

IMPLEMENTASI ALGORITMA WELCH-POWELL DENGAN METODE WEBSTER UNTUK OPTIMALISASI DURASI LAMPU LALU LINTAS PADA SIMPANG EMPAT SEMABUNG BARU KOTA PANGKALPINANG**Amelia Dewi**Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bangka Belitung
e-mail: mldwi2303@gmail.com**Elyas Kustiawan***Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bangka Belitung
e-mail: elyas-kustiawan@ubb.ac.id**Ririn Amelia**Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bangka Belitung
e-mail: ririn-amelia@ubb.ac.id**Abstrak**

Kemacetan lalu lintas yang terjadi di Simpang Empat Kelurahan Semabung Baru, Kota Pangkalpinang, disebabkan oleh tingginya volume kendaraan yang tidak sebanding dengan kapasitas jalan yang tersedia. Pengaturan durasi lampu lalu lintas yang kurang optimal juga membuat antrean kendaraan bertambah, terutama pada jam sibuk pagi dan sore hari. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengoptimalkan durasi lampu lalu lintas untuk mengurangi kemacetan dan meningkatkan efisiensi lalu lintas di Simpang Empat Kelurahan Semabung Baru, Kota Pangkalpinang. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah teori graf dengan menerapkan pewarnaan graf menggunakan algoritma Welch-Powell, serta metode Webster untuk menghitung waktu siklus optimal. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Perhubungan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Pewarnaan graf berbobot menggunakan algoritma Welch-Powell menghasilkan bilangan kromatik sebesar 4, yang merepresentasikan empat fase lampu lalu lintas. Waktu siklus lampu lalu lintas yang dihitung menggunakan metode Webster, menghasilkan waktu siklus optimum sebesar 111 detik untuk periode pagi dan 127 detik untuk periode sore, sesuai dengan standar PKJI 2023.

Kata Kunci: Lalu Lintas, Persimpangan, Graf, Algoritma Welch-Powell, Webster.

Abstract (Gunakan Style Penulis & Abstrak)

Traffic congestion that occurs at Simpang Empat Kelurahan Semabung Baru, Pangkalpinang City, is caused by the high volume of vehicles that is not comparable to the available road capacity. The less than optimal traffic light duration setting also increases vehicle queues, especially during morning and evening rush hours. Therefore, this study aims to optimize the duration of traffic lights to reduce congestion and increase traffic efficiency at Simpang Empat Kelurahan Semabung Baru, Pangkalpinang City. The approach used in this study is graph theory by applying graph coloring using the Welch-Powell algorithm, and the Webster method to calculate the optimal cycle time. This study uses secondary data obtained from the Bangka Belitung Islands Province Transportation Agency. Weighted graph coloring using the Welch-Powell algorithm produces a chromatic number of 4, which represents the four phases of traffic lights. The traffic light cycle time calculated using the Webster method produces an optimum cycle time of 111 seconds for the morning period and 127 seconds for the afternoon period, in accordance with the 2023 PKJI standard.

Keywords: Traffic, Intersection, Graph, Welch-Powell Algorithm, Webster.

PENDAHULUAN

Transportasi merupakan proses atau cara untuk memindahkan orang, barang, atau hewan dari satu tempat ke tempat lain. Transportasi mencakup berbagai moda untuk membantu pergerakan, seperti kendaraan darat (mobil, sepeda motor, kereta api),

kendaraan udara (pesawat), kendaraan air (kapal), dan moda transportasi lainnya.

Seiring dengan perkembangan zaman, semakin banyak orang yang lebih memilih menggunakan transportasi pribadi seperti motor dan mobil untuk menunjang aktivitas sehari-hari. Hal tersebut menyebabkan jalanan menjadi padat oleh manusia

dan kendaraan, sehingga rawan mengalami kemacetan pada titik tertentu dan waktu tertentu (Utami, Naufal, & Intan, 2020). Ketika jumlah kendaraan di suatu wilayah melebihi kapasitas tampung yang tersedia di daerah tersebut, hal ini dapat menyebabkan kemacetan yang merupakan salah satu permasalahan transportasi (Sendow, Sulidtyaningsih, & Monoarfa, 2023). Contoh wilayah yang mengalami kemacetan adalah persimpangan dengan pengaturan durasi lampu lalu lintas yang tidak sesuai dengan kondisi lalu lintas saat ini.

Salah satu tantangan utama pada sistem lampu lalu lintas adalah meningkatnya volume kendaraan yang tidak sebanding dengan kapasitas dan lebar jalan yang tersedia. Simpang empat Kelurahan Semabung Baru Kota Pangkalpinang, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung merupakan salah satu persimpangan yang memiliki tantangan utama pada sistem lalu lintas. Simpang empat tersebut adalah area dengan volume lalu lintas yang cukup padat dibandingkan dengan persimpangan lainnya di Kota Pangkalpinang. Staf seksi LLAJ (Lalu Lintas dan Angkutan Jalan) yang bernama Bapak Yohanes Pungkas Wijoyo, S.H (2025), mengatakan bahwa simpang empat Kelurahan Semabung Baru menjadi simpang tersibuk di Kota Pangkalpinang karena adanya pertemuan jalan kabupaten/kota, provinsi, dan nasional, serta menjadi akses utama menuju kompleks perkantoran provinsi. Akibatnya, terjadi penumpukan lalu lintas, terutama pada jam berangkat kerja dan pulang kerja.

