

MODEL OPTIMASI WAKTU TUNGGU LAMPU LALU LINTAS DENGAN METODE WEBSTER

Nasya Alifiah

Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia
e-mail: nasyaalifiah42@gmail.com*

Devitasari Simamora

Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia
e-mail: devitasarisimamora2003@gmail.com

Citra Amanda Putri

Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia
e-mail: amandacitra1992@gmail.com

Ria Sagita Ninggi

Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia
e-mail: riasagitaningsi@gmail.com

Abstrak

Di kota-kota besar seperti Medan, kemacetan merupakan permasalahan yang kerap terjadi, khususnya di kawasan Pertigaan Jalan SM. Raja. Untuk mengatasi masalah tersebut, dilakukan sebuah studi yang mengkombinasikan penggunaan pemodelan graf kompatibel dan metode *Webster*. Penerapan graf kompatibel membantu dalam penentuan fase-fase lampu lalu lintas serta mengidentifikasi jalur yang dapat beroperasi secara simultan. Sementara itu, metode *Webster* dimanfaatkan untuk mengkalkulasi durasi waktu tunggu yang ideal bagi kendaraan. Studi ini menghasilkan optimalisasi dua fase lampu lalu lintas dengan total waktu siklus 344 detik, dimana terjadi penambahan durasi lampu hijau di setiap ruas jalan. Sistem ini terbukti lebih efektif karena memberikan waktu nyala lampu hijau yang lebih panjang dibandingkan dengan lampu merah.

Kata Kunci : Lalu lintas, Graf kompatibel, Metode *Webster*.

Abstract

In big cities like Medan, traffic jams are a problem that often occurs, especially in the SM Road T-junction area. King. To overcome this problem, a study was carried out that combined the use of compatible graph modeling and the Webster method. The application of compatible graphs helps in determining the phases of traffic lights and identifying lanes that can operate simultaneously. Meanwhile, the Webster method is used to calculate the ideal waiting time for vehicles. This study resulted in the optimization of two traffic light phases with a total cycle time of 344 seconds, where there was an increase in the duration of the green light on each road section. This system is proven to be more effective because it provides a longer green light flash time compared to red lights.

Keywords: Traffic, compatible graph, Webster's method.

PENDAHULUAN

Pengaturan arus lalu lintas di kawasan perkotaan sangat bergantung pada sistem lampu lalu lintas yang efektif. Permasalahan durasi tunggu pada persimpangan berlampa seringkali mengakibatkan penumpukan kendaraan dan peningkatan polusi udara (Sendow, E. S. dkk, 2023). Untuk menangani

hal tersebut, diperlukan suatu sistem optimalisasi waktu tunggu yang dapat meningkatkan efisiensi transportasi dan meminimalkan antrian kendaraan. Di antara berbagai pendekatan yang ada, metode *Webster* menjadi salah satu solusi yang sering diimplementasikan. Pada tahun 1958, G.D. Webster memperkenalkan sebuah metode yang kemudian terbukti efektif dalam mengoptimalkan siklus lampu

lalu lintas (Aini, N. A,2020). Pendekatan ini mempertimbangkan beragam parameter seperti kepadatan kendaraan dan pengaturan durasi siklus untuk mencapai waktu tunggu yang optimal.

Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan keefektifan metode *Webster*. Sebuah studi mengungkapkan bahwa penerapan metode ini menghasilkan siklus optimal 220 detik untuk tiga fase lampu lalu lintas dalam upaya mengurangi kemacetan. Penelitian lain yang mengkombinasikan teori graf dengan metode *Webster* berhasil meningkatkan waktu siklus menjadi 285s, dengan modifikasi durasi lampu hijau yang lebih panjang dan pengurangan waktu lampu merah di setiap ruas jalan (Chairani, C.dkk, 2021). Studi tambahan mendemonstrasikan optimalisasi tiga fase dengan durasi siklus 137 detik, dimana perpanjangan waktu lampu hijau diterapkan pada jalur-jalur dengan volume kendaraan tinggi.

