



SURAT PERJANJIAN
PELAKSANAAN BANTUAN DANA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
SUMBER DANA DIPA BLU-PNBP FAKULTAS MIPA TAHUN 2021

Nomor: 2024/UN17.7/LT/2021
Tanggal 18 Agustus 2021

Pada hari ini **Rabu** tanggal **Delapan Belas** Bulan **Agustus** Tahun **Dua Ribu Dua Puluh Satu**, kami yang bertanda tangan di bawah ini, masing-masing :

1. Nama : **Dr. Eng. Idris Mandang, M.Si**
NIP : 19711008 199802 1 001
Jabatan : Dekan
Instansi : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman
Alamat : Jalan Barong Tongkok No. 4 Kampus Gunung Kelua, Samarinda

Dalam hal ini bertindak dan atas nama kelembagaan tersebut di atas, yang berkedudukan di Samarinda, selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**.

2. Nama : **Fidia Deny Tisna Amijaya, S.Si., M.Si**
3. NIP : 19880201 201504 1 003
4. NIDN/NIDK : 0001028804
5. Jabatan : Ketua Tim/ Dosen Jurusan Matematika
Fakultas MIPA Universitas Mulawarman
- Alamat : Jalan Barong Tongkok No. 4 Kampus Gunung Kelua Samarinda

Sebagai Ketua Tim Peneliti dalam hal ini bertindak dan atas nama sendiri yang berkedudukan di Samarinda, selanjutnya disebut sebagai **PIHAK KEDUA**.

Dasar Pelaksanaan Pekerjaan :

1. Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003, tentang Sistem Pendidikan Nasional;
2. Undang-Undang RI Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
3. Peraturan Pemerintah RI Nomor 37 Tahun 2009 tentang Dosen;
4. Peraturan Pemerintah RI Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi;
5. Peraturan Pemerintah RI Nomor 13 Tahun 2015 tentang Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi;
6. Peraturan Menteri Keuangan RI Nomor 32/PMK.02/2018 tentang Standar Biaya Masukan Tahun Anggaran 2019;
7. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 9 Tahun 2015 tentang Organisasi dan Tata Kerja Universitas Mulawarman sebagaimana diubah dengan Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 26 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 9 Tahun 2015 tentang Organisasi dan Tata Kerja Universitas Mulawarman;

8. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Nomor 57 Tahun 2018 tentang Statuta Universitas Mulawarman;
9. Keputusan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 661/M/KTP.KP/2018 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Rektor Universitas Mulawarman Periode Tahun 2018-2022;
10. Surat Keputusan Rektor Nomor 99/PG/2009, tentang Pedoman Pelaksanaan Pengelolaan Penelitian di lingkungan Universitas Mulawarman Sumber Dana dan Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi;
11. Peraturan Rektor Universitas Mulawarman Nomor 06 Tahun 2018 tentang Penyelenggaraan Pendidikan dan Pengajaran, Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat;
12. Keputusan Rektor Universitas Mulawarman Nomor 2414/KP/2018 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman Periode 2018-2022.
13. Surat Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman Nomor 1101/UN17.7/PP/2021 tanggal 26 Juli 2021 tentang Permohonan Penyampaian Informasi Kegiatan Skim Pembiayaan Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Tahun Anggaran 2021;
14. Surat Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman Nomor 2012/UN17.7/TU/2021 tanggal 16 Agustus 2021 perihal Permohonan Penerbitan Surat Keputusan Rektor Universitas Mulawarman tentang Penetapan Penerima Dana Bantuan Biaya Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Bagi Tenaga Pendidik di Lingkungan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman Tahun 2021;
15. DIPA BLU-PNBP FMIPA Universitas Mulawarman Tahun 2021.

Kedua belah pihak, bersama ini menyatakan setuju dan sepakat untuk mengikat diri dalam Surat Perjanjian Pelaksanaan Bantuan Dana Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat di lingkungan Fakultas MIPA Universitas Mulawarman, dengan ketentuan dan syarat-syarat berikut :

Pasal 1 TUGAS PEKERJAAN

PIHAK PERTAMA memberikan tugas kepada PIHAK KEDUA dan PIHAK KEDUA menerima tugas tersebut untuk melaksanakan pekerjaan Penelitian dengan judul : **Pengembangan *Geographically Temporally Weighted Regression* Dengan Fungsi Jarak *Improved Spatial-Timeseries* Dan Aplikasi Pemodelan Covid-19 Di Kalimantan Timur.**

Pasal 2 ANGGARAN PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

Pembiayaan Kegiatan Penelitian : **Pengembangan *Geographically Temporally Weighted Regression* Dengan Fungsi Jarak *Improved Spatial-Timeseries* Dan Aplikasi Pemodelan Covid-19 Di Kalimantan Timur** dibebankan pada DIPA BLU-PNBP Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Tahun 2021 dengan biaya sebesar **Rp 30.000.000,- (tiga puluh juta rupiah).**

Pengelolaan dana penelitian atau pengabdian kepada masyarakat dilakukan secara swakelola oleh penerima dana serta seluruh penggunaan dana penelitian dan pengabdian kepada masyarakat dipertanggungjawabkan sesuai dengan ketentuan yang berlaku kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman.

Pasal 3 **SYARAT PENCAIRAN ANGGARAN DAN CARA PEMBAYARAN**

- (1) PIHAK PERTAMA membayarkan Bantuan Dana Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat termasuk pajak yang disebut pada Pasal 1 sebesar **Rp 30.000.000,- (tiga puluh juta rupiah)** yang dibebankan pada Dana DIPA BLU-PNBP Fakultas MIPA Universitas Mulawarman tahun anggaran 2021 secara bertahap.
- (2) Pembayaran Bantuan Dana Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat ini akan dibayarkan dengan mengikuti ketentuan yang telah ditentukan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman setelah Surat Perjanjian ini ditandatangani dan PIHAK KEDUA menyerahkan :
 - a. Proposal Penelitian/Pengabdian
 - b. Daftar Isian Kontrak
 - c. Surat Pernyataan Penyelesaian Pekerjaan
 - d. Surat Pertanggungjawaban Mutlak
 - e. Kwitansi Penerimaan Dana
- (3) Pembayaran bantuan dana penelitian dan pengabdian kepada masyarakat dilakukan secara bertahap, sebagai berikut :
 - a. Pembayaran Tahap Pertama sebesar 70% (tujuh puluh persen) dari keseluruhan biaya pelaksanaan penelitian dan pengabdian, diberikan setelah Revisi Proposal Kegiatan Penelitian dan Pengabdian dan setelah surat perjanjian kontrak penelitian dan pengabdian ini ditandatangani oleh PIHAK KEDUA.
 - b. Pembayaran Tahap Kedua sebesar 30% (tiga puluh persen) dari keseluruhan biaya pelaksanaan penelitian dan pengabdian, diberikan setelah PIHAK KEDUA menyerahkan laporan akhir beserta kelengkapan lainnya dan seluruh penerimaan dana yang diterima dipertanggungjawabkan sesuai dengan aturan yang berlaku.
- (4) Pembayaran Bantuan Dana Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat sumber dana PNBPFakultas MIPA tahun 2019 ini akan dilakukan dengan cara transfer langsung melalui rekening PIHAK KEDUA dengan rincian sebagai berikut :

Nomor Rekening	: 0334317306
Atas Nama Rekening	: Fidia Deny Tisna Amijaya
Nama Bank	: BNI
Alamat Bank	: Jalan Kuaro Kampus Gunung Kelua Samarinda
Nomor NPWP	: 70.683.859.6-722.000

Pasal 4 **PAJAK**

Segala sesuatu yang berkenaan dengan kewajiban pajak selain PPN dan PPh pasal 23 (seperti tercantum pada pasal 2) tetap menjadi tanggung jawab PIHAK KEDUA (seperti pasal 21 dan 22) sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Pasal 5
JANGKA WAKTU PENELITIAN

- (1) PIHAK KEDUA menyusun/membuat serta menyerahkan Laporan Akhir Penelitian/Pengabdian kepada PIHAK PERTAMA selambat-lambatnya tanggal **3 Desember 2021**.
- (2) PIHAK KEDUA sebelum MENYELESAIKAN Laporan Akhir Penelitian/Pengabdian harus menyeminarkan Hasil Penelitian atau Pengabdian Kepada Masyarakat pada Seminar Nasional.
- (3) Laporan Akhir Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat harus disampaikan kepada PIHAK PERTAMA dengan rincian sebagai berikut :
 - (a) Laporan Akhir Penelitian/Pengabdian sebanyak 3 (tiga) eksemplar,;
 - (b) Laporan Keuangan disertai invoice, kwitansi, nota, atau bukti pembayaran lainnya dan Lembar Surat Keluar (SPJ) sebanyak 3 (tiga) eksemplar;
 - (c) Copy Prosiding/Jurnal sebanyak 2 (dua) eksemplar, atau artikel yang telah disubmit;
 - (d) Soft copy file dalam bentuk CD yang berisi Laporan Akhir Penelitian/Pengabdian dan Artikel Ilmiah sebanyak 2 (dua) keeping (dalam format PDF);
 - (e) Hasil Penelitian/Pengabdian wajib untuk di Seminarkan dan diselenggarakan oleh Fakultas MIPA pada bulan **Oktober 2021**.
- (4) PIHAK PERTAMA menerima Laporan Akhir Penelitian/Pengabdian dan meneruskan pengelolaan administrasi sampai kepada pengiriman laporan ke Instansi terkait antara lain :
 - Perpustakaan Fakultas MIPA Universitas Mulawarman
 - Bagian Keuangan Fakultas MIPA Universitas Mulawarman
 - Bagian Keuangan Universitas Mulawarman

Pasal 6
TANGGUNG JAWAB DAN SANKSI

- (1) Apabila Ketua Peneliti atau Pengabdian pada Pasal 1 tidak dapat menyelesaikan pelaksanaan Penelitian atau Pengabdian ini sepenuhnya, maka PIHAK KEDUA wajib menunjuk penggantinya dari salah satu anggotanya;
- (2) Apabila terjadi hal-hal yang menyebabkan tidak terpenuhinya ketentuan sebagaimana dimaksud oleh pasal-pasal dalam perjanjian ini, maka menjadi tanggung jawab PIHAK KEDUA, termasuk pembayaran DENDA sebesar 1‰ (satu per-mil) s.d. setinggi-tingginya 5% (lima persen) dari nilai Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Bantuan Dana Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat ini dalam setiap hari keterlambatan, terhitung dari tanggal jatuh tempo yang telah ditetapkan sampai dengan berakhirnya pembayaran dana Penelitian dan Pengabdian;
- (3) Bagi Peneliti dan Pengabdian yang tidak menyerahkan Laporan Akhir Penelitian dan Pengabdian dalam batas waktu yang telah ditentukan, PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana Penelitian atau Pengabdian yang telah diterimanya kepada PIHAK PERTAMA untuk selanjutnya disetorkan kembali ke Kas Negara;
- (4) Apabila jangka waktu Penelitian dan Pengabdian seperti tersebut pada pasal 4 ayat (3) tidak dapat dipenuhi, maka PIHAK PERTAMA tidak akan mempertimbangkan usul-usul penelitian/Pengabdian Kepada Masyarakat berikutnya yang diajukan PIHAK KEDUA yang bersumber dari dana Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi dan Sumber Dana lainnya.

- (5) Apabila dikemudian hari terbukti bahwa judul-judul dari penelitian/pengabdian kepada masyarakat sebagaimana tersebut pada pasal 1 terdapat duplikasi, maka Penelitian atau Pengabdian Kepada Masyarakat tersebut dinyatakan batal dan PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana yang telah diterimanya kepada PIHAK PERTAMA untuk selanjutnya disetorkan kembali ke Kas Negara.

**Pasal 7
PERALATAN**

Hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat berupa alat yang dibeli dari kegiatan Penelitian atau Pengabdian ini adalah milik Negara yang dapat dihibahkan kepada Fakultas MIPA Universitas Mulawarman melalui Surat Keterangan Hibah.

**Pasal 8
HAK CIPTA**

Hak Cipta hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat tersebut berada pada Peneliti atau Pengabdian dan Pelaksanaan Penelitian atau Pengabdian yang bersangkutan.

**Pasal 9
LAIN-LAIN**

- (1) Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat ini dibuat rangkap 2 (dua) dan masing-masing dibubuhi materai sesuai dengan ketentuan yang berlaku dan biaya materainya dibebankan kepada PIHAK KEDUA.
- (2) Hasil audit dan tindak lanjut penyelesaian dari Pihak Pemeriksa menjadi tanggung jawab PIHAK KEDUA.

**Pasal 10
PENUTUP**

Hal-hal yang belum diatur dalam perjanjian ini ditentukan kemudian hari oleh kedua belah pihak secara musyawarah dan akan dituangkan dalam addendum.

PIHAK PERTAMA



Dr. Eng Idris Mandang, M.Si.
NIP. 19711008 199802 1 001

PIHAK KEDUA

Fidia Deny Tisna Amijaya, S.Si, M.Si
NIP. 19880201 201504 1 003



LAPORAN PENELITIAN

**PENGEMBANGAN GEOGRAPHICALLY TEMPORALLY WEIGHTED
REGRESSION DENGAN FUNGSI JARAK IMPROVED SPATIAL-TIMESERIES
DAN APLIKASI PEMODELAN COVID-19 DI KALIMANTAN TIMUR**

Oleh:

Fidia Deny Tisna Amijaya, S.Si., M.Si	Ketua / 0001028804
Dr. Eng. Idris Mandang, M.Si	Anggota 1 / 0008107105
Dr. Sifriyani, M.Si	Anggota 2 / 0023118203

**SKIM BANTUAN BIAYA
PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
PENDANAAN PNBP TAHUN ANGGARAN 2021**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS MULAWARMAN**

2021

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : PENGEMBANGAN *GEOGRAPHICALLY TEMPORALLY WEIGHTED REGRESSION* DENGAN FUNGSI JARAK *IMPROVED SPATIAL-TIMESERIES* DAN APLIKASI PEMODELAN COVID-19 DI KALIMANTAN TIMUR

Ketua Tim

- a. Nama Lengkap, Gelar : Fidia Deny Tisna Amijaya, S.Si., M.Si
- b. NIP/ NIDN : 19880201 201504 1 003
- c. Jabatan Fungsional : Tenaga Pengajar
- d. Jurusan/ Program Studi : Matematika/ Matematika
- e. Alamat Email : fidiadta@fmipa.unmul.ac.id
- f. Nomor Handphone : 082350889505

Anggota 1

- a. Nama Lengkap, Gelar : Dr. Eng. Idris Mandang, M.Si
- b. NIP/ NIDN : 197111008 199802 1 001 / 0008107105
- c. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
- d. Jurusan/ Program Studi : Fisika/ Fisika

Anggota 2

- a. Nama Lengkap, Gelar : Dr. Sifriyani, M.Si
- b. NIP/ NIDN : 19821123 200812 2 005/ 0023118203
- c. Jabatan Fungsional : Lektor
- d. Jurusan/ Program Studi : Matematika/ Statistika

Usulan Biaya : Rp. 30.000.000,00

Jangka Waktu Pelaksanaan : 4 (Empat) Bulan

Samarinda, 28 Juli 2021

Mengetahui,

Ketua Jurusan Matematika

Ketua Tim Peneliti

Dr. Suyitno, M.Sc

NIP. 19641115 199010 1 001

Fidia Deny Tisna Amijaya, S.Si., M.Si.

NIP. 19880201 2021504 1 003

Menyetujui,

Dekan Fakultas MIPA Universitas Mulawarman

Dr. Eng. Idris Mandang, M.Si

NIP. 19711008 199802 1 001

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
DAFTAR ISI	iv
RINGKASAN	vi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Luaran Penelitian	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Teori Geographically and Temporally Weighted Regression	3
2.1.1. Geographically Weighted Regression (GWR).....	3
2.1.2. Estimasi Parameter Model GWR.....	3
2.1.3. Geographically Weighted and Temporally Regression (GWTR).....	6
2.1.4. Estimasi Parameter Model GWTR	6
2.1.5. Pengujian Parameter Model GWTR	10
2.2. <i>State of The Art</i>	11
2.3. Roadmap Penelitian	15
BAB 3 METODE PENELITIAN	
3.1. Data dan Sumber Data	16
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian.....	16
3.3. Variabel Penelitian.....	16
3.4. Teknik Pengumpulan Data	16
3.5. Tahapan Analisis	16
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Statistika Deskriptif (Penyajian data berupa peta y dan x).....	18
4.2. <i>Summary</i> Statistik	21
4.3. Pemodelan GTWR.....	23
4.3.1. Estimasi Model GTWR.....	23
4.3.2. Nilai Fungsi Jarak	24

4.3.3. Nilai Fungsi Pembobotan.....	24
4.3.4. Fungsi Kernel pada Fixed Bandwidth.....	26
4.3.5. Persamaan Model GTWR.....	26
4.3.6. Ukuran Kebaikan Model.....	27
4.3.7. Uji Signifikansi Simultan dan Parsial	28
4.3.8. Estimasi Parameter (Pemetaan Koefisien Regresi).....	34
4.3.9. Signifikansi Parameter	37

BAB 5 PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	39
----------------------	----

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

RINGKASAN

Penelitian ini tentang pemetaan *Geographic Information System* (GIS) berdasarkan Estimasi Model *Geographically and Temporally Weighted Regression* (GTWR). Pemetaan berfokus pada faktor-faktor yang mempengaruhi peningkatan COVID-19 di skala Kabupaten/Kota Provinsi Kalimantan Timur. Tujuan penelitian menemukan faktor-faktor yang mempengaruhi COVID-19 dan pemetaan GIS. Data yang digunakan adalah data sekunder dari Badan Pusat Statistika dan Dinas Ketenagakerjaan dengan periode data Tahun 2020 hingga Agustus 2021. Penelitian menggunakan analisis spatio temporal GTWR dengan pembobot geografis fungsi kernel Gaussian dan Bisquare. Model GTWR merupakan pengembangan dari model *Geographically Weighted Regression* (GWR) dengan mempertimbangkan unsur lokasi dan waktu secara simultan. Model GTWR dapat menangani data yang tidak stasioner, baik secara spasial maupun temporal secara bersamaan. Keunggulan model GTWR adalah model yang dihasilkan bersifat lokal pada setiap lokasi dan waktu, sehingga model lebih representatif. Hasil penelitian diperoleh faktor -faktor yang mempengaruhi peningkatan akumulatif kasus positif COVID-19 di Provinsi Kalimantan Timur adalah angka kasus tuberculocis, kepadatan penduduk, PDRB, jumlah rumah sakit dan jumlah kelurahan/desa yang memiliki puskesmas. Berdasarkan nilai estimator parameter model GTWR, diperoleh angka kasus tuberculosis, kepadatan penduduk dan keterbatasan jumlah rumah sakit memiliki pengaruh yang besar untuk kota Balikpapan dibandingkan dengan daerah lain. Berdasarkan nilai tersebut, memberikan informasi kepada pihak pengkaji untuk memperhatikan faktor tersebut karena pengaruh yang cukup besar terjadinya peningkatan kasus COVID-19 di Kalimantan Timur.

Kata Kunci: Pandemic COVID-19, Spatio temporal, *Geographically Temporally Weighted Regression*, GIS Mapping, *Geographical Weighting*.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Geographically Weighted Regression (GWR) adalah salah satu metode untuk membentuk model regresi yang bersifat lokal pada setiap lokasi pengamatan. Estimasi parameter regresi dilakukan pada setiap titik lokasi dengan melibatkan data disekitarnya yang telah diboboti menurut jarak geografis terhadap lokasi [1]. salah satu komponen mendasar dari GWR adalah penggunaan matriks pembobot yang dibangun dari hubungan spasial. pembobot spasial yang digunakan GWR pada umumnya didefinisikan oleh fungsi kernel seperti Gaussian atau Bisquare [2]. Pada matriks pembobot spasial, lokasi pengamatan yang lebih dekat memiliki nilai pembobot yang lebih besar. hal ini berkaitan dengan Hukum Pertama Tobler tentang geografis yang berbunyi “segala sesuatu berhubungan dengan segala sesuatu yang lain, tetapi sesuatu yang dekat mempunyai hubungan yang lebih kuat dibandingkan yang jauh” [3].

Model GWR menggunakan data spasial (lokasi), data spasial melibatkan beberapa lokasi amatan yang seringkali hanya diamati pada satu waktu. Data spasial dengan melibatkan amatan beberapa waktu (temporal) merupakan hal yang penting dalam analisis spasial sehingga dimungkinkan dilakukan estimasi parameter yang lebih akurat [4]. Oleh karena itu untuk meningkatkan peningkatan presisi estimator parameter pada model GWR dilakukan pengamatan untuk setiap lokasi pada kurun waktu tertentu. Model *Geographically Temporally Weighted Regression* (GTWR) merupakan pengembangan dari model GWR dengan mempertimbangkan unsur lokasi dan waktu. Model GTWR merupakan pengembangan dari model GWR untuk menangani ketidakstasioneran suatu data baik dari sisi spasial maupun temporal secara bersamaan [5].

Kelebihan model GTWR adalah model yang dihasilkan bersifat lokal setiap lokasi dan waktu, sehingga model lebih representatif [6]. Informasi spasial dan temporal pada model GTWR merupakan unsur penting dalam membangun matriks pembobot sehingga diharapkan mampu mengidentifikasi adanya keragaman spasial dan temporal.

Menurut Fotheringham [4] model GTWR pada umumnya digunakan pada masalah penyebaran penyakit menular, polusi udara, pencemaran air dan perluasan area perkotaan. Pada penelitian ini akan digunakan model GTWR untuk analisis spasial pemodelan akumulatif COVID-19 dan faktor-faktor yang mempengaruhi nilai akumulatif COVID-19 di Kalimantan Timur.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana model *Geographically Temporally Weighted Regression* dengan fungsi jarak *improved spatial-timeseries* terhadap data akumulatif COVID-19 pada setiap Kabupaten/Kota Kalimantan Timur?
2. Apa saja faktor-faktor yang berpengaruh terhadap akumulatif COVID-19 pada pada setiap Kabupaten/Kota Kalimantan Timur dalam kurun waktu Desember 2019 – Agustus 2021?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membangun model *Geographically Temporally Weighted Regression* dengan fungsi jarak *improved spatial-timeseries* terhadap data akumulatif COVID-19 pada setiap Kabupaten/Kota Kalimantan Timur.
2. Menentukan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap akumulatif COVID-19 pada pada setiap Kabupaten/Kota Kalimantan Timur dalam kurun waktu Desember 2019 – Agustus 2021.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi baru tentang model *Geographically Temporally Weighted Regression* dengan fungsi jarak *improved spatial-timeseries* terhadap data akumulatif COVID-19 pada setiap Kabupaten/Kota Kalimantan Timur
2. Mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap akumulatif COVID-19 pada pada setiap Kabupaten/Kota Kalimantan Timur dalam kurun waktu Desember 2019 – Agustus 2021.

1.5. Luaran Penelitian

Luaran penelitian adalah Jurnal International bereputasi dan terindeks Scopus Q3 yaitu *Journal Applied Geographic Studies*, Presentasi dalam *International Conference in Mathematics and Sciences (ICMSc)*, dan Prosiding ICMSc yang diterbitkan oleh AIP.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teori *Geographically and Temporally Wighted Regression*

2.1.1. *Geographically Weighted Regression (GWR)*

Model Regresi *Geographically Weighted Regression (GWR)* merupakan pengembangan dari Metode *Ordinary Least Squares (OLS)* menjadi regresi terboboti. Menurut Mennis [7], GWR adalah metode statistika yang digunakan untuk menganalisis pengaruh antara variabel bebas terhadap variabel terikat berdasarkan adanya keragaman spasial. Yu et al. [8] menjelaskan bahwa keragaman spasial terjadi apabila satu variabel bebas yang sama memberikan respon yang tidak sama pada lokasi yang berbeda di dalam satu wilayah penelitian. Prinsip pada model ini dilakukan penghitungan parameter pada setiap lokasi pengamatan, sehingga setiap lokasi pengamatan memiliki nilai parameter regresi yang berbeda-beda. Model GWR dapat dinyatakan sebagai berikut [6]:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (1)$$

dengan:

- y_i = nilai pengamatan variabel terikat untuk lokasi ke- i
- (u_i, v_i) = koordinat letak geografis dari lokasi pengamatan ke- i
- $\beta_0(u_i, v_i)$ = intersep pada lokasi pengamatan ke- i
- $\beta_k(u_i, v_i)$ = koefisien regresi variabel bebas ke- k pada lokasi pengamatan ke- i
- x_{ik} = nilai pengamatan variabel bebas ke- k pada lokasi pengamatan ke- i
- ε_i = galat pengamatan ke- i dengan $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$

2.1.2. Estimasi Parameter Model GWR

Estimasi parameter pada model GWR menggunakan metode Kuadrat Terkecil Terboboti (KTT) dengan memberikan pembobot yang berbeda untuk setiap lokasi pengamatan. Pada analisis spasial, estimasi parameter di suatu titik (u_i, v_i) akan lebih dipengaruhi oleh titik-titik yang dekat dengan lokasi (u_i, v_i) . Asumsi pada model GWR menyatakan bahwa daerah yang dekat dengan lokasi pengamatan ke- i mempunyai pengaruh lebih besar terhadap estimasi parameter $\beta_k(u_i, v_i)$ daripada lokasi yang lebih jauh. Misalkan pembobot untuk setiap lokasi (u_i, v_i) adalah dengan $w_j(u_i, v_i)$ maka estimasi parameter lokasi pengamatan (u_i, v_i)

dilakukan dengan menambahkan unsur pembobot $w_j(u_i, v_i)$ pada Persamaan (1) kemudian meminimumkan jumlah kuadrat galat dengan rumus sebagai berikut :

$$\boldsymbol{\varepsilon}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{y}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{y} - 2\boldsymbol{\beta}^T(u_i, v_i) \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{y} + \boldsymbol{\beta}^T(u_i, v_i) \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X} \boldsymbol{\beta}(u_i, v_i) \quad (2)$$

dengan

$$\boldsymbol{\beta}(u_i, v_i) = \begin{bmatrix} \beta_0(u_i, v_i) \\ \beta_1(u_i, v_i) \\ \dots \\ \beta_p(u_i, v_i) \end{bmatrix} \text{ dan } \mathbf{W}(u_i, v_i) = \text{diag}(w_1(u_i, v_i), w_2(u_i, v_i), \dots, w_n(u_i, v_i))$$

estimator parameter model GWR diperoleh dengan cara meminimumkan Persamaan (2) terhadap $\boldsymbol{\beta}^T(u_i, v_i)$ sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \boldsymbol{\varepsilon}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \boldsymbol{\varepsilon}}{\partial \boldsymbol{\beta}^T(u_i, v_i)} &= 0 - 2\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{y} + 2\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X} \boldsymbol{\beta}(u_i, v_i) \\ - 2\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{y} + 2\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X} \boldsymbol{\beta}(u_i, v_i) &= 0 \\ 2\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X} \boldsymbol{\beta}(u_i, v_i) &= 2\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{y} \\ [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X} \boldsymbol{\beta}(u_i, v_i) &= [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{y} \\ \hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i) &= [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{y} \end{aligned} \quad (3)$$

Misalkan $\mathbf{x}_i^T = (1, x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})$ adalah elemen baris ke- i dan matriks \mathbf{X} , sehingga nilai estimator pada lokasi pengamatan (u_i, v_i) diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$\hat{y}_i = \mathbf{x}_i^T \hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i) = [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{y}$$

Sehingga untuk seluruh pengamatan dapat dituliskan :

$$\hat{\mathbf{y}} = (\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_n)^T = \mathbf{L} \mathbf{y} \text{ dan } \hat{\boldsymbol{\varepsilon}} = (\hat{\varepsilon}_1, \hat{\varepsilon}_2, \dots, \hat{\varepsilon}_n)^T = (\mathbf{I} - \mathbf{L}) \mathbf{y}$$

dengan

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1^T [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_1, v_1) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_1, v_1) \mathbf{X} \\ \mathbf{x}_2^T [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_2, v_2) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_2, v_2) \mathbf{X} \\ \dots \\ \mathbf{x}_n^T [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_n, v_n) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_n, v_n) \mathbf{X} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$\hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i)$ pada Persamaan (3) merupakan estimator tak bias dan konsisten bagi $\boldsymbol{\beta}(u_i, v_i)$ [9]. Pada estimasi parameter tersebut menggunakan matriks pembobot sebagai berikut :

$$\mathbf{W}(u_i, v_i) = \begin{bmatrix} w_{i1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & w_{i2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & w_{ip} \end{bmatrix}$$

dengan $W(u_i, v_i)$ adalah matriks berukuran $n \times n$ yang elemen-elemen diagonalnya menunjukkan pembobot geografis pada lokasi pengamatan ke- i . Matriks pembobot tersebut dihitung untuk setiap lokasi pada pengamatan ke- i [6].