Salah satu cara untuk mengurangi kemacetan perlu dilakukan optimalisasi pengaturan lalu lintas, salah satunya dengan menerapkan pewarnaan simpul dalam teori graf. Pada pendekatan ini, persimpangan jalan dimodelkan sebagai graf untuk mempermudah pengaturan dan analisis lalu lintas (Fakhri & Harahap, 2021). Penelitian yang dilakukan oleh (Sulistiani & Ais, 2022) menjelaskan bahwa permasalahan pewarnaan simpul pada graf persimpangan jalan dapat diselesaikan dengan menerapkan algoritma Welch-Powell. Algoritma Welch-Powell adalah metode pewarnaan graf yang melibatkan pemberian warna pada setiap simpul berdasarkan aturan simpul dengan derajat tertinggi, yang telah diurutkan terlebih dahulu (Sari, Cipta, & Munthe, 2022).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Chairani, Jaya, & Cipta, 2021) menyimpulkan hasil

dari metode *Webster* terbukti efektif pada persimpangan dengan volume kendaraan yang tinggi namun lebar jalan yang sempit atau tidak memadai. Metode *Webster* adalah salah satu teknik yang digunakan untuk mengoptimalkan pengaturan durasi lampu lalu lintas pada persimpangan jalan. Secara garis besar, metode ini menghitung durasi optimal untuk setiap fase lampu lalu lintas berdasarkan volume lalu lintas pada setiap jalur. Penelitian mengenai metode *Webster* dalam mengoptimalkan durasi lampu lalu lintas telah dilakukan oleh (Yin, 2019). Penelitian ini melakukan simulasi sebelum dan sesudah perbaikan dengan software PTV VISSIM (*Planung Transportasi Verkehr in Städten Simulations Model*) dan membandingkannya. Hasil simulasi menunjukkan setelah dilakukan pengoptimalan waktu sinyal, penundaan kendaraan berkurang 25,24%, dan waktu parkir berkurang 35,16%.

Berdasarkan uraian latar belakang, maka akan dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mencari durasi lampu lalu lintas yang lebih optimal dengan bantuan pewarnaan algoritma *Welch-Powell* pada graf dan metode *Webster*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih efisien dalam pengaturan durasi lampu lalu lintas guna meningkatkan kelancaran arus kendaraan di persimpangan tersebut.

KAJIAN TEORI

Persimpangan adalah salah satu bagian dari sistem jaringan jalan, yang merupakan suatu daerah berisiko dan penting dalam menjalankan kelancaran arus lalu lintas. Persimpangan dapat dibedakan berdasarkan keberadaan sistem pengaturan lalu lintasnya, yaitu simpang bersinyal dan simpang tak bersinyal (Edwards, 2023).

GRAF

Pada penelitian ini, arus kendaraan pada persimpangan jalan akan direpresentasikan sebagai simpul dalam sebuah graf. Sementara itu, sisi pada graf menghubungkan kemungkinan dua arus kendaraan yang tidak dapat dijalankan secara bersamaan (Monalisa, Algusduri, & Castama. Fadly Braja, 2023).

PEMBOBOTAN

Penelitian ini menggunakan dua jenis data utama untuk pembobotan, yaitu lebar jalan dan volume kendaraan. Agar data volume kendaraan dapat diproses lebih lanjut, data tersebut harus dikonversi terlebih dahulu ke satuan mobil penumpang (smp). Untuk menghitung volume lalu lintas dalam smp, perlu dikonversi jenis kendaraan ke dalam Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP) (Rustam et al., 2023).

Tabel 1. Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP)

Klasifikasi EMP	Jenis Kendaraan	EMP
Sepeda motor (MC)	Sepeda motor roda 2	0,5
Kendaraan ringan (LV)	Mobil, pick-up, mobil box	1,0
Kendaraan berat (HV)	Bus besar, truk	1,3

Selanjutnya dilakukan normalisasi kedua data, yaitu volume kendaraan yang sudah dalam satuan smp serta lebar jalan menggunakan metode normalisasi *min-max*. Normalisasi *min-max* merupakan teknik transformasi data yang mengubah nilai asli ke dalam skala tertentu, yaitu dalam rentang [0,1] (Ambarwari, Adrian, & Herdiyeni, 2022). Perhitungan ini memerlukan nilai maksimal dan minimal dari seluruh data dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$X' = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

Tahapan terakhir bertujuan untuk menentukan bobot yang lebih akurat dengan melakukan kombinasi bobot (Fadhillah, 2024).

