Berdasarkan ada tidaknya gelang atau sisi ganda pada suatu graf maka secara umum graf dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu:

1 Graf Sederhana (*Simple Graf*)

Graf yang tidak mengandung gelang (*loop*) maupun sisi ganda dinamakan graf sederhana [2].

2 Graf Tak Sederhana (*Unsimple Graf*)

Graf yang mengandung sisi ganda atau *loop* dinamakan graf tak sederhana (*unsimple graf*). Ada dua macam graf tak sederhana, yaitu graf ganda (*multigraf*) dan graf semu (*pseudograf*) [2].

(1) Graf Ganda (*Multigraf*) adalah graf yang mengandung sisi ganda namun tidak mempunyai *loop* (gelang). Sisi ganda yang menghubungkan sepanjang titik dapat lebih dari dua buah. Gambar 2.4 adalah contoh graf ganda.

(2) Graf semu (*Pseudograf*) adalah graf yang mengandung loop (termasuk bila memiliki sisi ganda sekalipun). Graf semu lebih umum daripada graf ganda, karena sisi pada graf semu dapat terhubung ke dirinya sendiri.

Berdasarkan jumlah titik pada suatu graf, maka secara umum graf dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu :

1. Graf Berhingga

Graf berhingga adalah sebuah graf $G(V, E)$ dengan V (himpunan titik) dan E (himpunan sisi) hingga [4].

2. Graf Tak Berhingga

Graf tak berhingga adalah sebuah graf $G(V, E)$ dengan V (himpunan titik) dan E (himpunan sisi) tak hingga [4].

Berdasarkan orientasi arah pada sisi, maka secara umum graf dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu :

1. Graf Tak Berarah (*Undirected Graf*)

Graf yang sisinya tidak mempunyai orientasi arah disebut graf tak berarah.. Pada graf tak berarah, urutan pasangan titik yang dihubungkan oleh sisi tidak diperhatikan. Jadi, $v_j, v_k = v_k, v_j$ adalah sisi yang sama [4] .

2. Graf Berarah (*Directed Graf* atau *Digraf*)

Graf yang setiap sisinya diberikan orientasi arah disebut sebagai graf berarah. Sisi berarah disebut juga busur. Pada graf berarah, (v_j, v_k) dan (v_k, v_j) menyatakan dua buah busur yang berbeda, dengan kata lain $(v_j, v_k) \neq (v_k, v_j)$. Untuk busur (v_j, v_k) , titik v_j dinamakan titik asal (*initial vertex*), dan titik v_k dinamakan terminal (*terminal vertex*). Pada graf berarah, *loop* dan sisi ganda diperbolehkan [2].

Berdasarkan beberapa graf sederhana khusus, maka secara umum graf dibedakan atas 2 jenis, yaitu:

1. Graf Lengkap (*Complete Graf*)

Graf lengkap ialah graf sederhana yang setiap titiknya mempunyai sisi ke semua titik lainnya. Graf lengkap dengan n buah titik dilambangkan K_n . Setiap titik pada K_n berderajat $n - 1$ [2]

2. Graf Lingkaran

Graf lingkaran adalah graf sederhana yang setiap titiknya berderajat dua. Graf lingkaran dengan n titik dilambangkan dengan C_n [2].

3. Graf Teratur/ Graf reguler

Graf yang setiap titiknya mempunyai derajat yang sama disebut graf teratur. Apabila derajat setiap titik adalah r , maka graf tersebut disebut sebagai graf teratur derajat r . Jumlah sisi pada graf teratur derajat r dengan n buah titik adalah nr [2].

4. Graf Bipartit (*Bipartite Graf*)

Sebuah Graf disebut bipartit jika Graf G yang himpunan simpulnya dapat dipisah menjadi dua himpunan bagian V_1 dan V_2 , sedemikian sehingga setiap sisi pada G menghubungkan sebuah simpul di V_1 ke sebuah simpul di V_2 . Apabila setiap titik di V_1 bertetangga dengan semua titik di V_2 , maka $G(V_1, V_2)$ disebut graf biparti lengkap, dilambangkan dengan $K_{m,n}$. Jumlah sisi pada graf biapartit lengkap adalah mn [2].

2.1 Terminolog Dasar Graf

Berikut beberapa terminologi yang berkaitan dengan graf yang sering digunakan :

a. Bersisian (*Incidency*)

Untuk sebarang sisi $e = (v_1, v_2)$, sisi e dikatakan bersisian dengan simpul v_1 dan simpul v_2 jika e menghubungkan kedua simpul tersebut [1].

b. Derajat (*Degree*)

Derajat suatu simpul pada graf berarah, derajat simpul v dinyatakan dengan $d_{in}(v)$ dan $d_{out}(v)$, yang dalam hal ini $d_{in}(v)$ menyatakan sisi berarah yang masuk ke simpul v dan $d_{out}(v)$ menyatakan sisi berarah yang keluar dari simpul v [2].

c. Lintasan (*Path*)

Lintasan yang panjangnya n dari simpul awal v ke simpul tujuan v_n di dalam graf ialah barisan berselang-seling simpul-simpul dan sisi-sisi yang berbentuk $v_0, e_1, v_1, e_2, v_2, \dots, v_{n-1}, e_n, v_n$ sedemikian $e_1 = (v_0, v_1)$, $e_2 = (v_1, v_2)$, $\dots, e_n = (v_{n-1}, v_n)$ adalah sisi-sisi dari graf [2].

