

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teori graf dalam matematika dan ilmu komputer merupakan cabang kajian yang mempelajari sifat-sifat graf. Graf merupakan struktur diskrit yang terdiri dari simpul-simpul dan sisi yang menghubungkan simpul-simpul tersebut (Buhaerah & Zulfikar, 2022). Sebuah graf linear $G = (V, E)$ adalah suatu sistem yang terdiri atas kumpulan objek $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ yang disebut himpunan titik dan $E = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ yang disebut himpunan sisi sedemikian sehingga tiap sisi e_i, e_v dikaitkan dengan suatu pasangan tak terurut e_i di V . Cara mempresentasikan sebuah graf yang paling umum adalah dengan diagram. Dalam diagram tersebut, titik-titik dinyatakan sebagai noktah dan tiap sisi dinyatakan sebagai kurva sederhana yang menghubungkan antara dua titik (Dermawan, 2013).

Dalam kehidupan sehari-hari banyak persoalan yang berhubungan dengan himpunan dan relasi biner, dimana logika dari persoalan tersebut seringkali dapat kita gambarkan dalam sebuah graf. Penerapan graf dalam kehidupan nyata sangat beragam diantaranya mengatur jadwal, menghitung rute tercepat, dan mengatur lampu lalu lintas. Persoalan lampu lalu lintas jalan adalah persoalan yang seringkali dijumpai dalam kehidupan. Banyak kejadian atau fenomena yang dapat menimbulkan masalah yaitu kecelakaan, kemacetan dan lain lain. Kemacetan dan kecelakaan sendiri terjadi karena meningkatnya volume kendaraan yang tidak seimbang dengan infrastruktur yang ada, yaitu infrastruktur lampu lalu lintas. Lampu lalu lintas dapat terhambat oleh pengaturan lampu lalu lintas yang tidak efisien serta kurangnya koordinasi antara lembaga terkait (Setiawati et al., 2023).

Berdasarkan UU. No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, lampu lalu lintas yang tersedia di persimpangan jalan mempunyai beberapa tujuan antara lain menghindari hambatan karena adanya perbedaan arus jalan bagi pergerakan kendaraan, memfasilitasi pejalan kaki agar dapat menyebrang dengan aman dan mengurangi tingkat kecelakaan yang diakibatkan oleh tabrakan karena adanya perbedaan arus jalan. Karena fungsinya yang begitu penting maka lampu lalu lintas harus dapat dikendalikan atau dikontrol dengan semudah mungkin demi memperlancar arus lalu lintas di suatu persimpangan jalan.

Lalu lintas adalah suatu keadaan dengan pengaturan penggunaan lampu lalu lintas yang terpasang pada persimpangan dengan tujuan mengatur arus lalu lintas. Lampu lalu lintas ini menyala setiap warna secara bergantian selama operasinya. Sistem yang sinkron dan adaptif diperlukan untuk mengoptimalkan tujuan adanya lampu lalu lintas ini. Saat lampu merah dan lampu hijau dihidupkan, waktu tunggu harus disesuaikan dengan volume lalu lintas, jenis kendaraan yang lewat dan bentuk persimpangan (Sendow, 2023).

Perkembangan pada era teknologi ini memunculkan suatu masalah transportasi yang mengakibatkan produksi kendaraan meningkat. Menurut Miftahurrahmah (2016) peningkatan produksi kendaraan juga dapat menimbulkan masalah peningkatan lalu lintas di jalan sehingga timbul kemacetan dan kecelakaan. Pada jalur persimpangan banyak terjadi kecelakaan diakibatkan oleh kendaraan yang berjalan semaunya, terutama pada jam kerja. Pengemudi tanpa memikirkan resiko yang dapat terjadi sehingga dapat merugikan diri sendiri dan orang lain yang akan menimbulkan kemacetan dan masalah lainnya.

Persimpangan pintu 1 Universitas Hasanuddin merupakan salah satu persimpangan yang banyak dilewati kendaraan karena merupakan poros jalur atau salah satu akses jalur menuju kampus, sekolah, kantor, bagi masyarakat yang melintas. Kemacetan lalu lintas di persimpangan Pintu 1 Universitas Hasanuddin (Unhas) Makassar sering terjadi pada jam-jam sibuk, terutama pukul 07.00–08.00 WITA dan 16.00–18.00 WITA. Faktor-faktor penyebabnya meliputi sikap individualisme pengendara, parkir liar di bahu jalan, dan pemadaman listrik yang menyebabkan lampu lalu lintas tidak berfungsi (Kemasos FISIP Unhas, 2023). Selain itu, perilaku pengendara yang melawan arus di sekitar persimpangan tersebut memperparah kondisi kemacetan.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa derajat kejenuhan di ruas jalan depan Pintu 1 Unhas mencapai 2066 kendaraan per jam, mengindikasikan arus lalu lintas sangat padat dan kecepatan operasi sangat lambat (Kusumastuti et al., 2023). Kondisi ini menekankan urgensi evaluasi dan perbaikan kinerja persimpangan untuk meningkatkan kelancaran lalu lintas dan keselamatan pengguna jalan (detikSulsel, 2023). Selain faktor-faktor tersebut, peningkatan volume kendaraan akibat bertambahnya jumlah mahasiswa dan aktivitas ekonomi di sekitar kampus turut memperparah kemacetan di persimpangan Pintu 1 Unhas. Berdasarkan observasi lapangan, kepadatan lalu lintas meningkat tajam pada awal dan akhir jam perkuliahan, terutama saat mahasiswa menggunakan kendaraan pribadi untuk mobilitas mereka (Rizal et al, 2023). Selain itu, keberadaan pedagang kaki lima yang berjualan di sekitar trotoar dan badan jalan menyebabkan penyempitan jalur, sehingga memperlambat arus lalu lintas (HeraldSulsel, 2023).