Pemilihan pembobot spasial yang digunakan untuk estimasi parameter sangat penting. Salah satu pembobot yang digunakan dalam GWR adalah fungsi kernel. Fungsi kernel digunakan untuk menduga parameter dalam model GWR jika fungsi jarak (w_j) adalah fungsi yang kontinu dan monoton turun [10]. Pembobot yang terbentuk dengan menggunakan fungsi kernel ini adalah fungsi kernel *Gaussian*, fungsi kernel *Exponential*, fungsi kernel *Bisquare*, dan fungsi kernel *Tricube*. Fungsi pembobot tersebut dapat ditulis sebagai berikut [11]:

1. Fungsi Kernel *Gaussian*

$$w_{ij} = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^2\right) \quad (5)$$

2. Fungsi Kernel *Exponential*

$$w_{ij}(u_i, v_i) = \sqrt{\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^2\right)}$$

3. Fungsi Kernel *Bisquare*

$$w_{ij}(u_i, v_i) = \begin{cases} \left(-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^2\right) & ; d_{ij} \leq h \\ 0 & ; d_{ij} > h \end{cases}$$

4. Fungsi Kernel *Tricub*

$$w_{ij}(u_i, v_i) = \begin{cases} \left(-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^3\right) & ; d_{ij} \leq h \\ 0 & ; d_{ij} > h \end{cases}$$

dengan

$$d_{ij} = \sqrt{(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2}$$

Pemilihan lebar jendela (h) yang optimum menjadi sangat penting karena akan mempengaruhi ketepatan model terhadap data, yaitu mengatur ragam dan bias dari model. Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan lebar jendela optimum adalah metode validasi silang dan secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut [2]:

$$CV(h) = \sum_{i=1}^n (y_{\neq i} - \hat{y}_{\neq i}(h))^2 \quad (6)$$

dengan $\hat{y}_{\neq i}(h)$ adalah nilai estimator y_i berdasarkan model GWR yang diperoleh dengan menggunakan nilai h yang tidak mengikutkan amatan pada lokasi ke- i .

2.1.3. Geographically Weighted and Temporally Regression (GWTR)

Model *Geographically Weighted and Temporally Regression* (GWTR) merupakan pendekatan yang efektif untuk menangani adanya keragaman spasial dan temporal [6]. Model GWTR merupakan pengembangan dari model GWR dengan menambahkan unsur waktu (temporal). Berbeda halnya model GWR, GWTR menggabungkan informasi spasial dan temporal pada matriks pembobot dalam mengidentifikasi adanya keragaman spasial dan temporal. Model GWTR sebanyak p variabel bebas dengan variabel terikat y_i pada lokasi (u_i, v_i, t_i) untuk setiap pengamatan dituliskan sebagai berikut:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i, t_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (7)$$

dengan:

y_i = nilai pengamatan variabel terikat untuk lokasi pengamatan (u_i, v_i) dan waktu ke- t

$\beta_0(u_i, v_i, t_i)$ = intersep pada lokasi pengamatan (u_i, v_i) dan waktu ke- t

$\beta_k(u_i, v_i, t_i)$ = koefisien regresi variabel bebas ke- k pada lokasi pengamatan (u_i, v_i) dan waktu ke- t

x_{ik} = nilai pengamatan variabel bebas ke- k pada lokasi pengamatan (u_i, v_i) dan waktu ke- t

ε_i = galat pengamatan ke- i dengan $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$

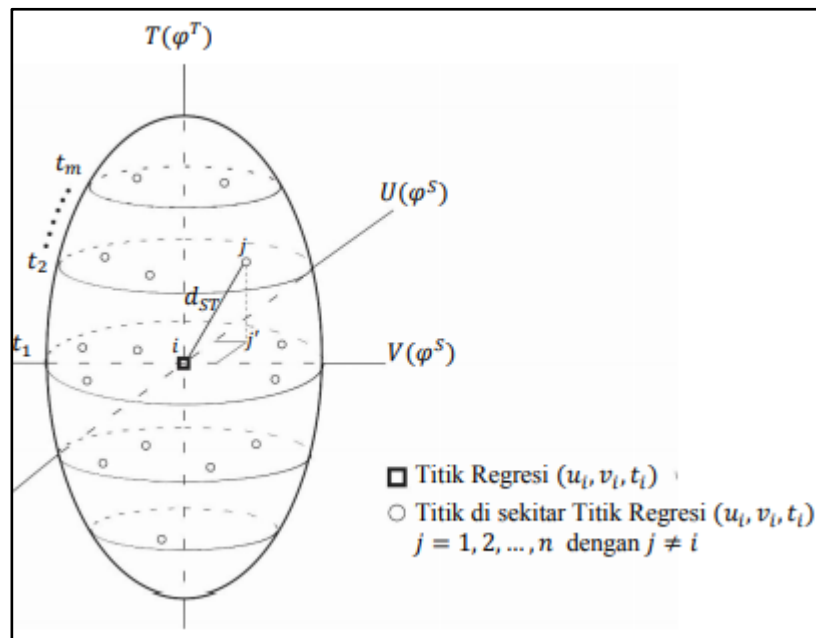
2.1.4. Estimasi Parameter Model GWTR

Koefisien regresi $\hat{\beta}_k(u_i, v_i, t_i)$ pada titik ke- i dapat dijelaskan menggunakan Kuadrat Terkecil Terboboti (KTT) dengan kriteria sebagai berikut:

$$\hat{\beta}(u_i, v_i, t_i) = [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \mathbf{y} \quad (8)$$

$\mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) = \text{diag}(w_1(u_i, v_i, t_i), w_2(u_i, v_i, t_i), \dots, w_n(u_i, v_i, t_i))$ adalah matriks pembobot pada lokasi pengamatan (u_i, v_i) dan waktu ke- t . Elemen diagonal $w_{ij} (1 \leq j \leq n)$ merupakan fungsi jarak spasial-temporal pada titik pengamatan (u_i, v_i, t_i) . Pada tahap penyusunan model diasumsikan bahwa kedekatan titik i terhadap titik-titik amatan yang lain pada sistem koordinat spasial-temporal memiliki pengaruh yang lebih besar pada estimasi parameter $\hat{\beta}(u_i, v_i, t_i)$ daripada titik-titik amatan yang terletak lebih jauh dari titik. Kedekatan tersebut memiliki dua unsur, yaitu kedekatan spasial dan kedekatan temporal sehingga pendefinisian dan pengukuran kedekatan spasial-temporal dalam sistem koordinat merupakan masalah utama dalam penyusunan model GWTR [12].

Misalkan data yang digunakan pada penelitian terletak pada tiga dimensi dalam sistem koordinat spasial-temporal dan diketahui bahwa amatan tersebut memiliki kedekatan dengan titik i . Oleh karena itu Huang et al. [6] menggunakan system koordinat ellipsoidal untuk mengukur kedekatan antara titik regresi dengan titik amatan yang mengelilinginya. Ilustrasi jarak spasial-temporal ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 2.1 Ilustrasi jarak spasial-temporal

Estimasi parameter pada titik regresi melibatkan titik-titik di sekitar titik regresi seperti pada Gambar 2.1 Titik-titik di sekitar titik regresi tersebut berada di dalam radius berbentuk ellipsoidal yang dibangun berdasarkan lebar jendela spasial-temporal. Ruang ellipsoidal tersebut melibatkan lebar jendela spasial sebagai radius horisontal dan lebar jendela temporal sebagai radius vertikal. Pada estimasi parameter, diperlukan matriks pembobot untuk

menangkap informasi spasial dan temporal. Matriks pembobot dibangun berdasarkan fungsi kernel dengan melibatkan jarak spasial-temporal.

Misalkan titik ke- i merupakan titik regresi pada ruang dan titik ke- j merupakan titik lain disekitar titik regresi pada ruang t_2 seperti pada Gambar 1. Titik ke- j pada ruang t_2 diproyeksikan pada ruang t_1 sehingga membentuk garis jj' yang tegak lurus dengan ruang t_1 . Oleh karena itu, dengan konsep *pythagoras* didapatkan jarak antara titik ke- i dan titik ke- j . Konsep jarak tersebut berlandaskan sudut tegak lurus pada titik proyeksi yang dikenal sebagai jarak euclidean. Penentuan jarak tersebut dilakukan untuk semua titik di sekitar titik regresi terhadap titik regresi ke- i .

Fungsi jarak spasial-temporal (d_{ij}^{ST}) terdiri atas gabungan fungsi jarak spasial (d_{ij}^S) dan fungsi jarak temporal (d_{ij}^T), yang dituliskan sebagai berikut [6] [12]:

$$\begin{cases} (d_{ij}^S)^2 = (u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2 \\ (d_{ij}^T)^2 = (t_i - t_j)^2 \\ (d_{ij}^{ST})^2 = \varphi^S [(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2] + \varphi^T [(t_i - t_j)^2] \end{cases} \quad (9)$$

dengan φ^S dan φ^T digunakan sebagai parameter penyeimbang terhadap pengaruh berbeda antara lokasi dan waktu pada pengukuran jarak spasial-temporal. Berdasarkan Persamaan (9) diperoleh:

$$w_{ij} = \exp \left\{ - \left(\frac{\varphi^S [(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2] + \varphi^T [(t_i - t_j)^2]}{h_{ST}^2} \right) \right\}$$

$$w_{ij} = \exp \left\{ - \left(\frac{[(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2]}{h_S^2} + \frac{[(t_i - t_j)^2]}{h_T^2} \right) \right\}$$

Misalkan $h_S^2 = \frac{h_{ST}^2}{\varphi^S}$ dan $h_T^2 = \frac{h_{ST}^2}{\varphi^T}$, maka diperoleh hasil:

$$w_{ij} = \exp \left\{ - \left(\frac{(d_{ij}^S)^2}{h_S^2} + \frac{(d_{ij}^T)^2}{h_T^2} \right) \right\}$$

$$w_{ij} = \exp \left\{ - \left(\frac{(d_{ij}^S)^2}{h_S^2} \right) \right\} \exp \left\{ - \left(\frac{(d_{ij}^T)^2}{h_T^2} \right) \right\} = w_{ij}^S \times w_{ij}^T$$

$$\text{dengan } w_{ij}^S = \exp \left\{ - \left(\frac{(d_{ij}^S)^2}{h_S^2} \right) \right\} \text{ dan } w_{ij}^T = \exp \left\{ - \left(\frac{(d_{ij}^T)^2}{h_T^2} \right) \right\}$$

Keterangan:

h_S = lebar jendela jarak spasial

h_T = lebar jendela jarak temporal

h_{ST} = lebar jendela jarak spasial-temporal

Misalkan τ merupakan parameter rasio dari $\tau = \frac{\varphi^T}{\varphi^S}$ dengan $\varphi^S \neq 0$ maka diperoleh

persamaan (Liu et al., 2017) :

$$\frac{(d_{ij}^{ST})^2}{\varphi^S} = [(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2] + \tau [(t_i - t_j)^2]$$

Misalkan $\varphi^S = 1$, tujuannya untuk mereduksi parameter yang tidak diketahui. Terdapat satu parameter yang tidak diketahui, yaitu τ . Parameter τ berfungsi untuk memperbesar atau memperkecil efek jarak temporal terhadap jarak spasial. Parameter ini didapatkan dari kriteria validasi silang minimum melalui inialisasi nilai awal yang dituliskan sebagai berikut:

$$CV(\tau) = \sum_{i=1}^n (y_{\neq i} - \hat{y}_{\neq i}(\tau))^2$$

Fungsi Kernel *Gaussian* adalah fungsi pembobotan yang paling umum digunakan dalam model GWTR yang dituliskan sebagai berikut:

$$w_{ij} = \exp\left(-\left(\frac{d_{ij}^{ST}}{h_{ST}}\right)^2\right) \quad (10)$$

Nilai lebar jendela dapat dihitung dengan menggunakan model GWR seperti yang diusulkan oleh Fotheringham et al. [2]. Untuk menentukan nilai estimator variabel terikat (\hat{y}) adalah sebagai berikut:

$$\hat{\mathbf{y}} = \begin{bmatrix} \hat{y}_1 \\ \hat{y}_2 \\ \dots \\ \hat{y}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1^T [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_1, v_1, t_1) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_1, v_1, t_1) \mathbf{X} \\ \mathbf{x}_2^T [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_2, v_2, t_2) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_2, v_2, t_2) \mathbf{X} \\ \dots \\ \mathbf{x}_n^T [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_n, v_n, t_n) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_n, v_n, t_n) \mathbf{X} \end{bmatrix} \mathbf{y} = \mathbf{S} \mathbf{y} \quad (11)$$

Pemilihan kebaikan model dapat dihitung dengan menggunakan nilai AIC (*Akaike Information Criterion*). Berdasarkan pengaruh keragaman spasialtemporal, nilai AIC terkoreksi digunakan dalam pemilihan kebaikan model yang dirumuskan sebagai berikut [14]:

$$AIC = 2n \ln(\hat{\sigma}) + n \ln(2\pi) + n \left(\frac{n + tr(\mathbf{S})}{n - 2 - tr(\mathbf{S})} \right) \quad (12)$$

dengan

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\mathbf{y}^T (\mathbf{I} - \mathbf{S})^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}) \mathbf{y}}{n}$$

2.1.5. Pengujian Parameter Model GWTR

Pengujian parameter model GWR bertujuan untuk mengetahui parameterparameter yang signifikan dalam mempengaruhi variabel terikat. Pengujian parameter pada setiap lokasi dilakukan secara parsial. Menurut Leung et al. [15], hipotesis pengujian parameter adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H_0 : \beta_k(u_i, v_i) &= 0 \\ H_1 : \beta_k(u_i, v_i) &\neq 0 \end{aligned} \quad \text{dengan } k = 1, 2, \dots, p$$

Pengujian Parameter Model GWR Pengujian parameter model GWR bertujuan untuk mengetahui parameterparameter yang signifikan dalam mempengaruhi variabel terikat. Pengujian parameter pada setiap lokasi dilakukan secara parsial. Menurut Leung et al. [15], hipotesis pengujian parameter adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{C}_i = [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i)]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \quad (13)$$

Sehingga didapatkan bentuk sebaran normal baku, yaitu:

$$\frac{\hat{\beta}_k(u_i, v_i) - \beta_k(u_i, v_i)}{\sigma \sqrt{c_{kk}}} \sim N(0,1)$$

dengan c_{kk} merupakan elemen diagonal ke- k dari matriks $\mathbf{C}_i \mathbf{C}_i^T$.

Pada kondisi H_1 , koefisien regresi yang beragam secara parsial ditentukan dengan model GWR. Jumlah Kuadrat Galat (JKG) yang diperoleh dari model GWR adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} JKG(H_1) &= \hat{\boldsymbol{\varepsilon}}^T \hat{\boldsymbol{\varepsilon}} = (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}})^T (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}) \\ JKG(H_1) &= \mathbf{y}^T (\mathbf{I} - \mathbf{L})^T (\mathbf{I} - \mathbf{L}) \mathbf{y} \end{aligned} \quad (14)$$

dengan matriks \mathbf{L} yang diperoleh seperti pada Persamaan (4). Dengan demikian, statistik uji yang digunakan pada pengujian parameter secara parsial adalah [16]:

$$t_{hit} = \frac{\hat{\beta}_k(u_i, v_i)}{\hat{\sigma} \sqrt{c_{kk}}} \quad (15)$$

dengan $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{JKG(H_1)}{\delta_1}}$ dan mengikuti sebaran dengan derajat bebas (db) = $\left(\frac{\delta_1}{\delta_2} \right)$. Nilai

$JKG(H_1)$ diperoleh seperti pada Persamaan (14), sedangkan nilai δ_1 dihitung dari rumus sebagai berikut [12]:

$$\delta_i = \text{tr} \left(\left[(\mathbf{I} - \mathbf{L})^T (\mathbf{I} - \mathbf{L}) \right]^i \right) \quad \text{dengan } i = 1, 2$$

2.2. *State of The Art*

Salah satu sifat epidemi yang paling penting adalah penyebaran spasialnya, “suatu karakteristik yang terutama bergantung pada mekanisme epidemi, mobilitas manusia, dan strategi pengendalian” [17]. Kita dapat menggunakan GIS dan statistika spasial untuk menanggapi hal ini, dan juga untuk membantu mengurangi epidemi melalui informasi ilmiah, menemukan korelasi spasial dengan variabel lain, dan mengidentifikasi dinamika transmisi [18]. Salah satu karya pertama, serta salah satu yang paling banyak dikutip, yang menggunakan GIS untuk analisis spasial COVID-19 adalah karya Guan et al. [19]. Mereka mengekstrak data 1099 pasien dengan kasus COVID-19 yang dikonfirmasi laboratorium dari rumah sakit China hingga 29 Januari 2020, dan melanjutkan untuk mengkarakterisasi profil pasien rata-rata: usia rata-rata, jenis kelamin, gejala dan karakteristik *Spatiotemporal* yaitu identifikasi penyebaran penyakit yang cepat di seluruh daratan Cina, distribusi pasien berdasarkan provinsi, karakteristik antara penduduk Wuhan dan bukan penduduk, riwayat kontak langsung dengan satwa liar dan bukan penduduk Wuhan yang mengunjungi kota atau yang memiliki kontak dengan warga. Pekerjaan ini penting karena tanggal awal publikasi memungkinkan karakteristik klinis dari pasien yang terkena untuk lebih tepat didefinisikan. Juga di Cina, pada waktu yang hampir bersamaan, Chen et al. [20], menggunakan model spasial-temporal Bayesian, menentukan distribusi kasus COVID-19 dan korelasinya dengan migrasi penduduk Wuhan pada tahap awal epidemi, yang sangat penting untuk peringatan dini dan pencegahan masa depan. wabah. Huang et al. [21], berminggu-minggu kemudian COVID-19 bergerak sangat cepat, sementara timbulnya gejala tertunda rata-rata dua minggu, memungkinkan banyak hal terjadi dalam waktu singkat, menganalisis karakteristik epidemiologis COVID-19, tindakan pengendalian diambil, efeknya terhadap pandemi, dan distribusi *Spatiotemporal*nya. Analisis geografis pertama ini juga memetakan informasi ke tingkat administrasi yang lebih tepat yaitu kabupaten dan provinsi, hal ini dikerjakan untuk negara lain seperti Amerika Serikat [22], Iran [23], kemudian Korea Selatan [24], Brasil [25], Israel [26], Italia [27], Spanyol [28]. Tabel 2.1 memberikan informasi pengelompokan studi yang ditinjau berdasarkan tema geospasial, negara atau wilayah yang diteliti, asal informasi yang digunakan dan deskripsi singkat.

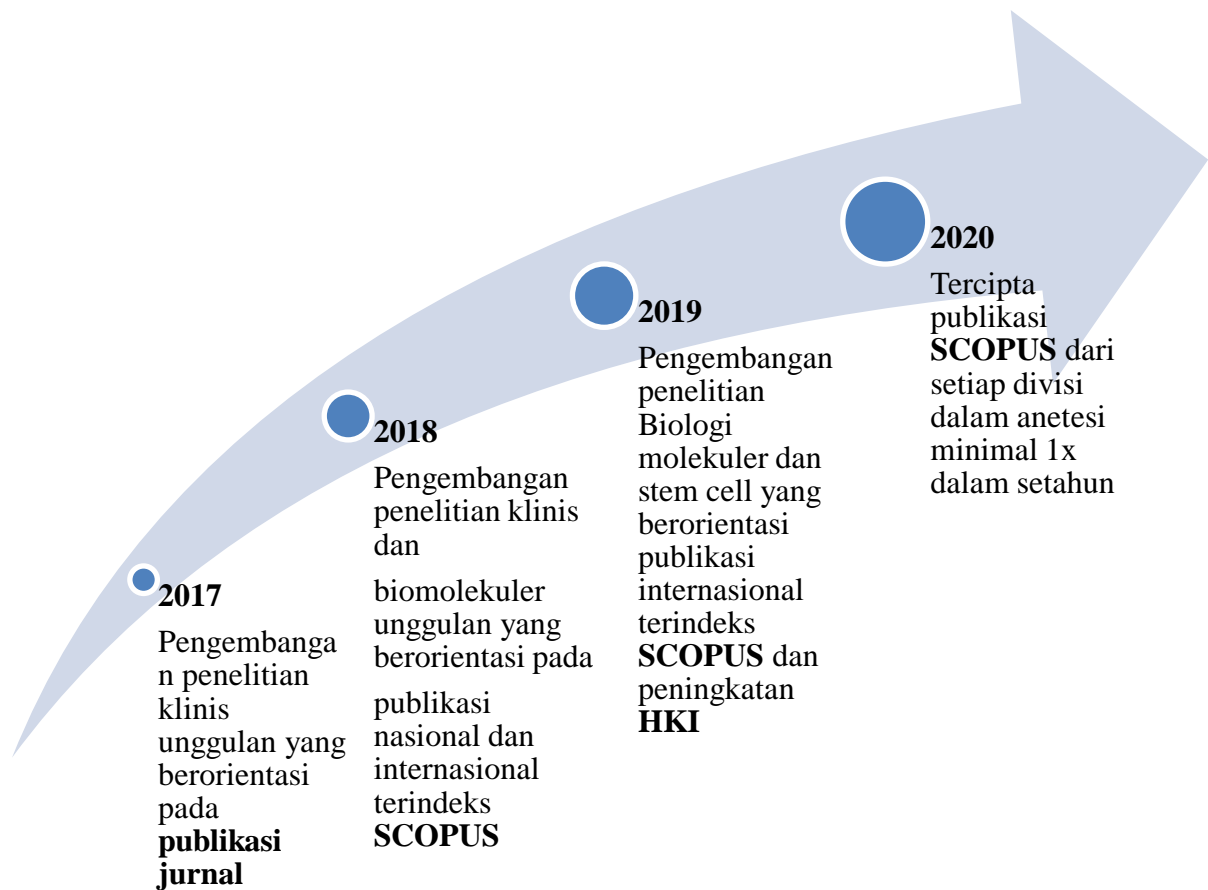
Tabel 2.1 *State of The Art Penelitian Spatial Statistics pada data COVID-19*

Peneliti	Tahun	Region or Country of Study	Data Yang Digunakan	Review Penelitian
Guan et al. [19]	2020	Cina	Kasus terkonfirmasi COVID-19	<i>Geographical</i> pada kasus yang terinfeksi COVID-19
Chen et al. [20]	2020	Cina	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Distribusi penularan kasus COVID-19 dan korelasi imigrasi dari populasi Wuhan di tahap awal epidemi
Chen et al [20] dan Huang et al. [21]	2020	Cina	Kasus terkonfirmasi COVID-19	<i>Spatiotemporal</i> analysis of COVID-19 and its relationship with epidemiological characteristics, control of measures taken and their effects
Arab Mazar et al. [23]	2020	Iran	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Analisis <i>Spatiotemporal</i> dari COVID-19 di tingkat nasional dan provinsi
Giuliani et al. [27]	2020	Italia	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Analisis <i>Spatiotemporal</i> dari COVID-19 di tingkat nasional dan provinsi
Zhou et al. [29]	2020	Cina	Data Mining dan Kasus terkonfirmasi COVID-19	Reflections on the use of GIS with big data and <i>Spatiotemporal</i> analysis of COVID-19
Rezaei et al. [24]	2020	Korea Selatan	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Analisis <i>Spatiotemporal</i> dari COVID-19 di tingkat nasional dan provinsi
Zhang et al. [30]	2020	Cina	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Comparison of <i>Spatiotemporal</i> evolution between COVID-19 and SARS 2003
Dangnino et al. [31]	2020	Brazil	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Analisis <i>Spatiotemporal</i> pada data COVID-19

Ahmadi et al. [32] dan Ahmadi et al. [33]	2020	Iran	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Analisis <i>Spatiotemporal</i> dan GIS
Xiong et al. [18]	2020	Cina	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Metode korelasi Pearson untuk anal isis <i>Spatiotemporal</i>
Kearns et al. [34]	2020	Cina	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Levy's flight to explain the <i>Spatiotemporal</i> dynamics of the pandemic
Desjardin et al. [35]	2020	Amerika Serikat	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Prospective space-time statistics to identify active and emerging COVID-19 groups at the county level
Rossmann et al. [36]	2020	Israel	Jajak pendapat/ Polls dan Kasus terkonfirmasi COVID-19	Kuesioner online yang ditujukan untuk identifikasi kemungkinan gejala secara geographical
Ángel Sola et al. [37]	2020	Cekungan Karibia	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Memprediksi penyebaran COVID -19 berdasarkan data geografis dan iklim
Tim CC-R. [38]	2020	Amerika Serikat	Kasus terkonfirmasi COVID-19	karakteristik Geografis dan analisis <i>Spatiotemporal</i> dari infeksi COVID-19
Orea dan Alvarez. [39]	2020	Spain	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Analysis by provinces of the effectiveness of quarantine on the spread of the pandemic
Murugesan et al. [40]	2020	India	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Analisis <i>Spatiotemporal</i> COVID- 19 tingkat nasional dan provinsi
Tang et al. [41]	2020	Cina	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Poisson segmented model for the analysis of changing patterns in different geographic areas

Kayu dan al. [42]	2020	Brazil	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Analisis <i>Spatiotemporal</i> COVID-19 di Estado da Bahia
Buzai [43]	2020	Argentina	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Analisis <i>Spatiotemporal</i> dan refleksi pada geografi kesehatan
Santana Juarez [44]	2020	Meksiko	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Analisis <i>Spatiotemporal</i> dari COVID-19 tingkat nasional dan provinsi
Saha et al. [45]	2020	Dunia	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Analisis <i>Spatiotemporal</i> dan refleksi pada kegunaan GIS di dalam pandemi
Penelitian yang akan dilaksanakan	2021	Kalimantan	Kasus terkonfirmasi COVID-19	Penerapan Model <i>Geographically Temporally and Weighted Regression</i> untuk kasus Covid-19 dalam Analisis Spasial dan Waktu

2.3. Road Map Penelitian



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Data dan Sumber Data

3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

3.3. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Keterangan Variabel dalam Penelitian

Variabel	Nama Variabel	Satuan
Y	Jumlah Kasus Positif COVID-19 Terkonfirmasi	Jiwa
X2	Angka Kasus TBC	Kasus
X4	Kepadatan Penduduk	Jiwa/Km ²
X5	Produk Domestik Regional Bruto (PDRB)	Milyar Rupiah
X6	Jumlah Rumah Sakit	Unit
X7	Jumlah Puskesmas	Unit

3.4. Teknik Pengumpulan Data

3.5. Tahapan Analisis

Tahapan analisis *Geographically and Temporally Weighted Regression* (GTWR) dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Eksplorasi sebaran variabel respon dan variabel penjelas pada kurun waktu 2020-2021 menggunakan analisis deskriptif.
2. Melakukan pengujian multikolinieritas dengan mempertimbangkan nilai VIF (*Variance Inflation Faktor*).
3. Menguji keragaman spasial dengan uji *Breusch-Pagan* dengan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2 = \sigma^2$$

$$H_1 = \text{Minimal ada satu } \sigma_i^2 \neq \sigma^2, \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, n$$
 tolak H_0 jika $BP > \chi_{(p)}^2$ atau jika $p\text{-value} < a$ dengan p adalah banyaknya prediktor.
4. Melakukan eksplorasi keragaman temporal menggunakan *boxplot* dari peubah respon pada masing-masing tahun.
5. Melakukan analisis menggunakan metode GTWR sebagai berikut:

- a. Menghitung *bandwidth* optimum spasial (h_s) menggunakan Validasi Silang berdasarkan pendekatan optimasi GWR dengan rumus sebagai berikut:

$$CV(h_s) = \sum_i (y_i - \hat{y}_{\neq i}(h_s))^2$$

- b. Menghitung parameter rasio spasial-temporal optimum (τ) menggunakan Validasi Silang berdasarkan pendekatan optimasi GTWR dengan rumus sebagai berikut:

$$CV(\tau) = \sum_i (y_i - \hat{y}_{\neq i}(\tau))^2$$

- c. Menghitung parameter φ^S dan φ^T menggunakan pendekatan Validasi Silang dengan rumus seperti pada poin b. Kedua Parameter tersebut didasarkan pada fungsi jarak spasial-temporal dengan rumus sebagai berikut:

$$(d_{ij}^{ST})^2 = \varphi^S [(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2] + \varphi^T (t_i - t_j)^2$$

- d. Menentukan matriks pembobot (W) menggunakan ukuran jarak spasial-temporal untuk setiap lokasi pengamatan berdasarkan Fungsi Kernel *Gaussian* dengan rumus sebagai berikut:

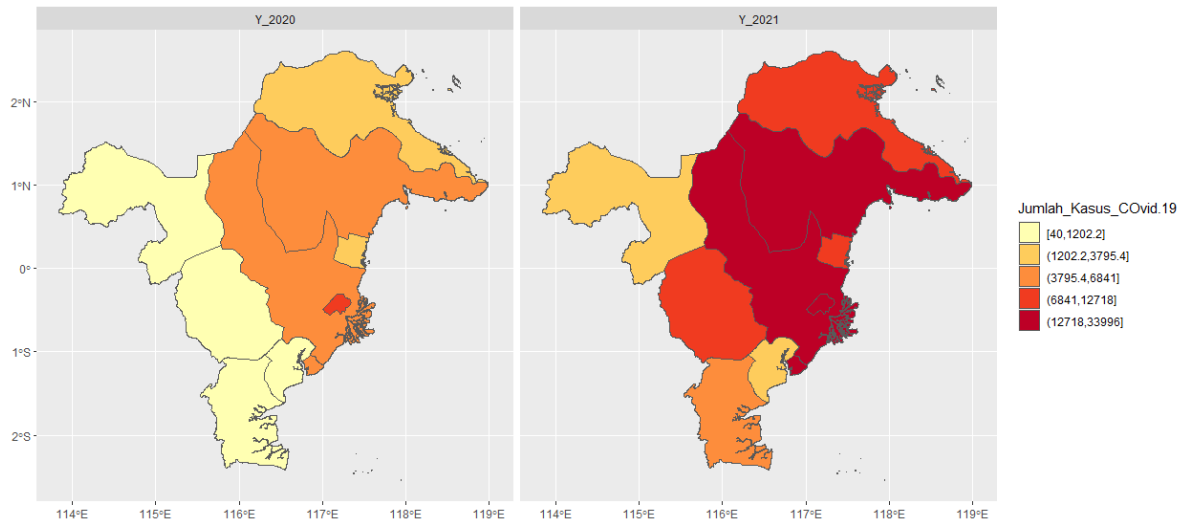
$$w_{ij} = \exp \left(- \left(\frac{d_{ij}}{h} \right)^2 \right)$$

- e. Melakukan pendugaan parameter pada model GTWR pada masing-masing lokasi menggunakan metode *Weighted Least Square* (WLS).
6. Pemetaan keragaman spasial- temporal pada masing-masing koefisien peubah bebas.
7. Pemetaan Signifikansi Variabel pada masing-masing daerah.