$$\text{Bobot Kombinasi} = (w_V \times V'_i) + (w_l \times l'_i) \quad (2)$$

WELCH-POWELL

Algoritma Welch-Powell (WP) adalah salah satu metode pewarnaan simpul pada graf yang sangat efisien. Algoritma ini digunakan untuk memberi warna pada setiap simpul dalam graf, dengan dimulai dari simpul yang memiliki derajat tertinggi dan kemudian melanjutkannya hingga ke simpul dengan derajat terendah dan semua simpul terwarnai (Abdullah & Rahadjeng, 2022). Adapun tahapan dalam pewarnaan menggunakan algoritma Welch-Powell sebagai berikut (Kinanti, Prihandini, & Agatha, 2024):

1. Hitung derajat setiap simpul, yaitu jumlah sisi yang menghubungkannya dengan simpul lain.
2. Urutkan simpul berdasarkan derajat tertinggi, untuk menentukan prioritas pewarnaan.

3. Lakukan pewarnaan simpul, mulai dari simpul berderajat tertinggi, lalu beri warna yang sama pada simpul yang tidak bertetangga.
4. Ulangi proses pewarnaan hingga semua simpul terwarnai, kemudian jumlah warna yang digunakan merupakan bilangan kromatik atau jumlah fase lampu lalu lintas yang dibutuhkan.

WEBSTER

Metode Webster adalah metode yang menggunakan rumus khusus untuk menghitung waktu siklus pada sistem kendali lalu lintas. Persamaan yang dikembangkan Webster digunakan untuk menghitung rata-rata penundaan kendaraan saat mendekati persimpangan. Webster juga merumuskan persamaan untuk menentukan waktu siklus optimum yang meminimalkan penundaan kendaraan. Proses penghitungan lampu lalu lintas menggunakan metode Webster melibatkan beberapa langkah, sebagai berikut (Aziz dan Asih, 2020):

1. Menghitung arus jenuh

Jika lebar jalan $> 5,5$ m, maka arus jenuh akan dihitung dengan rumus berikut (Bina Marga, 2023);

$$s = 600 \times w \quad (3)$$

Jika lebar jalan $\leq 5,5$ m, maka penentuan arus jenuh dapat dilakukan berdasarkan Tabel 2 berikut (Fadhillah, 2024);

Tabel 2. Arus Jenuh

Lebar jalan (m)	3	3,5	4	4,5	5	5,5
Arus Jenuh (smp/jam)	1.85	1.87	1.97	2.17	2.55	2.90

2. Menghitung tingkat arus

Tingkat arus lalu lintas setiap jalur (y_i) (Chairani et al., 2021).

$$y_i = \frac{q_i}{s} \quad (4)$$

Jumlah y maksimum untuk semua fase (Y) = $\sum y$

3. Menghitung waktu hilang (L)

Waktu hilang mencakup waktu yang digunakan untuk persiapan kendaraan mulai bergerak (*starting-up*) dan persiapan berhenti (*tailing-off*). Waktu yang terbuang ini kemudian dihitung menggunakan rumus (Poernamasari, Tumilaar, & Montolalu, 2019);

$$L = 2n + R \quad (5)$$

4. Waktu siklus optimum

$$C_0 = \frac{1,5L + 5}{1 - Y} \quad (6)$$

5. Menghitung lampu hijau efektif setiap fase

$$g_i = \frac{y_i(C_0 - L)}{Y} \quad (7)$$

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan studi kasus pada Simpang Empat Kelurahan Semabung Baru, Kota Pangkalpinang. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Perhubungan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung berupa volume kendaraan, lebar jalan, dan peta simpang.

Setelah memperoleh data yang dibutuhkan, maka akan dilanjutkan dengan menganalisis data. Adapun tahapan analisis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut (Fadhillah, 2024):

1. Menggambarkan bentuk persimpangan jalan yang diamati ke dalam bentuk graf, dengan simpul-simpul pada graf menyatakan arus lalu lintas setiap jalur dan sisi-sisi pada graf menyatakan pasangan-pasangan arus yang bila bergerak secara bersamaan akan terjadi tabrakan.
2. Selanjutnya melakukan pembobotan pada graf yang sudah dibuat. Pembobotan dilakukan berdasarkan data volume kendaraan dan lebar jalan yang dinormalisasikan dan di kombinasi sehingga menghasilkan nilai bobot. Nilai bobot akan dimasukkan ke semua simpul dalam graf dan menghasilkan graf berbobot.
3. Langkah berikutnya dilakukan pewarnaan simpul pada graf berbobot dengan menggunakan algoritma *Welch-Powell*. Simpul yang memiliki derajat dan bobot paling tinggi akan diberikan warna terlebih dahulu sampai dengan simpul derajat terendah. Bilangan kromatik yang diperoleh di anggap sebagai jumlah fase yang akan digunakan pada perhitungan dengan metode *Webster*.
4. Proses menghitung durasi lampu lalu lintas dengan metode *Webster* melalui langkah-langkah yang terdiri dari; menghitung arus jenuh, menghitung tingkat arus, menghitung waktu hilang (*L*), menghitung siklus optimal, dan menghitung waktu lampu hijau efektif tiap fase.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimalisasi akan dilakukan dengan menerapkan pewarnaan graf menggunakan

algoritma *Welch-Powell* untuk menentukan fase sinyal lalu lintas, serta didukung dengan metode *Webster* dalam menghitung waktu siklus optimum pada persimpangan. Persimpangan yang menjadi lokasi penelitian adalah simpang empat bersinyal Kelurahan Semabung Baru, lokasi penelitian ini dipilih karena merupakan salah satu persimpangan tersibuk di Kota Pangkalpinang.