Meski relatif baru, metode ini menawarkan potensi yang signifikan dalam manajemen lalu lintas, terutama mengingat pertumbuhan jumlah kendaraan yang terus meningkat (Utami, W. D, 2020). Penelitian ini akan mengaplikasikan kombinasi pemodelan graf kompatibel dan metode *Webster* untuk mengoptimalkan durasi antrian pada lampu lalu lintas di kawasan pertigaan Jl. SM. Raja, Medan.

KAJIAN TEORI

1. Lalu Lintas

Lalu lintas merupakan suatu kondisi yang diatur melalui rambu-rambu lalu lintas yang terpasang di jalanan yang bertujuan agar menertibkan jalur lalu lintas. Pada dasarnya peraturan jalur lalu lintas yang terdapat di pertigaan maupun perempatan ditujukan agar setiap kendaraan bisa melaju secara bergilir sehingga dapat mengurangi angka kemacetan (Budianto, H. dkk, 2022).

2. Teori Graf

Terdapat graf $G = (V, E)$ yang terdiri dari V yang merupakan himpunan suatu titik (*vertex*) dan E merupakan himpunan suatu garis (*edges*). Masing-masing garis terdiri dari 1 maupun 2 titik yang saling berhubungan yang dapat disebut juga sebagai *endpoint* (Monalisa, M, 20224). Adapun jenis-jenis graf diantaranya:

- Graf berarah, yaitu graf yang tiap sisinya mempunyai arah. Dimana sisi berarah sebagai busur.
- Graf tidak berarah, yaitu graf yang tidak mempunyai orientasi arah.
- Graf sederhana, merupakan graf yang tidak mempunyai *loop* atau sisi ganda.

- Graf tidak sederhana, yaitu graf yang mempunyai *loop* ataupun sisi ganda. Graf ini terdiri atas graf ganda dan juga graf semu.
- Graf berbobot, yaitu graf yang mempunyai harga atau bobot pada setiap sisinya. Nilai bobot juga tergantung pada masalah suatu model kedalam sebuah graf. Bobot dapat dinyatakan jarak antar kota, modal perjalanan antar kota dan waktu perjalanan.

3. Metode *Webster*

F.V. *Webster* Persamaan klasik yang berguna dalam memperhitungkan penundaan keseluruhan rata-rata dari suatu kendaraan bermotor pada saat sampai pertigaan maupun perempatan serta menurunkan persamaan untuk memberikan hasil dari waktu siklus optimum dengan penundaan kendaraan yang lebih kecil ataupun meminimumkan (Kurniawan, F, 2021). Penundaan yang terjadi disebabkan oleh total kendaraan yang datang pada sebuah pertigaan ataupun perempatan lebih tinggi dibandingkan dengan total kendaraan yang pergi dari pertigaan maupun perempatan. Metode *Webster* juga memiliki beberapa keunggulan seperti penggunaan dan penggerjaannya yang mudah, selain itu metode ini mampu meningkatkan durasi lampu hijau pada jalan dengan volume kendaraan yang lebih tinggi (Nasution, F, 2020).

METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada pertigaan Jl. SM. Raja, kota Medan. Penelitian dilaksanakan sejak bulan oktober 2024 sampe dengan selesai. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan waktu tunggu total yang terjadi pada pertigaan Jl. SM. Raja dengan menerapkan metode *Webster*. Metode ini juga digunakan untuk menghitung waktu siklus optimal pada lampu lalu lintas agar mengurangi kemacetan yang ada (Nurvaida, V, 2020). Metode *Webster* merupakan metode matematis yang dipergunakan untuk menghitung waktu siklus optimal pada persimpangan jalan yang dilengkapi oleh lampu lalu lintas. Metode ini juga dirancang agar meminimalkan waktu tunggu total kendaraan, sehingga bisa mengurangi kemacetan dan juga meningkatkan efisiensi lalu lintas (Chairani, C.dkk, 2021).