Simpul dan sisi yang dilalui di dalam lintasan boleh berulang. Sebuah lintasan dikatakan lintasan sederhana jika semua simpulnya berbeda. Lintasan yang berawal dan berakhir pada simpul yang sama disebut lintasan tertutup, sedangkan lintasan yang tidak berawal dan berakhir pada simpul yang sama disebut lintasan terbuka. Panjang lintasan adalah jumlah sisi dalam lintasan tersebut.

d. Siklus (*Cycle*) atau (*Circuit*)

Lintasan yang berawal dan berakhir pada simpul yang sama disebut sirkuit atau siklus [2].

e. Terhubung (*Connected*)

Dua buah simpul v_1 dan v_2 dikatakan terhubung jika terdapat lintasan dari v_1 ke v_2 . G disebut graf terhubung jika untuk setiap pasang simpul v_1 dan v_2 dalam himpunan V terdapat lintasan dari v_1 ke v_2 [2].

f. Graf Berbobot (*Weighted graf*)

Graf berbobot adalah graf yang setiap sisinya diberi sebuah bobot [2].

2.2 Graf Kompatibel

Graf-graf kompatibel digunakan secara luas dalam memecahkan masalah yang melibatkan pengaturan data dalam urutan tertentu. Pada graf kompatibel, titik-titik pada graf menunjukkan objek-objek yang akan diatur, sedangkan sisi-sisi pada graf menunjukkan pasangan objek yang kompatibel (sesuai). Pengertian graf kompatibel ini muncul pertama kali dalam pembahasan genetika, namun seiring perkembangan pengetahuan pengertian ini sekarang juga dipakai dalam bidang-bidang lain seperti psikologi, arkeologi, dan juga dalam menentukan usia karya tulis klasik yang ditemukan. Memfase atau disebut juga dengan pengaturan lalu lintas adalah aplikasi graf kompatibel yang pertama kali dibicarakan [5].

2.3 Karakteristik Lampu Lalu Lintas

Lampu lalu lintas adalah suatu alat kendali dengan memanfaatkan lampu yang dipasang pada persimpangan yang memiliki tujuan untuk mengatur arus lalu lintas. Tujuan pengaturan arus lalu lintas ini adalah mengatur pergerakan kendaraan supaya dapat bergerak secara bergantian sehingga tidak mengganggu arus yang lain. Ada banyak jenis kendali dalam pengaturan lalu lintas seperti volume kendaraan, keadaan geometri dan lainnya.

Kondisi geometri pada lapangan dan lama siklus lalu lintas memiliki pengaruh terhadap kinerja lalu lintas dan kapasitas yang ada pada persimpangan itu sendiri. Untuk mendapatkan kinerja yang baik maka diperlukan perencanaan yang tepat untuk mendistribusikan waktu kepada masing-masing kelompok pergerakan kendaraan secara profesional. Jenis lampu nyala yang digunakan pada sistem lampu lalu lintas adalah sebagai berikut:

a. Lampu hijau (green) adalah isyarat yang digunakan untuk kendaraan yang harus bergerak maju.

b. Lampu kuning adalah isyarat yang digunakan untuk kendaraan yang harus melakukan antisipasi diantara dua pilihan yaitu lampu hijau dan lampu kuning sehingga harus mengambil keputusan yang tepat.

c. Lampu merah (red) adalah isyarat yang digunakan untuk kendaraan yang harus berhenti tepat sebelum garis henti (stop line).

Ada suatu kondisi dimana kendaraan yang belok kiri tanpa ada peraturan khusus maka kendaraan boleh jalan terus tanpa harus memperhatikan isyarat dari salah satu warna lampu lalu lintas.

2.4 Teknik Lalu Lintas

1. Alur

Para peneliti menggunakan volume atau aliran sebagai salah satu ukuran utama kondisi atau keadaan lalu lintas. Hal ini dikarenakan aliran adalah karakteristik yang paling mudah untuk diperoleh. Pada saat rekayasa lalu lintas dilakukan perhitungan dengan memilih pada awalnya satu jam yang kemudian menjadi 15 menit. Waktu ini dibiarkan berjalan terus menerus [1].

2. Kecepatan Rata-rata.

Kecepatan rata-rata adalah satu ukuran penting dari kinerja lalu lintas khususnya pada titik atau rute tertentu [1].

2.5 Metode Webster

Metode Webster dikembangkan oleh F.V Webster yang merupakan metode yang digunakan untuk menentukan waktu penyalaan lampu lalu lintas. Adapun langkah-langkah yang dapat dilakukan untuk menentukan metode tersebut adalah sebagai berikut :

1. Menentukan arus jenuh

Tabel 2.1. Arus jenuh di persimpangan (metode Webster)

Lebar Jalan (m)	3,05	3,35	3,65	3,95	4,25	4,60	4,90	5,20
Arus Jenuh (smp/j)	1850	1875	1900	1950	2075	2250	2475	2700

Jika lebar jalan (l) diatas nilai tertinggi pada tabel , maka arus jenuh = $l \times 525$ (smp/j)

Perlakuan khusus terjadi jika keadaan persimpangan dikatakan baik (bebas pandangan, dan sebagainya) maka angka tersebut dihitung dengan cara menambah sebesar 20%, dan untuk persimpangan yang dinyatakan kurang

baik (seperti ada tanjakan, pandangan kurang bebas, dan sebagainya) maka angka-angka itu kemudian dikurangi 15%.