BAB 4

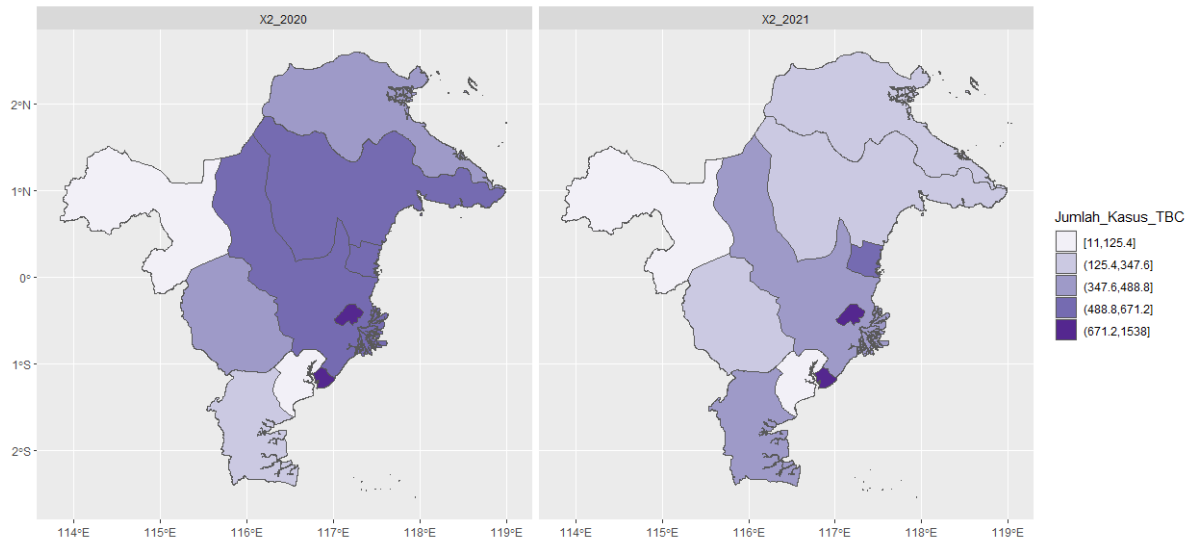
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Statistika Deskriptif (Penyajian data berupa peta y dan x)



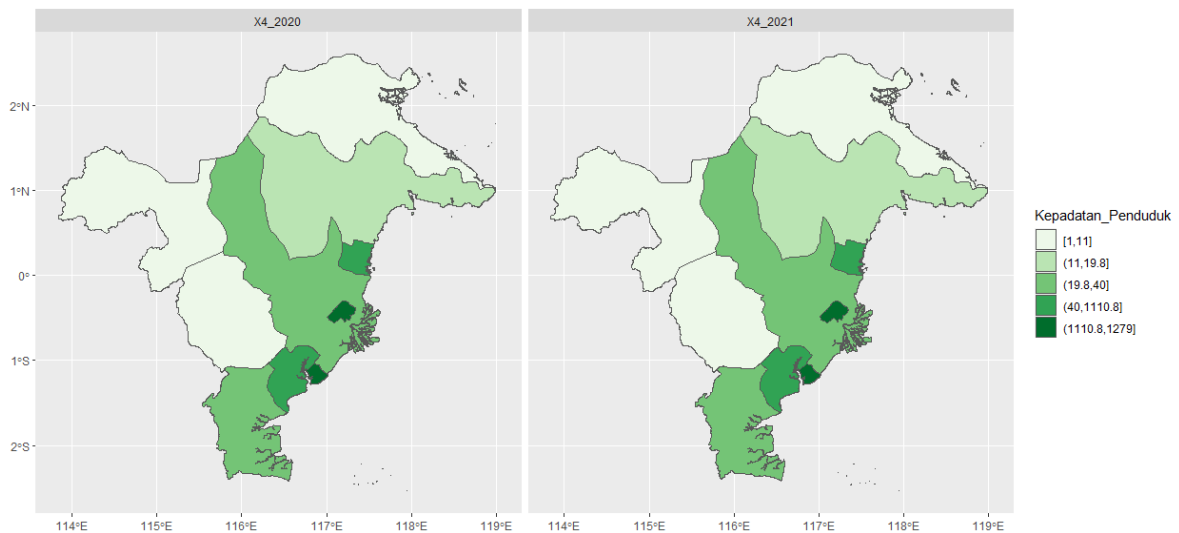
Gambar 4.1 Pemetaan Jumlah Kasus Positif COVID-19 Terkonfirmasi tahun 2020-2021

Pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa jumlah kasus positif Covid-19 tahun 2020 terkonfirmasi menyebar merata di seluruh kabupaten/kota di Kalimantan Timur. Hal ini terlihat dari sebaran warna cenderung sama. Namun jika dibandingkan dengan tahun 2021, pada tahun 2020 jumlah kasus yang terkonfirmasi masih cenderung sedikit. Sedangkan pada tahun 2021, jumlah kasus positif Covid-19 cenderung meningkat. Hal ini tampak jelas berdasarkan perubahan warna yang terjadi pada kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur.



Gambar 4.2 Pemetaan Angka Kasus TBC tahun 2020-2021

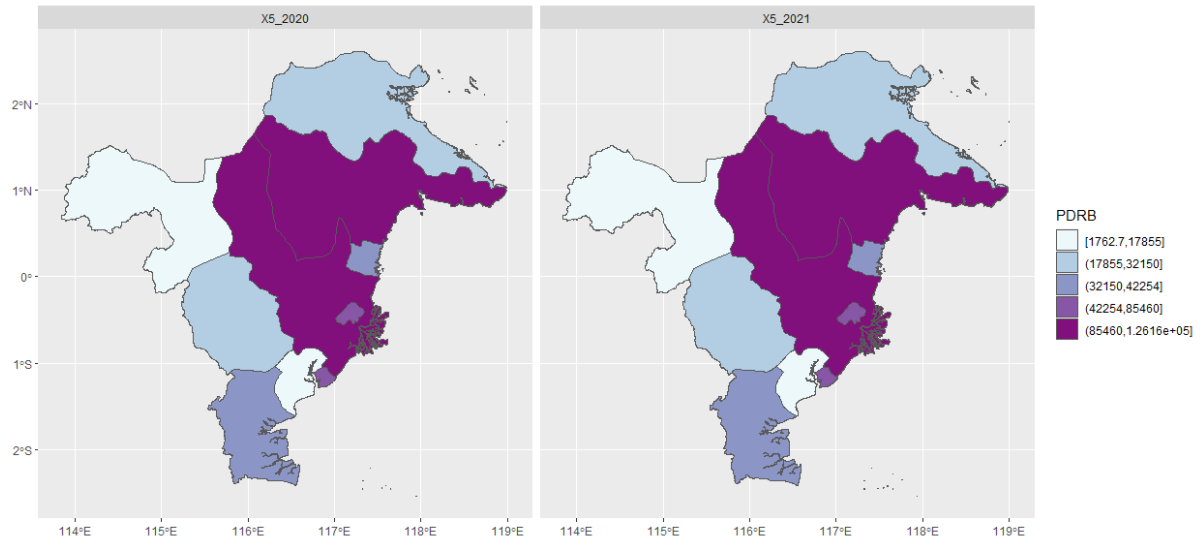
Pada Gambar 4.2 menunjukkan sebaran Angka Kasus TBC pada tahun 2020-2021. Secara umum, tidak terjadi peningkatan Angka Kasus TBC di setiap kabupaten/kota di Kalimantan Timur. Hal ini terlihat dari pola warna yang hampir sama dan merata di setiap daerah. Namun pada beberapa kabupaten/kota, Angka Kasus TBC tahun 2021 mengalami penurunan jika dibandingkan pada tahun 2020. Hal ini terlihat dari warna yang awalnya gelap berubah menjadi semakin terang.



Gambar 4.3 Pemetaan Kepadatan Penduduk tahun 2020-2021

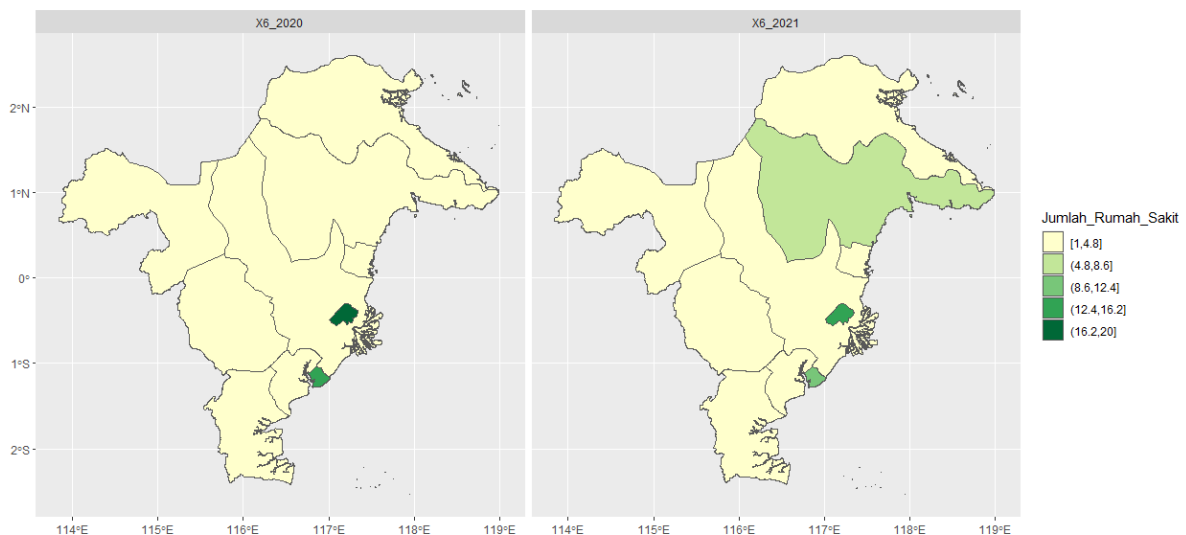
Pada Gambar 4.3 menunjukkan sebaran Kepadatan Penduduk pada tahun 2020-2021. Secara umum, tidak terjadi peningkatan Kepadatan Penduduk di setiap kabupaten/kota di Kalimantan Timur. Hal ini terlihat dari pola warna yang hampir sama pada tahun 2020 ke 2021.

Namun pada beberapa kabupaten/kota memiliki Kepadatan Penduduk yang lebih tinggi dibandingkan kabupaten/kota yang lain. Hal ini terlihat dari warna yang semakin gelap.



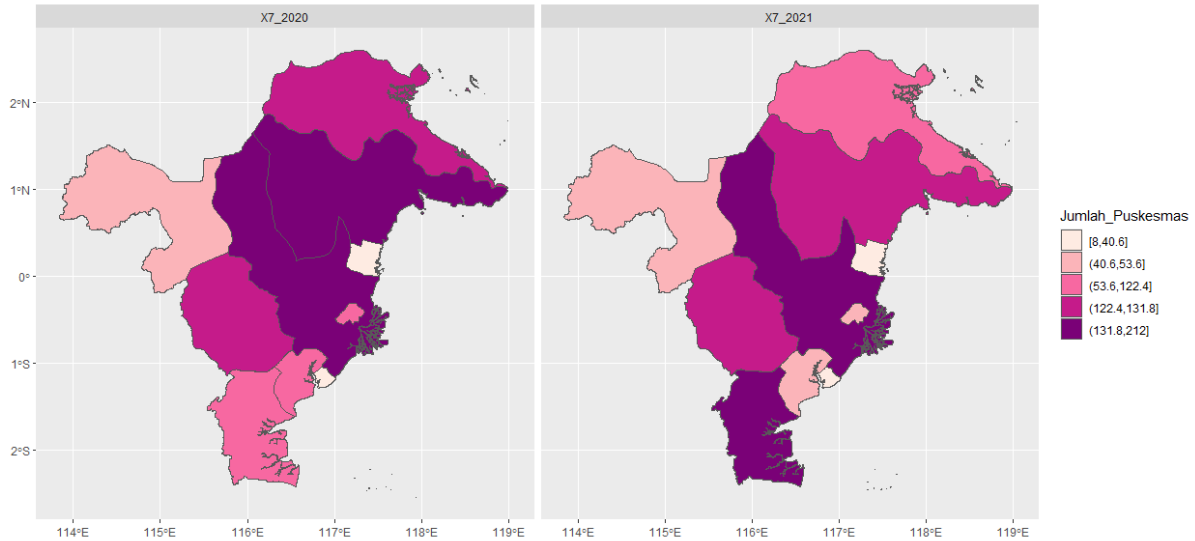
Gambar 4.4 Pemetaan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) tahun 2020-2021

Pada Gambar 4.4 menunjukkan sebaran PDRB pada tahun 2020-2021. Secara umum, tidak terjadi peningkatan PDRB di setiap kabupaten/kota di Kalimantan Timur. Hal ini terlihat dari pola warna yang hampir sama jika dibandingkan pada tahun 2020 dan 2021. Namun Sebagian besar daerah memiliki nilai PDRB yang lebih tinggi. Hal ini terlihat dari warna yang gelap.



Gambar 4.5 Pemetaan Jumlah Rumah Sakit tahun 2020-2021

Pada Gambar 4.5 menunjukkan sebaran Jumlah Rumah Sakit pada tahun 2020-2021. Secara umum, tidak terjadi peningkatan jumlah rumah sakit di setiap kabupaten/kota di Kalimantan Timur. Hal ini terlihat dari pola warna yang hampir sama dan merata di setiap daerah. Namun pada Kabupaten Kutai Timur mengalami peningkatan jumlah rumah sakit pada tahun 2021 dibandingkan kabupaten/kota yang lain. Hal ini terlihat dari warna yang semakin gelap.



Gambar 4.6 Pemetaan Jumlah Puskesmas tahun 2020-2021

Pada Gambar 4.6 menunjukkan sebaran Jumlah Puskesmas pada tahun 2020-2021. Secara umum, tidak terjadi peningkatan Jumlah Puskesmas di setiap kabupaten/kota di Kalimantan Timur. Hal ini terlihat dari pola warna yang hampir sama jika dibandingkan tahun 2020 dengan 2021. Namun untuk beberapa daerah seperti di Kutai Timur dan Berau mengalami penurunan jumlah Puskesmas. Hal ini terlihat dari warna yang semakin terang dari tahun 2020 ke tahun 2021.

4.2. Summary Statistik

Tabel 4.1 Summary Statistik Variabel

Statistika	Y	X2	X4	X5	X6	X7
Deskriptif						
min	40	11	1	1762.69	1	8
max	33996	1538	1279	126160.2	20	212
range	33956	1527	1278	124397.5	19	204
sum	160901	9669	7403	956789.3	101	1826

median	5443.5	395	28	37518.26	3	88
mean	8045.05	483.45	370.15	47839.47	5.05	91.3
SE.mean	1983.691	95.30724	122.9133	8672.878	1.170863	13.46537
var	78700590	181669.4	302153.6	1504376000	27.41842	3626.326
std.dev	8871.335	426.227	549.685	38786.29	5.23626	60.21899

Tabel 4.2 Korelasi Variabel Independen terhadap Jumlah Kasus Positif COVID-19

Variabel	Korelasi	<i>p-value</i>
X2	0.26	0.2655
X4	0.44	0.0496*
X5	0.5	0.025*
X6	0.43	0.0564
X7	0.02	0.9381

Keterangan: (*) = signifikan pada taraf signifikansi 5%

Berdasarkan nilai korelasi variabel penjelas terhadap variabel respon tampak bahwa variabel X5 memiliki korelasi yang tinggi dan positif terhadap variabel Y. Selain itu variabel X5 memiliki korelasi yang signifikan terhadap variabel Y. Hal ini dapat disimpulkan bahwa seiring dengan bertambahnya jumlah kasus positif Covid-19 maka PDRB suatu daerah mengalami peningkatan.

Tabel 4.3 Uji Multikolinieritas

Variabel	VIF
Bebas	
X2	7.83393
X4	9.958915
X5	3.159015
X6	5.868156
X7	6.47076

Dari hasil uji multikolinieritas menunjukkan bahwa semua variabel memiliki nilai VIF < 10. Dapat disimpulkan bahwa seluruh variabel independen tidak terjadi multikolinieritas.

Tabel 4.4 Nilai Uji Keragaman Spasial

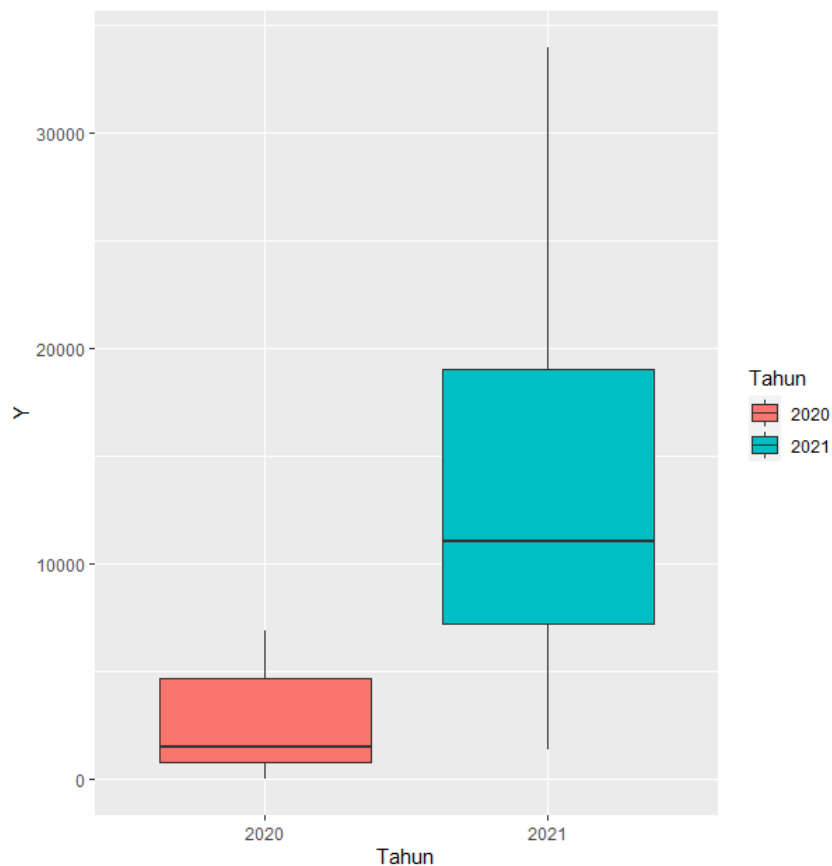
Nilai Breusch-Pagan	p-Value
11.599	0.04071

Hipotesis:

H_0 : Tidak terdapat keragaman spasial

H_1 : terdapat keragaman spasial

Dari *output* di atas terlihat bahwa nilai p-value sebesar $0.04071 < 0.05$ sehingga tolak H_0 . Hal ini dapat disimpulkan bahwa terdapat keragaman spasial pada model regresi linier berganda.



Gambar 4.7 Boxplot Keragaman Temporal pada Setiap Tahun

Pada Gambar 4.7 menunjukkan hasil visualisasi Jumlah kasus positif Covid-19 pada tahun 2020-2021 dengan menggunakan Boxplot. Terlihat bahwa pada tahun 2021 memiliki keragaman jumlah kasus positif yang lebih besar dibandingkan pada tahun 2020. Perbedaan keragaman ini menunjukkan adanya indikasi keragaman antar tahun atau disebut sebagai keragaman temporal.

4.3. Pemodelan GTWR

4.3.1. Estimasi Model GTWR

Taksiran model GTWR pada lokasi ke- i dan waktu ke- t adalah sebagai berikut:

$$\hat{y}_{it} = \hat{\beta}_0(u_i, v_i, t_i) + \hat{\beta}_2(u_i, v_i, t_i)x_{it2} + \hat{\beta}_4(u_i, v_i, t_i)x_{it4} + \hat{\beta}_5(u_i, v_i, t_i)x_{it5} + \hat{\beta}_6(u_i, v_i, t_i)x_{it6} + \hat{\beta}_7(u_i, v_i, t_i)x_{it7}, i = 1, 2, \dots, 56; t = 1, 2$$

4.3.2. Nilai Fungsi Jarak

Langkah pertama dalam penaksiran parameter model GTWR adalah mencari matriks jarak spasial-temporal dengan fungsi *euclidean* antar titik lokasi pengamatan berdasarkan posisi geografis (*longitude* dan *latitude*) pada waktu ke-t. Matriks jarak *euclidean* lokasi pengamatan ke-1, ke-2, sampai ke-10 dengan lokasi pengamatan lain pada masing-masing waktu pengamatan disajikan sebagai berikut:

Tabel 4.5 Matriks Jarak Spasial-Temporal dengan Fungsi *Euclidean*

Lokasi (i,j)		1	2	3	4	5	6	...	10
	Waktu (t)	2020	2020	2020	2020	2020	2020	...	2021
1	2020	0	3.839	2.208	3.802	4.874	1.120	...	5.460
2	2020	3.839	0	1.632	0.081	1.410	2.766	...	4.326
3	2020	2.208	1.632	0	1.594	2.786	1.142	...	4.448
4	2020	3.802	0.081	1.594	0	1.489	2.722	...	4.316
5	2020	4.874	1.410	2.786	1.489	0	3.907	...	4.735
6	2020	1.120	2.766	1.142	2.722	3.907	0	...	4.852
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10	2021	5.460	4.326	4.448	4.316	4.735	4.852	...	0

4.3.3. Nilai Fungsi Pembobotan

Matriks pembobot Spasial-Temporal dengan fungsi *Kernel Gaussian*, *Exponential*, dan *Bisquare* pada lokasi pengamatan ke-1, ke-2, sampai ke-56 dengan lokasi pengamatan lain pada masing-masing waktu pengamatan disajikan sebagai berikut:

Tabel 4.6 Matriks Pembobot Spasial-Temporal dengan fungsi *Kernel Gaussian*

Lokasi (i,j)		1	2	3	4	5	6	...	10
	Waktu (t)	2020	2020	2020	2020	2020	2020	...	2021
1	2020	1	0.017	0.261	0.019	0.001	0.708	...	0.000
2	2020	0.017	1	0.480	0.998	0.578	0.121	...	0.006

3	2020	0.261	0.480	1	0.496	0.118	0.698	...	0.004
4	2020	0.019	0.998	0.496	1	0.543	0.130	...	0.006
5	2020	0.001	0.578	0.118	0.543	1	0.015	...	0.002
6	2020	0.708	0.121	0.698	0.130	0.015	1	...	0.002
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10	2021	0.000	0.006	0.004	0.006	0.002	0.002	...	1

Tabel 4.7 Matriks Pembobot Spasial-Temporal dengan fungsi *Kernel Exponential*

Lokasi (i,j)		1	2	3	4	5	6	...	10
Waktu (t)		2020	2020	2020	2020	2020	2020	...	2021
1	2020	1	0.003	0.036	0.003	0.001	0.186	...	0.000
2	2020	0.003	1	0.086	0.886	0.120	0.016	...	0.001
3	2020	0.036	0.086	1	0.091	0.015	0.180	...	0.001
4	2020	0.003	0.886	0.091	1	0.107	0.017	...	0.002
5	2020	0.001	0.120	0.015	0.107	1	0.003	...	0.001
6	2020	0.186	0.016	0.180	0.017	0.003	1	...	0.001
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10	0.000	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	...	1

Tabel 4.8 Matriks Pembobot Spasial-Temporal dengan fungsi *Kernel Bisquare*

Lokasi (i,j)		1	2	3	4	5	6	...	10
Waktu (t)		2020	2020	2020	2020	2020	2020	...	2021
1	2020	1	6.040	0.011	5.319	38.326	0.636	...	1.957
2	2020	6.040	1	0.120	0.995	0.044	1.064	...	0.533
3	2020	0.011	0.120	1	0.170	3.029	0.381	...	0.436
4	2020	5.319	0.995	0.170	1	0.014	0.830	...	0.586
5	2020	38.326	0.044	3.029	0.014	1	17.270	...	0.558
6	2020	0.636	1.064	0.381	0.830	17.270	1	...	0.065
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

4.3.4. Fungsi Kernel pada Fixed Bandwidth

Tabel 4.9 Perbandingan Fungsi Kernel pada Fixed Bandwidth

Fungsi Kernel	Bandwidth	AIC	R2
Gaussian	1.346	714.263	0.981
Bisquare	1.584	733.6628	0.816
Exponential	0.665	1649.417	0.998

Pada Tabel 4.9 terlihat bahwa dengan menggunakan uji kebaikan model yaitu AIC, fungsi kernel Gaussian memiliki nilai yang paling kecil dibandingkan dengan fungsi kernel yang lain.