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan diantaranya:

- Melakukan awal survei guna mengidentifikasi karakteristik pertigaan Jl. SM. Raja
- Mengumpulkan data waktu lalu lintas serta data volume kendaraan

3. Merepresentasikan kondisi pertigaan Jl. SM. Raja
4. Menganalisis data menggunakan Metode webster guna menentukan waktu siklus optimal
5. Mengubah bentuk persimpangan kebentuk graf kompatibel. Pasangan rute yang kompatibel direpresentasikan dengan sisi pada graf.
6. Membuat graf sederhana yang sudah kompatibel
7. Mengubah bentuk graf kompatibel menjadi bentuk graf ganda berarah berbobot. Pengelompokan dari penilaian bobot antara lain:
 - a. Bobot lebar jalan
 - 1) Dibawah 3 m diberi bobot nilai 4
 - 2) Diantara 3 sampai dengan 4 m diberi bobot nilai 3
 - 3) Lebih dari 4 sampai dengan 5 m diberi bobot nilai 2
 - 4) Lebih dari 5 m diberi bobot nilai 1
 - b. Bobot volume kendaraan
 - 1) Diatas 2000 kend/ jam diberi bobot nilai 5
 - 2) Diantara 1.500 sampai dengan 1.999 kend/ jam diberi bobot nilai 4
 - 3) Diantara 1.000 sampai dengan 1.499 kend/ jam diberi bobot nilai 3
 - 4) Diantara 500 sampai dengan 999 kend/ jam diberi bobot nilai 2
 - 5) Diantara 0 sampai dengan 499 kend/ jam diberi bobot nilai 1

Analisis data dengan metode Webster

1. Rumus Dasar

Hitung waktu siklus optimal C_0 dengan rumus Webster:

$$C_0 = \frac{1,5L + 5}{1 - Y}$$

Dimana:

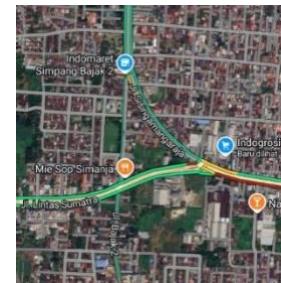
- L : Keseluruhan waktu hilang dalam satu siklus.
- Y : Derajat kejenuhan (*saturation flow ratio*)

2. Langkah Analisis

- Tentukan total waktu hilang (L) berdasarkan data primer.
- Hitung rasio aliran jenuh (Y) dari volume kendaraan dan kapasitas jalan.
- Hitung waktu siklus optimal C_0 .
- Tentukan pembagian waktu hijau (green split) untuk setiap lengan jalan menggunakan persamaan proporsional terhadap volume kendaraan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian yang telah dilakukan dapat diperoleh data dari geometri kondisi jalan, data pada waktu lalu lintas, dan data jumlah kendaraan paha pertigaan pada Jl. SM. Raja. Berikut gambar kondisi Jl. SM. Raja pada maps.



Gambar 1. Pertigaan Jl. SM. Raja

Lebar jalan pada masing-masing persimpangan Jl. SM. Raja yaitu:

1. Simpang jalan Tritura dengan 2 rute yaitu rute masuk dan rute keluar, dimana lebar masing-masing jalur adalah 4 meter.
2. Simpang jalan SM. Raja dengan 2 rute yaitu rute masuk memiliki lebar 5 m dan rute keluar 6 m.
3. Simpang jalan Tanjung Morawa dengan 2 rute yaitu rute masuk memiliki lebar 5,5 m dan rute keluar 5 m.

Tabel 1. Total Waktu Lalu Lintas pada Pertigaan Jl. SM. Raja

Persimpangan	Merah (detik)	Kuning (detik)	Hijau (detik)	Total Waktu
Jl. Tritura (A)	145	3	105	253

Jl. Tanjung Morawa (B)	156	3	120	279
Jl. SM. Raja (C)	120	3	87	210

Selanjutnya, data volume kendaraan pada pertigaan Ampelas diperoleh melalui observasi lapangan secara langsung. Pengamatan digunakan

selama 2 fase yaitu pada waktu sibuk yakni saat siang hari dan sore hari.