Upaya seperti pengaturan ulang waktu lampu lalu lintas, penertiban parkir liar, serta peningkatan kesadaran pengguna jalan terhadap aturan lalu lintas menjadi langkah penting dalam mengurangi kemacetan yang terjadi. Menurut beberapa penelitian sebelumnya, penyelesaian masalah lampu lalu lintas dapat ditinjau dalam persepektif graf. Titik pada graf menunjukkan arah perjalanan yang diperbolehkan dari suatu jalan ke jalan lain, sedangkan sisi graf menunjukkan arus yang boleh berjalan secara bersamaan. Untuk menghitung waktu optimal lampu lalu lintas dapat menggunakan metode Webster (Fuzi, 2015).

Berdasarkan uraian tersebut, penulis mengusulkan penggunaan metode Webster dalam menentukan waktu optimal pengaturan lampu lalu lintas jalan. Hasil penelitian akan dituangkan ke dalam tulisan skripsi dengan judul “**Optimalisasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas Jalan Dengan Metode Webster (STUDI KASUS : Persimpangan Pintu 1 Universitas Hasanuddin)**”. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi bagi masyarakat pengguna jalan persimpangan pintu 1 Universitas Hasanuddin dalam rangka mempercepat masa tunggu ketika lampu merah menyala.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana model graf sebagai representasi masalah dalam pengaturan lampu lalu lintas persimpangan Pintu 1 Universitas Hasanuddin?
2. Bagaimana waktu yang optimal dalam pengaturan lampu lalu lintas jalan persimpangan Pintu 1 Universitas Hasanuddin?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengkonstruksi model graf sebagai representasi dalam masalah pengaturan lampu lalu lintas persimpangan Pintu 1 Universitas Hasanuddin.
2. Menentukan waktu optimal dalam pengaturan lampu lalu lintas jalan persimpangan Pintu 1 Universitas Hasanuddin.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menghindari penyebaran pembahasan yang terlalu luas dan agar fokus lebih terarah, maka penelitian ini hanya difokuskan pada persimpangan Pintu 1 Universitas Hasanuddin. Yang akan dilakukan peneliti untuk menghitung lama waktu hijau optimal pada setiap ruas jalan di persimpangan tersebut dengan metode Webster.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi mahasiswa
 - Menambah pemahaman dan pengetahuan mengenai teori graf dalam merepresentasikan pengaturan lampu lalu lintas jalan
 - Dapat menjadi referensi bagi peneliti berikutnya apabila ingin melakukan penelitian mengenai penentuan waktu optimal lampu hijau pengaturan lampu lalu lintas jalan menggunakan metode Webster.

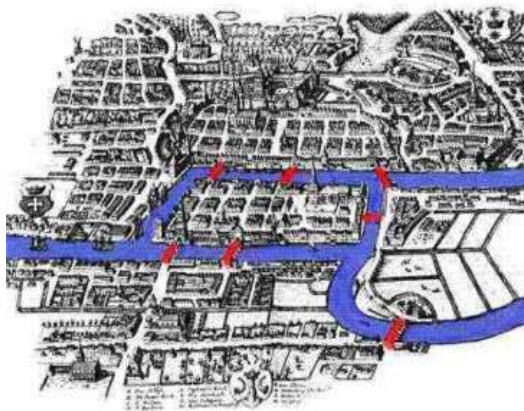
2. Bagi Masyarakat

- Sebagai acuan dalam berkendara saat melewati persimpangan lalu lintas jalan dan mengurangi resiko tingkat kecelakaan dan kemacetan.
- Memberikan data dan analisis yang berguna untuk pengambilan waktu optimal lampu lalu lintas jalan.

1.6 Landasan Teori

1.6.1 Sejarah Graf

Graf pertama kali muncul diakibatkan oleh masalah jembatan Königsberg, dimana masalah ini diselesaikan dengan teori graf pada tahun 1736. Jembatan ini berada pada kota Königsberg, sebelah timur negara Prusia, Jerman. Dimana sekarang telah berubah nama menjadi Kota Kaliningrad, terletak suatu sungai yang bernama sungai Pregal yang mengalir mengitari pulau Kneiphof, kemudian bercabang menjadi dua buah anak sungai (Hasmawati, 2023).

