

ANALISIS PENYEBARAN KASUS COVID-19 MENGGUNAKAN GRAPH SIGNAL PROCESSING: STUDI KASUS DI KOTA KUPANG, INDONESIA

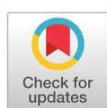
Amin A. Maggang¹, Sarlince O. Manu², Beby H. A. Manafe³, Johanis F. M. Bowakh⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana,
Jl. Adi Sucipto Penfui Kupang

Email: amin_maggang@staf.undana.ac.id, sarlince_manu@staf.undana.ac.id, bebymanafe@staf.undana.ac.id,
bowakh@staf.undana.ac.id

Info Artikel

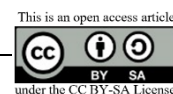
Histori Artikel:
Diterima Oct 07, 2023
Direvisi Oct 13, 2023
Disetujui Oct 30, 2023



ABSTRACT

To provide information on the spread of Covid-19 cases, the Kupang City government, East Nusa Tenggara province, has created a map of the spreading pattern of Covid-19 cases on the website of Kupang City. However, similar to most maps related to the spread of Covid-19 cases, it only provides information on the number of daily cases. Information such as sub-districts at risk of a spike in cases or sub-districts that have the potential to spread cases to other sub-districts has yet to be recorded on the web page. Therefore, this research aimed to provide an overview of techniques for analysing the spread of Covid-19 cases to obtain more critical information about its contagious pattern. This research used the Graph Signal Processing (GSP) techniques to analyse the spread of covid-19 cases with respect to the underlying graph structure of 51 sub-districts in Kupang City. Unlike other data analysis methods, GSP can process data by considering the relationship between objects, such as the distance between sub-districts. The data used in this research was the number of Covid-19 cases recorded in the sixth of March 2021. The results showed that GSP can capture the contagious pattern of Covid-19 cases in Kupang City by identifying sub-districts at risk of experiencing a spike in cases, such as the Nunleu sub-district, and the Airnona sub-district as the sources of outbreaks.

Keywords: Graph Signal Processing, Covid-19, GFT, Graph Filter



ABSTRAK

Untuk memberikan informasi penyebaran kasus Covid-19, Pemerintah Kota Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur, telah membuat peta penyebaran kasus Covid-19 melalui website pemerintah Kota. Namun, seperti kebanyakan peta terkait penyebaran kasus Covid-19, peta tersebut hanya memberikan informasi jumlah kasus harian. Informasi seperti kelurahan yang berisiko terjadi lonjakan kasus atau kelurahan yang berpotensi menyebarkan kasus ke kelurahan lain belum terdata di laman web tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran teknik analisis penyebaran kasus Covid-19 sehingga menghasilkan informasi yang lebih detail mengenai pola penularannya. Penelitian ini menggunakan teknik Graph Signal Processing (GSP) untuk menganalisis jumlah kasus Covid-19 berdasarkan struktur graph yang menghubungkan 51 kecamatan di Kota Kupang. Berbeda dengan metode data analysis yang lain, GSP mampu menganalisis data dengan mempertimbangkan relasi antara objek, dalam hal ini jarak antar kelurahan. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah kasus Covid-19 yang tercatat pada tanggal 6 bulan Maret tahun 2021. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa GSP dapat menganalisis pola penyebaran kasus Covid-19 dengan mengidentifikasi kelurahan yang berisiko tinggi mengalami lonjakan kasus, yaitu kelurahan Nunleu dan kelurahan yang menjadi sumber outbreaks adalah kelurahan Airnona.

Kata Kunci: Graph Signal Processing, Covid-19, GFT, Graph Filter

Penulis Korespondensi:

Amin A. Maggang,
Program Studi Teknik Elektro dan Fakultas Sains dan Teknik,
Universitas Nusa Cendana,
Jalan Adi Sucipto Penfui Kupang.
Email: amin_maggang@staf.undana.ac.id



1. PENDAHULUAN

Dimasa pandemi, pemerintah Kota Kupang telah berusaha untuk melakukan pendataan kasus covid-19 secara teratur dan mempublikasikannya dalam bentuk peta penyebaran pada website pemerintah Kota. Terdapat empat kategori jumlah kasus pada peta penyebaran tersebut, yaitu kategori satu dengan warna Hijau (Tidak ada Kasus aktif), kategori dua dengan warna Kuning (1-5 kasus aktif), kategori tiga dengan warna oranye (6-10 kasus aktif), dan kategori empat dengan warna Merah (lebih dari 10 kasus aktif). Namun yang belum tampak dari penyajian data tersebut adalah bagaimana jumlah kasus Covid-19 pada suatu kelurahan dapat mempengaruhi level jumlah kasus pada kelurahan yang lain.

Penelitian terdahulu yang telah dilakukan untuk menganalisa penyebaran jumlah kasus Covid-19 adalah dari bidang pemodelan matematika [1] dan statistik [2]. Meskipun berhasil dalam menganalisa penyebaran penyakit menular seperti covid-19, kedua pendekatan ini belum menganalisa bagaimana level penyebaran kasus menular di suatu lokasi (kelurahan) dapat mempengaruhi level penyebaran kasus di lokasi yang lain. Pemodelan matematika menekankan penyebaran kasus pada kontak antara individu, sedangkan pendekatan statistik menganalisa data jumlah kasus dalam bentuk *time-series* pada lokasi tertentu tanpa melihat dampak pada lokasi yang lain.