Tabel 2. Volume Kendaraan pada Jl.Tritura

Waktu	LV		HV		MC		Jumlah	
	emp = 1,0		emp = 1,3		emp = 0,2			
	kend	smp	kend	smp	Kend	smp	kend/jam	smp/jam
	1	2	3	4	5	6	7 = 1 + 3 + 5	8 = 2 + 4 + 6
12.00 -13.00	1162	1162	52	67,6	1575	315	2789	1544,6
16.00 - 17.00	1282	1282	93	120,9	1719	343,8	3094	1746,7

Tabel 3. Volume Kendaraan pada Jl.Tanjung Morawa

Waktu	LV		HV		MC		Jumlah	
	emp = 1,0		emp = 1,3		emp = 0,2			
	kend	smp	kend	smp	Kend	smp	kend/jam	smp/jam
	1	2	3	4	5	6	7 = 1 + 3 + 5	8 = 2 + 4 + 6
12.00 -13.00	963	963	64	83,2	1401	280,2	2789	1326,4
16.00 - 17.00	1162	1162	81	105,3	1587	317,4	3094	1584,7

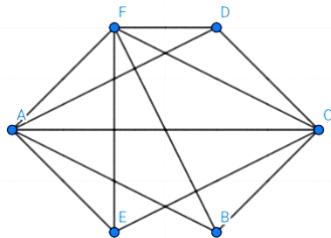
Tabel 4. Volume Kendaraan pada Jl.SM. Raja

Waktu	LV		HV		MC		Jumlah	
	emp = 1,0		emp = 1,3		emp = 0,2			
	kend	smp	kend	smp	Kend	smp	kend/jam	smp/jam
	1	2	3	4	5	6	7 = 1 + 3 + 5	8 = 2 + 4 + 6
12.00 -13.00	1170	1170	51	66,3	1517	303,4	2789	1539,7
16.00 - 17.00	677	677	83	107,9	2030	406	3094	1190,9

Rangkaian arus lalu lintas pada pertigaan Jl. SM. Raja telah di sesuaikan dengan aturan yang berlaku dan menerapkan aturan lalu lintas. Arus lalu lintas

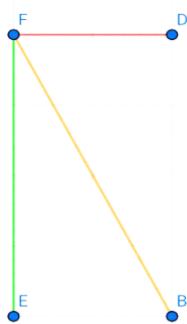
tersebut kemudian diubah menjadi graf kompatibel. Graf kemudian dibentuk dengan garis yang terhubung dengan simpul sebagai penghubung.

Garis-garis yang kompatibel menunjukkan bahwa hubungan dua atau lebih arus lalu lintas dapat berjalan dengan baik, aman dan tidak menimbulkan masalah di pertigaan. Graf kompatibel pertigaan Jl. SM. Raja dapat dibentuk seperti gambar berikut.



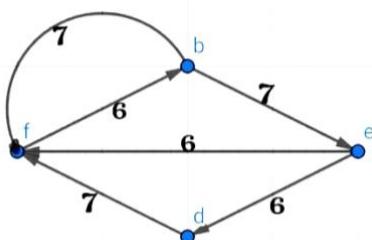
Gambar 2. Graf Kompatibel untuk Pertigaan Jl. SM. Raja

Graf kompatibel berikut dapat disederhanakan, untuk memperoleh fase yang akan dihitung waktu tunggu total bagi kendaraannya.



Gambar 3. Graf Kompatibel yang disederhanakan

Selanjutnya, graf kompatibel yang sudah disederhanakan kemudian diganti menjadi graf ganda berarah berbobot dengan pemberian bobot nilai berdasar pada pengasumsian. Sehingga graf ganda berarah berbobot untuk pertigaan Jl. SM. Raja dapat dimodelkan seperti pada gambar.



Gambar 4. Graf berarah berbobot untuk pertigaan Jl. SM. Raja

Untuk mengoptimalkan waktu antrian total pada pertigaan Jl. SM. Raja dengan menerapkan metode Webster. Untuk menghitung waktu Antrian yang optimal, terlebih dahulu menentukan:

1. Waktu pada lampu kuning (R) = 5 detik
2. Perhitungan arus jenuh pada setiap jalan :

$$S = 525 \times w \text{ smp/jam}$$

Dimana:

S : Arus jenuh

w : Lebar jalan

Maka:

$$\text{a. Jalan Tritura } S = 525 \times 4 = 2100 \text{ smp/jam}$$

$$\text{b. Jalan Tanjung Morawa } S = 525 \times 6 = 3150 \text{ smp/jam}$$

$$\text{c. Jalan SM. Raja } S = 525 \times 5 = 2625 \text{ smp/jam}$$

3. Tingkat Arus lalu lintas pada setiap jalan

$$y = \frac{Q}{s}$$

Dimana :

y : Rasio arus normal

Q : Arus kendaraan (smp/jam) dilapangan

Maka :

a. Jalan Tritura (A) :

$$y = \frac{Q}{s} = \frac{1746}{2100} = 0,8314 \text{ smp/jam}$$

b. Jalan Tanjung Morawa (B) :

$$y = \frac{Q}{s} = \frac{1540}{3150} = 0,4889 \text{ smp/jam}$$

c. Jalan SM Raja (C) :

$$y = \frac{Q}{s} = \frac{1585}{2625} = 0,6038 \text{ smp/jam}$$

$$FR = \sum y_{\text{max}} = Y \\ = 0,8314 + 0,6038 - 0,4889 \\ = 0,9563$$

4. Waktu hilang keseluruhan (Lt) :

$$L_t = 2n + R$$

Dimana :

Lt : dilambangkan untuk jumlah jangka waktu di kurang 1 detik setiap lampu hijau
n : Banyaknya tahapan

R : Waktu yang hilang disebabkan lampu kuning

Maka :

$$L_t = 2n + R \\ = 2(2) + 5 = 9$$

Maka waktu siklus optimal yang dibutuhkan untuk persimpangan Ampelas adalah :

$$C_o = \frac{1,5L + 5}{1 - Y}$$

Dimana :

C_o : Waktu Terjadi

Y : Total y maksimal untuk semua tahap
Maka :

$$C_o = \frac{1,5 L + 5}{1 - Y} \\ = \frac{1,5(9) + 5}{1 - Y} = \frac{18,5}{0,0537} = 344,5s$$

5. Waktu lampu Hijau yang sesuai pada setiap tahapan:

Tahap (A) Jl. Tritura :
Dimana:

$$g = \frac{y(C_o - L)}{Y}$$

Maka :

$$g = \frac{0,8314(344 - 9)}{0,9463} \\ = \frac{278,519}{0,9463} = 294,3s$$

Tahap (B) Jl. SM. Raja :

$$g = \frac{0,6038(344 - 9)}{0,9463} \\ = \frac{202,273}{0,9463} = 213,7s \approx 214s$$

6. Waktu lampu merah yang efektif bagi setiap jalan, yaitu :

Tahap = Co - lampu hijau - lampu kuning.
Maka :

$$\text{Tahap (A)} = 344 - 294 - 5 = 45s$$

$$\text{Tahap (B)} = 344 - 214 - 5 = 125s$$

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan metode webster maka diperoleh waktu tunggu total yang optimum pada persimpangan Jl. SM. Raja adalah sebagai berikut.

Tabel 5. Rasio waktu lampu lalu lintas di pertigaan Jl. SM. Raja

Persimpangan	Waktu nyala lampu yang telah ditetapkan				Waktu nyala lampu dengan Metode Webster			
	Merah (detik)	Kuning (detik)	Hijau (detik)	Total Waktu	Merah (detik)	Kuning (detik)	Hijau (detik)	Total Waktu
Jl. Tritura	145	3	105	253	45	5	294	344
Jl. Tanjung Morawa	156	3	120	279	45	5	294	344
Jl. SM. Raja	120	3	87	210	125	5	214	344

Dari hasil pengamatan langsung dilapangan menunjukkan bahwa pada Jl. Tritura memperoleh lampu hijau yang lebih cepat dibandingkan dengan simpang jalan yang lain. Jumlah kendaraan yang padat, dan lebar jalan yang lebih kecil menyebabkan sering terjadi kemacetan pada jalan tersebut. Untuk itu, dengan penerapan model graf dan metode *webster* memberikan hasil kejadian yang optimum dengan semua tahap yang memperoleh waktu 344s. Dengan waktu yang optimum tersebut menghasilkan peningkatan waktu nyala lampu lalu lintas bagi jalan yang ramai akan kendaraan dan mengurangi waktu nyala lampu merah karena belum dapat berjalan dengan optimal pada pertigaan Jl. SM. Raja.