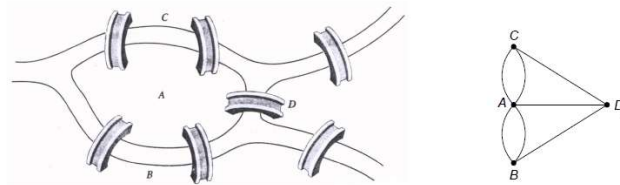


Gambar 1. Peta Jembatan Königsberg

Pada Gambar 1 terdapat tujuh jembatan yang menghubungkan beberapa daratan yang dipisahkan oleh sebuah sungai. Muncul sebuah pertanyaan menarik terkait susunan jembatan tersebut yakni apakah seseorang dapat menyeberangi semua jembatan tersebut tepat satu kali dan kembali ke titik awal atau tidak. Beberapa penduduk kota meyakini bahwa hal tersebut tidak mungkin dilakukan. Namun, mereka tidak dapat memberikan penjelasan teoritis yang mendukung keyakinan tersebut. (Farida, 2019).

Leonhard Euler, seorang matematikawan asal Swiss, berhasil memecahkan masalah tersebut melalui sebuah pembuktian yang sederhana. Ia merepresentasikan permasalahan ini dalam bentuk pemodelan yang kini dikenal sebagai graf. Dalam pemodelan tersebut, setiap daratan atau titik yang dihubungkan oleh jembatan direpresentasikan sebagai titik simpul (*vertex*), sedangkan jembatan yang menghubungkan dua daratan digambarkan sebagai sisi (*edge*). Untuk mempermudah

analisis, Euler memberikan label pada setiap titik simpul dengan huruf A, B, C, dan D seperti yang terlihat pada Gambar 2. Pemodelan inilah yang kemudian menjadi dasar dalam penyelesaian masalah tujuh jembatan tersebut. (Tutte, 2001).



Gambar 2. Representasi Graf Jembatan Königsberg

Leonhard Euler memberikan jawaban yang sederhana untuk permasalahan tersebut. Ia menyatakan bahwa seseorang tidak mungkin dapat kembali ke titik awal dengan melewati ketujuh jembatan tersebut masing-masing tepat satu kali, kecuali jika derajat setiap simpul pada graf berjumlah genap. Derajat simpul sendiri merujuk pada jumlah garis atau sisi yang terhubung dengan titik atau noktah tersebut. Dengan kata lain, syarat agar perjalanan tersebut memungkinkan adalah seluruh simpul dalam graf harus memiliki derajat genap.

Lebih dari satu abad kemudian, tepatnya pada tahun 1847, Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887), seorang fisikawan asal Jerman, berhasil menyempurnakan teori graf pohon dan menerapkannya dalam analisis jaringan listrik. Pada masa yang sama, A. Cayley (1821–1895) turut mengembangkan konsep graf pohon untuk menyelesaikan permasalahan dalam bidang kimia, khususnya yang berkaitan dengan struktur hidrokarbon. Periode Kirchhoff dan Cayley menjadi tonggak penting dalam sejarah perkembangan teori graf, ditandai dengan lahirnya beberapa konsep fundamental, salah satunya adalah konjektur empat warna, yang kemudian menjadi permasalahan klasik dalam teori graf.

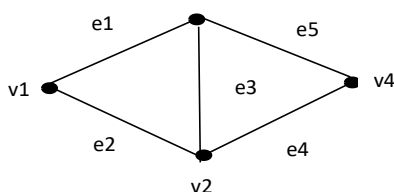
1.6.2 Definisi Graf

Menurut Munir (2012) graf adalah himpunan sisi dan titik yang banyaknya berhingga dan sisi-sisinya menghubungkan sebagian atau keseluruhan pasangan dari titik-titiknya. Graf merupakan gambar atau pola dari penghubungan antara himpunan elemen-elemen tidak kosong yang disebut titik (*vertex*) dengan himpunan pasangan tidak terurut titik-titik tersebut yang disebut sisi (*edge*).

Graf digunakan untuk merepresentasikan objek-objek diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut. Representasi visual dari graf adalah dengan menyatakan objek sebagai titik, sedangkan hubungan antara objek dinyatakan sebagai sisi (Munir, 2012). Untuk lebih memahami definisi graf perhatikan Definisi 1.

Definisi 1 (Hasmawati, 2023) Graf adalah pasangan himpunan (V, E) , dengan V adalah himpunan diskrit yang anggota-anggotanya disebut titik, dan E adalah himpunan dari pasangan anggota-anggota V yang anggota-anggotanya disebut sisi.

Kadang-kadang ada yang menyebut titik sebagai noktah (*point*) dan sisi sebagai busur, rusuk atau garis (*line*). Jika graf (V, E) , dinotasikan G , dengan kata lain $G = (V, E)$, maka $V = V(G)$ dan $E = E(G)$, sehingga graf $G = (V(G), E(G))$. (Hasmawati, 2023).