Untuk dapat melihat hubungan antara jumlah kejadian kasus covid-19 di suatu lokasi (kelurahan) terhadap lokasi yang lain, penelitian ini menggunakan metode *Graph Signal processing* (GSP) yang sudah terbukti berhasil dalam menganalisa hubungan antara data yang terhubung dalam suatu jaringan atau *graph* [3]. Dalam penelitian ini hubungan yang dimaksud adalah bagaimana kelurahan di kota kupang saling menyebarkan virus di masa pandemi.

Metode GSP sudah digunakan untuk menganalisis data pada *irregular domain* seperti *Wireless Sensor Network* [4], *Transportation Network* [5], *Power Grid* [6], *Brain Signal Analysis* [7], *image processing* [8], *Water Distribution Network* [9] dan

lain sebagainya. GSP memanfaatkan *matriks Adjacency* dan *Laplacian* sebagai *graph operator* untuk menganalisis data. Proses data dapat dilakukan dalam *frequency domain* dan *node domain*. Dalam penelitian ini analisis kasus covid pada setiap *graph* dilakukan dalam frekuensi domain menggunakan *Graph Fourier Transform* (GFT) dan *Graph Filter*.

GFT digunakan untuk mentransformasi data (jumlah kasus covid-19) *node domain* ke *frequency domain* untuk diproses oleh *Graph Filter*. Hasil filter kemudian ditransformasikan kembali oleh *inverse Graph Fourier Transform* (iGFT) ke dalam *node domain* untuk melihat bagaimana jumlah kasus pada suatu kelurahan dapat mempengaruhi jumlah kasus di kelurahan lainnya. Jika informasi ini diketahui, maka pemerintah dapat mengambil kebijakan pencegahan penyebaran kasus covid-19 dengan lebih tepat.

Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menerapkan teknik GSP untuk mendapatkan relasi antara kelurahan dalam menyebarkan virus di masa pandemi. Lebih khususnya, penelitian ini mengidentifikasi kelurahan yang bertindak sebagai sumber penyebar virus dan juga kelurahan yang berisiko tinggi mendapatkan dampak penyebaran virus tersebut.

Selanjutnya struktur penulisan artikel ini adalah sebagai berikut. Bagian 2 menjelaskan tentang metode penelitian, mencakup GFT dan *Graph Filter*. Bagian 3 menjelaskan tentang hasil dan diskusi, yaitu mencakup pembuatan *graph*, hasil analisis data interpretasi hasil filter.

2. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kasus terkonfirmasi covid-19 harian pada 51 kelurahan di Kota Kupang pada tanggal 6 bulan Maret tahun 2021. Selain itu data lokasi antara kelurahan juga digunakan untuk membangun *graph* atau jaringan yang menghubungkan 51 kelurahan di Kota Kupang.

Prosedur penelitian dilakukan secara umum dalam tiga tahapan berikut:



Gambar 1 Tahapan Penelitian

2.1 Konstruksi Graph

Pada proses input, *Graph* dikonstruksikan menggunakan persamaan algoritma *k-nearest neighbour* (k-nn) dan *Gaussian Weighting Function Threshold*.

$$W_{ij} = \begin{cases} \exp\left(-\frac{[dist(i,j)]^2}{2\theta^2}\right) & , \text{Jika } dist(i,j) \geq k, \\ 0 & , \text{yang lainnya} \end{cases} \quad (1)$$

Dimana *k* adalah *threshold* dan θ adalah parameter bandwidth (scale). *W* digunakan untuk memberikan bobot pada *edge* yang menghubungkan *nodes*. Untuk detail penjelasan persamaan ini dapat dilihat pada [10]. Sebelum dilakukan pembobotan, algoritma *k-nearest neighbour* [11] juga digunakan untuk menentukan bagaimana *node* atau kelurahan saling terhubung berdasarkan lokasi koordinat kelurahan. Dalam penelitian ini *k* yang digunakan adalah 2. GSPBox [12] toolbox pada matlab yang memiliki *library* dari kedua fungsi tersebut digunakan dalam penelitian ini untuk mengkonstruksi *graph*.

2.2 Graph Fourier Transform (GFT)

GFT merupakan *tools* yang memungkinkan sinyal direpresentasikan secara sama dalam dua domain yang berbeda, *node* domain yang terdiri dari *nodes* *V*, dan frekuensi domain dari *graph* terdiri dari eigenvalues dan basis spectral dari *Graph*, yaitu eigenvectors [13]. Oleh karena itu sinyal dapat dimanipulasi dalam domain frekuensi untuk melihat perbedaan level interaksi antara *nodes* tetangga dalam jaringan.

Konsep GFT dapat dipahami melalui dekomposisi fungsi eigen dari kombinatorial *graph Laplacian* *L*. Untuk mendefinisikan GFT, *L* didekomposisi menjadi $L = U\Lambda U^T$ [14], [15]. Dimana $\Lambda := diag(\lambda_1, \dots, \lambda_N)$ melambangkan matriks diagonal dari nilai *eigen non-negative Laplacian* dan $U := [u_1, \dots, u_N]$ merupakan orthonormal matriks eigenvectors. Dengan demikian GFT dari suatu sinyal *x* dengan berdasarkan pada kombinatorial *graph laplacian* *L* adalah sinyal $\tilde{x} = [\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_N]^T$ didefinisikan sebagai:

$$\tilde{x} = U^T x \quad (2)$$

Inverse iGFT dari \tilde{x} dituliskan sebagai berikut

$$x = U\tilde{x} \quad (3)$$

yang mana suatu proses inverse yang tepat oleh karena sifat ortogonalitas dari *U*.

