

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

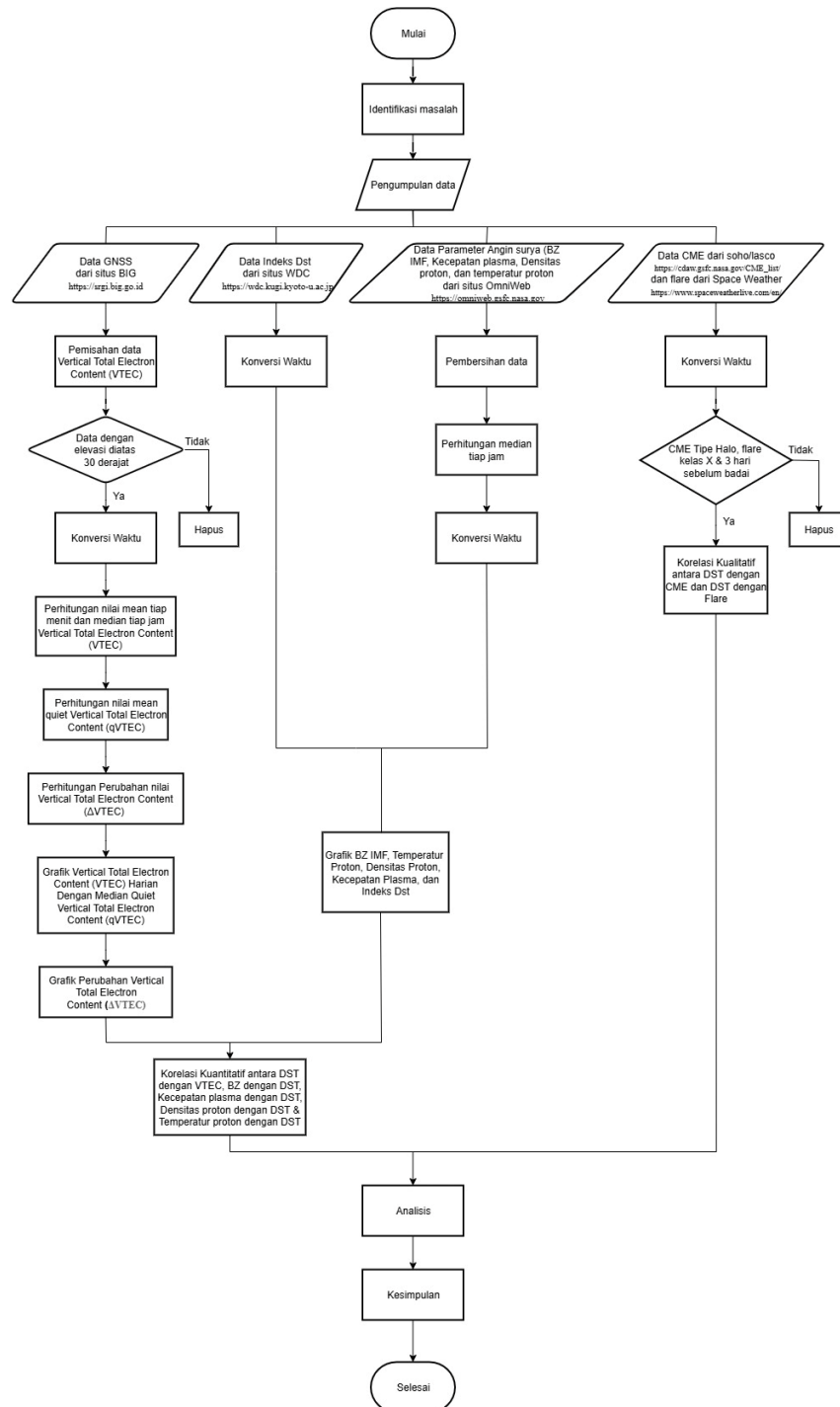
Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yang diawali dengan identifikasi masalah, kemudian dilanjutkan dengan proses pengumpulan data dari berbagai sumber yang relevan.