Ratio arus normal terhadap arus jenuh (y), ditentukan dengan $y = \frac{Q}{S}$

Ratio fase adalah ukuran kemacetan dinyatakan dengan $FR = \Sigma y_{max}$

Dimana: $S =$ Arus jenuh (smp/j)

$Q =$ Arus nyata (smp/j)

2. Menentukan waktu siklus optimum

Waktu hilang (L) adalah lama waktu pada saat siklus penuh dimana kondisi saat itu menyatakan tidak ada kendaraan yang merupakan faktor yang diperlukan dalam menghitung siklus waktu maksimum (*the optimum cycle time setting*). Waktu hilang ini tidak hanya terjadi jika tidak ada kendaraan, namun juga saat waktu persiapan jalan dan juga pada saat waktu persiapan berhenti pada saat kondisi pergantian warna lampu.

Waktu yang terbuang dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Lt = 2n + R$$

$n =$ Banyaknya fase

$R =$ Waktu semua merah dan waktu merah/merah/kuning (2+3 = detik)

$Lt =$ Dapat juga didefinisikan sebagai jumlah kurun waktu hijau dikurangi satu detik setiap hijau.

Oleh laboratorium penelitian jalan di Inggris, memberikan waktu siklus optimum (C_0) dapat digunakan

$$C_0 = \frac{1,5 \times Lt + 5}{1 - FR}$$

Waktu hilang yang diperkenankan terhadap nilai y pada setiap arah :

$$\frac{FR_1}{FR_2} = \frac{q_1 + 1}{q_2 + 1} \text{ sehingga } G_1 = \frac{y_1(C_0 - Lt)}{FR} - 1 \text{ detik}$$

$$G_2 = \frac{y_2(C_0 - Lt)}{FR} - 1 \text{ detik}$$

Tundaan

$$d = 0,9 \frac{S(C_0 - G)^2}{2C_0(S - q)} \times \frac{1800 \times q \times C_0^2}{q \times S(q \cdot S - q \cdot C_0)}$$

Keterangan : d = tundaan (detik/smp)

C_0 = waktu siklus (detik)

G = kurun waktu hijau (detik)

q = arus kendaraan (kend/jam)

S = arus jenuh (kend/jam)

Tabel 2.2. Batasan panjang waktu siklus berdasarkan jumlah fase

Jumlah Fase	Panjang waktu siklus yang disarankan (detik)
2	40 – 80
3	50 – 100
4	80 – 130

Waktu hijau aktual

$$Ga = G + K - Lt$$

Keterangan : Ga = waktu hijau aktual (detik)

G = waktu hijau siklus (detik)

K = waktu kuning

Lt = waktu hilang (*lost time*)

Kapasitas praktis (Cp)

$$C_p = 0,9 \frac{1 - Lt}{C_0}$$

Keterangan : Cp = kapasitas praktis

C_0 = waktu siklus

Lt = waktu hilang

BAB III

METODE PENELITIAN

Berikut adalah langkah-langkah penelitian dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

1. Mengidentifikasi Masalah

Adapun masalah yang akan diidentifikasi adalah penyebab kemacetatan di Simpang Empat Kelurahan Napar Kota Payakumbuh serta penerapan graf kompatibel untuk lalu lintas.

2. Studi literatur dan mengumpulkan referensi yang relevan sebagai sumber utama . Dalam hal ini literatur atau sumber bacaan yang digunakan diperoleh dari buku pegangan kuliah, buku teks, dan jurnal ilmiah.

3. Memahami teori dasar graf dan graf kompatibel secara mendalam.

4. Pelaksanaan Penelitian

4.1 Pengumpulan Data

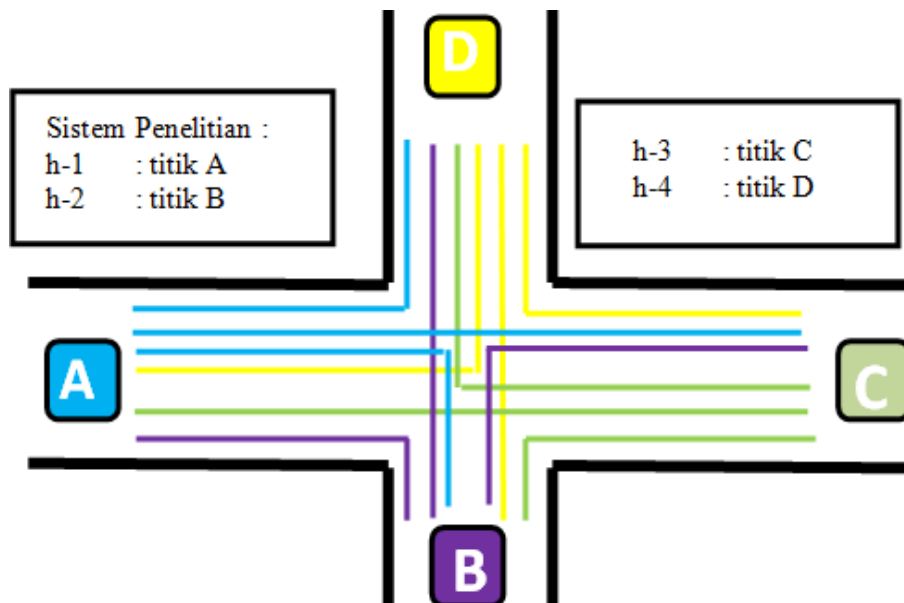
Dalam penelitian ini data diperoleh dengan melakukan pengamatan langsung ditempat penelitian dengan mengamati dan mencatat berapa banyak kendaraan yang melewati persimpangan tersebut. Data ini dinamakan dengan data primer.