2.3 Graph Filter

GFT memungkinkan proses filter terjadi dalam domain frekuensi. Eigenvalues dari Laplacian adalah

frekuensi *graph* dan eigenvectornya adalah basis frekuensi [16]. Low-pass filter dapat didesain dengan mengisolasi eigenvalues terendah N_L dan eigenvector nya. Mendefinisikan suatu operasi spektral $\tilde{x}_L = \tilde{H}_L \tilde{x}$, dimana $\tilde{H}_L = diag(\tilde{h}_L)$ dan $\tilde{h}_{L,n} = I\{n < N_L\}$ ($I\{\cdot\}$ adalah fungsi indikator).

Hal ini sama dengan operasi konvolusi pada vertex domain berikut:

$$x_L = U\tilde{x}_L = U\tilde{H}_L\tilde{x} = U\tilde{H}_L U^T x = H_L x \quad (4)$$

Dimana $H_L = U\tilde{H}_L U^T$ adalah low-pass *graph* filter. Selain H_L , *graph* band-pass filter H_M dan *High Pass Filter* H_H juga dapat didefinisikan dengan cara yang sama. Lebih detail penjelasan desain filter ini dapat dilihat pada [7].

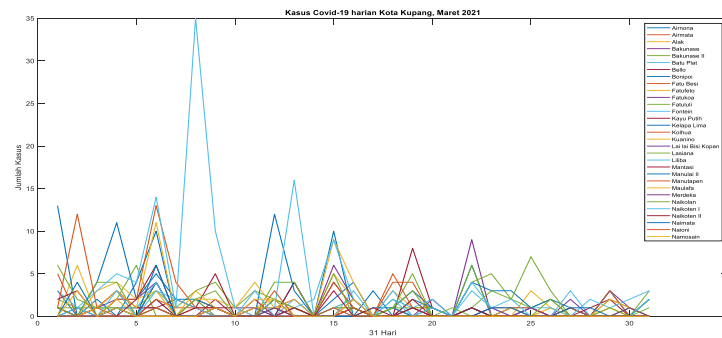
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui Kelurahan yang berpotensi terjadi wabah (berisiko tinggi) dan kelurahan yang menjadi sumber penyebaran kasus Covid-19 di Kota Kupang, algoritma k-nn dan fungsi pembobotan pada persamaan (1) digunakan untuk mengonstruksi *graph* terlebih dahulu. *Graph* ini kemudian direpresentasikan dalam matriks *L*. Kemudian data jumlah kasus Covid-19 terlebih dahulu ditransformasikan ke dalam domain frekuensi menggunakan *Graph Fourier Transform* (GFT) dan selanjutnya dapat diproses *Graph Filter*, yaitu H_L , H_M , dan H_H .

Setelah melewati proses filter, data pada *frequency domain* ini diubah kembali ke *node* domain dengan menggunakan *inverse* iGFT sehingga diperoleh besaran sinyal yang dihasilkan dari tiga proses filter yang berbeda. Hasil yang diperoleh dapat memberikan informasi mengenai pola penyebaran kasus Covid, kelurahan yang berpotensi terjadi *outbreak*, dan wilayah yang menjadi sumber penyebaran virus.

3.1 Pembuatan Graph

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah kasus harian Covid-19 pada tanggal 6 Maret 2021, dimana jumlah kasus harian Covid-19 di kota Kupang mencapai angka yang tinggi. Sumber data penelitian ini berasal dari Dinas Kesehatan Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur, Indonesia. Gambar 2 menunjukkan jumlah kasus harian yang digambarkan dalam grafik *time-series*.



Gambar 2 Time-series Kasus covid-19 Harian di Kota Kupang

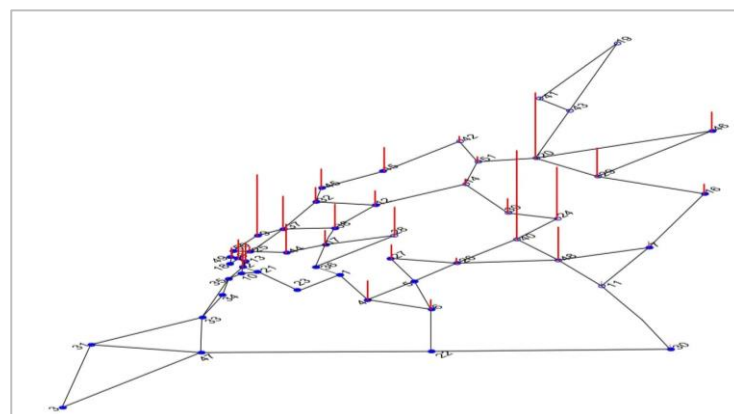


Gambar 3 51 Lokasi 51 Kelurahan di Kota Kupang

Koordinat lokasi dari 51 kecamatan diperoleh dengan menggunakan aplikasi *Google Earth*. Agar model jaringan dapat menggambarkan pola sebaran kasus, maka dipilih koordinat lokasi 51 kelurahan berdasarkan kepadatan rumah warga.

Berdasarkan jumlah kasus harian Covid-19 dan lokasi kecamatan di Kota Kupang, selanjutnya dibuat grafik menggunakan jarak geodesik antar kecamatan dengan bobot menggunakan persamaan (1). Koordinat setiap

kecamatan di masukkan pada persamaan (1) untuk menentukan interkoneksi antara *node*. Algoritma k-nn dengan $k = 2$ kemudian digunakan untuk membuat grafik. Dengan demikian setiap kecamatan bisa menyebarkan dan menerima penyebaran virus Covid-19 setidaknya dari dua kecamatan yang bertetangga. Grafik yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4, yang adalah *graph* dan jumlah data kasus covid-19 pada tanggal 6 Maret 2021.