Awalnya, data VTEC yang direncanakan untuk digunakan berasal dari GISTM, yaitu data VTEC berskala internasional yang mencakup wilayah yang sangat luas. Oleh karena itu, data tersebut memerlukan proses pemisahan batas-batas wilayah agar fokus analisis dapat dilakukan pada area yang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Namun, perangkat lunak khusus yang digunakan untuk proses pemisahan tersebut tidak tersedia secara publik dan hanya dapat diakses oleh lembaga-lembaga tertentu seperti LAPAN. Sebagai alternatif, dalam penelitian ini digunakan data GNSS dari situs BIG yang bersifat lokal. Data tersebut kemudian diproses menggunakan program Gopi untuk memisahkan data GPS sehingga diperoleh nilai VTEC yang dibutuhkan.

Selain data GNSS, penelitian ini juga menggunakan data indeks gangguan geomagnetik (Dst) yang diambil dari situs WDC Kyoto. Selain itu, digunakan pula data parameter angin surya seperti BZ IMF, kecepatan plasma, densitas proton, dan temperatur proton yang diperoleh melalui situs OmniWeb. Data peristiwa CME dan *flare* dikumpulkan dari situs SOHO/LASCO serta Space Weather. seluruh data yang telah diperoleh kemudian diproses terlebih dahulu sebelum dilakukan analisis lebih lanjut.

Setelah data diproses, dilakukan analisis korelasi antara seluruh parameter yang digunakan. Analisis ini mencakup korelasi kuantitatif menggunakan metode *Wavelet Transform Coherence* dan *Spearman Sliding Window* antara nilai Dst dengan VTEC, BZ IMF, Kecepatan plasma, densitas proton dan temperatur proton. Selain itu, dilakukan pula analisis

korelasi kualitatif antara Dst dengan peristiwa CME dan *Flare*. Alur lengkap proses penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir

Veranica, 2025

KORELASI ANTARA DISTURBANCE STORM TIME INDEX (INDEKS DST) DAN VERTICAL TOTAL ELECTRON CONTENT (VTEC) DI KOTA PONTIANAK PADA PUNCAK SIKLUS MATAHARI KE-25 TAHUN 2024

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

3.2 Data

Tabel 3.1 menampilkan sebagian data yang digunakan dalam penelitian ini. Data yang ditampilkan merupakan hasil dari proses pengolahan yang telah mengikuti prosedur pada subbab 3.3. Data lengkap dapat dilihat pada bagian lampiran.

Kolom *Hour* (WIB) menunjukkan waktu pengamatan dalam satuan jam lokal. Kolom VTEC (TECU) menyajikan nilai *Total Electron Content* vertikal. Kolom qVTEC (TECU) menunjukkan nilai VTEC saat hari tenang dari waktu ke waktu, sedangkan Δ VTEC (TECU) menunjukkan deviasi nilai VTEC terhadap nilai rata-rata saat hari tenang. Kolom indeks Dst (nT) menyajikan nilai indeks gangguan geomagnetik, sementara BZ (nT) menunjukkan komponen medan magnet antarplanet. Kolom speed (Km/s) menunjukkan kecepatan plasma, proton density (n/cc) menunjukkan kerapatan proton, dan proton temperatur (K) menunjukkan suhu proton dalam Kelvin.

Tabel 3. 1 Data Tanggal 1 Mei 2024

Hour (WIB)	VTEC (TECU)	qVTEC (TECU)	Δ VTEC (TECU)	Indeks Dst (nT)	BZ (nT)	Speed (km/s)	Proton Density (n/cc)	Proton Temperature (K)
00:00:00	0	26,1303	0	0	0	0	0	0
01:00:00	0	17,1637	0	0	0	0	0	0
02:00:00	0	10,6139	0	0	0	0	0	0
03:00:00	0	6,9592	0	0	0	0	0	0
04:00:00	0	7,1839	0	0	0	0	0	0
05:00:00	0	7,2494	0	0	0	0	0	0
06:00:00	0	19,8511	0	0	0	0	0	0
07:00:00	30,1710	35,1643	-4,9933	0	-0,94	412,2	11,92	51237,5
08:00:00	44,0350	49,2985	-5,2635	-27	3,48	409,3	11,91	49980,5
09:00:00	52,9975	59,7753	-6,7778	-33	10,46	399,5	12,26	33683,0