Sedangkan pada nilai R-Square, fungsi kernel Exponential memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan fungsi kernel yang lain. Namun nilai R-Square pada fungsi kernel Gaussian dan fungsi kernel Exponential tidak jauh berbeda. Sehingga fungsi Kernel Gaussian merupakan fungsi yang secara umum memberikan hasil pemodelan GTWR yang lebih baik pada data penelitian ini.

4.3.5. Persamaan Model GTWR

Tabel 4.10 Ringkasan nilai estimasi parameter model GTWR

Estimasi Parameter	Minimum	Q₁	Median	Q₃	Maximum
$\hat{\beta}_0$	-5392.300	-5067.800	-4798.200	-4638.800	-4463.556
$\hat{\beta}_2$	-39.634	-39.287	-38.379	-36.986	-36.741
$\hat{\beta}_4$	21.770	22.144	23.383	24.638	25.076
$\hat{\beta}_5$	0.084	0.092	0.099	0.104	0.111
$\hat{\beta}_6$	1600.100	1633.700	1698.700	1728.600	1802.590
$\hat{\beta}_7$	93.679	96.681	101.950	109.210	114.508

Pada Tabel 4.10 menunjukkan *Summary* hasil pemodelan dengan GTWR dengan menggunakan fungsi *kernel Gaussian* dengan *Fixed bandwidth* pada fungsi pembobot spasial dan temporalnya. Variabel Angka Kasus TBC (X2) memiliki nilai koefisien antara -39.634 sampai dengan -36.741. Variabel Kepadatan Penduduk (X4) memiliki nilai koefisien antara 21.770 sampai dengan 25.076. Variabel PDRB (X5) memiliki nilai koefisien antara 0.084

sampai dengan 0.111. Variabel Jumlah Rumah Sakit (X6) memiliki nilai koefisien antara 1600.100 sampai dengan 1802.590. Variabel Jumlah Puskesmas (X7) memiliki nilai koefisien antara 93.679 sampai dengan 114.508. Nilai koefisien pada masing-masing variabel ini tersebar di seluruh kabupaten/kota di Kalimantan Timur.

Berdasarkan hasil pendugaan parameter, diperoleh penduga model GTWR yang menyatakan hubungan antara variabel bebas Angka Kasus TBC (X2), Kepadatan Penduduk (X4), PDRB (X5), Jumlah Rumah Sakit (X6), dan Jumlah Puskesmas (X7) terhadap persentase jumlah kasus Positif Covid-19 di Provinsi Kalimantan Timur untuk beberapa Kabupaten/kota adalah sebagai berikut:

Kota Samarinda tahun 2020

$$\hat{y}_{it} = -4486.95 - 36.9508X_{it2} + 21.769X_{it4} + 0.095X_{it5} + 1727.66X_{it6} + 93.678X_{it7}$$

Kota Samarinda tahun 2021

$$\hat{y}_{it} = -5003.422 - 39.333X_{it2} + 24.626X_{it4} + 0.106X_{it5} + 1638.66X_{it6} + 108.301X_{it7}$$

Kabupaten Bontang tahun 2020

$$\hat{y}_{it} = -4644.833 - 36.994X_{it2} + 22.067X_{it4} + 0.089X_{it5} + 1730.563X_{it6} + 96.895X_{it7}$$

Kabupaten Bontang tahun 2021

$$\hat{y}_{it} = -5334.404 - 39.633X_{it2} + 24.673X_{it4} + 0.102X_{it5} + 1679.627X_{it6} + 112.598X_{it7}$$

4.3.6. Ukuran Keباikan Model

Ukuran kebaikan yang digunakan untuk membandingkan model Regresi Linier Berganda dan model GTWR adalah koefisien determinasi (R^2), *Akaike Information Criterion* (AIC) dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Perbandingan nilai ukuran kebaikan disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 4.11 Perbandingan Model pada Jumlah Kasus Positif COVID-19

Kriteria	Regresi Linier Berganda	GTWR
R ²	0.8344	0.981
AIC	397.3927	714.263
RMSE	4205.785	2270.671

Dari perbandingan model di atas, terlihat bahwa model GTWR lebih baik dibandingkan dengan model Regresi Linier Berganda. Hal ini ditunjukkan dari nilai R^2 yang lebih tinggi. Disisi lain, walaupun untuk kriteria AIC pada model GTWR lebih tinggi namun RMSE pada model GTWR menunjukkan nilai yang lebih kecil dibandingkan Regresi Linier Berganda.

4.3.7. Uji Signifikansi Simultan dan Parsial

Pengujian hipotesis yang pertama dilakukan adalah pengujian model secara simultan untuk menguji kesesuaian (*goodness of fit*) dari model GTWR. Hipotesis pengujian kesesuaian model GWPR adalah:

$$H_0 : \hat{\beta}_k(u_i, v_i, t_i) = \hat{\beta}_k, k = 1,2, \dots, 5 ; i = 1,2, \dots, 56 ; t = 1,2$$

(Tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara model regresi linier berganda dan GTWR)

$$H_1 : \text{minimal terdapat satu } \hat{\beta}_k(u_i, v_i, t_i) \neq \hat{\beta}_k, k = 1,2, \dots, 5 ; i = 1,2, \dots, 56 ; t = 1,2$$

(Tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara model regresi linier berganda dan GTWR)

Tabel 4.12 Nilai Statistik Uji Pengujian Hipotesis Kesesuaian Model Secara Simultan

<i>F-Statistics</i>	F Tabel	<i>p-value</i>	Keputusan Uji
5.000899	3.0569	0.0102	Tolak Ho

Berdasarkan Tabel 4.12, diperoleh bahwa $F\text{-Statistics} = 5.000899 > F\text{-Tabel} = 3.0569$ atau $p\text{-value} = 0.0102 < \alpha = 0.05$, maka diputuskan menolak H_0 dan dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara model regresi linier berganda dan GTWR.

Pengujian parameter secara parsial bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas secara parsial terhadap variabel terikat. Hipotesis uji parameter model regresi secara parsial untuk parameter $\hat{\beta}_k(u_i, v_i, t_i)$ adalah

$$H_0 : \hat{\beta}_k(u_i, v_i, t_i) = 0, k = 1,2, \dots, 5 ; i = 1,2, \dots, 10 ; t = 1,2$$

(Variabel bebas X_{kt} tidak berpengaruh terhadap jumlah kasus positif Covid-19 di Provinsi Kalimantan Timur)

$$H_1 : \hat{\beta}_k(u_i, v_i, t_i) \neq 0, k = 1,2, \dots, 5 ; i = 1,2, \dots, 10 ; t = 1,2$$

(Variabel bebas X_{kt} berpengaruh terhadap jumlah kasus positif Covid-19 di Provinsi Kalimantan Timur)

Statistik uji pengujian parameter secara parsial adalah statistik uji t. Kriteria penolakan H_0 pada taraf signifikansi $\alpha = 0.05$ adalah tolak H_0 jika $p\text{-value} < 0.05$. Hasil pengujian parameter secara parsial pada seluruh kabupaten/kota di Kalimantan Timur tahun 2020-2021 dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4.13 Nilai statistik uji pengujian hipotesis parameter Model GTWR secara parsial

Lokasi	Tahun	Parameter	Nilai Taksiran	Standard Error	T-Value	p-value	
Paser	2020		-				
		$\hat{\beta}_0$	4513.900	3370.649	-1.339	0.196	
		$\hat{\beta}_2$	-37.472	6.371	-5.882	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	22.119	5.756	3.843	0.001*	
		$\hat{\beta}_5$	0.093	0.046	2.020	0.058	
		$\hat{\beta}_6$	1766.074	461.339	3.828	0.001*	
		$\hat{\beta}_7$	94.788	42.489	2.231	0.038*	
	2021		-				
		$\hat{\beta}_0$	4995.670	3358.562	-1.487	0.153	
		$\hat{\beta}_2$	-38.837	6.320	-6.145	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	24.613	5.656	4.352	0.000*	
		$\hat{\beta}_5$	0.111	0.046	2.393	0.027*	
		$\hat{\beta}_6$	1600.880	462.507	3.461	0.003*	
		$\hat{\beta}_7$	106.600	42.122	2.531	0.020*	
Kutai Barat	2020		-				
		$\hat{\beta}_0$	4718.127	3344.802	-1.411	0.175	
		$\hat{\beta}_2$	-36.869	6.340	-5.815	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	22.229	5.659	3.928	0.001*	
		$\hat{\beta}_5$	0.086	0.045	1.894	0.074	
		$\hat{\beta}_6$	1719.689	453.025	3.796	0.001*	
		$\hat{\beta}_7$	99.031	41.907	2.363	0.029*	
	2021		-				
		$\hat{\beta}_0$	5373.087	3333.769	-1.612	0.124	
		$\hat{\beta}_2$	-39.366	6.333	-6.216	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	25.044	5.590	4.480	0.000*	
		$\hat{\beta}_5$	0.101	0.045	2.235	0.038*	
		$\hat{\beta}_6$	1634.428	457.243	3.575	0.002*	
		$\hat{\beta}_7$	114.363	41.677	2.744	0.013*	

Lokasi	Tahun	Parameter	Nilai Taksiran	Standard Error	T- Value	p-value	
Kutai Kartanegara	2020		-				
		$\hat{\beta}_0$	4647.222	3322.170	-1.399	0.178	
		$\hat{\beta}_2$	-37.349	6.317	-5.913	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	22.106	5.656	3.908	0.001*	
		$\hat{\beta}_5$	0.095	0.046	2.079	0.051	
		$\hat{\beta}_6$	1741.614	454.768	3.830	0.001*	
		$\hat{\beta}_7$	96.038	41.890	2.293	0.033*	
	2021		-				
		$\hat{\beta}_0$	4960.652	3321.013	-1.494	0.152	
		$\hat{\beta}_2$	-39.472	6.329	-6.237	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	24.616	5.617	4.382	0.000*	
		$\hat{\beta}_5$	0.105	0.046	2.302	0.033*	
		$\hat{\beta}_6$	1657.227	454.989	3.642	0.002*	
		$\hat{\beta}_7$	108.031	41.769	2.586	0.018*	
Kutai Timur	2020		-				
		$\hat{\beta}_0$	4714.638	3341.608	-1.411	0.174	
		$\hat{\beta}_2$	-36.830	6.337	-5.811	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	22.204	5.652	3.929	0.001*	
		$\hat{\beta}_5$	0.086	0.045	1.904	0.072	
		$\hat{\beta}_6$	1717.840	452.186	3.799	0.001*	
		$\hat{\beta}_7$	98.710	41.896	2.356	0.029*	
	2021		-				
		$\hat{\beta}_0$	5392.271	3330.941	-1.619	0.122	
		$\hat{\beta}_2$	-39.450	6.336	-6.226	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	25.075	5.584	4.490	0.000*	
		$\hat{\beta}_5$	0.101	0.045	2.232	0.038*	
		$\hat{\beta}_6$	1639.720	457.318	3.586	0.002*	
		$\hat{\beta}_7$	114.507	41.666	2.748	0.013*	

Lokasi	Tahun	Parameter	Nilai Taksiran	Standard Error	T-Value	p-value	
Berau	2020		-				
		$\hat{\beta}_0$	4620.770	3392.932	-1.362	0.189	
		$\hat{\beta}_2$	-36.741	6.389	-5.750	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	22.035	5.756	3.828	0.001*	
		$\hat{\beta}_5$	0.084	0.046	1.813	0.086	
		$\hat{\beta}_6$	1726.511	459.584	3.757	0.001*	
		$\hat{\beta}_7$	98.873	42.566	2.323	0.031*	
	2021		-				
		$\hat{\beta}_0$	5294.017	3376.915	-1.568	0.133	
		$\hat{\beta}_2$	-39.045	6.357	-6.142	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	24.993	5.652	4.422	0.000*	
		$\hat{\beta}_5$	0.102	0.046	2.231	0.038*	
		$\hat{\beta}_6$	1605.773	464.630	3.456	0.003*	
		$\hat{\beta}_7$	114.001	42.264	2.697	0.014*	
Penajam Paser Utara	2020		-				
		$\hat{\beta}_0$	4463.556	3338.356	-1.337	0.197	
		$\hat{\beta}_2$	-37.932	6.350	-5.973	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	22.245	5.715	3.892	0.001*	
		$\hat{\beta}_5$	0.097	0.046	2.102	0.049*	
		$\hat{\beta}_6$	1784.473	458.802	3.889	0.001*	
		$\hat{\beta}_7$	93.927	42.258	2.223	0.039*	
	2021		-				
		$\hat{\beta}_0$	4941.249	3327.074	-1.485	0.154	
		$\hat{\beta}_2$	-38.653	6.303	-6.133	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	24.455	5.630	4.343	0.000*	
		$\hat{\beta}_5$	0.110	0.046	2.388	0.027*	
		$\hat{\beta}_6$	1605.645	458.924	3.499	0.002*	
		$\hat{\beta}_7$	105.966	41.831	2.533	0.020*	

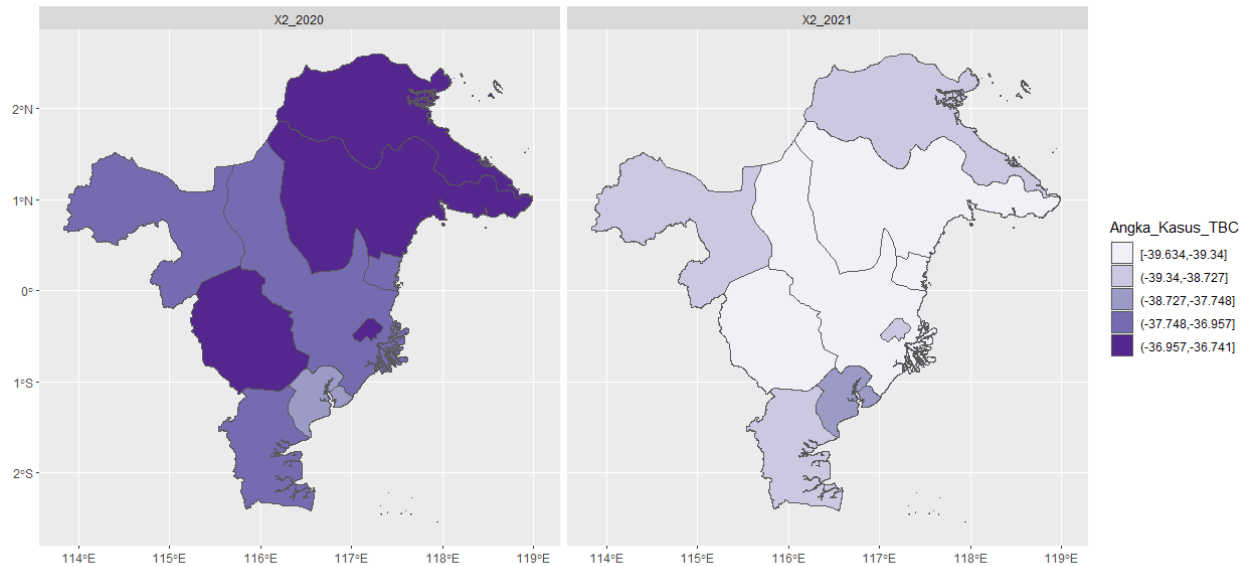
Lokasi	Tahun	Parameter	Nilai Taksiran	Standard Error	T- Value	p-value	
Mahakam Ulu	2020		-				
		$\hat{\beta}_0$	4720.081	3317.519	-1.423	0.171	
		$\hat{\beta}_2$	-36.959	6.337	-5.833	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	22.153	5.665	3.910	0.001*	
		$\hat{\beta}_5$	0.089	0.046	1.948	0.066	
		$\hat{\beta}_6$	1727.921	454.857	3.799	0.001*	
		$\hat{\beta}_7$	97.574	41.959	2.325	0.031*	
	2021		-				
		$\hat{\beta}_0$	5261.038	3308.105	-1.590	0.128	
		$\hat{\beta}_2$	-39.272	6.326	-6.208	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	24.880	5.601	4.442	0.000*	
		$\hat{\beta}_5$	0.104	0.046	2.277	0.035*	
		$\hat{\beta}_6$	1631.572	458.308	3.560	0.002*	
		$\hat{\beta}_7$	111.917	41.733	2.682	0.015*	
Balikpapan	2020		-				
		$\hat{\beta}_0$	4502.667	3342.060	-1.347	0.194	
		$\hat{\beta}_2$	-38.345	6.351	-6.038	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	22.454	5.711	3.931	0.001*	
		$\hat{\beta}_5$	0.098	0.046	2.145	0.045*	
		$\hat{\beta}_6$	1802.590	458.312	3.933	0.001*	
		$\hat{\beta}_7$	94.143	42.244	2.229	0.038*	
	2021		-				
		$\hat{\beta}_0$	4876.362	3329.596	-1.465	0.159	
		$\hat{\beta}_2$	-38.413	6.298	-6.099	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	24.313	5.628	4.320	0.000*	
		$\hat{\beta}_5$	0.110	0.046	2.401	0.027*	
		$\hat{\beta}_6$	1600.129	457.831	3.495	0.002*	
		$\hat{\beta}_7$	104.875	41.760	2.511	0.021*	

Lokasi	Tahun	Parameter	Nilai Taksiran	Standard Error	T-Value	p-value	
Samarinda	2020		-				
		$\hat{\beta}_0$	4486.950	3322.295	-1.351	0.193	
		$\hat{\beta}_2$	-36.951	6.309	-5.857	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	21.770	5.648	3.854	0.001*	
		$\hat{\beta}_5$	0.095	0.046	2.085	0.051	
		$\hat{\beta}_6$	1727.660	454.194	3.804	0.001*	
		$\hat{\beta}_7$	93.679	41.844	2.239	0.037*	
	2021		-				
		$\hat{\beta}_0$	5003.423	3325.117	-1.505	0.149	
		$\hat{\beta}_2$	-39.333	6.339	-6.205	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	24.627	5.623	4.380	0.000*	
		$\hat{\beta}_5$	0.106	0.046	2.333	0.031*	
		$\hat{\beta}_6$	1638.662	453.946	3.610	0.002*	
		$\hat{\beta}_7$	108.301	41.802	2.591	0.018*	
Bontang	2020		-				
		$\hat{\beta}_0$	4644.833	3336.830	-1.392	0.180	
		$\hat{\beta}_2$	-36.995	6.329	-5.845	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	22.067	5.648	3.907	0.001*	
		$\hat{\beta}_5$	0.090	0.046	1.971	0.063	
		$\hat{\beta}_6$	1730.563	451.833	3.830	0.001*	
		$\hat{\beta}_7$	96.895	41.981	2.308	0.032*	
	2021		-				
		$\hat{\beta}_0$	5334.404	3330.044	-1.602	0.126	
		$\hat{\beta}_2$	-39.634	6.328	-6.263	0.000*	
		$\hat{\beta}_4$	24.674	5.594	4.411	0.000*	
		$\hat{\beta}_5$	0.103	0.045	2.264	0.035*	
		$\hat{\beta}_6$	1679.627	454.051	3.699	0.002*	
		$\hat{\beta}_7$	112.599	41.790	2.694	0.014*	

Keterangan: (*) Signifikan pada taraf signifikansi 5%

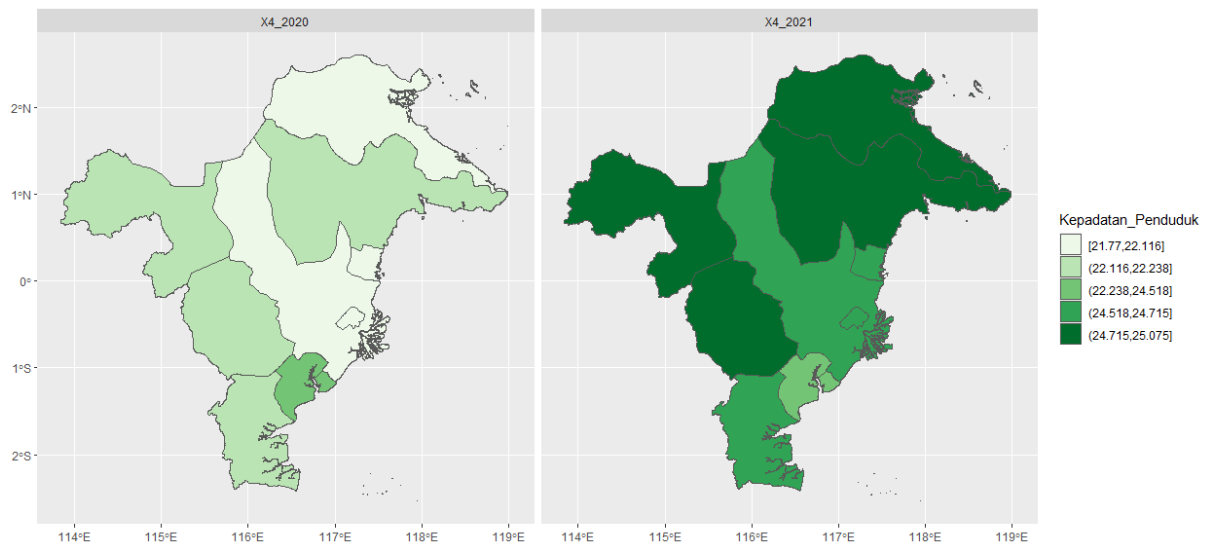
Berdasarkan Tabel di atas, faktor-faktor yang secara umum berpengaruh terhadap jumlah kasus positif Covid-19 di kabupaten/kota di Kalimantan Timur adalah Angka Kasus TBC, Kepadatan Penduduk, dan Jumlah Rumah Sakit. Hal ini ditunjukkan dari nilai *p-value* variabel-variabel tersebut lebih kecil dari 0.05.

4.3.8. Estimasi Parameter (Pemetaan Koefisien Regresi)



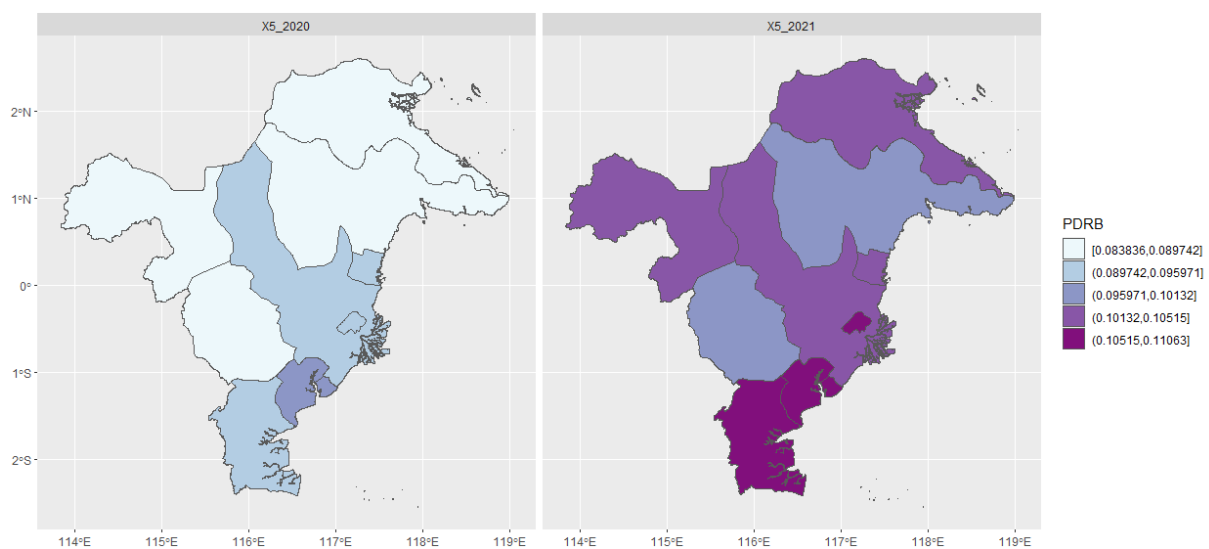
Gambar 4.8 Nilai Koefisien Variabel Angka Kasus TBC (X2)

Pada Gambar 4.8 menunjukkan sebaran nilai koefisien variabel Angka Kasus TBC pada tahun 2020-2021 di kabupaten/kota di Kalimantan Timur. Pada tahun 2020, Angka Kasus TBC di seluruh kabupaten/kota di Kalimantan Timur cenderung memiliki pengaruh yang tinggi terhadap penurunan jumlah kasus positif covid-19. Hal ini terlihat dengan adanya warna gelap yang merata di seluruh daerah. Sedangkan pada tahun 2021 memberikan pengaruh yang rendah terhadap penurunan jumlah kasus positif covid-19. Hal ini terlihat dengan warna terang yang berada pada daerah tersebut.



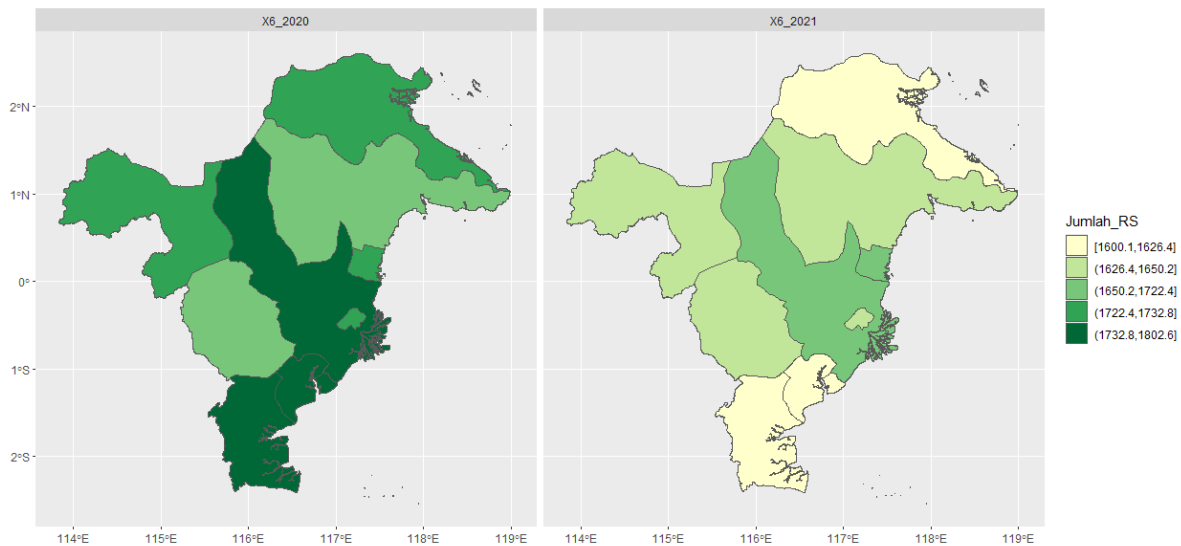
Gambar 4.9 Nilai Koefisien Variabel Kepadatan Penduduk (X4)

Pada Gambar 4.9 menunjukkan sebaran nilai koefisien variabel Kepadatan Penduduk pada tahun 2020-2021 di kabupaten/kota di Kalimantan Timur. Pada tahun 2020, Kepadatan Penduduk di seluruh kabupaten/kota di Kalimantan Timur cenderung memiliki pengaruh yang rendah terhadap penurunan jumlah kasus positif covid-19. Hal ini terlihat dengan adanya warna terang yang merata di seluruh daerah. Sedangkan pada tahun 2021, Kepadatan Penduduk di seluruh kabupaten/kota di Kalimantan Timur memberikan pengaruh yang tinggi terhadap penurunan jumlah kasus positif covid-19. Hal ini terlihat dengan warna gelap yang berada pada daerah tersebut.