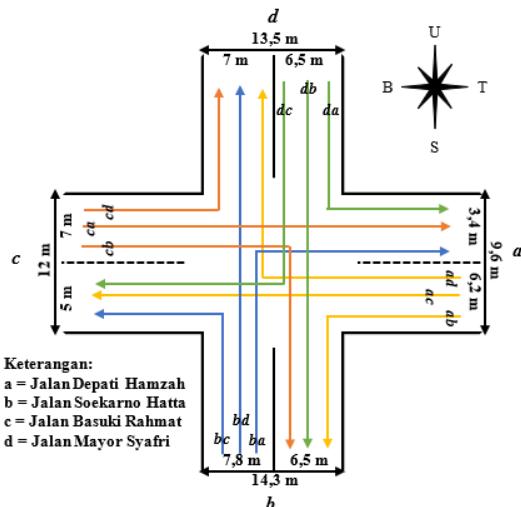
Gambar 1. Simpang Empat Bersinyal Kelurahan Semabung Baru Kota Pangkalpinang

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa simpang empat Kelurahan Semabung Baru memiliki empat ruas jalan utama, yaitu Jalan Mayor Syafri, Jalan Basuki Rahmat, Jalan Soekarno Hatta, dan Jalan Depati Hamzah. Lebar jalan pada setiap ruas jalan di simpang empat Kelurahan Semabung Baru dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Lebar Setiap Ruas Jalan

Nama Jalan	Lebar Jalan Keluar (m)	Lebar Jalan Masuk (m)
Jalan Depati Hamzah (a)	6,2	3,4
Jalan Soekarno Hatta (b)	7,8	6,5
Jalan Basuki Rahmat (c)	7	5
Jalan Mayor Syafri (d)	6,5	7

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kondisi geometrik dan arah arus lalu lintas pada lokasi penelitian, persimpangan jalan akan diilustrasikan terlebih dahulu.



Gambar 2. Ilustrasi Simpang Empat Bersinyal Kelurahan Semabung Baru Kota Pangkalpinang

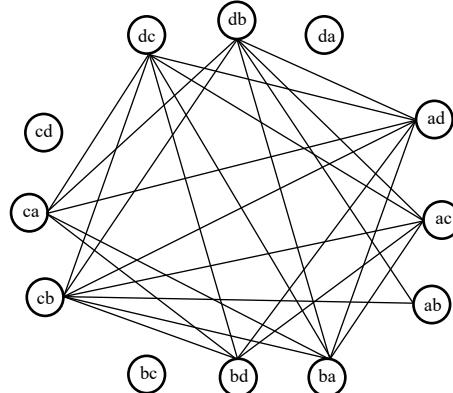
REPRESENTASI SIMPANG KE DALAM GRAF

Simpang empat Kelurahan Semabung Baru pada Gambar 2 terlihat memiliki 12 arah pergerakan kendaraan (arus kendaraan) yang dilewati oleh pengguna jalan. Arus kendaraan tersebut dinotasikan menjadi:

- ab = Arus kendaraan dari Jalan Depati Hamzah menuju Jalan Soekarno Hatta
- ac = Arus kendaraan dari Jalan Depati Hamzah menuju Jalan Basuki Rahmat
- ad = Arus kendaraan dari Jalan Depati Hamzah menuju Jalan Mayor Syafri
- ba = Arus kendaraan dari Jalan Soekarno Hatta menuju Jalan Depati Hamzah
- bc = Arus kendaraan dari Jalan Soekarno Hatta menuju Jalan Basuki Rahmat
- bd = Arus kendaraan dari Jalan Soekarno Hatta menuju Jalan Mayor Syafri
- ca = Arus kendaraan dari Jalan Basuki Rahmat menuju Jalan Depati Hamzah
- cb = Arus kendaraan dari Jalan Basuki Rahmat menuju Jalan Soekarno Hatta
- cd = Arus kendaraan dari Jalan Basuki Rahmat menuju Jalan Mayor Syafri
- da = Arus kendaraan dari Jalan Mayor Syafri menuju Jalan Depati Hamzah
- db = Arus kendaraan dari Jalan Mayor Syafri menuju Jalan Soekarno Hatta
- dc = Arus kendaraan dari Jalan Mayor Syafri menuju Jalan Basuki Rahmat

Notasi yang terdiri dari 2 huruf menyatakan arus kendaraan pada persimpangan yang akan dijadikan

sebagai simpul, yang berarti terdapat 12 simpul dalam graf persimpangan tersebut, yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Graf Simpang Semabung

Pada Gambar 3 terlihat graf memiliki 12 simpul dan 24 sisi yang menghubungkan simpul.