Veranica, 2025

KORELASI ANTARA DISTURBANCE STORM TIME INDEX (INDEKS DST) DAN VERTICAL TOTAL ELECTRON CONTENT (VTEC) DI KOTA PONTIANAK PADA PUNCAK SIKLUS MATAHARI KE-25 TAHUN 2024

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

10:00:00	62,8074	67,9882	-5,1808	-28	10,53	395,1	17,66	28609,5
11:00:00	69,4625	72,9662	-3,5037	-15	12,24	393,5	10,49	23272,0
12:00:00	70,6487	76,2455	-5,5968	-14	12,91	390,1	8,15	21825,5
13:00:00	68,1040	78,4619	-10,3579	-14	12,63	387,0	6,52	21428,5
14:00:00	71,9503	79,0428	-7,0926	-17	12,42	377,0	5,62	17178,5
15:00:00	72,9821	79,4125	-6,4304	-14	12,44	377,7	6,05	14513,5
16:00:00	72,8098	77,6588	-4,8491	-11	12,28	378,0	6,01	13795,0
17:00:00	68,6033	72,4275	-3,8243	-9	10,90	372,7	4,65	15488,0
18:00:00	52,5835	61,9520	-9,3685	-11	10,87	370,7	5,24	12105,5
19:00:00	39,9625	52,6943	-12,7318	-11	9,35	368,0	4,34	10067,5
20:00:00	39,2842	51,0353	-11,7511	-12	9,00	361,0	3,70	10055,0
21:00:00	36,8263	49,1028	-12,2766	-13	7,24	359,6	4,73	11707,5
22:00:00	34,0388	40,0330	-5,9942	-14	5,58	358,8	6,65	9977,5
23:00:00	27,7138	32,3544	-4,6406	-9	4,29	357,4	7,91	9008,5

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa sumber. Pertama, data GNSS dari stasiun CPON di Kota Pontianak yang diperoleh melalui situs Badan Informasi Geospasial (BIG) pada tautan berikut <https://srgi.big.go.id>. Kedua, data Indeks Gangguan Geomagnetik (Dst) yang diakses dari *World Data Center (WDC) for Geomagnetism Kyoto* melalui tautan <https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp>. Selain itu, data parameter angin surya diperoleh dari OMNIWeb (<https://omniweb.gsfc.nasa.gov>), yang mencakup parameter seperti arah vertikal medan magnet antargalaksi (IMF), temperatur proton, densitas proton, dan kecepatan plasma. Data aktivitas matahari juga digunakan dalam penelitian ini, yaitu data *Coronal Mass Ejection* (CME) dari SOHO/LASCO (https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/) serta data *flare sinar-X* dari *Space Weather* (<https://www.spaceweatherlive.com/en/>). Seluruh data tersebut dikumpulkan selama bulan Mei 2024 dengan tujuan untuk menganalisis korelasi antara badai geomagnetik dan variabilitas ionosfer di Kota Pontianak pada puncak Siklus Matahari ke-25, serta untuk menganalisis korelasi antara parameter-parameter angin surya dan aktivitas matahari terhadap terjadinya badai geomagnetik.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pemisahan Data VTEC

Data harian GNSS selama bulan Mei 2024 diambil dari situs BIG melalui stasiun CPON yang berlokasi di kota Pontianak. Dari proses tersebut diperoleh sebanyak 31 file data GNSS. Data tersebut disajikan pada Gambar 3.2, sedangkan data lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 1.