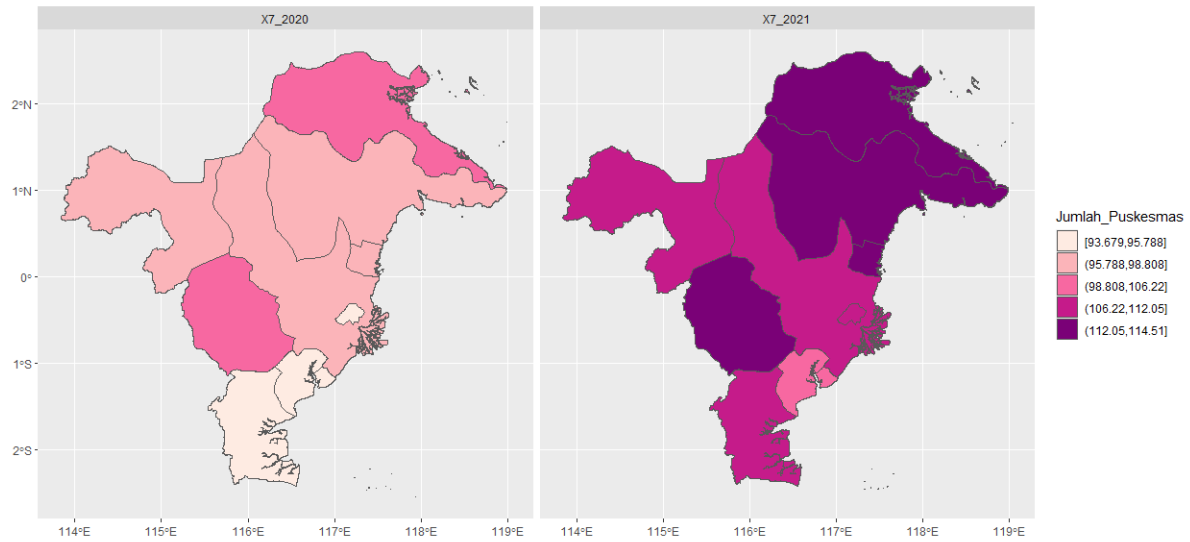
Gambar 4.10 Nilai Koefisien Variabel PDRB (X5)

Pada Gambar 4.10 menunjukkan sebaran nilai koefisien variabel PDRB pada tahun 2020-2021 di kabupaten/kota di Kalimantan Timur. Pada tahun 2020, PDRB di seluruh kabupaten/kota di Kalimantan Timur cenderung memiliki pengaruh yang rendah terhadap penurunan jumlah kasus positif covid-19. Hal ini terlihat dengan adanya warna terang yang merata di seluruh daerah. Sedangkan pada tahun 2021, PDRB di seluruh kabupaten/kota di Kalimantan Timur memberikan pengaruh yang tinggi terhadap penurunan jumlah kasus positif covid-19. Hal ini terlihat dengan warna terang yang berada pada daerah tersebut.



Gambar 4.11 Nilai Koefisien Variabel Jumlah Rumah Sakit (X6)

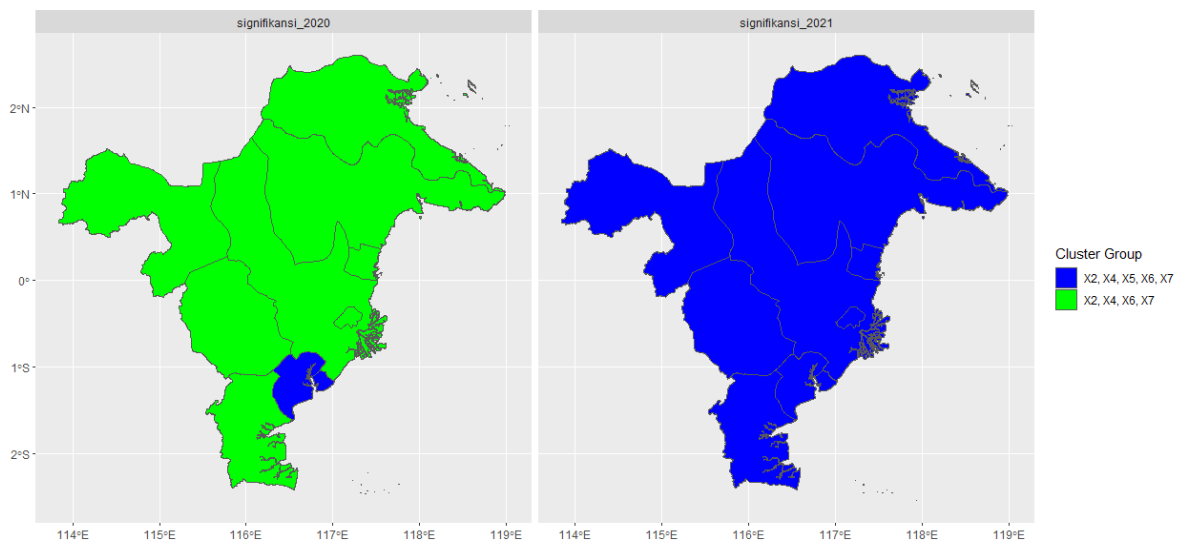
Pada Gambar 4.11 menunjukkan sebaran nilai koefisien variabel Jumlah Rumah Sakit pada tahun 2020-2021 di kabupaten/kota di Kalimantan Timur. Pada tahun 2020, Jumlah Rumah Sakit di seluruh kabupaten/kota di Kalimantan Timur cenderung memiliki pengaruh yang cukup tinggi terhadap penurunan jumlah kasus positif covid-19. Hal ini terlihat dengan adanya warna yang cenderung gelap dan merata di seluruh daerah. Sedangkan pada tahun 2021, Jumlah Rumah Sakit memberikan pengaruh yang cukup rendah terhadap penurunan jumlah kasus positif covid-19. Hal ini terlihat dengan warna terang yang berada pada daerah tersebut.



Gambar 4.12 Nilai Koefisien Variabel Jumlah Puskesmas (X7)

Pada Gambar 4.12 menunjukkan sebaran nilai koefisien variabel Jumlah Puskesmas pada tahun 2020-2021 di kabupaten/kota di Kalimantan Timur. Pada tahun 2020, Jumlah Puskesmas di seluruh kabupaten/kota di Kalimantan Timur cenderung memiliki pengaruh yang cukup rendah terhadap penurunan jumlah kasus positif covid-19. Hal ini terlihat dengan adanya warna yang cenderung terang dan merata di seluruh daerah. Sedangkan pada tahun 2021, Jumlah Puskesmas memberikan pengaruh yang tinggi terhadap penurunan jumlah kasus positif covid-19. Hal ini terlihat dengan warna terang yang berada pada daerah tersebut.

4.3.9. Signifikansi Parameter



Gambar 4.13 Signifikansi Variabel pada taraf nyata 5%

Pada Gambar 4.13 menunjukkan variabel-variabel yang signifikan mempengaruhi jumlah kasus positif covid-19 di Kalimantan Timur pada tahun 2020-2021. Pada tahun 2020, terlihat bahwa sebagian besar kabupaten/kota yang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap jumlah kasus positif covid-19 adalah Angka Kasus TBC (X2), Kepadatan Penduduk (X4), Jumlah Rumah Sakit (X6), dan Jumlah Puskesmas (X7). Sedangkan pada tahun 2021 terlihat bahwa seluruh variabel independent berpengaruh signifikan di seluruh kabupaten/kota di Kalimantan Timur.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Model Geographically Temporally Weighted Regression (GTWR) dapat mengontrol data yang tidak stasioner secara simultan baik secara spasial maupun temporal. Keunggulan GTWR adalah model terlokalisasi pada setiap lokasi dan waktu, sehingga model lebih representatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi peningkatan kumulatif kasus positif COVID-19 di Provinsi Kalimantan Timur adalah jumlah kasus tuberkulosis, kepadatan penduduk, PDRB, jumlah rumah sakit, dan jumlah kecamatan/desa yang memiliki kesehatan masyarakat. Berdasarkan nilai estimator parameter model GTWR, Balikpapan memiliki jumlah kasus tuberkulosis tertinggi pada tahun 2020. Sedangkan pada tahun 2021, Bontang memiliki jumlah kasus tuberkulosis yang mempengaruhi kasus COVID-19 tertinggi. Peningkatan kasus COVID-19 di Balikpapan juga dipengaruhi oleh tingginya kepadatan penduduk dan terbatasnya jumlah rumah sakit, sebagaimana terlihat dari estimator parameter tertinggi di antara estimator regional lainnya. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, memberikan informasi kepada reviewer untuk lebih fokus pada kasus tuberkulosis di masyarakat karena pengaruhnya yang cukup besar terhadap peningkatan kasus COVID-19 di Kaltim.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Brunson, C., Fotheringham, A.S., dan Charlton, M. 1999. Some Notes on Parametric Significance, Test for Geographically Weighted Regression. *Journal of Regional Sciences*, 39 (3): 497-524.
- [2] Fotheringham AS, Brunson C, Charlton M. 2002. *Geographically Weighted Regression*. Chichester. Wiley
- [3] Tobler WR. 1970. A Computer Movie Simulating Urban Growth in Detroit Region. *Economic Geography*. 46: 234-240
- [4] Fotheringham AS, Crespo R, Yao J. 2015. Geographically and Temporal Weighted Regression (GTWR). *Geographical Analysis*. The Ohio State University: Halaman 1-22
- [5] Wang, P. 2006. *Exploring spatial effects on housing price: the case study of the city of Calgary*. Master dissertation. University of Calgary, Canada.
- [6] Huang B, Wu B, Barry M. 2010. Geographically and Temporally Weighted Regression for Modelling Spatio-Temporal Variation in House Prices. *International Journal of Geographical Information Science*. 24 (1): 383-401
- [7] Mennis. 2006. Mapping the Result of Geographically Weighted Regression. *The Cartographic Journal*. 43 (2) : 171-179.
- [8] Yu D, Wei YD, Wu C. 2007. Modeling Spatial Dimensions of Housing Prices in Milwaukee, WI. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 34: 1085-1102.
- [9] Baharuddin. 2015. Pengembangan Model Regresi Terboboti Secara Geografis dan Temporal Studi Kasus: Angka Insiden Demam Berdarah Dengue di Surabaya. [disertasi]. Surabaya (ID). Universitas Airlangga.
- [10] Chasco, Coro and Garcia, Isabel and Vicens, Jose. 2007. Modeling Spatial Variations in Household Disposable Income with Geographically Weighted Regression. *Munich Personal RePEc Archive*.
- [11] Yasin H. 2011. Pemilihan Variabel pada Model Geographically Weighted Regression. *Media Statistika*. 4 (2): 63-72
- [12] Winarso K. 2015. Pemodelan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dengan Pendekatan Mixed Geographically Temporal Weighted Regression (MGTWR). [disertasi]. Surabaya (ID). Universitas Airlangga.
- [13] Wu B, Li R, Huang B. 2014. A Geographically and Temporally Weighted Autoregressive Model With Application to Housing Prices. *International Journal of Geographical Information Science*. 28 (5): 1186-1204

- [14] Liu J, Zhao Y, Yang Y, Xu S, Zhang F, Zhang X, Shi L, Qiu A. 2017. A Mixed Geographically and Temporally Weighted Regression: Exploring Spatial-Temporal Variations from Global and Local Perspectives. *Article Entropy MDPI*. 53 (19): 1-20
- [15] Leung Y, Mei C, Zhang W. 2000. Statistical Test for Spatial Nonstationarity Based on The Geographically Weighted Regression Model. *Environment and Planning A*. 32: 9-32
- [16] Nakaya T, Fotheringham A.S, Brinsdon C, and Charlton M. 2005. Geographically Weighted Poisson Regression for Disease Association Mapping. *Statistics in Medicine*. 43 (17): 2695-2717
- [17] Gross, B., Zheng, Z., Liu, S., Chen, X., Sela, A., Li, J. Havlin, S., 2020. Spatio-temporal propagation of COVID-19 pandemics. medRxiv 2020.03.23.20041517.
- [18] Xiong, Y., Guang, Y., Chen, F., Zhu, F., 2020. Spatial statistics and influencing factors of the novel coronavirus pneumonia 2019 epidemic in Hubei Province, China. ResearchSquare <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-16858/v2> Preprint.
- [19] Guan, W.J., Ni, Z.Y., Hu, Y., Liang, W.H., Ou, C.Q., He, J.X., Du, B., 2020. Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China. *New England Journal of Medicine* 382 (18), 1708–1720
- [20] Chen, Z.L., Zhang, Q., Lu, Y., Guo, Z.M., Zhang, X., Zhang, W.J. Lu, J.H., 2020b. Distribution of the COVID-19 epidemic and correlation with population emigration from wuhan, China. *Chinese medical journal* <https://doi.org/10.1097/CM9.0000000000000782>.
- [21] Huang, H., Wang, Y., Wang, Z., Liang, Z., Qu, S., Ma, S., Liu, X., 2020. Epidemic Features and Control of 2019 Novel Coronavirus Pneumonia in Wenzhou, China China 3/3/ 2020).
- [22] Dong, E., Du, H., Gardner, L., 2020. An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. *Lancet Infect. Dis.* 20, 533–534.
- [23] Arab-Mazar, Z., Sah, R., Rabaan, A.A., Dhama, K., Rodriguez-Morales, A.J., 2020. Mapping the incidence of the COVID-19 hotspot in Iran – implications for travellers. *Travel Med. Infect. Dis.* <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2020.101630>.
- [24] Rezaei, M., Nouri, A.A., Park, G.S., Kim, D.H., 2020. Application of geographic information system in monitoring and detecting the COVID-19 outbreak. *Iran. J. Public Health* 49, 114–116.
- [25] Dagnino, R., Weber, E.J., Panitz, L.M., 2020. Monitoramento do Coronavírus (Covid-19) nos municípios do Rio Grande do Sul, Brasil. *SocArXiv* <https://doi.org/10.31235/osf.io/3uqn5>.
- [26] Rossman, H., Keshet, A., Shilo, S., Gavrieli, A., Bauman, T., Cohen, O. Segal, E., 2020.

- A framework for identifying regional outbreak and spread of COVID-19 from one-minute population-wide surveys. *Nature Medicine* 1–4.
- [27] Giuliani, D., Dickson, M.M., Espa, G., Santi, F., 2020. Modelling and Predicting the Spatio- Temporal Spread of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in Italy (3/20/2020). SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3559569>.
- [28] Orea, L., Álvarez, I.C., 2020. How Effective Has the Spanish Lockdown Been to Battle COVID-19? A Spatial Analysis of the Coronavirus Propagation across Provinces. Documento de Trabajo, 03.
- [29] Zhou, C., Su, F., Pei, T., Zhang, A., Du, Y., Luo, B., Song, C., 2020. COVID-19: challenges to GIS with big data. *Geography and Sustainability* 1 (1), 77–87.
- [30] Zhang, X., Rao, H.X., Wu, Y., Huang, Y., Dai, H., 2020. Comparison of the spatiotemporal characteristics of the COVID-19 and SARS outbreaks in mainland China. medRxiv2020.03.23.20034058.
- [31] Dagnino, R., Weber, E.J., Panitz, L.M., 2020. Monitoramento do Coronavírus (Covid-19) nos municípios do Rio Grande do Sul, Brasil. SocArXiv <https://doi.org/10.31235/osf.io/3uqn5> (March, 28).
- [32] Ahmadi, A., Fadai, Y., Shirani, M., Rahmani, F., 2020a. Modeling and forecasting trend of COVID-19 epidemic in Iran until May 13, 2020. *Medical Journal of The Islamic Republic of Iran (MJIRI)* 34 (1), 183–195.
- [33] Ahmadi, M., Sharifi, A., Dorosti, S., Ghoushchi, S.J., Ghanbari, N., 2020b. Investigation of effective climatology parameters on COVID-19 outbreak in Iran. *Sci. Total Environ.* 729, 138705 10 August 2020.
- [34] Kearns, R., Moon, G., 2002. From medical to health geography: novelty, place and theory after a decade of change. *Prog. Hum. Geogr.* 26 (5), 605–625.
- [35] Desjardins, M.R., Hohl, A., Delmelle, E.M., 2020. Rapid surveillance of COVID-19 in the United States using a prospective space-time scan statistic: detecting and evaluating emerging clusters. *Appl. Geogr.* 102202.
- [36] Rossman, H., Keshet, A., Shilo, S., Gavrieli, A., Bauman, T., Cohen, O. Segal, E., 2020. A framework for identifying regional outbreak and spread of COVID-19 from one-minute population-wide surveys. *Nature Medicine* 1–4.
- [37] Allcott, H., Boxell, L., Conway, J., Gentzkow, M., Thaler, M., Yang, D.Y., 2020. Polarization and public health: partisan differences in social distancing during the coronavirus pandemic. NBER Working Paper (w26946).
- [38] Team CC-R, 2020. Geographic differences in COVID-19 cases, deaths, and incidence -

- United States, February 12-April 7, 2020. *MMWR Morb. Mortal. Wkly Rep.* 69 (15).
- [39] Orea, L., Álvarez, I.C., 2020. How Effective Has the Spanish Lockdown Been to Battle COVID-19? A Spatial Analysis of the Coronavirus Propagation across Provinces. *Documento de Trabajo*, 03.
- [40] Murugesan, B., Karuppanan, S., Mengistie, A.T., Ranganathan, M., Gopalakrishnan, G., 2020. Distribution and Trend Analysis of COVID-19 in India: geospatial approach. *Journal of Geographical Studies* 4 (1), 1–9. <https://doi.org/10.21523/gcj5.20040101>.
- [41] Tang, T., Huipeng, L., Gifty, M., Zaisheng, W., Weibin, C., Dan, W., Rongbin, Y., 2020. The changing patter of COVID-19 in China: a tempo-geographic analysis of the SARS-CoV-2 epidemic. *Clin. Infect. Dis.*, ciaa423 <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa423>.
- [42] Kearns, R., Moon, G., 2002. From medical to health geography: novelty, place and theory after a decade of change. *Prog. Hum. Geogr.* 26 (5), 605–625.
- [43] Buzai, G.D., 2020. De Wuhan a Luján. Evolución espacial del COVID-19. *Posición* 3, 2683–8915.
- [44] Santana Juárez, M.V., 2020. COVID-19 en México: comportamiento espacio temporal y condicionantes socioespaciales, febrero y marzo de 2020. *Posición* 3, 2683–8915.
- [45] Saha, A., Gupta, K., Patil, M., 2020. Monitoring and Epidemiological Trends of Coronavirus Disease (COVID-19) around the World. *Osfpreprints*.
- [46] Badan Pusat Statistik [BPS]. *Statistik Indonesia 2019*. Jakarta Pusat: Badan Pusat Statistik. 2019
- [47] Badan Pusat Statistik [BPS]. *Statistik Indonesia 2020*. Jakarta Pusat: Badan Pusat Statistik. 2020.
- [48] Badan Pusat Statistik [BPS]. *Statistik Indonesia 2021*. Jakarta Pusat: Badan Pusat Statistik. 2021
- [49] Badan Pusat Statistik [BPS]. *Statistik Penduduk Lanjut Usia 2019*. Jakarta Pusat: Badan Pusat Statistik. 2019.
- [50] Badan Pusat Statistik [BPS]. *Statistik Penduduk Lanjut Usia 2019*. Jakarta Pusat: Badan Pusat Statistik. 2020.
- [51] Badan Pusat Statistik [BPS]. 2021. *Statistik Penduduk Lanjut Usia 2019*. Jakarta Pusat: Badan Pusat Statistik. 2021.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Output Uji Keragaman Spasial

```
studentized Breusch-Pagan test  
data: reg.lin  
BP = 11.599, df = 5, p-value = 0.04071
```

Lampiran 2. Hasil Output Uji Analisis GTWR

```

*****
*                               Package   GWmodel                               *
*****
Program starts at: 2021-09-15 11:51:21
Call:
gtwr(formula = Y ~ X2 + X4 + X5 + X6 + X7, data = data.sp.gtwr,
      obs.tv = data.sp.gtwr$Tahun, st.bw = band.gtwr, kernel = "gaussian",
      adaptive = F, longlat = F)

Dependent (y) variable:  Y
Independent variables:  X2 X4 X5 X6 X7
Number of data points: 20
*****
*                               Results of Global Regression                               *
*****

Call:
lm(formula = formula, data = data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-6210.2 -2201.8  -529.2  1925.1  7758.4

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -4.999e+03  3.233e+03  -1.546  0.144417
X2           -3.888e+01  6.336e+00  -6.137  2.58e-05 ***
X4            2.382e+01  5.539e+00   4.300  0.000734 ***
X5            9.713e-02  4.421e-02   2.197  0.045381 *
X6            1.727e+03  4.464e+02   3.870  0.001701 **
X7            1.058e+02  4.076e+01   2.595  0.021196 *

---Significance stars
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 4206 on 14 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8344
Adjusted R-squared:  0.7752
F-statistic: 14.11 on 5 and 14 DF,  p-value: 4.811e-05
***Extra Diagnostic information
Residual sum of squares: 247640756
Sigma(hat): 3709.154
AIC: 397.3927
AICC: 406.726
*****
*   Results of Geographically and Temporally weighted Regression   *
*****

*****Model calibration information*****
Kernel function for geographically and temporally weighting: gaussian
Fixed bandwidth for geographically and temporally weighting: 2.063627

```


Regression points: the same locations as observations are used.
Distance metric for geographically and temporally weighting: A distance matrix is specified for this model calibration.

*****Summary of GTWR coefficient estimates:*****

*

	Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.
Intercept	-5.3923e+03	-5.0678e+03	-4.7982e+03	-4.6388e+03	-4463.5560
X2	-3.9634e+01	-3.9287e+01	-3.8379e+01	-3.6986e+01	-36.7411
X4	2.1770e+01	2.2144e+01	2.3383e+01	2.4638e+01	25.0755
X5	8.3836e-02	9.2362e-02	9.9474e-02	1.0403e-01	0.1106
X6	1.6001e+03	1.6337e+03	1.6987e+03	1.7286e+03	1802.5899
X7	9.3679e+01	9.6681e+01	1.0195e+02	1.0921e+02	114.5075

Lampiran 3. Nilai Estimasi Parameter pada masing-masing Kabupaten/kota

No	Provinsi	Kab/Kota	waktu	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$	$\hat{\beta}_6$	$\hat{\beta}_7$
1	Kalimantan Timur	Paser	2020	-4513.9	37.4717	22.11889	0.093188	1766.074	94.78808
2	Kalimantan Timur	Kutai Barat	2020	4718.13	36.8695	22.22856	0.085986	1719.689	99.03135
3	Kalimantan Timur	Kutai Kartanegara	2020	4647.22	37.3494	22.1058	0.094903	1741.614	96.03751
4	Kalimantan Timur	Kutai Timur	2020	4714.64	36.8296	22.20377	0.086311	1717.84	98.70959
5	Kalimantan Timur	Berau	2020	4620.77	36.7411	22.03453	0.083836	1726.511	98.87277
6	Kalimantan Timur	Penajam Paser Utara	2020	4463.56	37.9321	22.24499	0.09656	1784.473	93.92686
7	Kalimantan Timur	Mahakam Ulu	2020	4720.08	36.9591	22.15258	0.089175	1727.921	97.57374
8	Kalimantan Timur	Balikpapan	2020	4502.67	38.3446	22.45355	0.09838	1802.59	94.14268
9	Kalimantan Timur	Samarinda	2020	4486.95	36.9508	21.76994	0.095088	1727.66	93.67854

No	Provinsi	Kab/Kota	waktu	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$	$\hat{\beta}_6$	$\hat{\beta}_7$
				-	-				
10	Kalimantan Timur	Bontang	2020	4644.83	36.9949	22.06702	0.089883	1730.563	96.89514
				-	-				
11	Kalimantan Timur	Paser	2021	4995.67	38.8372	24.61254	0.110633	1600.88	106.6003
				-	-				
12	Kalimantan Timur	Kutai Barat	2021	5373.09	39.3661	25.04413	0.100758	1634.428	114.3627
				-	-				
13	Kalimantan Timur	Kutai Kartanegara	2021	4960.65	39.4717	24.61647	0.104879	1657.227	108.031
				-	-				
14	Kalimantan Timur	Kutai Timur	2021	5392.27	39.4502	25.07546	0.100567	1639.72	114.5075
				-	-				
15	Kalimantan Timur	Berau	2021	5294.02	39.0448	24.9926	0.102173	1605.773	114.0006
				-	-				
16	Kalimantan Timur	Penajam Paser Utara	2021	4941.25	38.6527	24.45479	0.109744	1605.645	105.9662
				-	-				
17	Kalimantan Timur	Mahakam Ulu	2021	5261.04	39.2722	24.87998	0.103744	1631.572	111.9169
				-	-				
18	Kalimantan Timur	Balikpapan	2021	4876.36	38.4133	24.31303	0.110108	1600.129	104.8747
				-	-				
19	Kalimantan Timur	Samarinda	2021	5003.42	39.3332	24.62651	0.10624	1638.662	108.3011

No	Provinsi	Kab/Kota	waktu	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$	$\hat{\beta}_6$	$\hat{\beta}_7$
						-			
20	Kalimantan Timur	Bontang	2021	-5334.4	39.6338	24.67394	0.102815	1679.627	112.5987

Lampiran 4. Signifikansi Variabel Bebas di setiap Kabupaten/kota tahun 2020-2021

No	Provinsi	Kab/Kota	Waktu	Signifikansi
1	Kalimantan Timur	Paser	2020	X2, X4, X6, X7
2	Kalimantan Timur	Kutai Barat	2020	X2, X4, X6, X7
3	Kalimantan Timur	Kutai Kartanegara	2020	X2, X4, X6, X7
4	Kalimantan Timur	Kutai Timur	2020	X2, X4, X6, X7
5	Kalimantan Timur	Berau	2020	X2, X4, X6, X7
6	Kalimantan Timur	Penajam Paser Utara	2020	X2, X4, X5, X6, X7
7	Kalimantan Timur	Mahakam Ulu	2020	X2, X4, X6, X7
8	Kalimantan Timur	Balikpapan	2020	X2, X4, X5, X6, X7
9	Kalimantan Timur	Samarinda	2020	X2, X4, X6, X7
10	Kalimantan Timur	Bontang	2020	X2, X4, X6, X7
11	Kalimantan Timur	Paser	2021	X2, X4, X5, X6, X7
12	Kalimantan Timur	Kutai Barat	2021	X2, X4, X5, X6, X7
13	Kalimantan Timur	Kutai Kartanegara	2021	X2, X4, X5, X6, X7
14	Kalimantan Timur	Kutai Timur	2021	X2, X4, X5, X6, X7
15	Kalimantan Timur	Berau	2021	X2, X4, X5, X6, X7
16	Kalimantan Timur	Penajam Paser Utara	2021	X2, X4, X5, X6, X7
17	Kalimantan Timur	Mahakam Ulu	2021	X2, X4, X5, X6, X7
18	Kalimantan Timur	Balikpapan	2021	X2, X4, X5, X6, X7
19	Kalimantan Timur	Samarinda	2021	X2, X4, X5, X6, X7
20	Kalimantan Timur	Bontang	2021	X2, X4, X5, X6, X7



Available online at <http://scik.org>

Commun. Math. Biol. Neurosci. 2022, 2022:78

<https://doi.org/10.28919/cmbn/7572>

ISSN: 2052-2541

A SPATIO-TEMPORAL DESCRIPTION OF COVID-19 CASES IN EAST BORNEO USING IMPROVED GEOGRAPHICALLY AND TEMPORALLY WEIGHTED REGRESSION (I-GTWR)

SIFRIYANI^{1,*}, IDRIS MANDANG², FIDIA DENY TISNA AMIJAYA³, MIFTAHUS SHOLIHIN⁴,

ANDREA TRI RIAN DANI¹

¹Statistics Study Program, Department of Mathematics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Mulawarman University, Samarinda 75119, Indonesia

²Geophysics Study Program, Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Mulawarman University, Samarinda 75119, Indonesia

³Mathematics Study Program, Department of Mathematics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Mulawarman University, Samarinda 75119, Indonesia

⁴Directorate of Vocational High Schools, Directorate General of Vocational Education, Ministry of Education, Culture, Research, and Technology, Jakarta 10270, Indonesia

Copyright © 2022 the author(s). This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: At the end of 2019, the world was impacted by a deadly viral phenomenon referred to as COVID-19. The Indonesian government quickly implemented Large-Scale Social Restrictions (LSSR) to prevent the spread and transmission of COVID-19. However, various violations are often committed by the community towards LSSR, which are specifically caused by economic inequality. This study was focused on spatial and temporal modelling of the

*Corresponding author

E-mail address: sifriyani@fmipa.unmul.ac.id

Received June 28, 2022

COVID-19 cases in East Borneo Province by identifying the contributing factors. This study aimed to develop an analytical program to estimate the parameters of the Improved-Geographically and Temporal Weighted Regression (I-GTWR), which accommodates the interaction of the spatial-temporal distance function. Moreover, this study was also intended to develop an I-GTWR model for the COVID-19 data for each Regency/City of East Borneo Province by considering the spatial-temporal diversity and adding the interaction of the spatial-temporal distance function to the weighting matrix, and determining the factors that influence of COVID-19 cases in East Borneo Province, based on regional variations by applying I-GTWR. Map and model exploration had succeeded in identifying different patterns of factors that affected of COVID-19 cases at each location and time. The I-GTWR method had proven to be more appropriate in describing the contributing factors of COVID-19 cases in East Borneo Province in 2020-2021. This was indicated by a higher R-Square value, a decrease in the Root Means Squared Error (RMSE).