PEMBOBOTAN GRAF

Data yang diperoleh dari dinas perhubungan mencakup jumlah kendaraan yang melintasi setiap jalur pada persimpangan, baik yang bergerak lurus, belok kanan, maupun belok kiri. Perhitungan data dilakukan setiap 2 jam pada tiga periode waktu yaitu pagi hari pada jam 06.30-08.30 WIB, siang hari pada jam 11.00-13.00 WIB, dan sore hari pada jam 15.30-17.30 WIB. Tetapi, data yang digunakan dalam penelitian hanya mencakup periode pagi dan sore hari. Hal ini dikarenakan periode siang hari tidak menunjukkan lonjakan volume kendaraan yang sebanding dengan kepadatan lalu lintas pada pagi dan sore hari. Oleh karena itu, analisis difokuskan pada dua periode waktu dengan tingkat kepadatan tertinggi untuk mendapatkan hasil yang lebih representatif terhadap kondisi lalu lintas di persimpangan.

Setiap arus kendaraan akan dikonversi dari kendaraan/jam menjadi smp/jam menggunakan faktor Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP) untuk menyetarakan dampak berbagai jenis kendaraan terhadap kapasitas jalan (Alfitra & Umar, 2023). Berdasarkan PKJI 2023 EMP memiliki tiga kategori, yaitu kendaraan bermotor (MC) dengan nilai ekuivalensi sebesar 0,5, kendaraan ringan (LV) dengan nilai ekuivalensi sebesar 1,0, dan kendaraan berat (HV) dengan nilai ekuivalensi sebesar 1,3 (Bina Marga, 2023). Proses konversi dilakukan dengan mengalikan volume kendaraan dengan EMP sesuai dengan kategori masing-masing kendaraan. Hasil

perhitungan secara keseluruhan ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Volume kendaraan dan Hasil Konversi SMP

Simpul	Periode Pagi		Periode Sore	
	Kend	smp	Kend	smp
ab	140	102,6	148	105,5
ac	240	161,3	281	169,4
ad	1084	679,9	1561	988,1
ba	344	274,3	344	279,3
bc	61	35	63	41
bd	726	547,2	854	646,4
ca	496	329,1	534	343,6
cb	31	26,5	16	13,5
cd	480	312,1	525	340,8
da	1309	825	866	560
db	1006	673,5	1088	625,2
dc	108	71	192	129,5

Selanjutnya data volume kendaraan dalam satuan smp/jam dan lebar setiap ruas jalan akan dinormalisasikan dengan menggunakan Persamaan (1). Hasil perhitungan normalisasi *min-max* untuk volume kendaraan secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Normalisasi Volume Kendaraan

Simpul	Pagi	Sore	Simpul	Pagi	Sore
ab	0,095	0,094	ca	0,379	0,339
ac	0,169	0,160	cb	0,000	0,000
ad	0,818	1,000	cd	0,358	0,336
ba	0,310	0,273	da	1,000	0,561
bc	0,011	0,028	db	0,810	0,669
bd	0,652	0,649	dc	0,056	0,119

Proses normalisasi untuk lebar jalan dilakukan dengan cara sama seperti volume kendaraan. Lebar jalan yang digunakan dalam perhitungan merupakan lebar jalan tujuan atau jalan penerima, karena jalan penerima juga berfungsi sebagai ruas yang akan menampung kendaraan dari arah masuk simpang. Berikut hasil perhitungan normalisasi *min-max* untuk lebar jalan yang disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Normalisasi Lebar Setiap Ruas Jalan

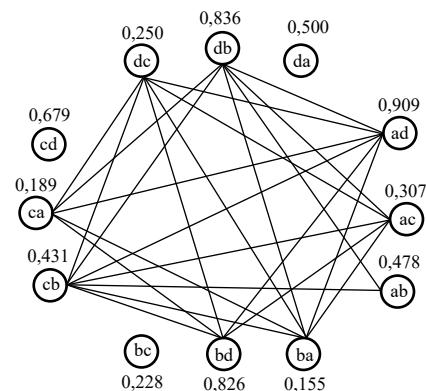
Ruas Jalan	Lebar Jalan (m)	Normalisasi
a (Jalan Depati Hamzah)	3,4	0
b (Jalan Soekarno Hatta)	6,5	0,861
c (Jalan Basuki Rahmat)	5	0,444
d (Jalan Mayor Syafri)	7	1

Bobot untuk setiap simpul ditetapkan dengan menggabungkan volume kendaraan dan lebar jalan yang sudah di normalisasi menggunakan rumus kombinasi bobot pada Persamaan (2). Volume kendaraan dan lebar jalan dianggap memiliki pengaruh yang sama, oleh karena itu keduanya diberikan bobot yang sama yaitu 0,5 (Fadhillah, 2024).