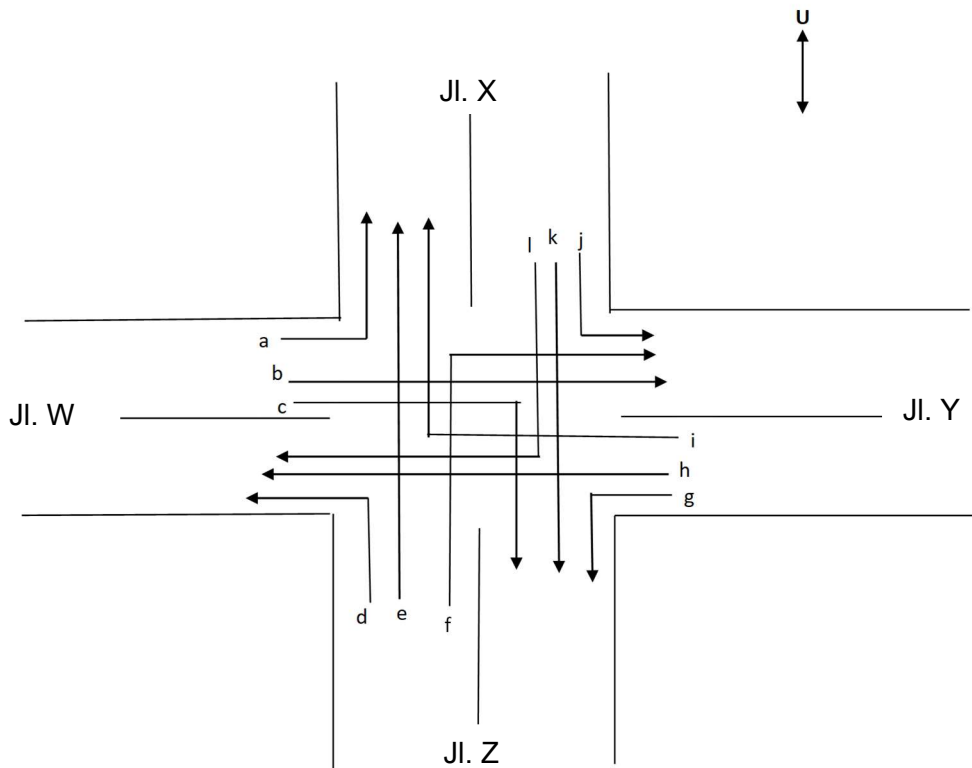
Gambar 3. Contoh Graf

Pada Gambar 3 terlihat bahwa sebuah graf terdiri dari elemen titik $V(G)$ yaitu v_1, v_2, v_3 , dan v_4 dan himpunan sisi yang menghubungkan antara dua titik $E(G)$ yaitu e_1, e_2, e_3, e_4 , dan e_5 . Graf digunakan untuk menggambarkan berbagai macam struktur dalam kehidupann sehari-hari antara lain struktur orgnaisasi, rute jalan, penjadwalan mata kuliah, dan lain-lain masih banyak lagi. Tujuannya untuk menggambarkan objek-objek agar lebih mudah dimengerti banyak orang. (Buhaerah & Zulfikar, 2022),

1.6.3 Aplikasi Graf

Aplikasi graf digunakan secara luas pada pemecahan masalah yang melibatkan suatu pengaturan data dalam urutan secara tertentu. Graf digunakan secara luas dalam berbagai bidang, termasuk ilmu komputer, transportasi, jaringan komunikasi, dan optimasi. Dalam ilmu komputer, teori graf banyak diterapkan dalam algoritma pencarian jalur terpendek seperti algoritma Dijkstra, yang digunakan dalam sistem navigasi dan perencanaan rute otomatis (Cormen et al., 2023). Di bidang jaringan, graf dipakai untuk merepresentasikan topologi jaringan komputer, di mana simpul menggambarkan perangkat seperti router atau server, sedangkan sisi merepresentasikan koneksi antar perangkat tersebut (Bondy & Murthy, 2019).

Pada konstruksi graf persimpangan lalu lintas ini, simpulnya atau $V(G)$ menunjukkan objek yang akan diatur dan sisinya $E(G)$ menunjukkan pasangan objek yang kompatibel yaitu pasangan objek yang dapat berjalan secara bersamaan (Ririn, 2023). Aplikasi graf yang akan dibahas ada penelitian kali ini adalah masalah pengaturan lampu lalu lintas. Untuk membuat konstruksi suatu graf dari persimpangan lampu lalu lintas, maka diperlukan terlebih dahulu informasi mengenai persimpangan lalu lintas tersebut dan bagaimana sistem lintasan pada persimpangan tersebut. Untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 4.