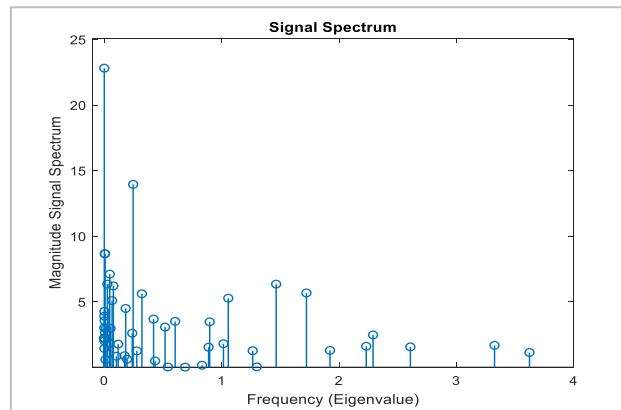
Gambar 4 Graph Signal (day 6th)

Gambar 4 menampilkan sinyal (jumlah kasus covid-19) pada *graph*. Jumlah data ditunjukkan dengan

garis merah vertikal berskala pada setiap *node* yang adalah merupakan kelurahan di kota Kupang.

Berdasarkan *graph* tersebut, matriks Laplacian (L) kemudian dibentuk dengan terlebih dahulu membentuk *weighted Adjacency matrix* (W) dan *Degree matrix* (D) yang adalah matriks yang diagonalnya adalah jumlah edges yang terhubung ke *node* tertentu dan elemen yang lainnya adalah nol[15]. Matriks L kemudian didekomposisi untuk menghasilkan eigenvalues yaitu pada diagonal diagonal ($0 < \lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_{max}$), yang merupakan

frekuensi, dan eigenvectors [u_1, \dots, u_n] yang adalah basis frekuensi tersebut dalam vektor kolom matriks U . Karena matrix L adalah positif *semi-definite*, eigenvalues adalah bilangan riil dan bernilai positif atau lebih besar sama dengan nol. Nilai λ dan U kemudian digunakan pada GFT untuk mentransformasikan *signal* pada *graph* ke dalam domain frekuensi dengan menggunakan (2). Hasil transformasinya adalah sebagai berikut:

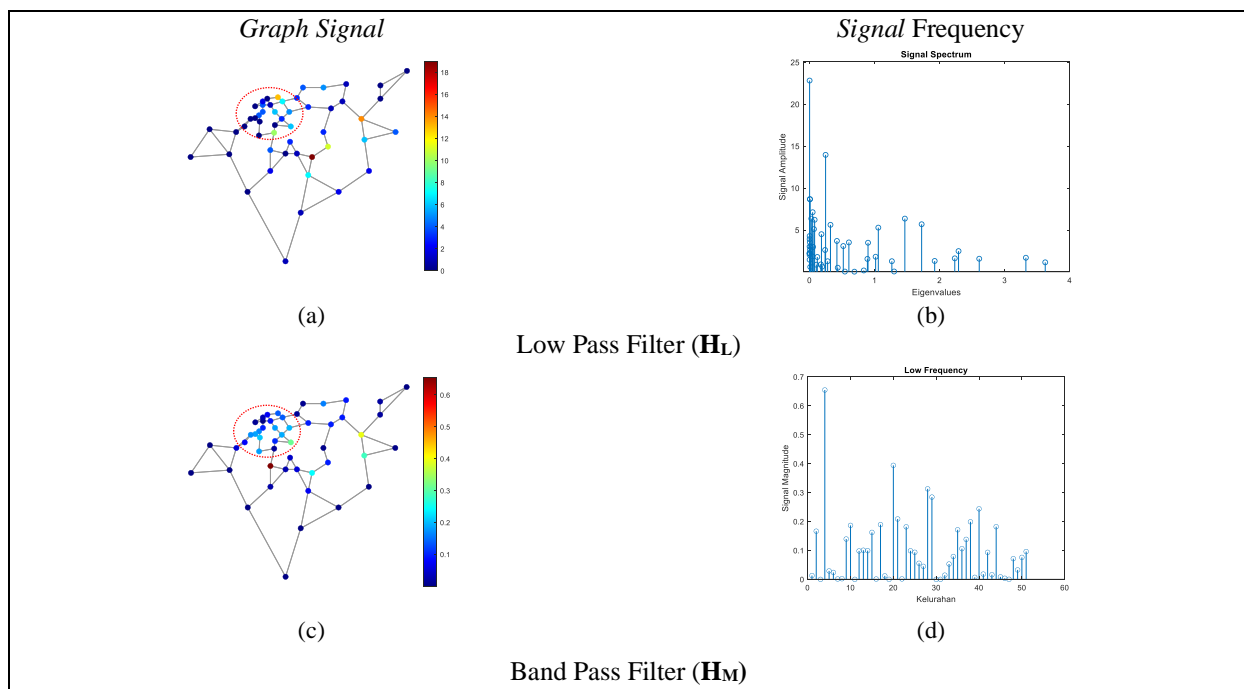


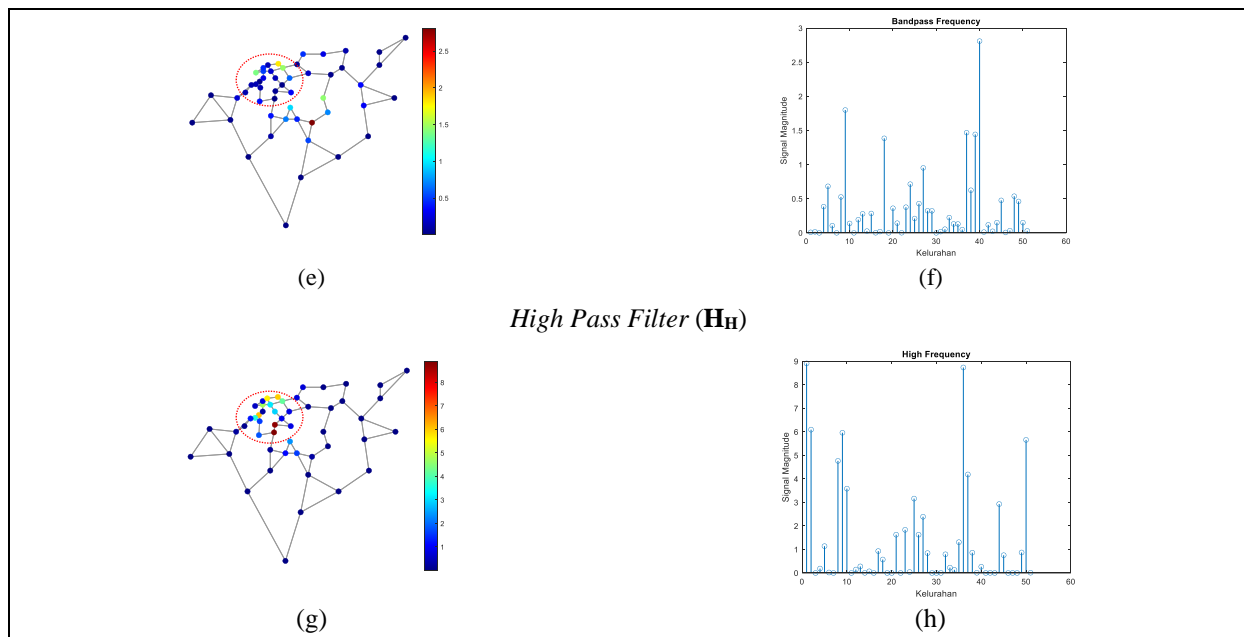
Gambar 5 Spektrum Graph Signal

Spektrum *signal* menunjukkan bahwa jumlah kasus covid-19 di setiap kelurahan cenderung mirip jumlahnya berdasarkan interkoneksi struktur *graph*nya. Hal ini karena *magnitude* spektrum paling tinggi berada pada frekuensi rendah. Proses selanjutnya adalah proses untuk melakukan proses filter menggunakan H_L , H_M , dan H_H seperti yang sudah dijelaskan pada bagian 2.3.

3.2 Hasil Filter

Bagian ini menjelaskan hasil filter *signal* yang mana *magnitude* nya ditampilkan dalam range warna dan dalam amplitude pada setiap *node*. Hasil ini yang kemudian digunakan untuk menganalisa pola penyebaran kasus Covid-19 di 51 kelurahan di Kota Kupang. Gambar 6 adalah gambar *Signal* dan spektrum sebelum difilter dan hasil filter dari ketiga jenis filter. Gambar diplot menggunakan GSPBox.





Gambar 6 Hasil Filter

Gambar 6 (a) dan (b) merupakan *signal* pada *node* domain dan *frequency domain*. Dapat dilihat bahwa jumlah kasus dari kelurahan yang saling bertetangga cenderung sama berdasarkan struktur *graph*-nya. Selain itu amplitudo *signal* dalam *frequency domain* juga sangat tinggi pada low frequency. Gambar 6 (a) menunjukkan bahwa pada *node*-40 (Oepura) terdapat 19 jumlah kasus covid-19. Tiga *node* tetangganya adalah *node*-48 (Sikumana) dengan 7 kasus, *node*-26 (Naikolan) dengan satu kasus, dan *node*-24 (Maulafa) dengan sebelas kasus. Gambar (c) - (d), (e) - (f), dan (g)-(h) merupakan pasangan *signal* dan *magnitude signal* setelah melewati proses Filter H_L , H_M , dan H_H . Jika dibandingkan hasil dari ketiga jenis filter gambar (c), (e), dan (g) terhadap *signal* asli sebelum difilter yaitu gambar (a), dapat dilihat bahwa *magnitude signal* hasil filter H_L gambar (c) adalah *signal* yang lebih *smooth* (jumlah kasus cenderung memiliki warna yang sama), misalnya pada *node* yang diberi lingkaran merah. Berbeda dengan *signal* setelah difilter dengan H_H gambar (g), pada bagian *nodes* yang sama (khususnya lingkaran merah) menunjukkan nilai yang sangat berbeda satu dengan yang lain. Sama halnya dengan hasil filter H_M gambar (e), nilai *signal* dari *nodes* yang sama (di dalam lingkaran merah) juga menunjukkan perbedaan, meskipun tidak sangat signifikan seperti yang ditunjukkan oleh hasil filter H_H .