4.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.

Penelitian dilakukan di Simpang Empat Kelurahan Napar Kota Payakumbuh. Bagian yang diamati adalah berapa banyak kendaraan yang melewati kedua simpang tersebut dengan arah dan tujuan yang berbeda. Waktu penelitian dilakukan pada pagi dan sore hari.

4.3 Teknik Pengumpulan Data

Metode observasi adalah metode dengan melakukan pengamatan langsung dilokasi yang menjadi pusat penelitian dan merupakan metode yang digunakan dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini yang menjadi objek populasi adalah jumlah kendaraan yang melewati persimpangan Napar Payakumbuh, jumlah jalur yang ada di Simpang Empat Napar Payakumbuh. Kemudian data akan diolah menjadi graf kompatibel dan *Metode Webster* untuk mendapatkan waktu optimum lampu lalu lintas baru persimpangan. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil data pada hari Senin-Kamis yang mewakili hari-hari biasa. Adapun simulasi dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1 Ruas Jalan Simpang Napar

4.4 Analisis Hasil

Hasil dan proses analisis dari hasil penelitian yang diamati langsung dilokasi penelitian akan dilihat dan dibahas langsung pada BAB IV hasil dan pembahasan..

4.5 Prosedur Pengolahan Data

Dengan melakukan pengamatan jumlah waktu pada Simpang Empat Kelurahan Napar secara langsung (data primer) maka data pada penelitian ini diperoleh dan dicatat. Data yang dikumpulkan mencakup jumlah kendaraan yang melewati kedua persimpangan ini dengan arah dan tujuan yang berbeda. Pengamatan dilakukan hanya ditepi ruas jalan, sehingga tidak mengganggu jalannya arus lalu lintas.

Pengolahan data adalah hal terpenting dalam suatu penelitian. Oleh karena itu akan dilakukan pengolahan data primer yang sudah didapat melalui pengamatan dengan menggunakan metode-metode pengolahan data yang sudah ada dibagian landasan teori.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 PEMBAHASAN

1. Proses Pengambilan data

a. Data Hasil Pengamatan

Lokasi penelitian yang dipilih adalah Simpang Empat yang berada di Kelurahan Napar, Kota Payakumbuh. Persimpangan yang dimaksud adalah simpang empat jalan Tan Malaka (Utara dan Selatan), jalan Imam Bonjol (barat), jalan Prof.Dr. Hamka (timur). Gambar geometri simpang empat Kelurahan Napar Kota Payakumbuh tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.1 Geometri Simpang Napar Payakumbuh

Pada gambar 4.1 diperoleh keterangan seperti berikut:

- i. Jalan Tan Malaka Utara merupakan bagian utara yang terdiri dari 2 jalan, lebar jalan masuk adalah 2 meter dan jalan keluarnya sebesar 2,25 meter

ii. Jalan Tan Malaka Selatan merupakan bagian selatan yang terdiri dari 2 jalur, lebar jalur masuk adalah 2,3 meter dan jalur keluar juga 2,3 meter.

iii. Jalan Imam Bonjol merupakan bagian barat yang memiliki 2 jalur, lebar jalur masuk adalah 2,5 m dan lebar jalur keluar sebesar 2,4 meter.

iv. Jalan Prof.Dr.Hamka merupakan bagian timur yang memiliki 2 jalur, lebar jalur masuk adalah 2,4 m dan lebar jalur keluar adalah 2,5 m.

b. Hasil Pengamatan lama siklus lampu lalu lintas yang terjadi disimpang empat Jl. Tan Malaka (Utara)-Tan Malaka (Selatan)-Imam Bonjol-Prof.Dr. Hamka.

Tabel 4.1 Data Lama siklus lampu lalu lintas simpang Empat Kelurahan Napar, Payakumbuh yang diamati

Ruas Jalan	Merah (detik)	Kuning (detik)	Hijau (detik)
Tan Malaka (Utara)	82	2	20
Tan Malaka (Selatan)	87	2	20
Imam Bonjol	87	2	17
Prof.Dr.Hamka	90	2	20

c. Volume Lalu Lintas

Setelah melakukan pengamatan selama 4 hari di Simpang Empat Kelurahan Napar Payakumbuh, maka kemudian data diambil selama 15 menit pada setiap waktu siklusnya yang mewakili waktu 1 jam. data ini diperoleh dengan mencatat semua jenis kendaraan yang melewati persimpangan ini kecuali pejalan

kaki dan juga becak atau kendaraan beroda tiga. Kemudian data dirubah kedalam satuan mobil penumpang (smp) per-jam..