Gambar 4. Contoh Persimpangan Jalan

keterangan :

- a : Lintasan jalan dari dari Jl. W ke Jl. X
- b : Lintasan jalan dari dari Jl. W ke Jl. Y
- c : Lintasan jalan dari dari Jl. W ke Jl. Z
- d : Lintasan jalan dari dari Jl. Z ke Jl. W
- e : Lintasan jalan dari dari Jl. Z ke Jl. X
- f : Lintasan jalan dari dari Jl. Z ke Jl. Y
- g : Lintasan jalan dari dari Jl. Y ke Jl. Z
- h : Lintasan jalan dari dari Jl. Y ke Jl. W
- i : Lintasan jalan dari dari Jl. Y ke Jl. X
- j : Lintasan jalan dari dari Jl. X ke Jl. Y
- k : Lintasan jalan dari dari Jl. X ke Jl. W
- l : Lintasan jalan dari dari Jl. X ke Jl. Z

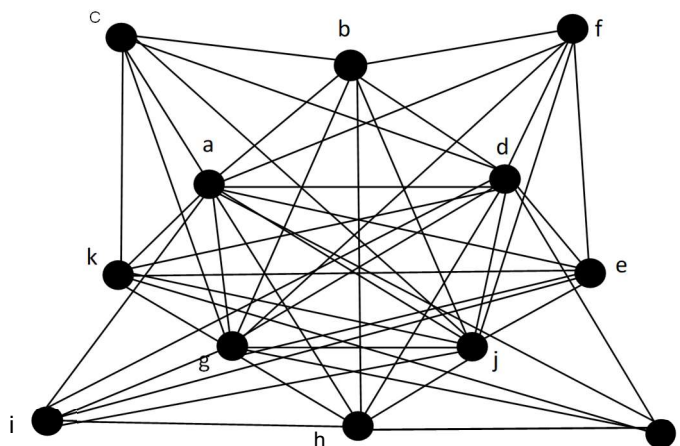
Pada Gambar 4 terdapat empat arus jalan dari Jl. W, Jl. X, Jl. Y, dan Jl. Z. Dengan masing-masing ruas jalan memiliki 3 arus yang akan berjalan secara bersamaan, sehingga terdapat total 12 arus dari 4 arus yang berbeda yang akan diatur dalam pemodelan graf.

Dapat dilihat jika persimpangan jalan tersebut dapat diubah ke dalam bentuk graf dimana jalur a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k, dan l seperti pada Gambar 4 akan menjadi titik (*vertex*) dari suatu graf sedangkan yang menjadi sisi (*edge*) yang bertetangga dari konstruksi graf yaitu pasangan dari dua jalur atau dua titik yang diatur sedemikian dua titik atau dua jalur dikaitkan dengan sebuah sisi dari dua jalur yang boleh berjalan secara bersamaan. Untuk arus yang dapat berjalan secara bersamaan contohnya dititik a atau jalur a boleh berjalan bersamaan dengan semua jalur b,c,d,e,f,g,,i,j,k,l dengan kata lain jalur a dapat berjalan secara bersamaan dengan semua jalur yang ada dan titik b boleh berjalan dengan bersamaan dengan jalur a,c,d,e,f,g,h, dan j tetapi tidak boleh berjalan bersamaan dengan jalur e,i,k, dan l.

Tabel 1. Contoh Pengaturan Arus Lalu Lintas

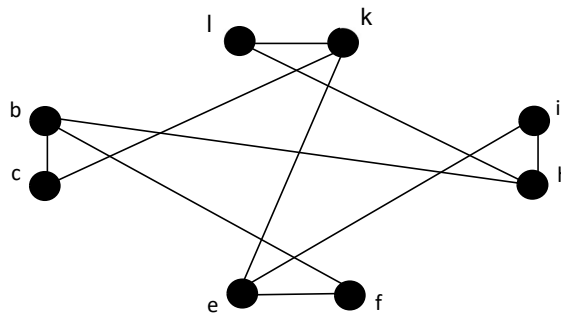
Arus Lalu Lintas	Jalur Yang Boleh Berjalan Bersamaan	Jalur Yang Tidak Boleh Berjalan Bersamaan
a	b,c,d,e,f,g,h,i,j,k, dan l	-
b	a,c,d,f,g,h,dan j	e,i, k, dan l
c	a,b,d,g,j,dan k	e,f,h,i, dan l
d	a,b,c,e,f,g,h,i,j,k,dan l	-
e	a,d,f,g,i,j, dan k	b,c,h,dan l
f	a,b,d,e,g,dan j	c,h,i,k, dan l
g	a,b,c,d,e,f,h,i,j,k, dan l	-
h	a,b,d,g,i,j, dan l	c,e,f,dan k
i	a,d,e,g,h,dan j	b,c,f,k, dan l
j	a,b,c,d,e,f,g,h,i,k, dan l	-
k	a,c,d,e,g,j, dan l	b,f,h, dan i
l	a,d,g,h,j, dan k	b,c,e,f, dan i

Maka konstruksi model graf berdasarkan dari Tabel 1 dapat dibuat seperti Gambar 5 :



Gambar 5. Contoh Konstruksi Graf

Pada konstruksi graf diatas menunjukkan bahwa graf $(G = V, E)$ mempunyai 12 titik simpul atau $V = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l\}$ dan mempunyai total 48 sisi. Karena simpul a,d,g, dan j boleh berjalan bersamaan ke semua arus maka dari Gambar 5. simpul a,d,g, dan j dapat dihilangkan sehingga dapat dibuat sebuah graf sederhana seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Contoh Konstruksi Graf Sederhana