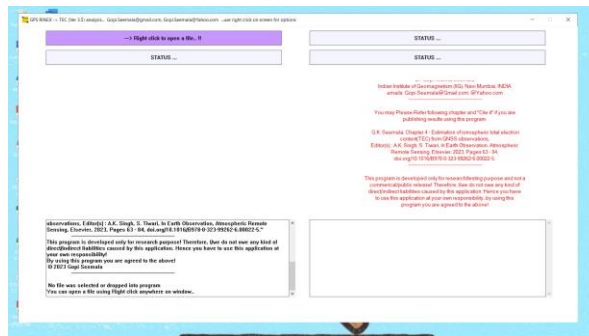
```

2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
teqc 2019Feb25 Sidik Tri Wilbowo 20240502 00:47:56UTCPCGN / RUN BY / DATE
Linux 2.6.32-573.12.1.x86_64|gcc|linux 64|++ COMMENT
teqc 2019Feb25 Sidik Tri Wilbowo 20240502 00:47:54UTCCOMMENT
BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION COMMENT
cpn MARKER NAME
Pokja JKHG Badan Informasi Geospasial OBSERVER / AGENCY
1870357 LEICA GR50 4.11/7.102 REC # / TYPE / VERS
5902336082 TRM59800.00 ANT # / TYPE
-2111129.6850 6018657.0850 -399.8400 APPROX POSITION XYZ
0.0000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1 WAVELENGTH FACT L1/2
6 L1 L2 C1 P2 S1 S2 # / TYPES OF OBSERV
HTANT: 0.0000 METER, CODEHT: DHPAB, RADOHE: SCIS COMMENT
Forced Modulo Decimation to 30 seconds COMMENT
DefaultJobName COMMENT
DefaultUserDiscription COMMENT
Project creator: COMMENT
SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9] COMMENT
L1 & L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9) COMMENT
18 LEAP SECONDS
2024 5 1 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER
24 5 1 0 0 0.0000000 0 1960260360400760809617621627631801R08
R11R21R22R23527528532
108981784.076 7 84920862.68147 20738552.300 20738551.300 47.750
44.950
124425934.435 5 96955301.57645 23677468.840 23677472.920 33.600
33.550
108083847.004 7 84221211.65247 20567668.460 20567671.040 46.050
45.850

```

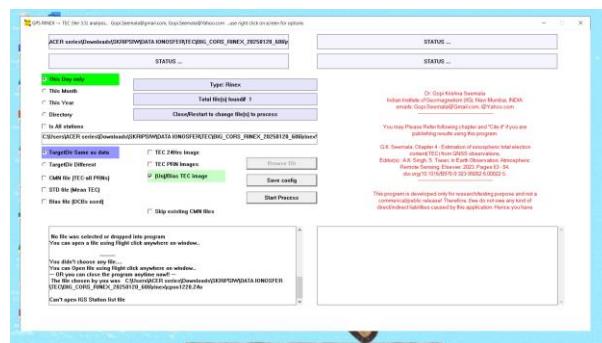
Gambar 3. 2 Data Rinex GNSS

File yang diperoleh berformat RINEX dan masih mengandung data GNSS secara keseluruhan, sehingga perlu dilakukan pemisahan karena dalam penelitian ini hanya digunakan data VTEC saja. Pemisahan data dilakukan menggunakan program Gopi yang dikembangkan oleh Dr. Gopi Krishna Seemala. Berikut tampilan awal program Gopi ditunjukkan pada Gambar 3.3:



Gambar 3. 3 Tampilan Awal Program Gopi

Gambar 3.3 menunjukkan tahapan dalam proses memasukkan data GNSS yang akan digunakan dalam perhitungan VTEC. Setelah data GNSS berhasil dimasukkan, maka tampilan akan berubah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Tampilan Program Gopi Untuk Pengolahan Data

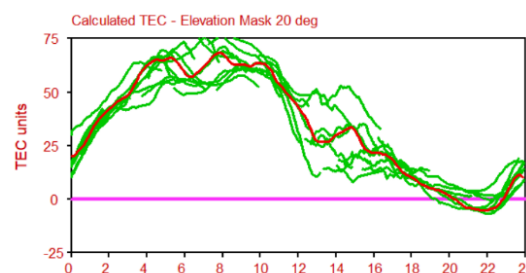
Dalam penelitian ini, pemrosesan data GNSS dilakukan hanya untuk satu hari, dengan memilih opsi *This day only*. Hasil olahan data kemudian disimpan di folder yang berbeda dari folder asal data, dengan memilih Opsi *TargetDir Different*, dan lokasi penyimpanan ditentukan melalui tombol *Browse Dir*. Output yang dihasilkan berupa berkas dengan format *.Cmn yang memuat informasi penting seperti nilai *julian date* (JD), waktu (UT), nomor satelit, azimuth, elevasi, koordinat lintang dan bujur, serta parameter ionosfer seperti STEC, VTEC dan indeks gangguan sinyal S4.