graf ganda berarah berbobot. Penerapan metode *webster* dalam mengoptimalkan waktu antrian total pada arus lalu lintas di pertigaan jalan SM. Raja memberikan hasil siklus total waktu yang telah optimal dengan semua tahap diberikan waktu selama 344 s. Pada Jl. Tritura menghasilkan waktu nyala lampu hijau selama 294 s, lampu kuning selama 5 s, dan lampu merah selama 45 s. Jl. Tanjung Morawa menghasilkan waktu nyala lampu hijau selama 294 s, lampu kuning selama 5 s dan lampu merah selama 45 s. Jl. SM. Raja menghasilkan waktu nyala lampu hijau selama 214 s, lampu kuning selama 5 s dan lampu merah selama 125 s. Maka, hasil dari metode tersebut dapat dikatakan lebih efisien dengan peningkatan waktu nyala lampu hijau yang lebih lama dibangun dengan waktu nyala lampu merahnya.

PENUTUP

SIMPULAN

Pada persimpangan jalan SM. Raja dengan memodelkan graf kompatibel menghasilkan bentuk

DAFTAR PUSTAKA

Aini, N. A. (2020). *Penerapan Graf Kompatibel Dalam Optimasi Waktu Tunggu Lampu Lalu Lintas*

Dipersimpangan Napar Kota Payakumbuh (Doctoral dissertation, Universitas Andalas).

Budianto, H., Amrullah, A., Wahidaturrahmi, W., & Arjudin, A. (2022). Optimalisasi waktu tunggu lampu lalu lintas menggunakan simulasi monte carlo di simpang lima ampenan kota mataram. *Griya Journal of Mathematics Education and Application*, 2(3), 691-699.

Chairani, C., Jaya, I., & Cipta, H. (2021). *Optimasi Waktu Tunggu Total Dengan Metode Webster dalam Mengatasi Kemacetan Lalu Lintas Persimpangan Jalan Kolonel Yos Sudarso*. FARABI: Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika, 4(2), 175-180.

Kurniawan, F. (2021). *Pengoptimalan Tingkat Pelayanan Dan Waktu Nyala Lampu Lalu Lintas Menggunakan Model M/M/1 Dan Metode Webster* (Doctoral Dissertation, Universitas Jambi).

Monalisa, M. (2024). *Penerapan Graf Kompatibel Dan Metode Webster Pada Durasi Lampu Lalu Lintas Berdasarkan Kepadatan Kendaraan Sebagai Upaya Mengurangi Kemacetan* (Doctoral dissertation, Universitas Andalas).

Nasution, F. (2020). *Traffic Light Control Menggunakan Metode Webster Pada Kasus Persimpangan Luar Kota* (Doctoral dissertation, Universitas Komputer Indonesia).

Nisa, A. K., & Muzdalifah, L. (2021). Optimasi waktu tunggu lalu lintas dengan menggunakan graf kompatibel sebagai upaya mengurangi kemacetan. *MathVision: Jurnal Matematika*, 3(1), 1-5.

Nurvaida, V. (2020). *Analisis Perbandingan Hasil Metode Webster Dan Logika Fuzzy Pada Optimasi Sistem Kendali Lalu Lintas* (Doctoral Dissertation, Institut Teknologi Kalimantan)

Sari, R. F., Cipta, H., & Munthe, E. F. (2022). Implementasi Algoritma Welch-Powell terhadap Pengaturan Lalu Lintas Persimpangan Jalan dalam Mengatasi Kemacetan. *Jurnal Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika Dan Statistika*, 3(3), 576-583.

Sendow, E. S., Sulistyaningsih, M., & Monoarfa, J. F. (2023). *Optimasi Waktu Tunggu Lampu Lalu Lintas dengan Mengaplikasikan Teori Graf dan Metode Webster*. *Journal on Education*, 6(1), 2272-2284.

Utami, W. D., Naufal DS, A., & Intan, P. K. (2020). Optimasi waktu tunggu lampu lalu lintas pada simpang lima krian-sidoarjo menggunakan algoritma welch-powell. *Jurnal Matematika*, 2(1), 1-6.