Peneliti melakukan pengamatan untuk pengambilan data pada persimpangan dengan mengamati arus lalu lintas yang dilakukan selama empat hari, dimulai pada hari Senin, 30 Oktober 2019 dan berakhir pada Kamis 3 Oktober 2019 yang mewakili hari kerja dan jam sibuk. Berikut merupakan hasil pengamatan yang dilakukan yang kemudian langsung dirubah ke satuan mobil penumpang (smp).

Tabel 4.2 Data Volume kendaraan yang terjadi pada jalan Tan Malaka (Utara)

Waktu	(LV)		(HV)		(MC)		Jumlah	
	emp=1,0		emp=1,3		emp=1,2			
	kend	Smp	Kend	smp	kend	Smp	Kend/jam	Smp/jam
1	2	3	4	5	6	7	8=2+4+6	0=3+5+7
07.00-08.00	428	428	0	0	1696	339,2	2124	767,2
12.00-13.00	268	268	0	0	728	145,6	996	413,6
17.00-18.00	328	328	0	0	980	136	1008	464

Tabel 4.3 Data Volume kendaraan yang terjadi pada Tan Malaka

(Selatan)

Waktu	(LV)		(HV)		(MC)		Jumlah	
	emp=1,0		emp=1,3		emp=1,2			
	kend	Smp	Kend	smp	kend	Smp	Kend/jam	Smp/jam
1	2	3	4	5	6	7	8=2+4+6	0=3+5+7
07.00-08.00	224	224	0	0	964	192,8	1188	416,8
12.00-13.00	300	300	0	0	844	168,8	1144	468,8
17.00-18.00	236	236	0	0	1092	218,4	1328	456,4

Tabel 4.4 Data Volume kendaraan yang terjadi pada jalan Imam
Bonjol (Timur)

Waktu	(LV)		(HV)		(MC)		Jumlah	
	emp=1,0		emp=1,3		emp=1,2			
	kend	Smp	Kend	Smp	kend	Smp	Kend/jam	Smp/jam
1	2	3	4	5	6	7	8=2+4+6	0=3+5+7
07.00-08.00	160	160	4	5,2	588	117,6	752	182,8
12.00-13.00	96	96	2	2,6	164	32,8	262	131,4
17.00-18.00	176	176	0	0	496	99,2	672	275,2

Tabel 4.5 Data Volume kendaraan yang terjadi pada jalan
Prof.Dr.Hamka (Barat)

Waktu	(LV)		(HV)		(MC)		Jumlah	
	emp=1,0		emp=1,3		emp=1,2			
	kend	Smp	Kend	Smp	kend	Smp	Kend/jam	Smp/jam
1	2	3	4	5	6	7	8=2+4+6	0=3+5+7
07.00-08.00	132	132	2	2,6	1280	256	1466	442,6
12.00-13.00	92	92	3	3,9	344	68,8	439	164,7
17.00-18.00	132	132	0	0	572	114,4	704	246,4

Keterangan

(MC) = *Motorcycle* (Sepeda Motor)

(LV) = *Light Vehicle* (Kendaraan ringan)

(HV) = *Heavy Vehicle* (Kendaraan berat)

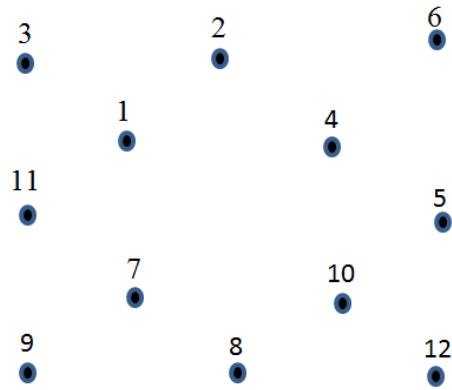
2. Gambar dari Persimpangan Empat Kelurahan Napar, Payakumbuh



Gambar 4.1

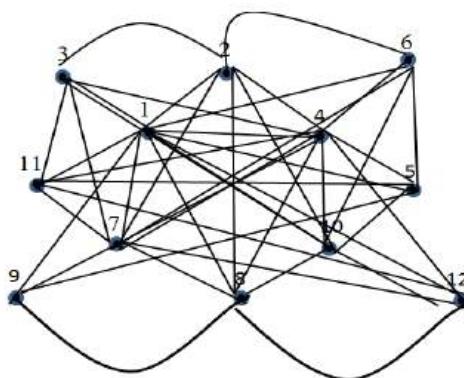
- a. Kemudian gambar diubah dalam bentuk graf kompatibel dengan cara membuat simpul-simpul.