1.6.4 Gambaran Umum Persimpangan Lalu Lintas

Prasetyanto (2013), mendefinisikan persimpangan jalan dimana dua atau lebih ruas jalan bertemu atau bersilangan. Persimpangan jalan adalah titik perpotongan antara dua atau lebih ruas jalan, yang mencakup fasilitas jalur jalan dan tepi jalan. Tepi jalan biasanya mencakup bahu jalan, trotoar, drainase, dan area penyangga lainnya. Fungsinya antara lain sebagai area darurat untuk kendaraan yang mengalami kerusakan, ruang bagi pejalan kaki, serta mendukung keselamatan dan kelancaran lalu lintas. Analisis terhadap persimpangan jalan sangat penting dilakukan untuk mengatur arus lalu lintas dan menjaga keselamatan pengguna jalan.

Kondisi geometri jalan dan arus lalu lintas berpengaruh langsung terhadap kapasitas dan kinerja lalu lintas di persimpangan. Oleh karena itu, perencanaan persimpangan harus dirancang dengan cermat agar waktu perjalanan dapat didistribusikan secara proporsional untuk setiap kelompok pergerakan kendaraan. Dengan begitu, kinerja lalu lintas di persimpangan dapat berjalan seoptimal mungkin. Sistem lampu lalu lintas menggunakan jenis nyala lampu sebagai berikut :

1. Lampu hijau (*green*) :
Berarti kendaraan yang mendapatkan isyarat harus bergerak maju.
2. Lampu kuning (*yellow*) :
Berarti kendaraan yang mendapatkan isyarat harus melakukan antisipasi apabila memungkinkan untuk mengambil keputusan untuk berlakunya lampu lalu lintas berikutnya (lampu hijau atau merah).
3. Lampu merah (*red*) :
Berarti kendaraan yang mendapatkan isyarat harus berhenti sebelum garis henti (*stop line*).

1.6.5 Metode Webster

F.V. Webster telah menemukan dan mengembangkan persamaan klasik untuk menghitung penundaan rata-rata per kendaraan ketika mendekati persimpangan dan juga menurunkan sebuah persamaan untuk memperoleh waktu siklus optimum yang menghasilkan penundaan kendaraan minimum. Penundaan kendaraan terjadi karena jumlah kendaraan yang masuk kedalam sebuah persimpangan lebih besar dibandingkan dengan jumlah kendaraan yang keluar dari persimpangan tersebut (Sarbaini & Saputri, 2024).

Kelebihan dari metode ini adalah sangat mudah dan efisien dalam pengerjaannya, selain itu pada metode ini untuk ruas jalan dengan volume kendaraan yang tinggi akan terjadi perubahan lama waktu hijau. Untuk menentukan waktu penyalaan lampu lalu lintas dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut (Montolalu et al., 2019) :

1. Menentukan Arus Jenuh

Arus jenuh adalah banyaknya keberangkatan kendaraan pada saat antrian kendaraan berada di laju konstan yakni setelah melakukan percepatan, sampai kendaraan melakukan perlambatan selama periode hijau dan kuning. Arus jenuh dinyatakan dalam bentuk kendaraan per jam waktu hijau.

Tabel 2. Arus Jenuh pada 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

Sumber : Montolalu et al., d'cartesian Jurnal Matematika dan Aplikasi, 2019

Jika lebar jalan (m) melebihi dari yang ditetapkan pada Tabel 2, maka arus jenuh (s) = $l \times 525$ (smp/jam). Satuan mobil penumpang (smp) adalah satuan kendaraan di dalam arus lalu lintas yang disetarakan dengan kendaraan ringan atau mobil penumpang. Besaran smp dipengaruhi oleh tipe atau jenis kendaraan, dimensi kendaraan, dan kemampuan olah gerak. Menurut Webster ratio untuk arus normal terhadap arus jenuh (y) adalah :

$$y = \frac{Q}{s} \quad (1)$$

dimana :

Q = Arus nyata kendaraan (smp/jam)

s = Arus jenuh (smp/jam)

Sedangkan ukuran kemacetan dinyatakan sebagai Ratio Fase (FR) :

$$FR = \sum y_{max} \quad (2)$$

2. Menentukan Waktu Siklus Optimum

Hal yang penting diperhatikan untuk menghitung waktu siklus optimum adalah waktu hilang (L_t), yaitu lama waktu siklus penuh pada saat tidak ada kendaraan. Hal ini dilakukan tidak hanya pada waktu merah semua dan waktu merah/kuning/hijau saja tetapi juga sebagai persiapan jalan (*starting-up*) dan persiapan berhenti (*tailling-off*). Waktu hilang dapat dihitung dengan rumus :

$$L_t = 2n + R \quad (3)$$

keterangan :

L_t = waktu hilang (detik)

n = banyaknya fase

R = waktu kuning (detik)