Gambar 3.5 adalah salah satu contoh tampilan output yang diperoleh dari program Gopi, untuk data lengkapnya dilampirkan pada lampiran 2.

#idatet	Time	PRN	Az	Ele	Lat	Lon	Stec	Vtec	SA
60431.000000	-24.000000	2	153.47	58.17	-1.643	110.148	23.12	20.02	-99.000
60431.000347	0.008333	2	153.15	58.37	-1.626	110.150	23.21	20.14	-99.000
60431.000694	0.016667	2	152.82	58.57	-1.609	110.153	23.33	20.28	-99.000
60431.001042	0.025000	2	152.49	58.77	-1.591	110.156	23.47	20.44	-99.000
60431.001389	0.033333	2	152.16	58.97	-1.574	110.159	23.59	20.58	-99.000
60431.001736	0.041667	2	151.82	59.17	-1.557	110.162	23.74	20.75	-99.000
60431.002083	0.050000	2	151.48	59.37	-1.540	110.164	23.91	20.94	-99.000
60431.002431	0.058333	2	151.14	59.57	-1.524	110.167	24.04	21.09	-99.000
60431.002778	0.066667	2	150.79	59.77	-1.507	110.170	24.10	21.18	-99.000
60431.003125	0.075000	2	150.43	59.96	-1.490	110.172	24.18	21.28	-99.000
60431.003472	0.083333	2	150.08	60.16	-1.473	110.175	24.23	21.37	-99.000
60431.003819	0.091667	2	149.72	60.36	-1.456	110.178	24.31	21.47	-99.000
60431.004167	0.100000	2	149.35	60.55	-1.440	110.180	24.34	21.53	-99.000
60431.004514	0.108333	2	148.98	60.75	-1.423	110.183	24.42	21.64	-99.000
60431.004861	0.116667	2	148.61	60.94	-1.406	110.185	24.52	21.77	-99.000
60431.005208	0.125000	2	148.23	61.13	-1.390	110.188	24.61	21.88	-99.000
60431.005556	0.133333	2	147.85	61.33	-1.373	110.190	24.72	22.02	-99.000
60431.005903	0.141667	2	147.46	61.52	-1.357	110.192	24.82	22.14	-99.000
60431.006250	0.150000	2	147.07	61.71	-1.340	110.195	24.92	22.26	-99.000
60431.006597	0.158333	2	146.68	61.90	-1.324	110.197	25.03	22.39	-99.000
60431.006944	0.166667	2	146.28	62.09	-1.307	110.200	25.19	22.57	-99.000

Gambar 3. 5 Tampilan Output Data Dari Program Gopi Pada Tanggal 1 Mei 2024

Gambar 3.6 adalah tampilan plot nilai VTEC dari program Gopi untuk tanggal 1 Mei 2024



Gambar 3. 6 Nilai VTEC Dari Program Gopi Belum Terkalibrasi

Garis merah pada Gambar 3.6 menunjukkan nilai rata-rata (2σ iterasi) nilai VTEC, yaitu perhitungan rata-rata nilai VTEC dengan menghilangkan *outlier* menggunakan metode *iterative* berbasis *standard deviation clipping* (2σ iterasi). Sedangkan garis hijau menunjukkan nilai VTEC dari setiap data GNSS (Seemala, 2023). Gambar ini menunjukkan VTEC yang belum terkalibrasi, hal ini terlihat pada gambar dimana VTEC masih mengandung nilai negatif yang tampak terjadi pada waktu malam. Nilai negatif tersebut menunjukkan bahwa VTEC masih mengandung kesalahan yang bersumber dari bias instrument penerima dan satelit bias, bias

multipath dan residu (Kurniastuti, 2018). Nilai tersebut harus dilakukan kalibrasi untuk mengeliminasi kesalahan-kesalahan yang ada. Untuk mengkalibrasi nilai negatif tersebut digunakan pemrograman Python.