Berikut gambar dari simpul-simpul



Gambar 4.3 Membuat Simpul Graf

b. Menentukan sisi



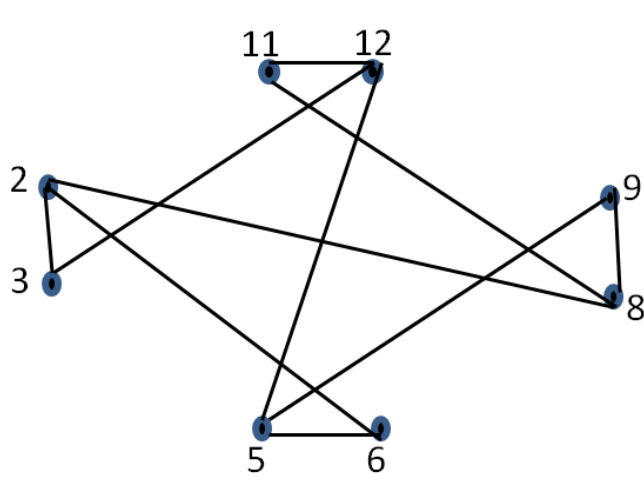
Gambar 4.4 Membuat Sisi Graf

Pada gambar 4.4 Simpang jalan Tan Malaka (Utara)-Tan Malaka (selatan)-Imam Bonjol-Prof.Dr.Hamka jumlahnya adalah 12 jalur dengan nama masing-masing nomor titik adalah 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 dan 12. Setiap titik mewakili arus lalu lintas untuk masing-masing jalur. Untuk melihat arus yang komaptibel dengan yang tidak komaptibel maka biasa diperhatika tabel 4.6 berikut ini.

Tabel 4.6 Data yang menunjukkan arus yang komaptibel dan arus yang tidak komaptibel

Arus Lalu Lintas	Kompatibel dengan	Tidak Kompatibel dengan
1	2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 dan 12	-
2	1,3,4,6,7,8, dan 10	5,9,11, dan 12
3	1,2,4,7,10, dan 11	5,6,8,9, dan 12
4	1,2,3,5,6,7,8,9,10,11, dan 12	-
5	1,4,6,7,9,10, dan 11	2,3,8,dan 12
6	1,2,4,5,7, dan 10	3,8,9,11, dan 12
7	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11, dan 12	-
8	1,2,4,7,9,10 dan 12	3,5,6, dan 11
9	1,4,5,7,8 dan 10	2,3,6,11 dan 12
10	1,2,3,4,5,6,7,8,9,11, dan 12	-
11	1,3,4,5,7,10 dan 12	2,6,8 dan 9
12	1,4,7,8,10, dan 11	2,3,5,6, dan 9

3. Kemudian graf komaptibel disederhanakan.



Gambar 4.5 Graf Kompatibel

4. Langkah berikutnya yang dilakukan menentukan waktu siklus optimum (C_0) dengan melihat jumlah fase yang sudah didapat

$$C_0 = \frac{1,5.Lt + 5}{1 - FR}$$

Langkah berikut dilakukan untuk mendapatkan waktu siklus optimum,

- a. Waktu kuning (R) = 2 detik
- b. Arus jenuh pada tiap persimpangan

$$\text{Untuk arah utara} = 2075 \frac{\text{smp}}{\text{jam}}$$

$$\text{Untuk arah selatan} = 2250 \frac{\text{smp}}{\text{jam}}$$

$$\text{Untuk arah timur} = 2475 \frac{\text{smp}}{\text{jam}}$$

$$\text{Untuk arah barat} = 2475 \frac{\text{smp}}{\text{jam}}$$

- c. Menentukan nilai y

$$y_u = \frac{767,2}{2075} = 0,3697$$

$$y_s = \frac{468,8}{2250} = 0,2084$$

$$y_t = \frac{275,2}{2475} = 0,1112$$

$$y_b = \frac{442,6}{2475} = 0,1788$$

$$\begin{aligned}FR &= \sum y_{\max} \\ &= 0,3697 + 0,2084 + 0,1788 \\ &= 0,7579\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Lt &= 2n + R \\ &= 2(3) + 2 \\ &= 8\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_0 &= \frac{1,5.Lt + 5}{1 - FR} \\ &= \frac{1,5 \times 8 + 5}{1 - 0,7569} \\ &= \frac{17}{0,2431} \\ &= 70 \text{ detik}\end{aligned}$$

5. Berikut menentukan jumlah siklus waktu hijau maksimum dengan cara :

$$\begin{aligned}
\text{Jumlah siklus waktu hijau maksimum} &= C_0 - Lt \\
&= 70 - 8 \\
&= 62 \text{ detik}
\end{aligned}$$

6. Waktu hijau

$$\begin{aligned}
\text{Fase I} &= \frac{0,3697 \times 62}{0,7569} \\
&= \frac{22,9214}{0,7569} \\
&= 30 \text{ detik}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Fase II} &= \frac{0,2084 \times 62}{0,7569} \\
&= \frac{12,9208}{0,7569} \\
&= 17 \text{ detik}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Fase III} &= \frac{0,1788 \times 62}{0,7569} \\
&= \frac{11,0856}{0,7569} \\
&= 15 \text{ detik}
\end{aligned}$$

7. Waktu merah

$$\begin{aligned}
\text{Fase I} &= C_0 - \text{waktu hijau} - \text{waktu kuning} \\
&= 70 - 30 - 2 \\
&= 48 \text{ detik}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Fase II} &= C_0 - \text{waktu hijau} - \text{waktu kuning} \\
&= 70 - 17 - 2
\end{aligned}$$

$$= 51 \text{ detik}$$

$$\text{Fase I} = C_0 - \text{waktu hijau} - \text{waktu kuning}$$

$$= 70 - 15 - 2$$

$$= 53 \text{ detik}$$

Tabel 4.7 Durasi lampu lalu lintas yang baru

Arah	Hijau	Kuning	Merah
Utara	30	2	48
Selatan	17	2	51
Timur	15	2	53
Barat	15	2	53

4.2 Pembahasan

Setelah melakukan pengolahan data sebelumnya, dan juga dilakukan pembahasan mengenai aplikasi teori graf pada pengaturan lampu lalu lintas di simpang empat Jalan Tan Malaka, Jalan Imam Bonjol dan Jalan Prof.Dr Hamka Kelurahan Napar, Kecamatan Payakumbuh Utara Kota Payakumbuh. Pembahasan tersebut merampung data geometri simpang, volume kendaraan, graf kompatibel, waktu siklus optimum, waktu hijau dan waktu merah. Keadaan persimpangan ini tidak ada median jalan, sehingga memungkinkan kebebasan arus yang terjadi saat masuk dan keluar pada ruas jalan.