Keywords: improved-geographically and temporally weighted regression (I-GTWR); spatial; spatio-temporal; distance function.

2010 AMS Subject Classification: 92C60.

1. INTRODUCTION

Based on the definition from the World Health Organization (WHO), COVID-19 refers to a virus that infects the respiratory system [1], [2]. Until the present time, 188 countries were reportedly confirmed to be exposed to the Corona virus, including Indonesia. As of March 2, 2020, Depok residents were tested positive for COVID-19, and the virus continues to spread and infect people throughout Indonesia. Consequently, Joko Widodo as a President of Indonesia, issued Government Regulation No. 21/2020 concerning Large-Scale Social Restrictions (LSSR) in response to COVID-19 on March 31, 2020, as well as Presidential Decree No. 11/2020 declaring the coronavirus pandemic as a national disaster [3]. These regulations were stimulated based on Law Number 06/2018 concerning Health Quarantine, which regulates the basic provisions for LSSR.

The COVID-19 pandemic has currently provided a negative impact on various sectors [4], [5]. At the global economic level, the COVID-19 pandemic was found to provide a very significant

disruption to the domestic economy of nation-states and the development of Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs) [6]. The social distancing policy has significantly reduced the level of public physical activity in the Jakarta metropolitan area and other big cities [7], [8]. This may be indicated by the decline in the number of passengers on various means of transportation, including airplanes, commuter trains, buses and busways, taxis, online taxis, bajaj, to motorcycle taxis and online motorcycle taxis [9]. Referring to this, a model is highly required to evaluate the contributing factors of COVID-19.

Viruses that spread rapidly from one location to another are known to indicate a spatial effect in the modelling process. Moreover, the diversity of regional conditions and changes in time that have led to suppression of the total of COVID-19 cases in an area cannot be analyzed by means of the same analytical approach. One approach that may be utilized to analyze an area affected by COVID-19 is the spatial and temporal mapping approach [10]–[12]. The spatial and temporal approach aims to determine the distribution and geographic factors that contribute to influence over a certain period of time [12]. Consequently, a statistical modelling method is urgently needed to analyze geographic location or location factors of observations over a period of time. The Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR) model is regarded as one of the methods that may be utilized in the analysis process. The GTWR model has been commonly defined as a development of the linear regression. The linear regression is only able to produce a globally valid parameter estimator, while the GTWR model produces a local model parameter estimator for each observation location [13], [14].

Studies with GTWR methods are typically conducted by using addition operators to model spatial-temporal distances. Subsequently, this may result in the distance measured in spatial dimensions not having an effect on temporal distance, thus making spatial-temporal interaction modeling less appropriate. This study would be carried out by means of the Improved-Geographically and Temporal Weighted Regression (I-GTWR) method as a development of the GTWR method by adding interactions to the spatial-temporal distance function in the COVID-19 modeling of East Borneo Province in 2020-2021.

This study was objected to develop the Improved-Geographically and Temporal Weighted Regression (I-GTWR) model, which accommodates the interaction of the spatial-temporal distance function. Furthermore, this study also aimed to develop an I-GTWR model for COVID-19 data for each regency/city of East Borneo Province by considering the spatial-temporal diversity and adding the interaction of the spatial-temporal distance function to the weighting matrix as well as determining the contributing factors of COVID-19 in East Borneo Province based on regional variations through the implementation of I-GTWR.

2. PRELIMINARIES

A. The Geographically Temporally Weighted Regression Model (GTWR)

This modeling involves spatial, temporal or time aspects that are used to exploration and data analysis on the distribution of the total of COVID-19 cases in the 2020-2021 timeframe. The GTWR model is defined as an effective approach to dealing with the issue of spatial and temporal non-stationarity [15]. The GTWR model was developed from the GWR model by adding an element of time (temporal) [11], [16], [17]. However, GTWR combines temporal and spatial using a weighted matrix to be able to identify spatial and temporal diversity[18], [19]. The GTWR model with the response variable y_i , the predictor variable p , and location for each observation (u_i, v_i, t_i) is written in Equation (1).

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i, t_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (1)$$

Where:

y_i : observational value of the response variable

$\beta_0(u_i, v_i, t_i)$: constant of intercept value

$\beta_k(u_i, v_i, t_i)$: the regression coefficient of the k -th predictor variable

x_{ik} : observational value of the predictor variable

ε_i : the error of the i -th observation, which is assumed to be identical, independent, and $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$

Regression coefficient of $\hat{\beta}_i(u_i, v_i, t_i)$ at the i -th point can be estimated using the estimation method Weighted Least Square (WLS) as shown in Equation (2).

$$\hat{\beta}(u_i, v_i, t_i) = [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \mathbf{y} \quad (2)$$

$\mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) = \text{diag}(w_1(u_i, v_i, t_i), w_2(u_i, v_i, t_i), \dots, w_n(u_i, v_i, t_i))$ is the weighting matrix at the observation location (u_i, v_i) and the t -th time. Diagonal element of $w_{ij} (1 \leq j \leq n)$ is defined as a function of the spatial-temporal distance at the point of observation (u_i, v_i, t_i) .

Distance functions of GTWR model (d_{ij}^{ST}) consist of a combination from spatial distance (d_{ij}^S) and temporal distance (d_{ij}^T) , which is formulated [20]:

$$\begin{aligned} (d_{ij}^S)^2 &= (u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2 \\ (d_{ij}^T)^2 &= (t_i - t_j)^2 \\ (d_{ij}^{ST})^2 &= \phi^S [(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2] + \phi^T [(t_i - t_j)^2] \end{aligned} \quad (3)$$

where ϕ^S and ϕ^T are used as balancing parameters for the different effects from location and time on spatial-temporal distance measurements. From Equation (3), can be generated as follows:

$$\begin{aligned} w_{ij} &= \exp \left\{ - \left(\frac{\phi^S [(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2] + \phi^T [(t_i - t_j)^2]}{h_{ST}^2} \right) \right\} \\ w_{ij} &= \exp \left\{ - \left(\frac{[(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2]}{h_S^2} + \frac{[(t_i - t_j)^2]}{h_T^2} \right) \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

Let $h_S^2 = \frac{h_{ST}^2}{\phi^S}$ and $h_T^2 = \frac{h_{ST}^2}{\phi^T}$, then the result of Equation (5) is written as follows:

$$\begin{aligned} w_{ij} &= \exp \left\{ - \left(\frac{(d_{ij}^S)^2}{h_S^2} + \frac{(d_{ij}^T)^2}{h_T^2} \right) \right\} \\ w_{ij} &= \exp \left\{ - \left(\frac{(d_{ij}^S)^2}{h_S^2} \right) \right\} \exp \left\{ - \left(\frac{(d_{ij}^T)^2}{h_T^2} \right) \right\} = w_{ij}^S \times w_{ij}^T \end{aligned} \quad (5)$$

With $w_{ij}^S = \exp \left\{ - \left(\frac{(d_{ij}^S)^2}{h_S^2} \right) \right\}$ and $w_{ij}^T = \exp \left\{ - \left(\frac{(d_{ij}^T)^2}{h_T^2} \right) \right\}$

h_S : window width of spatial distance

h_T : window width of temporal distance

h_{ST} : window width of spatial-temporal distance

Allow τ to represent ratio parameter of $\tau = \frac{\varphi^T}{\varphi^S}$ with $\varphi^S \neq 0$, then Equation (6) will be obtained:

$$\frac{(d_{ij}^{ST})^2}{\phi^S} = [(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2] + \tau [(t_i - t_j)^2] \quad (6)$$

Let $\varphi^S = 1$, to eliminate or reduce the unknown parameters. In this matter, τ is regarded as an unknown parameter. Parameter τ is useful for increasing or decreasing the effect of temporal in spatial distance. Parameter τ can be obtained by minimizing the cross-validation criteria through the initialization process of initial value as in Equation (7).

$$CV(\tau) = \sum_{i=1}^n (y_{\neq 1} - \hat{y}_{\neq 1}(\tau))^2 \quad (7)$$

The Kernel with Gaussian function is regarded as the most frequently in the GWTR model, which is formulated as in Equation (8).

$$w_{ij} = \exp\left(-\left(\frac{d_{ij}^{ST}}{h_{ST}}\right)^2\right) \quad (8)$$

The calculation of window width values may be carried out by means of the GWR model as proposed from Fotheringham et al. [21], [22]. The estimated value of the response variable (\hat{y}) can be determined using the formula in Equation (9).

$$\hat{\mathbf{y}} = \begin{bmatrix} \hat{y}_1 \\ \hat{y}_2 \\ \dots \\ \hat{y}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1^T [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_1, v_1, t_1) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_1, v_1, t_1) \mathbf{X} \\ \mathbf{x}_2^T [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_2, v_2, t_2) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_2, v_2, t_2) \mathbf{X} \\ \dots \\ \mathbf{x}_n^T [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_n, v_n, t_n) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_n, v_n, t_n) \mathbf{X} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{S}\mathbf{y}$$

The selection of the goodness of the model may be calculated using the Akaike Information Criterion (AIC) [23]. Regarding to the effect of spatial-temporal diversity, the corrected from Akaike Information Criterion (AICc) is used in the selection of the goodness of the model as formulated in Equation (10):

$$AICc = 2n \ln(\hat{\sigma}) + n \ln(2\pi) + n \left(\frac{n + tr(\mathbf{S})}{n - 2 - tr(\mathbf{S})} \right) \quad (10)$$

Where:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{y^T(I-S)^T(I-S)y}{n}$$

B. The Improved-Geographically Temporally Weighted Regression (I-GTWR) Model

The weighted involved in the GTWR model uses a simple operator, particularly addition operator, which is used to calculate the spatial-temporal with a linear combination between the spatial and the temporal distance as shown in Equation (11):

$$d_{ST}^2 = \varphi^S d_S^2 + \varphi^T d_T^2 \quad (11)$$

where φ^S and φ^T are regarded as parameters adjusted to balance the effects of the scale used to calculate the spatial and temporal distances in each of the coordinate. According to this specification, the spatial-temporal coordinate system is considered perpendicular. Thus, the distance measured in the spatial dimension does not indicate any influence on the temporal distance, thus causing it to be inappropriate for use in modeling spatial-temporal interactions. A more complex operator is defined as the compiler of the Improved-Geographically and Temporally Weighted Regression (I-GTWR) model as indicated in Equation (12):

$$d_{ij}^{ST} = \varphi^S d_{ij}^S + \varphi^T d_{ij}^T + \varphi^S \varphi^T d_{ij}^S d_{ij}^T + 2 \sqrt{\varphi^S \varphi^T d_{ij}^S d_{ij}^T} \text{Cos}(\xi) \quad (12)$$

where t_i and t_j are defined as the time of observation at the i -th and j -th locations. Parameters φ^S, φ^T and $\xi \in [0, \pi]$ are considered as balancing parameters derived by means of the coefficient of determination optimization method through cross-validation procedures. The parameters may be used to measure the interaction effect of location and time

C. The Geographically Weighted Regression (GWR) Model Parameter Testing

The Geographically Weighted Regression (GWR) parameter testing is used to evaluate the parameters that are able to provide a significant influence on the response variable [24]. Parameter testing at each location is conducted partially. The hypotheses of parameters testing are as follows:

$$H_0 : \beta_k(u_i, v_i) = 0$$

$$H_1 : \beta_k(u_i, v_i) \neq 0 \quad \text{with } k = 1, 2, \dots,$$

Therefore, the form of the standard normal distribution has been successfully obtained equation

(13)

$$\frac{\hat{\beta}_k(u_i, v_i) - \beta_k(u_i, v_i)}{\sigma\sqrt{c_{kk}}} \sim N(0,1) \quad (13)$$

where c_{kk} is the diagonal element from $\mathbf{C}_i\mathbf{C}_i^T$, and $\mathbf{C}_i = [\mathbf{X}^T\mathbf{W}(u_i, v_i)]^{-1}\mathbf{X}^T\mathbf{W}(u_i, v_i)$.

In alternative hypothesis (H_1), the various regression coefficients are partially determined by the GWR model. The Sum of Squares for Error (SSE) obtained from the GWR model is shown as follows:

$$SSE(H_1) = \hat{\varepsilon}^T \hat{\varepsilon} = \mathbf{y}^T (\mathbf{I} - \mathbf{L})^T (\mathbf{I} - \mathbf{L}) \mathbf{y} \quad (14)$$

with the matrix \mathbf{L} is obtained as in Equation (4). Thus, the test statistics used in partial parameter testing are written as follows [25]:

$$t_{hit} = \frac{\hat{\beta}_k(u_i, v_i)}{\hat{\sigma}\sqrt{c_{kk}}} \quad (15)$$

Where $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{SSE(H_1)}{\delta_i}}$ and follow the distribution with degrees of freedom (df) = $\left(\frac{\delta_1^2}{\delta_2^2}\right)$. The value of $SSE(H_1)$ is obtained as in Equation (14), while the value of δ_1 is calculated by utilizing the formula: $\delta_i = tr([\mathbf{I} - \mathbf{L}]^T [\mathbf{I} - \mathbf{L}]^i)$.

3. RESEARCH METHODOLOGY

A. Data Source

This study was conducted by using panel data, which is referred to as a combination of cross section data and time series data. The crosssection data were derived from data on health aspects, which included data on the total of Tuberculosis (TB) cases, the total of hospitals, and the total of health care centers. Meanwhile, data on aspects of human development were obtained based on population density data and economic aspects consisting of data on gross regional domestic product (GRDP). The data were successfully collected in different time periods between 2020-2021, in each Regency/City in East Borneo. The variables in this study are shown in Table 1.

Variables	Notation	Descriptions	Unit
Response	Y	Total of Confirmed COVID-19 Positive Cases	People
Predictor	X_1	Total of Tuberculosis (TB) Cases	Cases
	X_2	Population Density	People/Km ²
	X_3	Gross Regional Domestic Product (GRDP)	Billion Rupiah
	X_4	Total of Hospitals	Unit
	X_5	Total of Health Care Centers	Unit

TABLE 1. Research Variable

B. Data Analysis

The modeling processes was carried out using the R-Studio version 2022.02.2 Build 485. The Steps and Data Analysis of the Distance Function in the I-GTWR Model:

1. Determination of spatial-temporal ratio parameter (τ) by utilizing a cross-validation.
 - a. Inserting \mathbf{X} , \mathbf{y} , and location-time coordinates of observations (u_i, v_i, t_i)
 - b. Specifying the initial value of the spatial window width (h_s) and supposing $\xi = 0$.
 - c. Determining the constant in a measure of distance between observed locations and time

$$d_{ij}^{ST} = d_{ij}^S + \tau d_{ij}^T + 2\sqrt{\tau d_{ij}^S d_{ij}^T} \quad , \quad t_j < t_i$$

$$d_{ij}^{ST} = \alpha \quad , \quad t_j > t_i$$

- d. Defining the weighting function of GTWR model. This study used a Gaussian weighting function

$$w_{ij} = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^2\right) \quad \text{where } i = 1, 2, \dots, n \text{ and } j = 1, 2, \dots, n$$

- e. Calculating the weighting matrix $\mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) = \text{diag}(w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in})$.
- f. Calculating $\hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i, t_i) = [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \mathbf{y}$
- g. Calculating $\hat{y}_{\neq i}(\tau) = \mathbf{x}_i \hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i, t_i)$ by utilizing the value of τ without entering the location of the i -th observation.

h. Minimizing cross-validation (CV) values based on τ with the following formula:

$$CV(\tau) = \sum_{i=1}^n (y_{\neq i} - \hat{y}_{\neq i}(\tau))^2$$

2. Determination of spatial parameter (φ^S) and temporal parameter (φ^T) by utilizing a cross-validation.

a. Inserting \mathbf{X} , \mathbf{y} , spatial window width (h_s), constant τ , and location-time coordinates of observations (u_i, v_i, t_i) .

b. supposing $\xi = 0$.

c. Determining the constants of (φ^S) and (φ^T) in a measure of distance between observed locations and time with $\varphi^T = \varphi^S \times \tau$

$$d_{ij}^{ST} = \varphi^S d_{ij}^S + (\varphi^S \tau) d_{ij}^T + 2 \sqrt{\varphi^S (\varphi^S \tau) d_{ij}^S d_{ij}^T} \quad , t_j < t_i$$

$$d_{ij}^{ST} = \alpha \quad , t_j > t_i$$

f. Determining the spatial-temporal weighting function by using the Gaussian weighting function.

g. Calculating the weighting matrix $\mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) = \text{diag}(w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in})$.

h. Calculating $\hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i, t_i) = [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \mathbf{y}$.

i. Calculating $\hat{y}_{\neq i}(\tau) = \mathbf{x}_i \hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i, t_i)$ by utilizing the value of φ^S without entering the location of the i -th observation.

j. Minimizing cross-validation values based on φ^S with the formula as follows:

$$CV(\varphi^S) = \sum_{i=1}^n (y_{\neq i} - \hat{y}_{\neq i}(\varphi^S))^2$$

3. Determination of parameter ξ by means of a cross-validation.

a. Inserting \mathbf{X} , \mathbf{y} , spatial window width (h_s), constants of τ , φ^S , φ^T and location-time coordinates of observations (u_i, v_i, t_i) .

- b. Determining the constant ξ in a measure of distance between the observed locations and time.

$$d_{ij}^{ST} = \varphi^S d_{ij}^S + \varphi^T d_{ij}^T + 2\sqrt{\varphi^S \varphi^T d_{ij}^S d_{ij}^T} \quad , \quad t_j < t_i$$

$$d_{ij}^{ST} = \alpha \quad , \quad t_j > t_i$$

- c. Determining the spatial-temporal weighting function by using the Gaussian weighting function.
- d. Calculating the weighting matrix $\mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) = \text{diag}(w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in})$.
- e. Calculating $\hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i, t_i) = [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \mathbf{y}$.
- f. Calculating $\hat{y}_{\neq i}(\tau) = \mathbf{x}_i^T \hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i, t_i)$ by utilizing the value of ξ without entering the location of the i -th observation.
- g. Minimizing cross-validation values based on ξ with the formula as follows:

$$CV(\xi) = \sum_{i=1}^n (y_{\neq i} - \hat{y}_{\neq i}(\xi))^2$$

4. Determination of parameter (h_{ST}) by means of a cross-validation.

- a. Inserting \mathbf{X} , \mathbf{y} , spatial window width (h_s) , constants of τ , φ^S , φ^T and location-time coordinates of observations (u_i, v_i, t_i) .
- b. Determining the location and time of observation in a measure of Euclidean distance.
- c. Determining the spatial-temporal weighting function. This study used a Gaussian weighting function.
- d. Calculating the weighting matrix $\mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) = \text{diag}(w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in})$.
- e. Calculating $\hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i, t_i) = [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \mathbf{y}$.
- f. Calculating $\hat{y}_{\neq i}(h_{ST}) = \mathbf{x}_i^T \hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i, t_i)$ by using the value of h_{ST} without entering the location of the i -th observation.
- g. Minimizing cross-validation values based on h_{ST} with the following formula:

$$CV(h_{ST}) = \sum_{i=1}^n (y_{\neq i} - \hat{y}_{\neq i}(h_{ST}))^2$$

5. Estimation of Parameter $\hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i, t_i)$ of the I-GTWR model.

- a. Inserting \mathbf{X} , \mathbf{y} , and weighting matrix $\mathbf{W}(u_i, v_i, t_i)$.
- b. Determining $\hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i, t_i) = [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \mathbf{y}$.
- c. Calculating $\hat{\mathbf{y}}_i = \mathbf{x}_i^T ([\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \mathbf{y})$.

6. Determination of the Best I-GTWR Model.

- a. Inserting \mathbf{X} , \mathbf{y} , and weighting matrix $\mathbf{W}(u_i, v_i, t_i)$.
- b. Calculating matrix \mathbf{S}_{IGTWR}
- c. Calculating Sum of Squares for Error (SSE) of the I-GTWR model with the formula as follows:

$$SSE_{IGTWR} = \mathbf{y}^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}_{IGTWR})^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}_{IGTWR}) \mathbf{y}$$

- d. Calculating Sum of Squares for Total (SST) of the I-GTWR model by utilizing the following formula:

$$SST_{IGTWR} = \mathbf{y}^T \mathbf{y} - \frac{1}{n} (\mathbf{y}^T \mathbf{J} \mathbf{y})$$

- e. Calculating R^2 , AIC_{IGTWR} , $RMSE_{IGTWR}$ of the I-GTWR model.

7. Partial testing of each parameter in I-GTWR Model

- a. Inserting \mathbf{X} , \mathbf{y} , weighting matrix $\mathbf{W}(u_i, v_i, t_i)$, SSE_{IGTWR} , $\hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i, t_i)$, and hat matrix of the I-GTWR model \mathbf{S}_{IGTWR}
- b. Calculating δ_1 dan δ_2 through the formula as follows:

$$\delta_i = tr([\mathbf{I} - \mathbf{S}_{IGTWR})^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}_{IGTWR})]^i) \text{ , where } i = 1, 2$$

- c. Calculating $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{SSE_{IGTWR}}{\delta_i}}$

- d. Calculating matrix $\mathbf{C}_i \mathbf{C}_i^T$ by using the following formula:

$$\mathbf{C}_i = (\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i))^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i, t_i) \text{ , where } i = 1, 2, \dots, n$$

- e. Determining c_{kk} as the k -th diagonal element of the matrix $\mathbf{C}_i \mathbf{C}_i^T$

- f. Calculating degrees of freedom (df) = $\left(\frac{\delta_1^2}{\delta_2^2}\right)$

- g. Calculating t -test for each observation through the following formula:

$$t_i = \frac{\hat{\beta}_k(u_i, v_i, t_i)}{\sigma\sqrt{c_{kk}}}, \text{ where } i = 1, 2, \dots, n$$

The next stage is to conduct an analysis through the I-GTWR method by using COVID-19 data from the Regency/City of East Borneo Province in December 2019 – August 2021. The stages of analysis in this study are as follows:

1. Conducting an exploration of the linear relationship between predictor variables and testing the assumption of multicollinearity by considering the value of VIF (Variance Inflation Factor).
2. Testing the spatial diversity by means of the Breusch-Pagan test.
3. Constructing the weighting matrix (\mathbf{W}) of the I-GTWR method as follows:
 - a. Calculating the optimal spatial window width (h_s) using a cross-validation.
 - b. Calculating the optimal spatial-temporal ratio parameter (τ) using a cross-validation
 - c. Calculating parameters φ^S and φ^T by means of a cross-validation approach. The parameters are based on the spatial-temporal distance function by using the interaction, and assumes the value of $\xi = 0$
 - d. Calculating the parameter ξ through a cross-validation approach.
 - e. Calculating the optimum spatial-temporal window width (h_{ST}) using a cross-validation.
 - f. Determining the weighting matrix (\mathbf{W}) using a measure of the spatial-temporal distance with interactions.
4. Comparing the goodness of several models, including Global Regression, GTWR and I-GTWR.

4. MAIN RESULTS

A. Multicollinearity Test

The multicollinearity checking was performed with the Variance Inflation Factor (VIF) test to identify the correlation between the predictor variables used in the study. VIF values are shown in Table 2. VIF values less than 10 are often regarded as showing multicollinearity in the predictor variables used. Panel data were used in this study. Therefore, the VIF value was calculated each year and on a combined basis.

Year	Variables				
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Combination	7.833	9.958	3.159	5.868	6.470
2020	44.560	25.143	4.048	16.603	10.210
2021	55.357	60.873	3.230	7.304	19.334

TABLE 2. Value of VIF (Variance Inflation Factor) of The Predictor Variables

B. Spatial and Temporal Heterogeneity Test

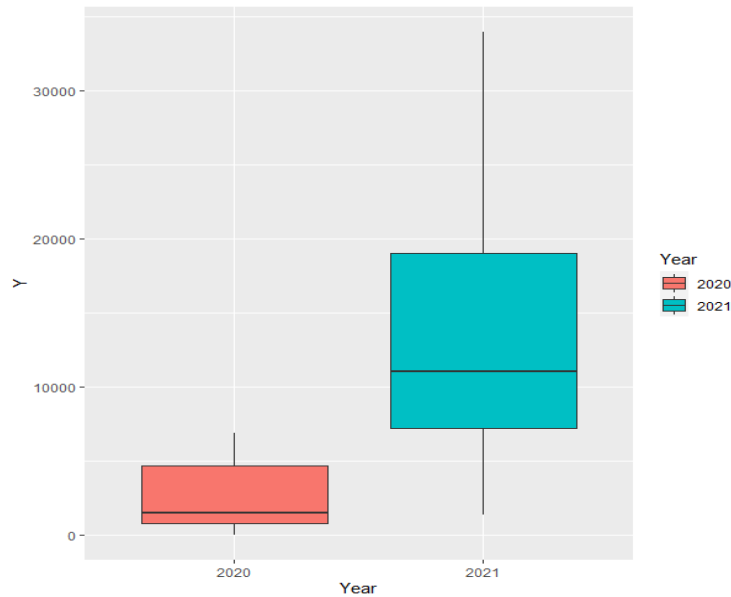
The Breusch-Pagan test based on a combined annual or per year basis are presented in Table 3. Referring to the results, all data were found to show significance at the 5% level of significance, thus spatial heterogeneity was found generally in the data on the total of COVID-19 cases. The spatial heterogeneity included the diversity of data between regions and time in East Borneo. Consequently, the total of COVID-19 cases in East Borneo might be affected by region and time.

Year	Breusch-Pagan Value	p-value
Combination	11.599	0.041
2020	6.067	0.299
2021	6.781	0.237

TABLE 3. Results of the Breusch-Pagan Test

Figure 1 show the distribution of the total of COVID-19 in East Borneo is likely to increase every year. Figure 1 shows that the boxplot size tends to widen each year. The width of the boxplot describes the diversity of the data. No outliers are found for each year, thus indicating that no region in Regency/City was reported to have a very high total of COVID-19 cases compared to other regions.

FIGURE 1. Boxplot of Temporal Diversity in Each Year



C. Parameter Estimation

Table 4 shows the parameter estimator by using I-GTWR model. The variable (X_4) provided the highest average compared to other variables, so the variable of the total of hospitals (X_4) had a greater influence on the total of COVID-19 cases in Regencies/Cities, followed by the variables of the total of health care centers (X_5), the density population (X_2), the total of tuberculosis (TB) cases (X_1), and the least influence were provided by the variable of Gross Regional Domestic Product (GRDP) (X_3).