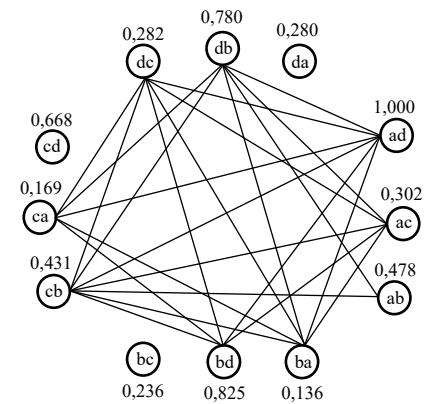
Tabel 7. Hasil Perhitungan Bobo Graf

Simpul	Pagi	Sore	Simpul	Pagi	Sore
ab	0,478	0,478	ca	0,189	0,169
ac	0,307	0,302	cb	0,431	0,431
ad	0,909	1,000	cd	0,679	0,668
ba	0,155	0,136	da	0,500	0,280
bc	0,228	0,236	db	0,836	0,780
bd	0,826	0,825	dc	0,250	0,282

Selanjutnya melakukan transformasi dari graf Simpang Semabung menjadi graf berbobot, dimana setiap simpul diberikan bobot berdasarkan nilai yang telah ditentukan untuk setiap periode waktu.



Gambar 4. Graf Berbobot Periode Pagi

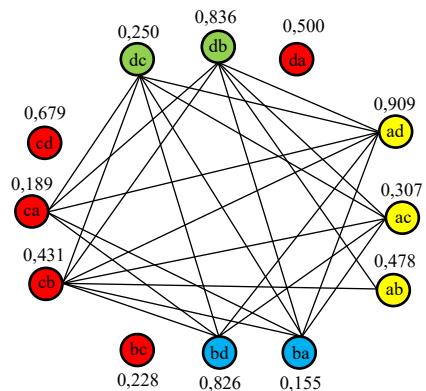


Gambar 5. Graf Berbobot Periode Sore

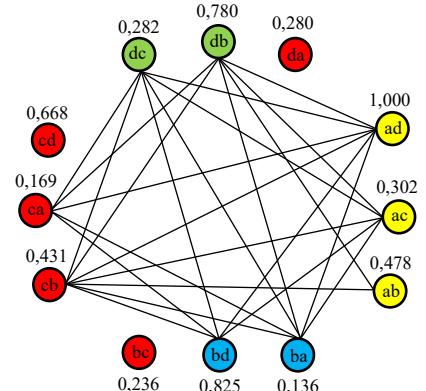
Dalam graf ini, setiap simpul mewakili arus kendaraan pada persimpangan, sedangkan bobot pada simpul merepresentasikan tingkat kepadatan lalu lintas berdasarkan hasil normalisasi volume kendaraan dan lebar jalan.

WELCH-POWELL

Pewarnaan graf berbobot akan dilakukan menggunakan algoritma *Welch-Powell*. Pewarnaan bisa dilakukan secara manual jika simpul yang dimiliki masih terhitung sedikit. Tetapi, hasil pewarnaan manual bisa dipastikan kembali menggunakan *software* matematika yang dapat menyelesaikan pewarnaan graf dengan algoritma *Welch-Powell*.



Gambar 6. Hasil Pewarnaan Graf Berbobot Periode Pagi dengan Algoritma Welch-Powell



Gambar 7. Hasil Pewarnaan Graf Berbobot Periode Sore dengan Algoritma Welch-Powell

Hasil pewarnaan menggunakan algoritma *Welch-Powell* untuk kedua periode waktu menunjukkan nilai bilangan kromatik atau jumlah fase sebesar 4.

WEBSTER

Selanjutnya menghitung durasi optimal menggunakan metode *Webster* pada Simpang Empat Kelurahan Semabung Baru Kota Pangkalpinang.

1. Menghitung arus jenuh

Dalam menentukan arus jenuh, lebar jalan yang digunakan dalam perhitungan adalah lebar jalan asal dari masing-masing arus kendaraan. Tabel 8

menunjukkan hasil perhitungan secara keseluruhan untuk setiap arus jenuh dengan Persamaan (3).

Tabel 8. Arus Jenuh untuk Semua Arus Kendaraan

Simpul	Arus Jenuh	Simpul	Arus Jenuh
ab	3720	ca	4200
ac	3720	cb	4200
ad	3720	cd	4200
ba	4680	da	3900
bc	4680	db	3900
bd	4680	dc	3900

2. Menghitung tingkat arus

Perhitungan ini bertujuan untuk mengevaluasi seberapa padat suatu ruas jalan dalam menampung kendaraan pada waktu tertentu. Berikut hasil perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan Persamaan (4).