3.3.2 Pembersihan Data VTEC

Data yang digunakan masih mengandung nilai elevasi dibawah 30 derajat yang perlu dihapus untuk menghindari bias akibat pantulan selain dari ionosfer (*multipath effect*) (Olla & dkk., 2022). Selain itu, data ini juga masih mengandung nilai negatif yang dalam penelitian ini akan digantikan dengan nilai rata-rata untuk menghindari kesalahan analisis. Output data dari program Gopi juga masih menggunakan format *Julian Date* dan waktu UT, sehingga perlu dikonversi ke dalam format tanggal serta waktu lokal kota Pontianak (WIB) agar lebih mudah dipahami.

Untuk mendukung seluruh proses tersebut, penelitian ini menggunakan program python dengan beberapa fungsi utama yang ditampilkan pada Gambar 3.7. sedangkan script lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 3.

```
# menghapus data dengan elevasi dibawah 30 derajat
elevation = float(columns[4]) # Kolom elevasi
if elevation < 30:
    continue

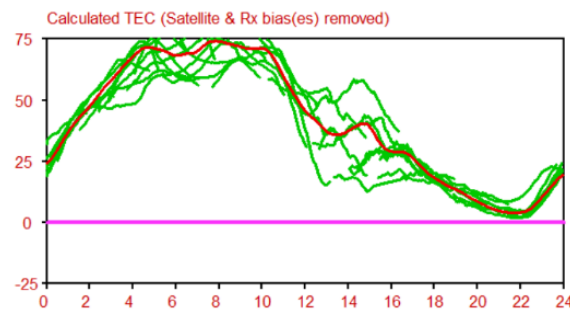
# mengganti nilai negatif dengan rata-rata
def replace_negative_with_mean(dfa, column_name):
    # Hitung rata-rata dari nilai positif dalam kolom
    positive_mean = dfa[dfa[column_name] >= 0][column_name].mean()
    # Ganti nilai negatif dengan rata-rata positif
    dfa[column_name] = dfa[column_name].apply(lambda x: positive_mean if x < 0 else x)
    return dfa

# mengganti nilai negatif jadi rata2 dalam kolom Vtec
df = replace_negative_with_mean(df, "Vtec")

# mengubah waktu dari UTC ke WIB
def datetimeoffset(date_str, time_str, offset_hours):
    dt = datetime.strptime(f"{date_str} {time_str}", "%Y-%m-%d %H:%M:%S")
    dt_offset = dt + timedelta(hours=offset_hours)
    return [dt_offset.strftime("%Y-%m-%d"), dt_offset.strftime("%H:%M:%S")]
haha = datetimeoffset(date, time_hms, 7) # WIB = UTC + 7
```

Gambar 3. 7 Fungsi Untuk Pembersihan Dan Konversi Waktu Data VTEC

Setelah melalui proses kalibrasi, tampilan grafik VTEC berubah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8, dimana nilai negatif sudah tidak lagi muncul. Untuk memberikan gambaran lebih rinci, sebagian data hasil kalibrasi juga disajikan pada Gambar 3.9. Adapun data lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 4.



Gambar 3. 8 Nilai VTEC Dari Program Gopi Sudah Dikalibrasi

Date	Time	PRN	Azimuth	Elevation	Latitude	Longitude	Slant	Visc	S4
2024-05-01	7:00:00	2	153.47	58.17	-1.643	110.148	23.12	20.02	99
2024-05-01	7:00:29	2	153.15	58.37	-1.626	110.15	23.21	20.14	99
2024-05-01	7:01:00	2	152.82	58.57	-1.609	110.153	23.33	20.28	99
2024-05-01	7:01:30	2	152.49	58.77	-1.591	110.156	23.47	20.44	99
2024-05-01	7:01:59	2	152.16	58.97	-1.574	110.159	23.59	20.58	99
2024-05-01	7:02:30	2	151.82	59.17	-1.557	110.162	23.74	20.75	99
2024-05-01	7:03:00	2	151.48	59.37	-1.54	110.164	23.91	20.94	99
2024-05-01	7:03:29	2	151.14	59.57	-1.524	110.167	24.04	21.09	99
2024-05-01	7:04:00	2	150.79	59.77	-1.507	110.17	24.1	21.18	99
2024-05-01	7:04:30	2	150.43	59.96	-1.49	110.172	24.18	21.28	99
2024-05-01	7:04:59	2	150.08	60.16	-1.473	110.175	24.23	21.37	99