Variable	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation
Constant	-5392.300	-4463.556	-4873.25	318.445
$\hat{\beta}_1$	-39.634	-36.741	-38.195	1.077
$\hat{\beta}_2$	21.770	25.076	23.433	1.346
$\hat{\beta}_3$	0.084	0.111	0.098	0.008
$\hat{\beta}_4$	1600.100	1802.590	1686.93	65.063
$\hat{\beta}_5$	93.679	114.508	103.241	7.654

TABLE 4. Summary from the Estimated Values of the I-GTWR Model Parameters

D. Kernel Functions on Fixed Bandwidth

Based on Table 5, the implementation of the goodness-of-fit, particularly AICc was capable of causing the Gaussian kernel function to have the smallest value compared to other kernel functions. Meanwhile, for the R-Square value, the Exponential kernel function provided a higher value than other kernel functions. However, the R-Square values in the Gaussian kernel function and the Exponential kernel function were not found to be significantly different. Therefore, the Kernel Gaussian function could be considered as a function that was generally able to generate better the I-GTWR modeling results in this study data.

Kernel Function	Bandwidth	AICc	R^2
Gaussian	1.346	714.263	0.981
Bisquare	1.584	733.663	0.816
Exponential	0.665	1649.417	0.998

TABLE 5. Comparison of Kernel Functions on Fixed Bandwidth

E. Comparison of Models

The global regression model, the GTWR model and the I-GTWR model were compared to identify a better model to describe the distribution of COVID-19 cases in East Borneo. Based on Table 6, the I-GTWR model accompanied by the Gaussian kernel function weighting was observed to be better for modeling the distribution of the total of COVID-19 cases in East Borneo, because it had a larger value of R^2 , and smaller RMSE values than the global regression method.

Method	R^2	RMSE
Global Regression	0.634	6232.002
GTWR	0.834	4205.785
I-GTWR	0.981	2270.671

TABLE 6. Comparison of Models

F. Spatial and Temporal Pattern of Contributing Factors for COVID-19 Cases

In each Regency/City, the predictor variables that significantly affect the total of COVID-19

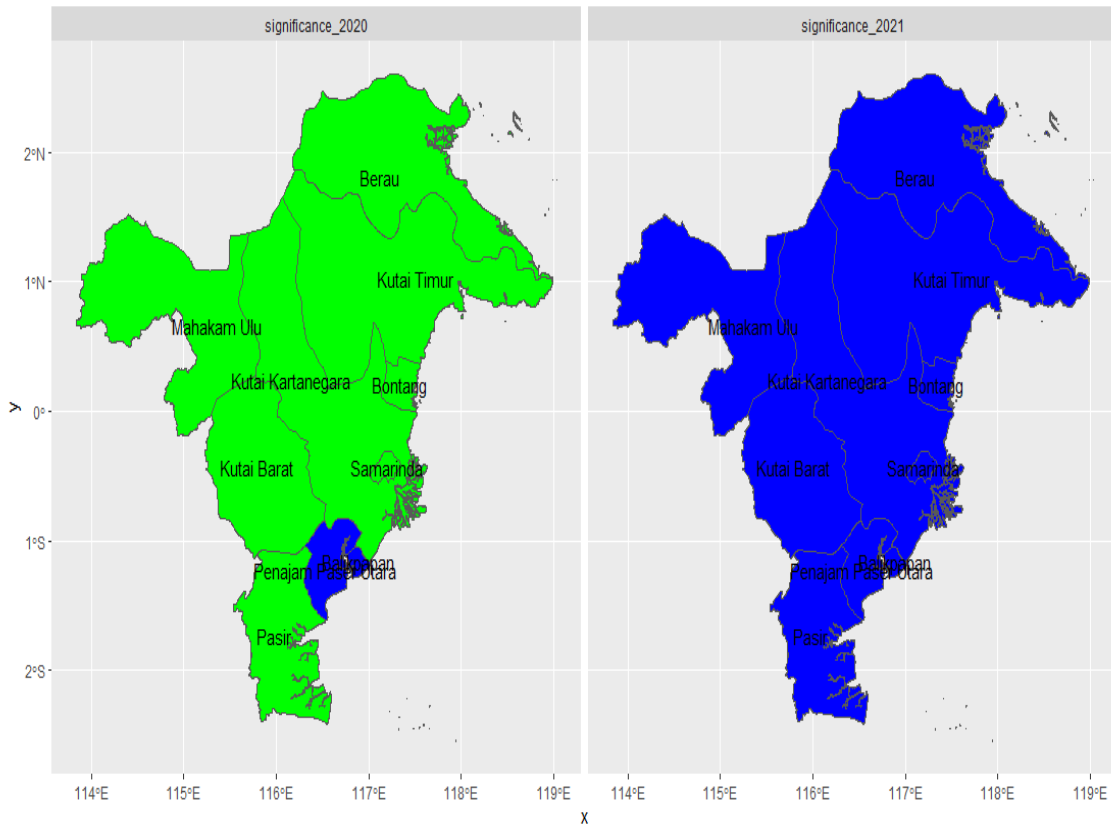
cases could be different between years. The mapping process was capable of indicating significant movement of response variables between Regencies/Cities and between years at Figure 2. The mapping was successfully carried out by dividing four maps based on a single variable and one map based on a combination variable. The maps were explored based on a single variable that significantly influenced changes in the total of COVID-19 cases by region and time as shown in Table 8. Referring to Table 7, each variable was found to affect the total of COVID-19 cases in each region and at different times. In 2020, the GRDP variable (X_3) was identified as not significantly affecting the total of COVID-19 cases in several Regencies/cities, while the variables for the total of tuberculosis (TB) cases (X_1), the population density (X_2), the total of hospitals (X_4), and the total of health care centers (X_5) were found to have an effect on changes in the total of COVID-19 cases in all Regencies/Cities in East Borneo Province.

Variables	2020	2021
X_1	Kutai Barat, Kutai Timur, Kutai Kartanegara, Penajam Paser Utara, Paser, Berau, Mahakam Ulu, Balikpapan, Bontang, Samarinda	Kutai Barat, Kutai Timur, Kutai Kartanegara, Penajam Paser Utara, Paser, Berau, Mahakam Ulu, Balikpapan, Bontang, Samarinda
X_2	Kutai Barat, Kutai Timur, Kutai Kartanegara, Penajam Paser Utara, Paser, Berau, Mahakam Ulu, Balikpapan, Bontang, Samarinda	Kutai Barat, Kutai Timur, Kutai Kartanegara, Penajam Paser Utara, Paser, Berau, Mahakam Ulu, Balikpapan, Bontang, Samarinda
X_3	Penajam Paser Utara, Balikpapan	Kutai Barat, Kutai Timur, Kutai Kartanegara, Penajam Paser Utara, Paser, Berau, Mahakam Ulu, Balikpapan, Bontang, Samarinda
X_4	Kutai Barat, Kutai Timur, Kutai Kartanegara, Penajam Paser Utara, Paser, Berau, Mahakam Ulu, Balikpapan, Bontang, Samarinda	Kutai Barat, Kutai Timur, Kutai Kartanegara, Penajam Paser Utara, Paser, Berau, Mahakam Ulu, Balikpapan, Bontang, Samarinda
X_5	Kutai Barat, Kutai Timur, Kutai Kartanegara, Penajam Paser Utara, Paser, Berau, Mahakam Ulu, Balikpapan, Bontang, Samarinda	Kutai Barat, Kutai Timur, Kutai Kartanegara, Penajam Paser Utara, Paser, Berau, Mahakam Ulu, Balikpapan, Bontang, Samarinda

TABLE 7. Variables that Provide Significant Influence

Based on the simultaneous analysis, two groups of Regencies/Cities were found based on a model of a combination of contributing factors for the total of COVID-19 cases.

FIGURE 2. Location of COVID-19 Cases based on Significant Influencing Factors



The first group was the total of COVID-19 influenced by the variables of the total of tuberculosis (TB) cases (X_1), population density (X_2), the GRDP (X_3), the total of hospitals (X_4), and the total of health care centers (X_5); and the second group was the total of COVID-19 cases influenced by the total of tuberculosis (TB) cases (X_1), population density (X_2), the total of hospitals (X_4), and the total of health care centers (X_5). The complete grouping of Regencies/Cities based on the combination model that causes an increase in the total of COVID-19 cases is shown in Table 8.

Group	Variables	Regency/City	
		2020	2021
1	X_1, X_2, X_3, X_4, X_5	Penajam Paser Utara, Balikpapan	Paser, Kutai Barat, Kutai Kartanegara, Kutai Timur, Berau, Penajam Paser Utara, Mahakam Ulu, Balikpapan, Samarinda, Bontang
2	X_1, X_2, X_4, X_5	Kutai Barat, Kutai Timur, Kutai Kartanegara, Paser, Berau, Mahakam Ulu, Bontang, Samarinda	-

TABLE 8. Grouping of Regencies/Cities Based on The Combination Model

5. CONCLUSION

Based on the study that had been conducted, it may be inferred that the Improved-Geographically Temporally Weighted Regression (I-GTWR) modeling had proven to be more effective in describing the spread of the total of COVID-19 in East Borneo. Referring to the results of the parameter estimation of the total of COVID-19 cases in East Borneo by means of the I-GTWR method, the factors found to provide an influence on the total of COVID-19 cases included the total of tuberculosis (TB) cases (X_1), the population density (X_2), the GRDP (X_3), the total of hospitals (X_4), and the total of health care centers (X_5). These five factors significantly affected the total of COVID-19 cases East Borneo based on region and time (spatial temporary). The I-GTWR method could also be used to classify the spread of the total of COVID-19 in Regency/City that was influenced by certain variables in combination or single variables based on region and time. The variable of gross regional domestic product (GRDP) (X_3) was identified as a single variable that had no effect on the total of COVID-19 cases in East Borneo Province in 2020. The combination factors that provided a significant influence in this study consisted of the total of tuberculosis (TB) cases (X_1), the population density (X_2), the total of Hospitals (X_4), and the total of health care centers (X_5).

ACKNOWLEDGEMENTS

The author(s) gratefully acknowledge the funding of DIPA BLU – PNBP FMIPA / Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Mulawarman University, Samarinda, Indonesia in 2021 [2024/UN17.7/LT/2021].

CONFLICT OF INTERESTS

The author(s) declare that there is no conflict of interests.

REFERENCES

- [1] M. Ciotti, M. Ciccozzi, A. Terrinoni, et al. The COVID-19 pandemic, *Critical Rev. Clinic. Lab. Sci.* 57 (2020), 365–388. <https://doi.org/10.1080/10408363.2020.1783198>.
- [2] World Health Organization, *Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)*, Jenewa, 2020.
- [3] M. Muhyiddin, H. Nugroho, A year of Covid-19: A long road to recovery and acceleration of Indonesia's development, *Jurnal Perencanaan Pembangunan: Indones. J. Develop. Plan.* 5 (2021) 1–19. <https://doi.org/10.36574/jpp.v5i1.181>.
- [4] C.B. Aditya Satrio, W. Darmawan, B.U. Nadia, et al. Time series analysis and forecasting of coronavirus disease in Indonesia using ARIMA model and PROPHET, *Procedia Computer Sci.* 179 (2021), 524–532. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.036>.
- [5] M. Sandeep Kumar, V. Maheshwari, J. Prabhu, et al., Social economic impact of COVID-19 outbreak in India, *Int. J. Pervas. Comput. Commun.* 16 (2020), 309–319. <https://doi.org/10.1108/ijpcc-06-2020-0053>.
- [6] S. Hsiang, D. Allen, S. Annan-Phan, et al. The effect of large-scale anti-contagion policies on the COVID-19 pandemic, *Nature.* 584 (2020), 262–267. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2404-8>.
- [7] D. Irawanto, K. Novianti, K. Roz, Work from home: Measuring satisfaction between work–life balance and work stress during the COVID-19 pandemic in Indonesia, *Economies.* 9 (2021), 96. <https://doi.org/10.3390/economies9030096>.
- [8] R. Rachmawati, U. Choirunnisa, Z.A. Pambagyo, et al. Work from home and the use of ict during the COVID-19 pandemic in Indonesia and its impact on cities in the future, *Sustainability.* 13 (2021), 6760.

- <https://doi.org/10.3390/su13126760>.
- [9] A.A. Suwantika, C. Boersma, M.J. Postma, The potential impact of COVID-19 pandemic on the immunization performance in Indonesia, *Expert Rev. Vaccines*. 19 (2020), 687–690.
<https://doi.org/10.1080/14760584.2020.1800461>.
- [10] Y. Bai, L. Wu, K. Qin, et al. A geographically and temporally weighted regression model for ground-level PM2.5 estimation from satellite-derived 500 m resolution AOD, *Remote Sensing*. 8 (2016), 262.
<https://doi.org/10.3390/rs8030262>.
- [11] M. Sholihin, A.M. Soleh, A. Djuraidah, Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR) for modeling economic growth using R, *Int. J. Computer Sci. Network*, 6 (2017), 800-805.
- [12] S. Sifriyani, M. Rasjid, D. Rosadi, et al. Spatial-temporal epidemiology of COVID-19 using a geographically and temporally weighted regression model, *Symmetry*. 14 (2022), 742. <https://doi.org/10.3390/sym14040742>.
- [13] C.H. Lin, T.H. Wen, Using Geographically Weighted Regression (GWR) to explore spatial varying relationships of immature mosquitoes and human densities with the incidence of dengue, *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 8 (2011), 2798–2815. <https://doi.org/10.3390/ijerph8072798>.
- [14] A.S. Fotheringham, C. Brunson, Local forms of spatial analysis, *Geograph. Anal.* 31 (2010), 340–358.
<https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1999.tb00989.x>.
- [15] T.S. Breusch, A.R. Pagan, A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation, *Econometrica*. 47 (1979), 1287-1294. <https://doi.org/10.2307/1911963>.
- [16] H.J. Chu, S.J. Kong, C.H. Chang, Spatio-temporal water quality mapping from satellite images using geographically and temporally weighted regression, *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinform.* 65 (2018), 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.10.001>.
- [17] S.I. Purwanti, Sutikno, Purhadi, Parameter estimation and hypothesis testing of geographically and temporally weighted bivariate generalized Poisson regression, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 880 (2021), 012043.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/880/1/012043>.
- [18] X. Xu, X. Luo, C. Ma, D. Xiao, Spatial-temporal analysis of pedestrian injury severity with geographically and temporally weighted regression model in Hong Kong, *Transport. Res. Part F: Traffic Psychol. Behav.* 69 (2020), 286–300. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.02.003>.

- [19] J. Liu, Y. Zhao, Y. Yang, et al. A mixed geographically and temporally weighted regression: Exploring spatial-temporal variations from global and local perspectives, *Entropy*. 19 (2017), 53.
<https://doi.org/10.3390/e19020053>.
- [20] B. Huang, B. Wu, M. Barry, Geographically and temporally weighted regression for modeling spatio-temporal variation in house prices, *Int. J. Geogr. Informa. Sci.* 24 (2010), 383–401.
<https://doi.org/10.1080/13658810802672469>.
- [21] C. Brunsdon, A.S. Fotheringham, M. Charlton, Some notes on parametric significance tests for geographically weighted regression, *J. Region. Sci.* 39 (1999), 497–524. <https://doi.org/10.1111/0022-4146.00146>.
- [22] C. Brunsdon, A.S. Fotheringham, M.E. Charlton, Geographically weighted regression: A method for exploring spatial nonstationarity, *Geogr. Anal.* 28 (2010), 281–298.
<https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1996.tb00936.x>.
- [23] Y. Wang, Q. Liu, Comparison of Akaike information criterion (AIC) and Bayesian information criterion (BIC) in selection of stock–recruitment relationships, *Fisher. Res.* 77 (2006), 220–225.
<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2005.08.011>.
- [24] S. Wang, C. Fang, H. Ma, Y. Wang, J. Qin, Spatial differences and multi-mechanism of carbon footprint based on GWR model in provincial China, *J. Geogr. Sci.* 24 (2014), 612–630. <https://doi.org/10.1007/s11442-014-1109-z>.
- [25] T. Nakaya, A.S. Fotheringham, C. Brunsdon, et al. Geographically weighted Poisson regression for disease association mapping, *Stat. Med.* 24 (2005), 2695–2717. <https://doi.org/10.1002/sim.2129>.

RESEARCH ARTICLE | OCTOBER 11 2022

Geographically temporally weighted regression model for GIS mapping of influence COVID-19 in East Kalimantan

Sifriyani Sifriyani ; Idris Mandang; Fidia Deny Tisna Amijaya



AIP Conference Proceedings 2668, 070012 (2022)

<https://doi.org/10.1063/5.0111808>



CrossMark

Articles You May Be Interested In

Analysis of the causes of flooding in Samarinda City using spatial statistics: Geographically weighted regression

AIP Conference Proceedings (January 2023)

Application of nonparametric truncated spline regression on infant mortality rate in Kalimantan

AIP Conference Proceedings (May 2023)

The semiparametric regression curve estimation by using mixed truncated spline and fourier series model

AIP Conference Proceedings (February 2021)



Time to get excited.
Lock-in Amplifiers – from DC to 8.5 GHz

[Find out more](#)

Geographically Temporally Weighted Regression Model for GIS Mapping of Influence COVID-19 in East Kalimantan

Sifriyani Sifriyani^{1, a)}, Idris Mandang², and Fidia Deny Tisna Amijaya³

¹Statistics Study Program, Department of Mathematics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Mulawarman University, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia

²Geophysics Study Program, Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Mulawarman University, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia

³Mathematics Study Program, Department of Mathematics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Mulawarman University, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia

^{a)} Corresponding author: sifriyani@fmipa.unmul.ac.id

Abstract. This study is the mapping of Geographic Information System (GIS) based on the Estimation of the Geographically and Temporally Weighted Regression (GWR) model. The mapping focuses on the factors that affect the increase in COVID-19 on the scale of Regency/City in East Kalimantan Province. The purpose of this research was to find the factors affecting COVID-19 and GIS mapping. The data used are secondary data from the Central Bureau of Statistics and the Department of Manpower, from 2020 to August 2021. This study used the analysis of GTWR Spatio-temporal with the geographic weighting of kernel Gaussian and Bisquare functions. GTWR model is a development of the Geographically Weighted Regression (GWR) model and simultaneously considers the elements of location and time simultaneously. GTWR model can handle non-stationary data, both in spatial and temporal, simultaneously. The advantage of the GTWR model is the generated model is local at each location and time, so that the model is representative. The research results indicated that the factors that affect the increase in cumulative cases of positive COVID-19 in the East Kalimantan Province are the number of tuberculosis cases, population density, GDP, the number of hospitals, and the number of villages that have public health centers. Based on the value of the GTWR model parameter estimator, it was obtained the number of tuberculosis cases, population density, and the limited number of hospitals. They have a great influence on Balikpapan city in comparison with other regions. Based on these values, it gave the information to attend to these factors because of the influence of a considerable increase in COVID-19 cases in East Kalimantan.

INTRODUCTION

In Indonesia, the first confirmed Coronavirus disease 2019 (COVID-19) case was a female who had close contact with the 24th confirmed case in Malaysia, and the second case was the mother of the first case [1]. As time goes by, the number of new cases had increased significantly, reaching more than 1.6 million, and more than 44 thousand of them died by April 22, 2021 [2]. From February 26, 2020 to February 28, 2020, there were events identified as clusters of COVID-19 transmission that was *Seminar Sinode Bogor*, *Seminar Anti Riba Bogor*, and *Seminar Kerohanian Lembang*. These events' participants came from all regions of Indonesia [3]. These events made COVID-19 spread all over Indonesia including Kalimantan. To handle this situation, the government has implemented several policies to deal with Covid-19 which are relatively moderate way through the Large-Scale Social Restrictions Policy and the Policy for Implementation of Restrictions for Community Activities. Moreover, they also implemented an aggressive way through the vaccination program which are very loose through the declaration of a new normal [2]. On March 18-20, 2020, East Kalimantan confirmed nine COVID-19 patients. Most of them was coming from the two main clusters: *Seminar Sinode Bogor, Indonesia* and *Seminar Anti Riba Bogor, Indonesia* [4]. The increasing of COVID-19 in East Kalimantan due to contact with COVID-19 patients. Until February 04, 2021, the total of confirmed

COVID-19 cases was 43.656 patients, 7.970 patients was treated, 34.641 patients was recovered, and 1045 patients was died [5]. Previous research used the data of COVID-19 in East Kalimantan by using Susceptible Infection Recovered modeling [6].

Based on these descriptions, it is necessary to examine the factors that influence the number of positive COVID-19 cases specifically in the region of East Kalimantan. There was a mapping based on the number of COVID-19 cases in different regions in every COVID-19 website at the provincial level, but there has been no GIS mapping based on the factors affecting COVID-19 on the scale of Regency/City in East Kalimantan. Hereby, this research focused on GIS mapping specifically on factor that affecting it. This research focused on the Geographically Temporally Weighted regression model [7] [8] [9] that will be applied on the data of the number of positive COVID-19 cases and the affecting variables. GTWR research is one of spatial and spatio temporal analysis [10], [11], [12]. Researchers used GTWR model to analyze the data on COVID-19 in different countries [13], [14], [15], [16], [17].

This research aimed to find GIS mapping through GTWR model based on the factors that affect the increasing number of COVID-19 in East Kalimantan. The advantages of this research can provide information related to how much these variables influence and GIS mapping based on the influence of variable. Predictor variables used in the study was population density [18], [19] the Gross Domestic Product [18], [19], the number of hospitals [20], [21] the Number of Villages that have health centers [20], [21] and the number of tuberculosis cases [citation of department of health]. The novelty on this research was using COVID-19 data from 2020 to August 2021.

MATERIAL AND METHOD

Geographically and Temporally Weighted Regression

The Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR) is an effective approach to handle non-stationarity problem of spatial and temporal [7]. GTWR model is the development of GWR models by adding element of time (temporal). The GTWR model is different from the GWR model, GTWR combines temporal and spatial information in a weighting matrix to identify spatial and temporal diversity. GTWR model in Equation (1) for free variable p with response variable y_i on the location (u_i, v_i, t_i) for each observation.

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i, t_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (1)$$

where y_i is an observation value of response variable for the location of the observation (u_i, v_i) and t_i time, The $\beta_0(u_i, v_i, t_i)$ parameters is a constant of the intercept value, the $\beta_k(u_i, v_i, t_i)$ parameters is the regression coefficient of k -free variables on the location of the observation (u_i, v_i) and t_i time, x_{ik} predictor variable is the observations value of k -descriptors variable on the location of the observation (u_i, v_i) and t_i time and ε_i is the i -observation error which is assumed identical, independent, and $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$.

Estimation of the GTWR Model Parameter

$\hat{\beta}_i(u_i, v_i, t_i)$ regression coefficient at i -point can be obtained with the use of a Weighted Least Square. The estimation of the GTWR model parameters written in Equation (2).

$$\hat{\beta}(u_i, v_i, t_i) = [X^T W(u_i, v_i, t_i) X]^{-1} X^T W(u_i, v_i, t_i) y \quad (2)$$

where the Weighting $W(u_i, v_i, t_i) = \text{diag}(w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in})$ is the weighting matrix on the location of the observation (u_i, v_i) and t_i time. The diagonal elements $w_{ij} (1 \leq j \leq n)$ is a function of the spatial-temporal distance at the observation point (u_i, v_i, t_i) . At the stage of model preparation, it is assumed that the proximity of the data observation point to i -point in the coordinate system of the spatial-temporal have a greater influence on the $\hat{\beta}(u_i, v_i, t_i)$ parameters estimator than the data that is located far away from i -point. The proximity has two elements, namely spatial and temporal proximity. Nevertheless, defining and measuring the proximity of spatial-temporal in the coordinate system is a major problem in the preparation of the GTWR model.

Data and Research Data Sources

The data used consisted of the response variable (y), the predictor variables (x), and the location Coordinates of each Regency/City in East Kalimantan Province. The data used was secondary data. Predictor variables consisting of population density and Gross Domestic Product (GDP) was obtained from the Central Statistics Agency (BPS) in East Kalimantan Province of 2020 and 2021 [18], [19]. Predictor variables consisted of the number of hospitals, the number of Villages/District which had public health centers and the number of tuberculosis cases were obtained from the Department of Health in East Kalimantan Province [20], [21]. Data on the number of positive COVID-19 cases were obtained from the official website namely <https://covid19.kaltimprov.go.id/> [22]. The research variables described in Table 1.

TABLE 1. Description of Variables and Sources of Research Data

Variables	Symbol	Description Of Variables	Source of Observation Data	Unit	Scale
Response	y	Accumulative of positive Covid-19 cases in Indonesia	The official website of COVID-19 at the provincial level	People	10 Regencies/Cities in East Kalimantan Province
Predictor	x_1	Number of Tuberculosis Cases	Department of Health	Case	10 Regencies/Cities in East Kalimantan Province
	x_2	Population density	The Central Statistics Agency (BPS)	Soul/Km ²	10 Regencies/Cities in East Kalimantan Province
	x_3	Gross Regional Domestic product on the Basis of the Market Price	The Central Statistics Agency (BPS)	Billion Rupiah	10 Regencies/Cities in East Kalimantan Province
	x_4	Number of Hospital	Department of Health	Unit	10 Regencies/Cities in East Kalimantan Province
	x_5	Number of Villages/Districts which have community health center	Department of Health	Unit	10 Regencies/Cities in East Kalimantan Province

The Stage of Data Analysis

Based on the objective of the study, the following stages of data analysis were to find GIS mapping Based Geographically and Temporally Weighted Regression Models for COVID-19 Cumulative Data in East Kalimantan.

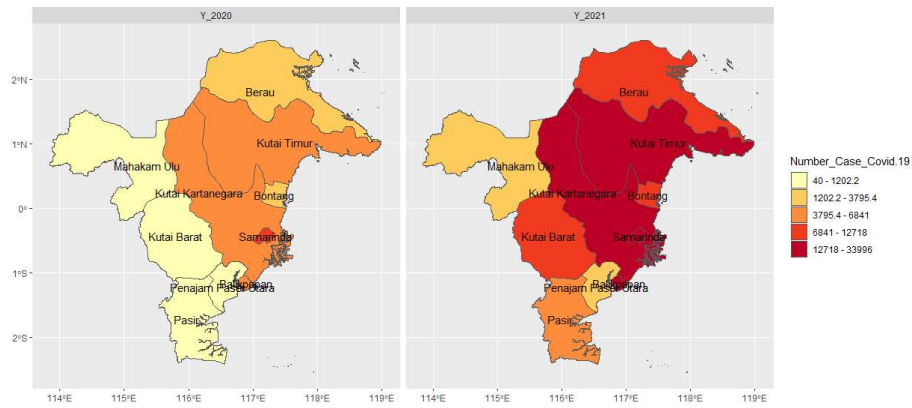
1. The exploration of the distribution on the response variable and the predictor variables in the period of 2020 to 2021 were using the spatial distribution mapping.
2. Description of the COVID-19 accumulative data and the predictor variables
3. Estimation of the GTWR model

4. Mapping the spread of COVID-19 based on the GTWR model estimation.

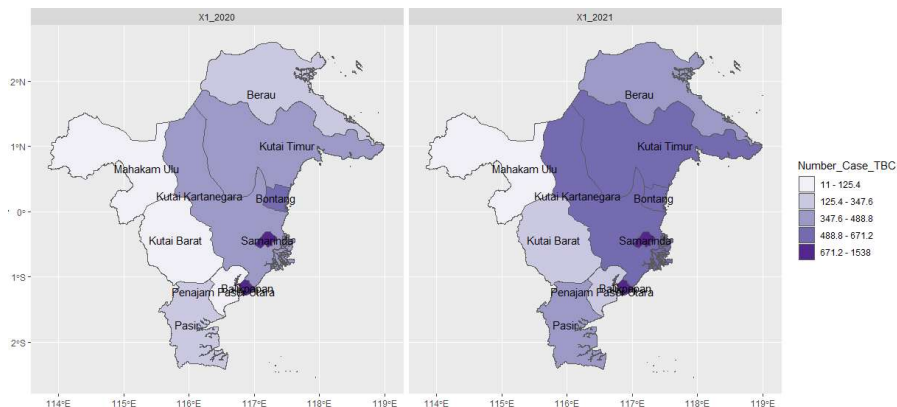
RESULTS AND DISCUSSION

Results and discussion are begun by providing information about the spatial distribution mapping, the description of the number of positive COVID-19 cases data and the variables that effect. The next analysis was Estimators of the GTWR model parameters and GIS Mapping Based GTWR Models Estimation For COVID-19 Cumulative Data in East Kalimantan.