Tabel 9. Hasil Perhitungan Tingkat Arus Lalu Lintas

Periode Pagi			Periode Sore		
Fase	Simpul	Tingkat Arus	Fase	Simpul	Tingkat Arus
Fase 1	cb	0,006309524	Fase 1	cb	0,00362903
	ca	0,078357143		ca	0,08180952
	cd	0,074309524		cd	0,08114286
	da	0,211538462		da	0,14358974
	bc	0,007478632		bc	0,00876068
Fase 2	ad	0,182768817	Fase 2	ad	0,26561828
	ac	0,043360215		ac	0,04553763
	ab	0,027580645		ab	0,02836021
Fase 3	db	0,172692308	Fase 3	db	0,17825641
	dc	0,018205128		dc	0,03320513
Fase 4	ba	0,058611111	Fase 4	ba	0,05967949
	bd	0,116923077		bd	0,13811966

Selanjutnya menghitung jumlah y maksimum untuk semua fase, di mana setiap fase diwakili oleh satu simpul dengan tingkat arus lalu lintas tertinggi yang kemudian nilai-nilai tersebut dijumlahkan.

$$\text{Pada periode pagi} = 0,21153846 + 0,18276882 + 0,17269231 + 0,11692308 = 0,683922663$$

$$\text{Pada periode sore} = 0,14358974 + 0,26561828 + 0,17825641 + 0,13811966 = 0,725584092$$

3. Menghitung waktu hilang

Perhitungan dilakukan menggunakan Persamaan (5), dengan durasi lampu kuning yang digunakan adalah 3 detik, sehingga:

$$L = 2(4) + (3 \times 4) = 20$$

4. Waktu siklus optimum

Dengan demikian, panjang waktu siklus optimum dapat dihitung menggunakan Persamaan (6).

Periode pagi,

$$C_0 = \frac{1,5(20) + 5}{1 - 0,683922663} = 110,732 \approx 111 \text{ detik}$$

Periode sore,

$$C_0 = \frac{1,5(20) + 5}{1 - 0,725584092} = 127,544 \approx 127 \text{ detik}$$

Waktu siklus optimum yang diperoleh adalah 111 detik untuk periode pagi dan 127 detik untuk periode sore. Terdapat ketentuan waktu siklus yang layak dalam PKJI 2023 untuk pengaturan simpang dengan jumlah fase tertentu, yang ditampilkan pada Tabel 10 berikut (Bina Marga, 2023):

Tabel 10. Waktu Siklus yang Layak

Tipe Pengaturan	Durasi yang Layak (detik)
Pengaturan dua-fase	40-80
Pengaturan tiga-fase	50-100
Pengaturan empat-fase	80-130

5. Menghitung lampu hijau efektif setiap fase

Langkah terakhir dalam proses perhitungan adalah menentukan durasi lampu hijau untuk masing-masing fase. Hasil perhitungan menggunakan Persamaan (7) yang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Waktu Siklus Optimum dengan Metode Webster

Ruas Jalan	Pagi (detik)			
	Merah	Kuning	Hijau	Total
a	83	3	25	111
b	90	3	18	111
c	78	3	30	111
d	82	3	26	111
Ruas Jalan	Sore (detik)			
	Merah	Kuning	Hijau	Total
a	96	3	28	127
b	101	3	23	127
c	101	3	23	127
d	83	3	41	127

Berdasarkan Tabel 11, durasi lampu hijau pada periode pagi dan periode sore dijumlahkan dengan waktu lampu hijau yang hilang untuk setiap fase yaitu 2 detik. Berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas Perhubungan, waktu siklus yang digunakan pada simpang Kelurahan Semabung Baru adalah 218 detik untuk seluruh periode. Setelah dilakukan perhitungan dengan metode Webster, durasi tersebut berkurang menjadi 111 detik pada periode pagi dan 127 detik pada periode sore.

Berdasarkan hasil analisis perhitungan waktu siklus optimum menggunakan metode Webster pada simpang empat Kelurahan Semabung Baru, menunjukkan adanya penurunan yang signifikan

dibandingkan dengan waktu siklus di lapangan sebesar 218 detik yang diterapkan oleh Dinas Perhubungan. Penurunan ini menunjukkan efisiensi waktu siklus yang diharapkan dapat meningkatkan kinerja simpang. Selain itu, siklus yang lebih optimal juga berpotensi mengurangi konsumsi bahan bakar serta meningkatkan kenyamanan pengguna jalan. Hasil penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan bagi Dinas Perhubungan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung dalam mengevaluasi kembali pengaturan fase sinyal di simpang tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dinas Perhubungan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung atas dukungan data yang diberikan, serta kepada pembimbing dan semua pihak yang turut membantu kelancaran penelitian ini.

PENUTUP

SIMPULAN

Berdasarkan analisis lalu lintas di Simpang Empat Kelurahan Semabung Baru, volume tertinggi tercatat pada pukul 06.45-07.45 WIB (pagi) dan 16.15-17.15 WIB (sore). Pewarnaan graf berbobot dengan algoritma Welch-Powell menghasilkan bilangan kromatik sebesar 4, yang menunjukkan kebutuhan empat fase lalu lintas tanpa konflik antar arus.

Perhitungan waktu siklus menggunakan metode Webster menunjukkan penurunan yang signifikan, dengan pengurangan durasi dari 218 detik menjadi 111 detik (pagi) dan 127 detik (sore), sesuai standar PKJI 2023.