Gambar 3. 9 Data VTEC Hasil Kalibrasi

3.3.3 Perhitungan nilai VTEC

Setelah nilai VTEC berhasil dikalibrasi, langkah selanjutnya adalah menghitung rata-rata setiap menit dari seluruh satelit yang terlihat pada waktu tersebut, mengingat dalam satu hari terdapat 1440 menit maka dihasilkan 1440 data VTEC harian. Untuk merepresentasikan data dalam skala jam, kemudian dihitung nilai median dari setiap 60 menit, sehingga diperoleh 24 data yang menggambarkan kondisi ionosfer selama 24 jam pengamatan. Fungsi-fungsi utama yang digunakan ditampilkan pada Gambar 3.10, sedangkan script lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 5.

```

# menghitung rata-rata nilai VTEC per menit
def calculate_minutely_averages(df, date_column, time_column, avg_columns):
    # Gabungkan kolom tanggal dan waktu jadi satu datetime
    df['Datetime'] = pd.to_datetime(df[date_column] + ' ' + df[time_column],
                                    format='%Y-%m-%d %H:%M:%S', errors='coerce')

    # Drop baris dengan datetime tidak valid
    df = df.dropna(subset=['Datetime'])

    # Buat kolom tanggal dan menit untuk gruping
    df['Date'] = df['Datetime'].dt.date
    df['Minute'] = df['Datetime'].dt.floor('min')

    # Group by Date dan Minute lalu hitung rata-rata
    minutely_avg = df.groupby(['Date', 'Minute'])[avg_columns].mean().reset_index()

    # Format kolom waktu
    minutely_avg['Minute'] = pd.to_datetime(minutely_avg['Minute']).dt.strftime('%H:%M:%S')

    return minutely_avg

df_average_minutes = calculate_minutely_averages(df, 'Date', 'Time', ['Vtec'])

def calculate_hourly_medians(df, date_column, time_column, median_columns):
    # Gabungkan kolom tanggal dan waktu
    df['Datetime'] = pd.to_datetime(df[date_column].astype(str) + ' ' +
                                    df[time_column], format='%Y-%m-%d %H:%M:%S',
                                    errors='coerce')

    # Hapus baris dengan datetime tidak valid
    df = df.dropna(subset=['Datetime'])

    # Tambahkan kolom jam dan tanggal
    df['Date'] = df['Datetime'].dt.date
    df['Hour'] = df['Datetime'].dt.floor('h')

    # Group by Date dan Hour lalu hitung median
    hourly_medians = df.groupby(['Date', 'Hour'])[median_columns].median().reset_index()

    # Format jam agar hanya jam:menit:detik
    hourly_medians['Hour'] = pd.to_datetime(hourly_medians['Hour']).dt.strftime('%H:%M:%S')

    return hourly_medians

df_hourly_medians = calculate_hourly_medians(df_average_minutes, 'Date', 'Minute', ['Vtec'])

```

Gambar 3. 10 Fungsi Untuk Menghitung VTEC

Tabel 3.1 menunjukkan nilai VTEC harian yang dihasilkan pada tanggal 1 Mei 2024, untuk data lengkap dilampirkan pada lampiran 6.

3.3.4 Perhitungan nilai qVTEC

Nilai qVTEC atau VTEC pada kondisi hari tenang ionosfer dapat diidentifikasi dengan merujuk pada nilai indeks Dst, yang karakteristiknya telah dijelaskan pada bab 2 atau bagian Tinjauan Pustaka. Untuk menghitung qVTEC, digunakan persamaan 2.4 yaitu dengan menjumlahkan seluruh nilai VTEC perjam pada hari-hari yang dikategorikan sebagai hari tenang kemudian menghitung nilai rata-ratanya. perhitungan ini bertujuan untuk memperoleh gambaran rata-rata kondisi ionosfer saat tidak terjadi badai geomagnetik.