Setelah dilihat dari Tabel 4.2 bahwa data serta melihat lama siklus lampu lalu lintas di persimpangan Jalan Tan Malaka, Jalan Imam Bonjol dan Jalan Prof.Dr Hamka menggunakan 3 fase, dimana untuk Jalan Tan Malaka (Utara) volume *peak hourly* terjadi ketika pagi hari yakni pada pukul 07.00-08.00 WIB, dengan jumlah sepeda motor sebesar 1690 kend/jam, tidak ada kendaraan besar yang melintas, dan jumlah kendaraan ringan sebesar 428 kend/jam, semua kendaraan kemudian dikonversi ke satuan mobil penumpang (smp) sehingga diperoleh 339,2 smp/jam untuk sepeda motor, untuk kendaraan ringan diperoleh 428 smp/jam sehingga diperoleh volume *peak hourly* sebesar 767,2 smp/jam.

Kemudian dilihat dari Tabel 4.3 menunjukkan bahwa data dan lama siklus lalu lintas untuk Jalan Tan Malaka (Selatan) volume *peak hourly* terjadi pada siang hari yakni pada pukul 12.00-13.00, dengan jumlah kendaraan ringan sebesar 300 kend/jam, tidak ada kendaraan besar yang melintas, sepeda motor sebesar 844 kend/jam, semua kendaraan kemudian dikonversi ke satuan mobil penumpang (smp) sehingga diperoleh 300

smp/jam untuk kendaraan ringan, 0 smp/jam untuk kendaraan berat, dan 168,8 smp/jam untuk sepeda motor sehingga diperoleh volume *peak hour*nya sebesar 468,8 smp/jam.

Kemudian dilihat dari Tabel 4.4 bahwa data dan lama siklus yang terjadi untuk Jalan Imam Bonjol (Timur) volume *peak hour*nya terjadi pada sore hari yaitu pukul 17.00-18.00, dengan jumlah kendaraan ringan sebesar 176 kend/jam, tidak ada kendaraan besar yang melintas, sepeda motor sebesar 496 kend/jam, semua kendaraan yang telah diamati kemudian dikonversi kesatuan mobil penumpang (smp) sehingga diperoleh hasilnya dengan kendaraan ringan sebesar 176 smp/jam, kendaraan berat sebesar 0 smp/jam, sepeda motor sebesar 99,2 smp/jam sehingga diperoleh waktu *peak hour*nya sebesar 275,2 smp/jam.

Kemudian dilihat dari Tabel 4.5 bahwa data dan lama siklus lalu lintas untuk Jalan Prof.Dr Hamka (Barat) menunjukkan bahwa volume *peak hour*nya terjadi pada pagi hari yaitu pada pukul 07.00-08.00, dengan jumlah kendaraan ringan sebesar 132 kend/jam, kendaraan berat sebesar 2 kend/jam, sepeda motor sebesar 1280 kend/jam, semua kendaraan dikonversi kesatuan mobil penumpang (smp) sehingga diperoleh kendaraan ringan sebesar 132 smp/jam, kendaraan berat sebesar 2,6 smp/jam, sepeda motor sebesar 256 smp/jam sehingga diperoleh volume *peak hour* sebesar 442,6 smp/jam.

Kemudian pesimpangan jalan tersebut diubah ke dalam bentuk graf kompatibel sehingga dapat diperoleh arus-arus yang juga kompatibel. Dirujuk dari tabel 4.6, simpul yang kompatibel kesemua simpul ditunjukkan oleh simpul 1,4,7, dan 10. Setelah didapatkan graf yang kompatibel maka diperoleh data baru yang menunjukkan waktu lampu lalu lintas yang baru

untuk Simpang Empat Napar, Payakumbuh yakni untuk jalan Tan Malaka (Utara) diperoleh lama lampu merah adalah 48 detik, lama lampu kuning adalah 2 detik dan untuk lampu hijau selama 30 detik. Kemudian untuk Jalan Tan Malaka (Selatan) diperoleh lama lampu merah sebesar 51 detik, lama lampu kuning 2 detik dan lama lampu hijau adalah 17 detik. Untuk jalan Imam Bonjol (Timur) diperoleh lama lampu merah adalah 53 detik, lama lampu kuning 2 detik dan lama lampu hijau adalah 15 detik. Terakhir untuk jalan Prof.Dr.Hamka (Barat) diperoleh lama lampu merah adalah 53 detik, lama lampu kuningnya 2 detik dan lama lampu hijau adalah 15 detik. Kemudian diperoleh waktu siklus optimum yang terjadi pada simpang Empat Napar Payakumbuh adalah 70 detik

Untuk mendapatkan siklus waktu hijau maksimum diperoleh dengan cara mengurangi waktu siklus optimal dengan waktu hilang (L_t), sehingga diperoleh jumlah siklus waktu hijau maksimum yakni 62 detik.