Fase dalam persimpangan lalu lintas adalah urutan waktu yang mengatur arus kendaraan yang diperbolehkan melintas disuatu persimpangan secara bersamaan (Hidayat, 2018). Setiap fase dapat mengatur lampu lalu lintas yang berbeda untuk memastikan kelancara dan keselamatan pergerakan kendaraan, baik dari arah yang berbeda maupun arus pejalan kaki. Fase biasa ditentukan berdasarkan jumlah arus lalu lintas yang ada, dimana setiap fase hanya memperbolehkan beberapa arus atau bahkan hanya satu arus untuk bergerak secara bersamaan, sementara arus lainnya harus berhenti untuk menghindari tabrakan dan kemacetan. Menurut Prakoso (2014) desain fase bertujuan untuk meminimalkan waktu tunggu dan meningkatkan efisiensi serta keselamatan lalu lintas pada suatu persimpangan.

Webster memberikan rumus untuk menghitung waktu siklus optimum (C_o) sebagai berikut (Montolalu et al., 2019) :

$$C_o = \frac{1,5 \times L_t +}{1 - F} \quad (4)$$

keterangan :

C_o = waktu siklus optimum (detik)

L_t = waktu hilang total per siklus (detik)

FR = jumlah arus jenuh (y) maksimum

Untuk perhitungan lama lampu hijau efektif pada setiap persimpangan, waktu hijau efektif yakni ketika kendaraan bergerak melintas selama periode nyala lampu hijau, dituliskan dengan rumus (Montolalu et al., 2019) :

$$g_n = \frac{y_n (C_o - L_t)}{FR} \quad (5)$$

keterangan :

g_n = waktu hijau efektif untuk setiap arus persimpangan (detik)

y_n = tingkat arus lalu lintas untuk setiap arus persimpangan

C_0 = waktu siklus optimum (detik)

L_t = waktu hilang total (detik)

FR = Jumlah arus jenuh (y) maksimum untuk setiap fase

Maka untuk menghitung lama waktu merah dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$r_n = C_o - g_n - R \quad (6)$$

keterangan :

r_n = waktu merah untuk setiap arus persimpangan (detik)

g_n = waktu hijau efektif untuk setiap arus persimpangan (detik)

C_0 = waktu siklus optimum (detik)

R = waktu kuning (detik)

Berdasarkan jumlah fase yang berbeda-beda tiap persimpangan, Webster memberikan batasan panjang waktu siklus yang disarankan dalam tabel berikut :

Tabel 3. Batasan Panjang Waktu Siklus Optimum

Jumlah Fase	Panjang Waktu Siklus (s)
2	40-80
3	50-100
4	80-130

Sumber : Montolalu et al., *d'cartesian Jurnal Matematika dan Aplikasi*, 2019

Sebelum menentukan waktu optimal nantinya, jumlah kendaraan atau volume kendaraan yang melintas akan diubah kedalam bentuk satuan mobil penumpang (smp). Untuk merubah satuan kendaraan menjadi satuan mobil penumpang (smp), perlu dikalikan dengan ekivalensi mobil penumpang (emp) sesuai dengan tipe jenis kendaraan, Tipe kendaraan dapat dikategorikan sebagai berikut (Anggoro, 2018):

Tabel 4. Nilai EMP (Ekivalensi Mobil Penumpang)

Tipe Kendaraan	Nilai EMP
Light Vehicle (LV)	1,0
Heavy Vehicle (HV)	1,3
Motorcycle (MC)	0,2

Sumber : *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*, 2007

keterangan :

LV = *Light Vehicle* (Kendaraan Ringan)

MC = *Motorcycle* (Sepeda Motor)

HV = *Heavy Vehicle* (Kendaraan Berat)

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data primer yang diperoleh langsung melalui observasi di lapangan. Data yang diambil sedemikian rupa sehingga tiap objek penelitian dari populasi mempunyai kesempatan yang sama untuk dipilih. Objek populasi dari penelitian ini adalah jumlah kendaraan atau volume lalu lintas serta jumlah arus yang ada pada persimpangan pintu 1 Universitas Hasanuddin.

2.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode studi kasus dengan cara mengamati secara mendalam permasalahan yang dibahas dan berlandaskan pada studi kepustakaan.

2.3 Variabel dan Parameter Penelitian

Variabel yang digunakan dalam pembentukan model ini adalah sebagai berikut:

g_n : waktu hijau efektif setiap arus persimpangan (detik)

r_n : waktu merah setiap arus persimpangan (detik)

Sedangkan parameter yang digunakan yaitu:

Q : arus nyata kendaraan (smp/jam)

s : arus jenuh (smp/jam)

L_t : waktu hilang (detik)

C_o : waktu siklus optimum (detik)

2.4 Tahapan Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah:

1. Melakukan pengambilan data yang meliputi :

a. Data geometri

Data geometri yang dimaksud adalah data nama jalan dan lebar jalan pada persimpangan pintu 1 Universitas Hasanuddin.