Hal ini sesuai dengan konsep Low Pass Filter, Band Pass Filter dan High Pass Filter. Jika Low Pass Filter membuat nilai *signal* antara *node* tetangga (saling terhubung satu hop) menjadi *smooth* (kurang bervariasi), Band pass Filter dan High Pass Filter

sebaliknya akan menunjukkan perbedaan atau *high variability* antara *signal* pada *node* yang saling bertetangga. Dalam hal ini High Pass Filter akan menghasilkan nilai *signal* sangat berbeda antara *node* yang saling terhubung jika dibandingkan dengan Band Pass Filter.

3.3 Analisis Signal Hasil Filter

Pada bagian ini hasil ketiga jenis filter dianalisis dan kemudian hasilnya digunakan untuk diinterpretasi dalam penyebaran kasus Covid-19.

3.3.1 Analisis magnitude signal Low Pass Filter H_L

Nilai *signal* pada *graph* yaitu gambar-6(a), menunjukkan bahwa *node*-4 (Bakunase) yang memiliki empat kasus dan *node* tetangganya, yaitu *node* 1 (Airona), *node*-5 (Bakunase II), dan *node*-6 (Batu Plat) memiliki berturut-turut jumlah kasus 10, 2, dan 0 kasus. Namun jika dilihat *magnitudenya* pada Gambar 6-(d), *node*-4 lah yang memiliki *magnitude* tertinggi dibanding dengan *node*-1. Hal ini karena *node* tetangga dari *node*-4 memiliki jumlah kasus yang hampir sama. Sedangkan *node*-1 memiliki *node* tetangga di sekelilingnya yang jumlah kasusnya berbeda lebih signifikan terhadap jumlah kasus *node*-1. Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa *node*-1 bertetangga dengan *node*-4 dengan 4 kasus, *node*-27 dengan 3 kasus, *node*-36 dengan 0 kasus. Dengan demikian ketika difilter dengan Low Pass Filter, *magnitude node*-4 jauh lebih tinggi dari *magnitude node*-1. Sedangkan ketika difilter

dengan *High Pass Filter*, *node-1* memiliki *magnitude* yang tinggi – gambar (h).

3.3.2 Analisis *magnitude signal High Pass Filter* H_H

Untuk menganalisis *magnitude signal* H_H , kita dapat mengambil contoh pada *node-1* (Airnona) dan *node-36* (Nunleu). Kedua kelurahan ini memiliki jumlah kasus yang sangat berbeda dari kelurahan tetangganya. Oleh karena itu kedua kelurahan memiliki nilai *magnitude* yang tinggi setelah diproses dengan H_H . Gambar 6-(h) menunjukkan bahwa jumlah kasus pada *node-1* adalah sepuluh dan *node* tetangganya, *node-4* (Bakunase) dengan 4 kasus, serta *node-23* (Manutapen) dan *node-36* (Nunleu) adalah 0 kasus. *Node-36* juga memiliki *magnitude* yang sangat tinggi karena *node* tetangganya *node-1* (Airnona), *node-17* (Kuanino), dan *node-28* (Naikoten II) memiliki jumlah kasus yang sangat tinggi dibandingkan dengan *node-36* itu sendiri.

Berdasarkan data pada Gambar 4, *node-36* memiliki 0 kasus, sedangkan *node* tetangganya masing-masing memiliki 10 kasus untuk *node-1*, 3 kasus untuk *node-17*, dan 6 kasus untuk *node-28*. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa hasil H_H mengkonfirmasi perbedaan jumlah kasus antara *node* tertentu atau antara satu kelurahan dengan tetangganya. Sehingga, meskipun jumlah kasus pada *node-36* adalah 0 kasus, *node* ini memiliki *magnitude* yang tinggi setelah melewati proses H_H karena *node* tetangganya memiliki jumlah kasus yang tinggi atau sangat berbeda dengan jumlah kasus pada *node-36* itu sendiri.

Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [17] dalam menganalisis pola penyebaran kasus covid-19 di United States. Mereka menemukan bahwa jika jumlah kasus pada suatu *node* sangat tinggi sedangkan *node* tetangganya memiliki jumlah kasus yang sangat sedikit, maka setelah proses H_H , *node* dengan jumlah kasus yang paling banyak akan sangat tinggi *magnitude* sinyalnya. Jika pada penelitian oleh [17] mendapatkan *magnitude* yang tinggi pada jumlah kasus yang paling besar, penelitian kami menemukan bahwa *magnitude* tertinggi bisa juga terjadi pada *node* atau kelurahan yang memiliki jumlah kasus paling sedikit. Hal ini karena *node* dengan jumlah kasus yang sedikit ini menjadi anomali dari *node* di sekitarnya. Sama seperti yang ditemukan oleh penulis [17] bahwa suatu *node* (kota) yang jumlah kasus sangat tinggi menjadi anomali terhadap beberapa kota yang memiliki jumlah kasus cenderung sama yang terhubung

langsung dengan kota yang memiliki jumlah tinggi tersebut.

3.3.3 Analisis *magnitude signal Band Pass Filter* H_M

Selanjutnya untuk menganalisa *magnitude* sinyal setelah proses H_M , kami menggunakan *node-40* (Oepura) sebagai contoh. Gambar 4 menunjukkan bahwa *node-40* memiliki jumlah kasus tertinggi, yaitu 19 kasus. *Node* tetangga yaitu *node-24*, *node-26*, dan *node-48* berturut-turut adalah 1, 7, dan 11 kasus. Meskipun kelurahan Oepura memiliki jumlah kasus yang tinggi, ketika difilter dengan H_H *magnitude* sinyalnya tidak besar bahkan nilai *magnitude* nya hampir menjadi nol seperti ditunjukkan pada gambar (h). Sama halnya ketika difilter dengan H_L , *magnitude node-40* juga rendah namun masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil H_H . Nilai *magnitude node-40* mencapai nilai tertinggi ketika difilter dengan H_M .