Dengan mengalikan y_{\max} tiap fase dengan jumlah siklus waktu maksimum maka diperoleh waktu hijau untuk setiap fase, dibagi dengan ratio fase, sehingga diperoleh waktu hijau baru untuk jalan Tan Malaka (Utara) yakni 30 detik sedangkan waktu hijau yang ada dilapangan sebesar 20 detik. Untuk waktu hijau yang baru pada jalan Tan Malaka (Selatan) sebesar 17 detik sedangkan waktu hijau dilapangan yang ada adalah 20 detik. Kemudian untuk waktu hijau baru untuk jalan Prof.Dr.Hamka (Barat) adalah 15 detik sedangkan waktu hijau dilapangan yang terjadi adalah 17 detik. Terakhir untuk waktu hijau baru di jalan Imam Bonjol (Timur) sebesar 15 detik sedangkan waktu hijau lapangan yang terjadi adalah 20 detik. Ini terlihat lebih efisien jika dibandingkan waktu hijau yang ada di lapangan saat ini.

Karena ada jalur yang setelah diamati tidak terlalu pada kendaraan namun memiliki lama siklus yang sama dengan yang lainnya. Ini sangat tidak efisien karena hanya memperlama siklus lampu lalu lintas yang terjadi.

Kemudian untuk lama lampu merah tiap fase diperoleh dengan cara waktu siklus optimum dikurangkan dengan waktu hijau dan juga waktu kuning, sehingga diperoleh waktu merah baru untuk jalan Tan Malak (Utara) selama 48 detik, sedangkan waktu merah yang terjadi di lapangan adalah 87 detik. Kemudian untuk waktu merah baru pada jalan Tan Malak (Selatan) adalah 51 detik sedangkan waktu merah yang terjadi di lapangan saat ini sebesar 82 detik. Sedangkan waktu merah baru untuk jalan Prof.Dr.Hamka (Barat) adalah 53 detik sedangkan waktu merah yang terjadi di lapangan saat ini adalah 87 detik. Terakhir adalah waktu merah baru untuk jalan Imam Bonjol (Timur) diperoleh 53 detik sedangkan waktu merah di lapangan yang terjadi saat ini adalah 90 detik. Ini terlihat lebih efisien karena ada ruas tertentu dari jalan yang tidak memerlukan waktu hijau lama, sehingga ini berpengaruh terhadap lama lampu merah pada setiap ruas jalan. Lama siklus baru ini lebih efektif jika dibandingkan dengan waktu siklus lampu lalu lintas yang terjadi di lapangan saat ini.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat setelah melakukan penelitian dan pembahasan adalah bagaimana cara pengaturan durasi lampu lalu lintas dengan menggunakan teori graf dan juga *metode Webster* sehingga mendapatkan lama siklus yang lebih efektif, diperoleh hasil untuk Jalan Tan Malaka (Utara) lama lampu hijau adalah 30 detik, lama lampu kuning adalah 2 detik dan juga lama lampu merah adalah sebesar 48 detik. Untuk Jalan Tan Malaka (Selatan) diperoleh lama lampu hijau adalah 17 detik, kemudian lama lampu kuning adalah 2 detik dan juga lama lampu merah adalah sebesar 51 detik. Kemudian untuk Jalan Prof.Dr.Hamka (Timur) diperoleh lama lampu hijau sebesar 15 detik, lama lampu kuning sebesar 2 detik dan lama lampu merah adalah 53 detik. Terakhir untuk jalan Imam Bonjol (Barat) diperoleh lama lampu hijau adalah 15 detik, lama lampu kuning adalah 2 detik dan lama lampu sebesar 53 detik.

4.2 Saran

Penelitian ini baru dilakukan di beberapa titik yang merupakan lokasi yang sering terjadi kemacetan, bagi peneliti selanjutnya disarankan untuk melakukan penelitian ditempat lain yang memiliki tingkat kemacetan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Garravelo, dan Benedetto Piccoli. 2006. *Traffic Flow on Networks*. American Institute of Mathematical Sciences, Amerika
- [2] Munir, R. 2005. *Matematika Diskrit*. Informatika, Bandung
- [3] Nasution, MNur. 2004. *Manajemen Transportasi*. Ghallia Indonesia, Bogor
- [4] Sutarno, H. 2003. *Common Text Book Matematika Diskrit*. Universitas Pendidikan Indonesia, Jakarta.
- [5] Wilson, R. J, & Warkins, J.J. 1976 *Grafs An Introductory Approach*.
Published simultaneously in Canada, New York
- [6] <https://www.mobil123.com/berita/indonesia-negara-termacet-nomor-2-di-dunia/49499> (5 Maret 2019)
- [7] **INRIX 2017 Global Traffic Scorecard**
- [8] Wilson, R. J, & Warkins, J.J. 1976 *Grafs An Introductory Approach*.
- [9] Pengajar, Staf ITP. *Diktat Kuliah 9 RLL*, <http://sisfo.itp.ac.id/bahabajar>.