b. Volume lalu lintas

Volume lalu lintas dicatat selama 1 jam yang akan dibagi dalam 3 sesi. Kemudian dalam pengolahan datanya dikonversi dalam satuan smp/j. Komposisi pergerakan lalu lintas yang melewati persimpangan akan dibagi beberapa kategori sebagai berikut :

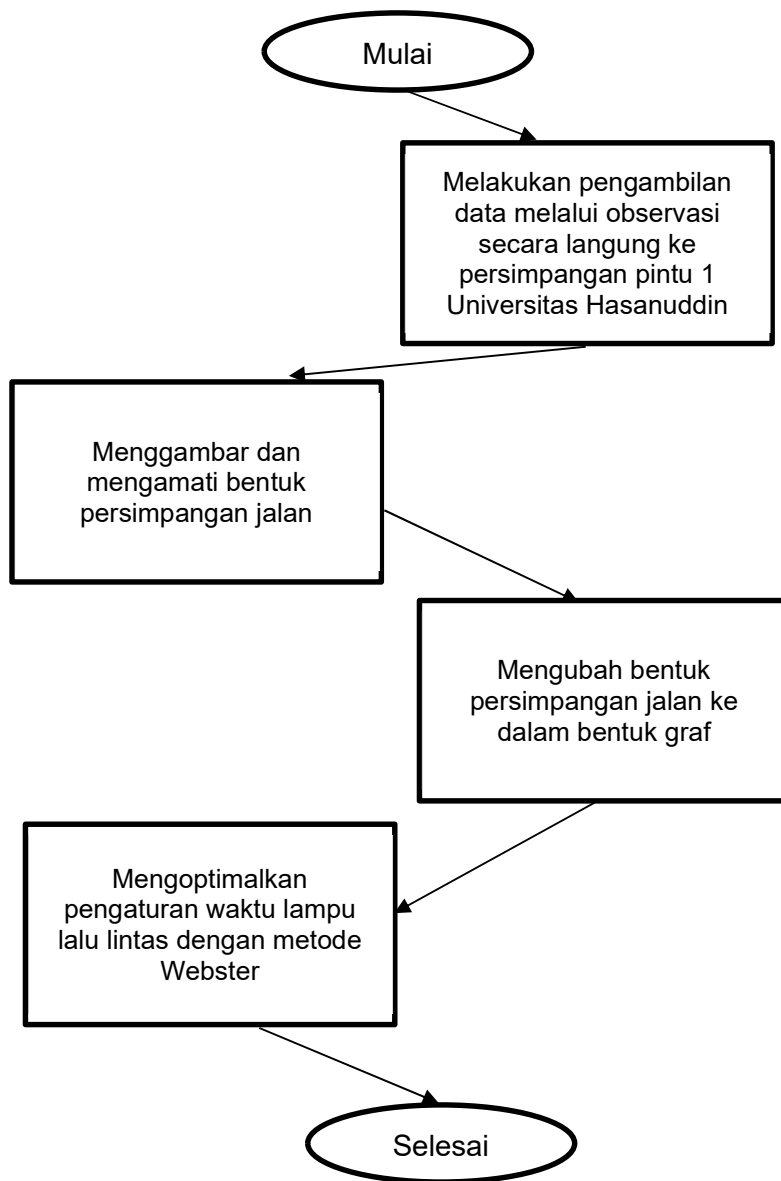
1) *Light Vehicle (LV)*, yaitu kendaraan ringan yang beroda empat meliputi kendaraan penumpang, oplet, mikro bis, dan pick up.

- 2) *Heavy Vehicle (HV)*, yaitu kendaraan berat beroda lebih dari 4 roda seperti truk besar.
- 3) *Motorcycle (MC)*, yaitu kendaraan bermotor beroda dua atau tiga seperti becak motor atau sepeda motor.

Waktu pengambilan data akan dibagi pada tiga periode waktu dimana data yang diambil nantinya adalah data dengan volume lalu lintas terpadat (titik puncak) :

- 1) Pagi hari, dibatasi pada pukul 07.00-08.00 WITA, dengan asumsi banyaknya pekerja, mahasiswa, dan pelajar yang berangkat pada jam tersebut.
 - 2) Siang hari, dibatasi pada pukul 12.30-13.30 WITA, dengan asumsi banyaknya pelajar atau mahasiswa yang pulang pada jam tersebut.
 - 3) Sore hari, dibatasi pada pukul 16.30-17.30 WITA, dengan asumsi banyak pekerja dan mahasiswa yang pulang pada jam tersebut.
2. Menggambar bentuk persimpangan jalan.
 3. Mengubah bentuk persimpangan jalan ke dalam bentuk pemodelan graf.
 4. Mengoptimalkan pengaturan lampu lalu lintas jalan dengan menggunakan metode webster, dengan langkah-langkah sebagai berikut :
 - a. Menentukan waktu siklus optimum
 - b. Menentukan waktu hijau efektif untuk setiap fase
 - c. Menentukan waktu merah untuk setiap fase
 5. Membuat kesimpulan.

2.5 Alur Penelitian



Gambar 7. Alur Penelitian