Hal yang sama juga terjadi pada *node-9* (Fatubesi) yang memiliki amplitude kedua tertinggi setelah *node-40*. Jumlah kasus pada *node-9* adalah 13 kasus, sedangkan *node* tetangga yang langsung terhubung kepadanya adalah *node-37* (Oeba) dan *node-50* (Tode Kisar) berturut-turut adalah 7 dan 0 kasus. Jika dilihat pada hasil H_L pada Gambar 6-(d), *magnitude node-9* sangat kecil dibandingkan dengan *magnitude node-9* pada hasil filter High Pass – gambar (h). *Node-9* juga memiliki *magnitude* yang tinggi pada hasil filter H_H karena ada *node* tetangga yang memiliki jumlah kasus nol, yang membuat ada perbedaan sinyal. Secara keseluruhan, H_M mampu untuk mengidentifikasi *node* yang selisih jumlah kasusnya tidak terlalu berbeda secara signifikan dengan *node* tetangganya.

3.4 Interpretasi Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis pada bagian 3.3, dapat diinterpretasikan bahwa kelurahan yang memiliki *magnitude* yang tinggi setelah proses H_L cenderung memiliki pola penyebaran kasus yang sama dengan kelurahan tetangga. Hal ini dapat dikatakan bahwa ketersebaran kasus covid-19 di sekitar kelurahan tersebut adalah sama. Kelurahan Bakunase adalah salah satu contohnya, seperti yang telah dijelaskan pada bagian 3.5.1. Sedangkan untuk *magnitude* yang tinggi yang dihasilkan oleh H_H pada suatu kelurahan menunjukkan bahwa jumlah kasus di sekitar kelurahan tersebut sangat berbeda dengan jumlah kasus pada kelurahan dengan *magnitude* yang tinggi tersebut.

Analisis pada bagian 3.3.2 menunjukkan bahwa kelurahan Airnona dan kelurahan Nunleu adalah daerah yang jumlah kasusnya berbeda dengan kelurahan sekitarnya. Nunleu memiliki jumlah kasus nol pada hari ke-6 bulan maret 2021.

Sedangkan kelurahan di sekitarnya yaitu kelurahan Airnona, Kuanino, dan Naikoten II, memiliki jumlah kasus berturut-turut 10, 3 dan 6 kasus. Hal ini dapat diinterpretasikan bahwa *node-36* (Nunleu) ini adalah *node* yang berisiko tinggi untuk mendapatkan sebaran virus covid-19 karena dikelilingi oleh kelurahan dengan jumlah kasus yang besar.

Demikian juga dengan kelurahan yang memiliki *magnitude* sinyal yang tinggi setelah diproses oleh H_M . Hal ini dapat diinterpretasikan bahwa kelurahan tersebut memiliki kelurahan tetangga yang jumlah kasusnya berbeda namun tidak signifikan dengan jumlah kasus pada kelurahan yang dimaksud. Analisis pada bagian 3.3.3 menunjukkan bahwa kelurahan Oepura dengan 19 kasus adalah kelurahan yang jumlah kasus yang berbeda tapi tidak signifikan dari kelurahan tetangganya, yaitu kelurahan Maulafa dengan 11 kasus, kelurahan Sikumana 7 kasus, dan Naikolan 1 kasus.

Tabel 1 Kemiripan Jumlah kasus antara kelurahan tetangga

Mirip	Tidak Mirip	Sangat Tidak Mirip
Bakunase - 4	Oepura – 40	Airnona – 1
Liliba - 20	Fatu Besi – 9	Nunleu – 36
Naikoten II - 28	Lai-lai Bisi	
Naimata - 29	Kopan – 18	
	Oeba – 37	
	Oebobo – 38	

Berdasarkan analisis, kita dapat mengategorikan kelurahan dengan pola jumlah kasus yang Mirip, Tidak Mirip, dan sangat Tidak Mirip dengan kelurahan tetangganya seperti yang ditampilkan pada **Tabel 1**. Kelompok yang Mirip adalah hasil proses H_L , Kelompok Tidak Mirip adalah hasil proses H_M , Kelompok Sangat Tidak Mirip adalah hasil proses H_H . Kelurahan yang jumlah kasusnya sangat tidak mirip, yaitu hasil proses H_H memberikan informasi tentang kelurahan yang menjadi sumber penyebaran kasus covid-19 dan juga kelurahan yang berisiko tinggi terjadi lonjakan kasus. Dalam hal ini kelurahan Airnona adalah kelurahan yang menjadi sumber penyebaran virus karena jumlah kasusnya sangat tinggi dibandingkan dengan kelurahan tetangganya. Selain itu kelurahan Nunleu adalah kelurahan yang berisiko tinggi akan terjadi *outbreak* karena berbatasan langsung dengan kelurahan yang tinggi jumlah kasusnya. Kelurahan yang jumlah kasusnya mirip dapat diinterpretasikan bahwa kelurahan tersebut memiliki laju penyebaran kasus yang sama. Oleh karena itu penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa GSP mampu mempelajari pola penyebaran jumlah kasus covid-19. GSP dapat juga digunakan untuk menganalisis