SARAN

Hasil penelitian ini dapat menjadi bahan evaluasi bagi Dinas Perhubungan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung terkait durasi siklus lampu lalu lintas di Simpang Empat Semabung Baru. Penelitian selanjutnya disarankan mengeksplorasi algoritma pewarnaan lain dan metode alternatif selain Webster, serta mempertimbangkan variabel tambahan seperti cuaca dan perilaku pengemudi untuk analisis yang lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M. D., & Rahadjeng, B. (2022). Aplikasi Pewarnaan Titik pada Graf untuk Optimalisasi Durasi Lampu Lalu Lintas di Simpang Jalan

- Jemursari Kota Surabaya. *MATHunesa*, 10(02), 289–298.
- Alfitra, F., & Umar, U. H. (2023). Analysis of Traffic Jams: Cases of Congestion Caused U-Turns on Jalan Gajah Mada, Batam. *Civil Engineering and Architecture Journal*, 1(3). <https://doi.org/10.37253/leader.v1i3.8283>
- Ambarwari, A., Adrian, Q. J., & Herdiyeni, Y. (2022). Analisis Pengaruh Data Scaling Terhadap Performa Algoritme Machine Learning untuk Identifikasi Tanaman. *Jurnal Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi*, 4(1), 117–122.
- Aziz, O. R. Al, & Asih, H. M. (2020). Developing Hybrid Simulation Model to Improve Road Traffic Management. *International Journal of Innovation in Enterprise System*, 04(01), 56–65. Retrieved from <https://ijies.sie.telkomuniversity.ac.id/index.php/IJIES/index>
- Bina Marga, D. J. (2023). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta Selatan: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Chairani, Jaya, I., & Cipta, H. (2021). Optimasi Waktu Tunggu Total Dengan Metode Webster dalam Mengatasi Kemacetan Lalu Lintas Persimpangan Jalan Kolonel Yos Sudarso. *FABARI Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 4(2), 175–180.
- Edwards, D. (2023). *Analisa Kinerja Simpang Bersinyal di Kota Jambi*. Jambi. Retrieved from <http://repository.unbari.ac.id/2589/1/TUGAS%20AKHIR%20DIMAS%20EDWARDO-.pdf>
- Fadhillah, R. (2024). *Perbandingan Algoritma Welch-Powell dan Algoritma Greedy dengan Pewarnaan Simpul pada Persimpangan Empat*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Fakhri, M. Y., & Harahap, E. (2021). Implementasi Algoritma Welch-Powell pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas Pasteur Bandung. *Jurnal Riset Matematika*, 1(2), 91–98. <https://doi.org/10.29313/jrm.v1i2.365>
- Kinanti, H. A., Prihandini, R. M., & Agatha, A. B. (2024). *Application of Graph Theory in Traffic Light System Optimization to Alleviate Congestion at the Mangli Road Intersection*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30963.75049>
- Monalisa, Algusduri, N., & Castama. Fadly Braja. (2023). Penerapan Graf Kompatibel Pada Durasi Lampu Lalu Lintas di Simpang Empat Andalas Kota Padang. *International Journal of Engineering, Economic, Social Politic and Government (IJESPG)*, 1(4), 72–80. Retrieved from <http://ijespgjournal.org/>
- Poernamasari, I., Tumilaar, R., & Montolalu, C. E. J. C. (2019). Optimasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas dengan menggunakan Metode Webster (Studi Kasus Persimpangan Jalan Babe Palar). *Jurnal Matematika Dan Aplikasi*, 8(1), 27–35. Retrieved from <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/decartesian>
- Rustam, M. S. P. A., Arsyad, L. O. M. N., Sabaruddin, Halim, H., Maal, A., Lestari, U. S., ... Soeparyanto, T. S. (2023). *Rekayasa Lalu Lintas* (kesatu; T. Media, Ed.). Kendari: Tahta Media Group. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/372101718>
- Sari, R. F., Cipta, H., & Munthe, E. F. (2022). Implementasi Algoritma Welch-Powell Terhadap Pengaturan Lalu Lintas Persimpangan Jalan dalam Mengatasi Kemacetan. *Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika Dan Statistika*, 3(3), 576–583. Retrieved from <http://lebesgue.lppmbinabangsa.id/index.php/home>
- Sendow, E. S., Sulidyaningsih, M., & Monoarfa, J. F. (2023). Optimasi Waktu Tunggu Lampu Lalu Lintas dengan Mengaplikasikan Teori Graf dan Metode Webster. *Journal on Education*, 06(1), 2272–2284.
- Sulistiani, D. A., & Ais, C. (2022). Penerapan Teori Graf dan Metode Welch-Powell pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas. *JUTI: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, 20(2), 54–60.
- Utami, W. D., Naufal, A., & Intan, P. K. (2020). Optimasi Waktu Tunggu Lampu Lalu Lintas pada Simpang Lima Krian-Sidoarjo Menggunakan Algoritma Welch-Powell. *Jurnal MathVision*, 02(01), 1–6. Retrieved from <http://journal.unirow.ac.id/index.php/mv>
- Yin, M. (2019). Intersection Signal Timing Optimization based on Webster Timing Method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 371(5). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/371/5/052034>