Spatial Distribution Map and Description of Research Variables



(a) Mapping of the number of Positive COVID-19 Cases Confirmed in 2020 to 2021



(b) Mapping of the Number of Tuberculosis Cases in 2020 to 2021

FIGURE 1. Spatial Distribution Mapping of (a) Positive COVID-19 Cases and (b) the Number of Tuberculosis Cases in 2020 to 2021

In figure 1(a), it shows that COVID-19 case in 2020 was in the interval 40–6.880 cases, meanwhile, on August 10, 2021, it has reached the interval of 1.418–33.996 cases. Figure 1(a) shows that the highest positive cases number of COVID-19 in 2020 was occurred in Samarinda of 6.880 cases with the lowest cases occurred in Mahakam Ulu Regency of 40 cases. The data confirmed up to August 10, 2021 indicated that the highest number of positive cases is Balikpapan with 33.996 cases and is followed by Kutai Kartanegara Regency with 21.946 cases. Regions with the highest cases are Balikpapan, Samarinda, and Kutai Kartanegara, as seen by the darker color of the map. Figure 1(b) shows data mapping for tuberculosis cases in 2020 and August 10, 2021. In general, there is no increase in the number of tuberculosis cases in each region/city in East Kalimantan. The number of tuberculosis cases in 2021 has decreased compared to cases that occurred in 2020. It can be seen from the color that was initially dark turned into a lighter

color. Based on figure 1(b), the regions that have the highest number of tuberculosis cases in 2020 was Balikpapan with 1538 cases. Afterward, it continues with the highest cases in 2021 of 816 cases. Meanwhile, the lowest case occurred in Mahakam Ulu Regency.

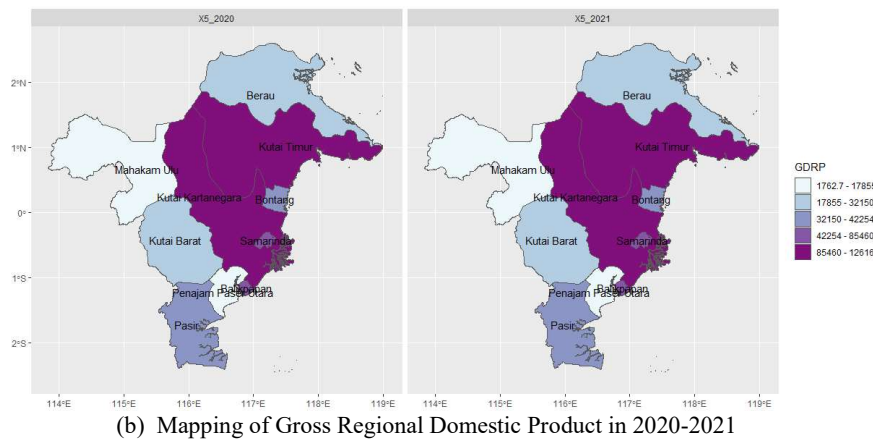
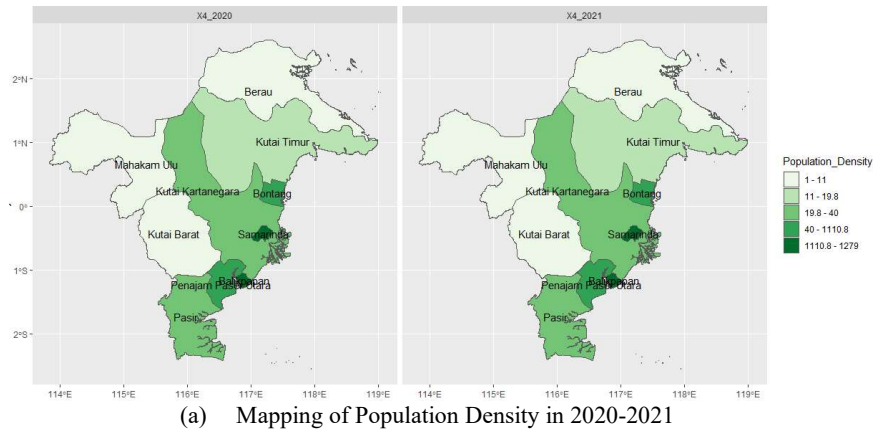


FIGURE 2. Spatial Distribution Mapping of (a) Population Density and (b) Gross Regional Domestic Product in 2020-2021

Figure 2(a) shows the distribution of population density in 2020-2021. In general, there is no increase in tuberculosis cases number in each regency/city in East Kalimantan. It can be seen from the similar pattern of colors from 2020 to 2021. Some regencies/cities have higher population density in Balikpapan with 1,279 population/Km², Samarinda with 1,218 population/Km², and Kutai Kartanegara with 1,089 population/Km². It is also seen from the color map that increasingly dark in the region. Figure 2(b) shows the distribution of GDP in 2020-2021. GDP shows the economic condition of a region. In general, there is no increase in GDP in each regency/city in East Kalimantan. This can be seen from the pattern of colors which is almost the same from 2020 to 2021. However, most of the region has a higher value of GDP.

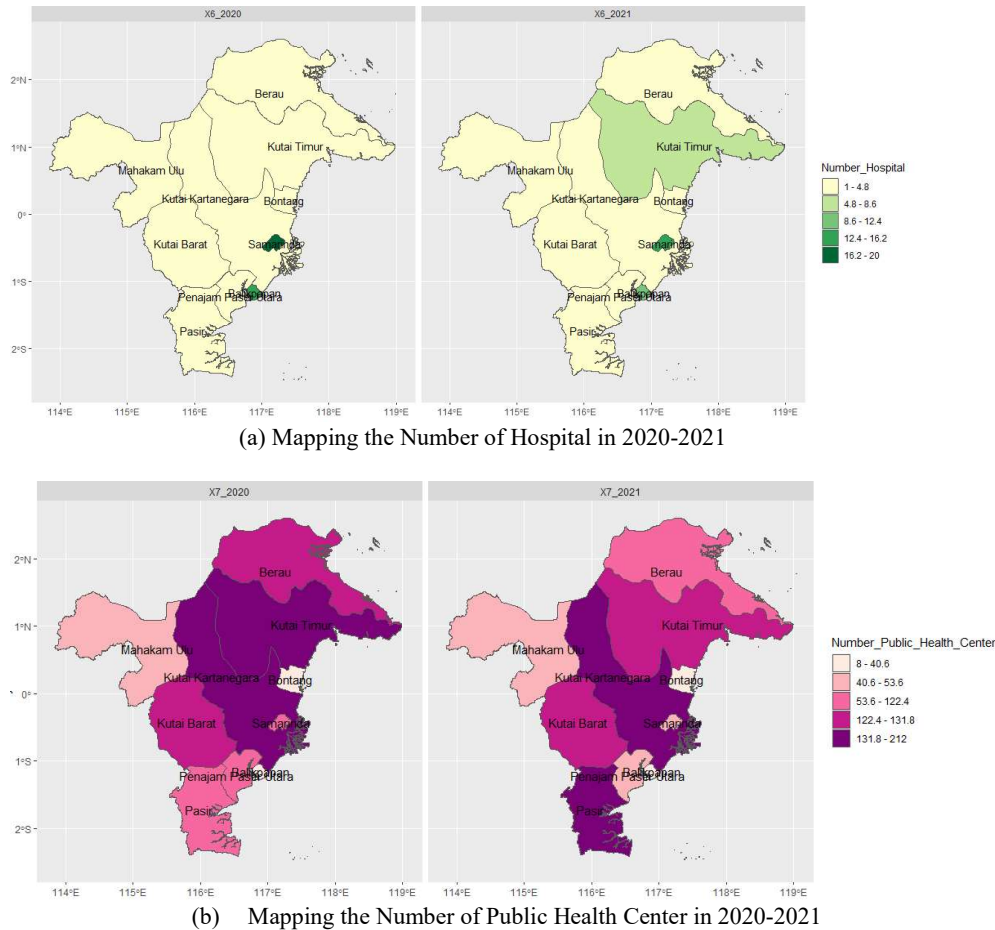


FIGURE 3. Mapping Spatial Distribution (a) Mapping the Number of Hospitals and (b) the Number of Public Health Center in 2020 – 2021

Figure 3(a) shows the distribution of the number of hospitals in 2020-2021. In general, there is no increase in the number of hospitals in each regency/city in East Kalimantan. It can be seen from the pattern of colors which is almost the same and evenly in each region. However, East Kutai Regency is experiencing an increasing number of hospitals in 2021 compared to another region/city, as can be noticed from the color which turns to be darker. Figure 3(a) shows the distribution of the number of public health center in 2020-2021. In general, there is no increase in the number of public health center in each regency/city in East Kalimantan. This can be seen from similar colors pattern from 2020 to 2021. However, for some regions, such as East Kutai and Berau, the number of Public Health Centers has decreased. This can be seen from the colors which turn brighter from 2020 to 2021.

TABLE 1. Descriptive Statistics of Response Variables and Predictor Variables

Descriptive Statistics	Positive case of COVID-19 (y)	Number of Tuberculosis Cases (x_1)	Population Density (x_2)	GDP (x_3)	Number of Hospital (x_4)	Number of Public Health Centers (x_5)
Minimum	40	11	1	1762.69	1	8
Maximum	33996	1538	1279	126160.2	20	212
Range	33956	1527	1278	124397.5	19	204
Sum	160901	9669	7403	956789.3	101	1826

TABLE 1. Descriptive Statistics of Response Variables and Predictor Variables

Descriptive Statistics	Positive case of COVID-19 (y)	Number of Tuberculosis Cases (x_1)	Population Density (x_2)	GDP (x_3)	Number of Hospital (x_4)	Number of Public Health Centers (x_5)
Median	5443.5	395	28	37518.26	3	88
Mean	8045.05	483.45	370.15	47839.47	5.05	91.3
SE Mean	1983.691	95.30724	122.9133	8672.878	1.170863	13.46537
Variance	78700590	181669.4	302153.6	1504376000	27.41842	3626.326
Standard Deviation	8871.335	426.227	549.685	38786.29	5.23626	60.21899

Data description on the number of COVID-19 cases and the influence variables or predictor variables is presented in Table 1.

Parameter Estimator of GTWR Model on COVID-19 Data in East Kalimantan

GTWR model estimation on i location and at t time is as follows:

$$\hat{y}_{it} = \hat{\beta}_0(u_i, v_i, t_i) + \hat{\beta}_1(u_i, v_i, t_i)x_{it1} + \hat{\beta}_2(u_i, v_i, t_i)x_{it2} + \hat{\beta}_3(u_i, v_i, t_i)x_{it3} + \hat{\beta}_4(u_i, v_i, t_i)x_{it4} + \hat{\beta}_5(u_i, v_i, t_i)x_{it5}, i = 1, 2, \dots, 10; t = 1, 2 \quad (3)$$

TABLE 2. Summary of Parameter Estimator Value on GTWR Model

Estimasi Parameter	Minimum	Q_1	Median	Q_3	Maximum
$\hat{\beta}_0$	-5392.300	-5067.800	-4798.200	-4638.800	-4463.556
$\hat{\beta}_1$	-39.634	-39.287	-38.379	-36.986	-36.741
$\hat{\beta}_2$	21.770	22.144	23.383	24.638	25.076
$\hat{\beta}_3$	0.084	0.092	0.099	0.104	0.111
$\hat{\beta}_4$	1600.100	1633.700	1698.700	1728.600	1802.590
$\hat{\beta}_5$	93.679	96.681	101.950	109.210	114.508

Table 2 shows a summary of GTWR model parameter estimator value using a geographic weighting of Gaussian Kernel Function with Fixed Bandwidth on the spatial and temporal weighting functions. Variable x_1 of tuberculosis cases number has a coefficient value of -39.634 to -36.741. Variable x_2 of population density has a coefficient value of 21.770 to 25.076. Variable x_3 of GDP has a coefficient value of 0.084 to 0.111. Variable x_4 of the number of hospitals have a coefficient value of 1600.100 to 1802.590. Variable x_5 of the number of Public Health Centers has a coefficient value of 93.679 to 114.508. Coefficient values of each variable are spread across the regions/cities in East Kalimantan.

Based on the estimation results of GTWR model parameters, the factors that affect the increase of positive cases of COVID-19 are variable x_1 of the number of tuberculosis cases, variable x_2 of population density, variable x_3 of GDP, variable x_4 of the number of hospitals, and variable x_5 of the number of Public Health Centers. The β estimator value for each region/city in East Kalimantan Province is presented in Table 3.

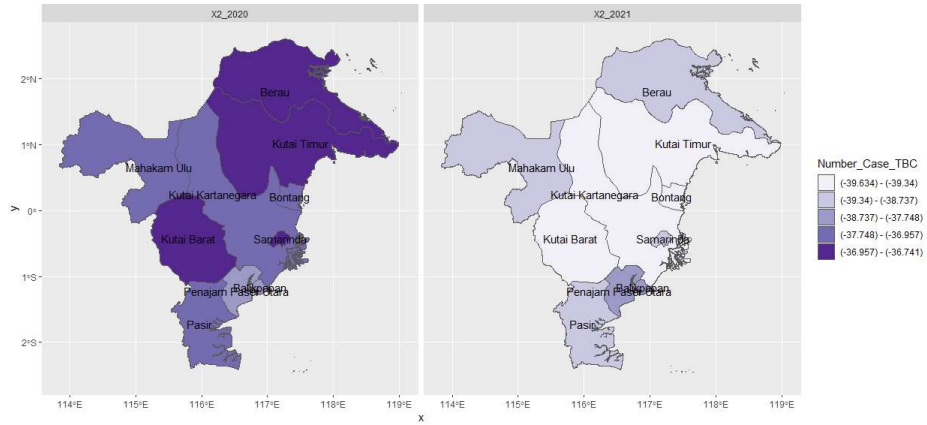
TABLE 3. Parameter Estimation Value in Each Region/City

Regency/ City	Year	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$
Paser	2020	-4513.9	37.4717	22.11889	0.093188	1766.074	94.78808
Kutai Barat	2020	-4718.13	36.8695	22.22856	0.085986	1719.689	99.03135*
Kutai Kartanegara	2020	-4647.22	37.3494	22.1058	0.094903	1741.614	96.03751
Kutai Timur	2020	-4714.64	36.8296	22.20377	0.086311	1717.84	98.70959
Berau	2020	-4620.77	36.7411	22.03453	0.083836	1726.511	98.87277
Penajam Paser Utara	2020	-4463.56	37.9321	22.24499	0.09656	1784.473	93.92686
Mahakam Ulu	2020	-4720.08	36.9591	22.15258	0.089175	1727.921	97.57374
Balikpapan	2020	-4502.67	38.3446*	22.45355*	0.09838*	1802.59*	94.14268
Samarinda	2020	-4486.95	36.9508	21.76994	0.095088	1727.66	93.67854
Bontang	2020	-4644.83	36.9949	22.06702	0.089883	1730.563	96.89514
Paser	2021	-4995.67	38.8372	24.61254	0.110633*	1600.88	106.6003
Kutai Barat	2021	-5373.09	39.3661	25.04413	0.100758	1634.428	114.3627
Kutai Kartanegara	2021	-4960.65	39.4717	24.61647	0.104879	1657.227	108.031
Kutai Timur	2021	-5392.27	39.4502	25.07546*	0.100567	1639.72	114.5075
Berau	2021	-5294.02	39.0448	24.9926	0.102173	1605.773	114.0006
Penajam Paser Utara	2021	-4941.25	38.6527	24.45479	0.109744	1605.645	105.9662
Mahakam Ulu	2021	-5261.04	39.2722	24.87998	0.103744	1631.572	111.9169*
Balikpapan	2021	-4876.36	38.4133	24.31303	0.110108	1600.129	104.8747
Samarinda	2021	-5003.42	39.3332	24.62651	0.10624	1638.662	108.3011
Bontang	2021	-5334.4	39.6338*	24.67394	0.102815	1679.627*	112.5987

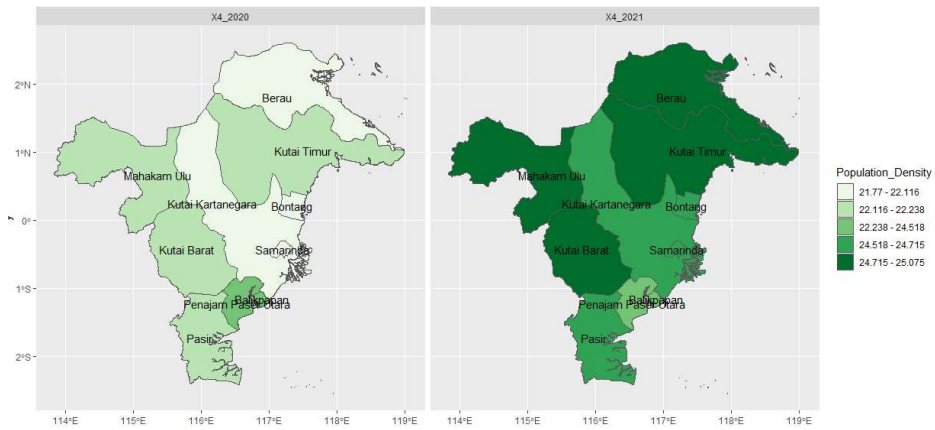
Based on the parameter estimator value of GTWR model, Balikpapan has the highest number of tuberculosis cases which also affects the high positive case numbers of COVID-19 in 2020. It is also shown in figure 1(a) that Balikpapan City has darker color with high case of COVID-19. Meanwhile, Bontang city has the highest number of tuberculosis cases which affecting COVID-19 cases in 2021. Based on these values, it provides information to the reviewers to focus more on tuberculosis cases due to the considerable influence on the increasing of COVID-19 cases in East Kalimantan. An increase in COVID-19 cases in Balikpapan is also affected by the high population density and the limited number of hospitals, as seen by the highest parameter estimator amongst other regional estimators. GIS mapping based on the model of GTWR will be described in the next sub-chapter.

GIS Mapping Based on GTWR Models Estimated For COVID-19 Cumulative Data in East Kalimantan

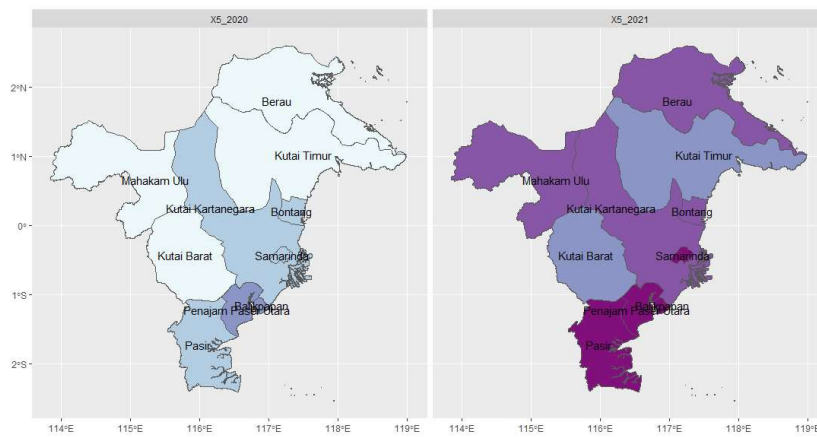
Mapping based on the estimation results of GTWR model is presented in figure 4. Model estimation value is aimed to obtain how much the influence of variable on the number of COVID-19 cases.



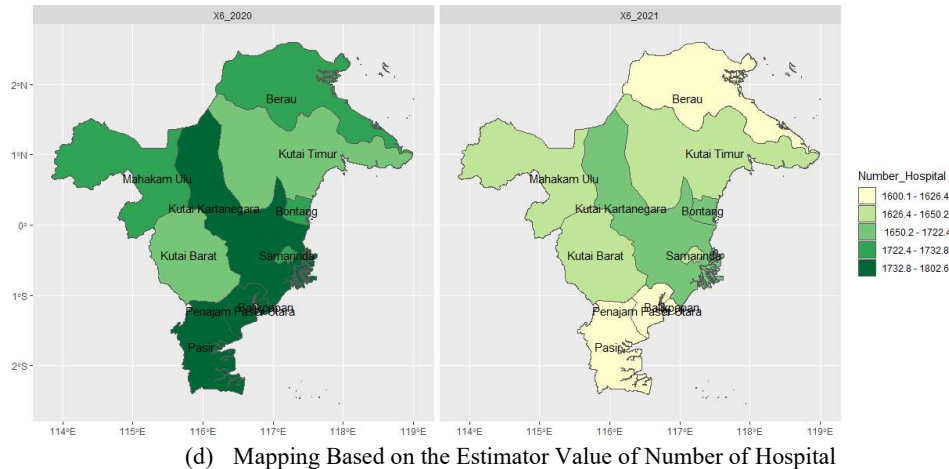
(a) Mapping Based on Estimator Value of Tuberculosis Cases Number



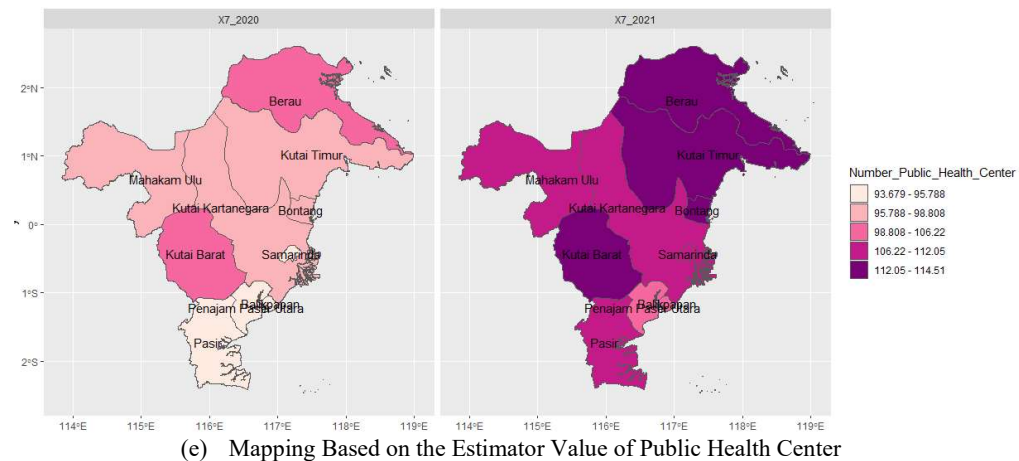
(b) Mapping Based on the Estimator Value of Population Density



(c) Mapping Based on the Estimator Value of GDP



(d) Mapping Based on the Estimator Value of Number of Hospital



(e) Mapping Based on the Estimator Value of Public Health Center

FIGURE 4. Mapping Based on Estimator Value of (a) Tuberculosis Cases Number (b) Population Density (c) GDP (d) Number of Hospital, and (e) Number of Public Health Centers in 2020 – 2021

Figure 4 shows the distribution of the estimator model or coefficient value of tuberculosis cases variable and population density in 2020-2021. These estimation number aims to determine the large and small influence of the variable on the data of positive cases number of COVID-19. In figure 4(a), the number of Tuberculosis cases in 2020 in all regencies/cities of East Kalimantan tends to have a high influence on the number of positive cases of COVID-19. It can be seen from the dark colors which are evenly distributed in the whole region. Meanwhile, in 2021, it has a low influence on the positive cases number of Covid-19. It can be seen from the light colors in the region. Figure 4(b) shows that population density in all regencies/cities in East Kalimantan tends to have a low influence on the number of positive cases of COVID-19. It can be seen from the light colors which are evenly distributed in the whole region. Meanwhile, in 2021, population density in all regencies/cities in East Kalimantan has a high influence on the number of positive cases of COVID-19. It can be seen from the dark colors in the region.

CONCLUSION

Geographically Temporally Weighted Regression (GTWR) model can provide solutions non-stationary data simultaneously both spatially and temporally. The advantage of GTWR is that the model is localized at each location and time, therefore the model is more representative. The results showed that the factors that influenced the cumulative increase in positive COVID-19 cases in East Kalimantan Province were the number of tuberculosis cases, population density, GDP, number of hospitals, and the number of sub-districts/villages that had public health centers. Based on the value of the parameter estimator of the GTWR model, Balikpapan has the highest number of tuberculosis cases in

2020. Meanwhile, in 2021, Bontang has the highest number of tuberculosis cases that affect COVID-19 cases. An increase in COVID-19 cases in Balikpapan is also affected by the high population density and the limited number of hospitals, as seen by the highest parameter estimator amongst other regional estimators. Based on these values, it provides information to the reviewers to focus more on tuberculosis cases in society due to the considerable influence on the increasing of COVID-19 cases in East Kalimantan.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors gratefully acknowledge the funding of DIPA BLU – PNBP FMIPA/ Faculty of Mathematics and Natural Science Mulawarman University Samarinda Indonesia in 2021 [2024/UN17.7/LT/2021]

REFERENCES

1. D. Susanna. *Kesmas*. 15(4), 160–162 (2020).
2. M. Muhyiddin, and H. Nugroho. *Jurnal Perencanaan Pembangunan: The Indonesian Journal of Development Planning*. 5(1), 1–19 (2021).
3. M. N. Huda, Sifriyani, and Fitriani. *Journal of Physics: Conference Series*. 1751(1), 1-5 (2021).
4. S. Paramita, A. Rahmadi, R. Isnuwardana, and R. A. Nugroho. *Open Access Macedonia Journal of Medical Sciences*. 8(T1), 45–50 (2020).
5. F. Fourqoniah and M. F. Aransyah. *Jurnal Perspektif Pembiayaan dan Pembangunan Daerah*. 9(2), 161–170 (2021).
6. S. Sifriyani and D. Rosadi. *Media Statistika*. 13(2), 170–181 (2020).
7. B. Huang, B. Wu, and M. Barry. *International Journal of Geographical Information Science*. 24(3), 383–401 (2010).
8. K. Kopczewska and P. Ćwiakowski. *Land Use Policy*. 103, (2021).
9. Q. Liu, R. Wu, W. Zhang, W. Li, and S. Wang. *Environment International*. 145, 106168 (2020).
10. C. Barreto-Martin, R. Sierra-Parada, D. Calderón-Rivera, A. Jaramillo-Londono, and D. Mesa-Fernández. *Heliyon*. 7(7), (2021).
11. X. Li, X. Huang, and Y. Zhang. *Science of the Total Environment*. 800, 149568 (2021).
12. I. Kühling, G. Broll, and D. Trautz. *Science of the Total Environment*. 544, 271-280 (2016).
13. D. Karácsonyi, S. Dyrting, and A. Taylor. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 61, (2021).
14. A. Mollalo, B. Vahedi, and K. M. Rivera. *Science of the Total Environment*. 728, 138884 (2020).
15. I. Dutta, T. Basu, and A. Das.” *Environmental Challenges*. 4, 100096 (2021).
16. D. O. Pribadi, K. Saifullah, A. S. Putra, M. Nurdin, L. O. S. Iman, and E. Rustiadi. *Spatial Spatio-temporal Epidemiology*. 39, 100454 (2021).
17. A. I. Tokey. *Journal of Transport & Health*. 22, 101135 (2021).
18. Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur. Kalimantan Timur dalam Angka Tahun 2020 (BPS Provinsi Kalimantan Timur, Samarinda, 2020).
19. Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur. Kalimantan Timur dalam Angka Tahun 2021. (BPS Provinsi Kalimantan Timur, Samarinda, 2021).
20. Dinas Kesehatan Provinsi Kalimantan Timur. Profil Kesehatan Provinsi Kalimantan Timur Tahun 2020. (Dinas Kesehatan Provinsi Kalimantan Timur, Samarinda, 2020).
21. Dinas Kesehatan Provinsi Kalimantan Timur. Profil Kesehatan Provinsi Kalimantan Timur Tahun 2021. (Dinas Kesehatan Provinsi Kalimantan Timur, Samarinda, 2021).
22. See supplementary material at <https://covid19.kaltimprov.go.id/>