pola penyebaran *infectious diseases* lainnya. Lebih daripada itu, dengan adanya hasil ini, pemerintah Kota Kupang dapat memberikan informasi yang lebih detail kepada masyarakat tentang perkembangan penyebaran kasus covid-19 dan sekaligus dapat mengambil kebijakan yang tepat dalam menahan laju penyebaran penyakit menular seperti covid-19 tersebut.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil menunjukkan bahwa metode *Graph Signal Processing* (GSP) mampu digunakan untuk menganalisis pola penyebaran kasus Covid-19 di kota Kupang dan menentukan kelurahan yang memiliki sebaran kasus yang sama, berbeda, dan sangat berbeda. Sebaran kasus yang sama dapat dilihat dari hasil Low Pass Filter, kasus yang berbeda dapat dilihat dari hasil Band Pass Filter, dan kasus yang berbeda secara signifikan dapat dilihat dari hasil *High Pass Filter*. Selain itu *High Pass Filter* juga mengidentifikasi kelurahan yang berisiko untuk terjadi lonjakan kasus karena kelurahan tersebut dikelilingi oleh kelurahan dengan jumlah kasus yang tinggi. Dalam penelitian ini kelurahan Nunleu adalah daerah yang berisiko terjadi lonjakan kasus, sedangkan kelurahan Airnona yang dapat menyebarkan kasus ke kelurahan lain karena memiliki jumlah kasus yang tinggi dibandingkan dengan jumlah kasus dari kelurahan di sekitarnya. Dengan demikian *Graph Signal Processing* (GSP) yang merupakan pengembangan dari *signal processing* tradisional mampu digunakan untuk membantu menganalisis pola penyebaran jumlah kasus Covid-19.

UCAPAN TERIMKASIH

Penulis berterimakasih kepada Dinas Kesehatan Pemerintah Kota Kupang atas data yang telah diberikan untuk digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Riquelme, A. Aguilera, and A. Inostrosa-Psijas, "Contagion modeling and simulation in transport and air travel networks during the COVID-19 pandemic: a survey," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 149529–149541, 2021.
- [2] M. Maleki, M. R. Mahmoudi, M. H. Heydari, and K.-H. Pho, "Modeling and forecasting the spread and death rate of coronavirus (COVID-19) in the world using time series models," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 140, p. 110151, 2020.
- [3] L. Stanković, M. Daković, and E. Sejdić, "Introduction to graph signal processing," in *Vertex-Frequency Analysis of Graph Signals*, Springer, 2019, pp. 3–108.

- [4] J. Feng, F. Chen, and H. Chen, "Data reconstruction coverage based on *graph signal* processing for wireless sensor networks," *IEEE Wirel. Commun. Lett.*, vol. 11, no. 1, pp. 48–52, 2021.
- [5] D. M. Mohan, M. T. Asif, N. Mitrovic, J. Dauwels, and P. Jaillet, "Wavelets on *graphs* with application to transportation networks," in *17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2014, pp. 1707–1712.
- [6] R. Ramakrishna and A. Scaglione, "Grid-*graph signal* processing (grid-GSP): A *graph signal* processing framework for the power grid," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 69, pp. 2725–2739, 2021.
- [7] L. Goldsberry, W. Huang, N. F. Wymbs, S. T. Grafton, D. S. Bassett, and A. Ribeiro, "Brain *signal* analytics from *graph signal* processing perspective," in *2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2017, pp. 851–855.
- [8] V. K. Sharma, D. K. Srivastava, and P. Mathur, "Efficient image steganography using *graph signal* processing," *IET Image Process.*, vol. 12, no. 6, pp. 1065–1071, 2018.
- [9] X. Zhou, S. Liu, W. Xu, K. Xin, Y. Wu, and F. Meng, "Bridging hydraulics and *graph signal* processing: A new perspective to estimate water distribution network pressures," *Water Res.*, vol. 217, p. 118416, 2022.
- [10] X. Dong, D. Thanou, P. Frossard, and P. Vandergheynst, "Learning Laplacian matrix in *smooth graph signal* representations," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 64, no. 23, pp. 6160–6173, 2016.
- [11] K. Taunk, S. De, S. Verma, and A. Swetapadma, "A brief review of nearest neighbor algorithm for learning and classification," in *2019 international conference on intelligent computing and control systems (ICCS)*, 2019, pp. 1255–1260.
- [12] N. Perraudin *et al.*, "GSPBOX: A toolbox for *signal* processing on *graphs*," *arXiv Prepr. arXiv1408.5781*, 2014.
- [13] B. Ricaud, P. Borgnat, N. Tremblay, P. Goncalves, and P. Vandergheynst, "Fourier could be a data scientist: From *graph* Fourier transform to *signal* processing on *graphs*," *Comptes Rendus Physique*, vol. 20, no. 5, 2019, doi: 10.1016/j.crhy.2019.08.003.
- [14] J. Domingos and J. M. F. Moura, "*Graph* Fourier transform: A stable approximation," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 68, pp. 4422–4437, 2020.
- [15] A. Ortega, *Introduction to graph signal processing*. Cambridge University Press, 2022.
- [16] L. Stankovic, D. P. Mandic, M. Dakovic, I. Kisil, E. Sejdic, and A. G. Constantinides, "Understanding the basis of *graph signal* processing via an intuitive example-driven approach [lecture notes]," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 36, no. 6, pp. 133–145, 2019.
- [17] Y. Li and G. Mateos, "*Graph* frequency analysis of COVID-19 incidence to identify county-level contagion patterns in the United States," in *ICASSP 2021-2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2021, pp. 3230–3234.