Berdasarkan nilai indeks Dst yang diperoleh dari *World Data Center (WDC) for Geomagnetism Kyoto* diperoleh bahwa hari tenang pada bulan Mei 2024 adalah tanggal 7, 8, 9, 28 dan 29 Mei, setelah dilakukan perhitungan rata-rata nilai qVTEC maka diperoleh nilai qVTEC pada bulan Mei 2024 sebagaimana ditampilkan dalam tabel 3.1.

3.3.5 Perhitungan nilai Δ VTEC

Setelah diperoleh nilai qVTEC, Langkah selanjutnya adalah menghitung perubahan VTEC harian. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.5, yaitu dengan mengurangkan nilai VTEC harian terhadap nilai qVTEC. Hasil dari pengurangan ini menunjukkan sejauh mana deviasi VTEC pada suatu hari dibandingkan dengan kondisi normal atau tenang sehingga dapat digunakan untuk mengamati adanya gangguan ionosfer. Tabel 3.1 menunjukkan nilai perubahan VTEC yang dihasilkan pada tanggal 1 Mei 2024, untuk data lengkapnya terlampir pada lampiran 14.

3.3.6 Grafik VTEC Harian dengan mean qVTEC

Untuk mengetahui ada atau tidaknya gangguan pada ionosfer, dilakukan perbandingan antara kondisi ionosfer pada hari tenang dengan kondisi ionosfer harian. Perbandingan ini divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis. Fungsi python yang digunakan untuk membuat grafik tersebut ditampilkan pada Gambar 3.11, sedangkan script lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 7.

```

# Menentukan ukuran grafik
plt.figure(figsize=(25, 6))

# Mengubah jam ke sumbu waktu kontinu per hari
x_values = long_data["Hour"] + (long_data["Date"] - 1) * 24

# Menampilkan kurva VTEC
plt.plot(x_values, long_data["Vtec"], color="red", label="Vtec")

# Menampilkan kurva QVTEC
plt.plot(x_values, long_data["Qvtec"], color="green", linestyle="--", label="Qvtec")

```

Gambar 3. 11 Fungsi Untuk Menampilkan Plot VTEC & qVTEC

3.3.7 Grafik Δ VTEC

Untuk memperjelas perubahan nilai VTEC dari hari ke hari, dibuat grafik perubahan Δ VTEC. Grafik ini membantu dalam mengamati fluktuasi VTEC yang terjadi dibandingkan dengan kondisi normal. Proses visualisasi ini dilakukan dengan menggunakan pemrograman python. Fungsi yang digunakan untuk menghasilkan visualisasi ditampilkan pada Gambar 3.12, sedangkan script lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 8.

```

plt.figure(figsize=(12, 6))
for idx, col in enumerate(data_numeric.columns):
    plt.plot(jam, data_numeric[col], marker='o', label=str(col), color=colors(idx))

```

Gambar 3. 12 Fungsi Untuk Menampilkan Plot Δ VTEC

3.3.8 Data Indeks Dst

Data yang diperoleh dari *World Data Center (WDC) for Geomagnetism Kyoto* ditampilkan sebagian pada Gambar 3.13 untuk memberikan gambaran awal mengenai bentuk datanya. Adapun data lengkap dapat dilihat pada lampiran 15.

Day	0	1	2	3	4	5
1		-27	-33	-28	-15	-14
2	-1	-2	-2	5	5	3
3	-63	-63	-60	-54	-62	-61
4	-27	-26	-25	-23	-21	-20
5	-8	-4	-5	-4	-8	-14
6	-50	-41	-50	-42	-42	-43
7	-16	-14	-13	-10	-14	-16
8	-7	-5	-2	1	-3	-3
9	4	6	10	11	8	5
10	6	4	3	5	13	6
11	-318	-322	-397	-412	-403	-399
12	-178	-159	-149	-141	-145	-148
13	-92	-83	-83	-89	-96	-102
14	-56	-53	-55	-55	-58	-55
15	-51	-50	-48	-46	-47	-42
16	-59	-58	-58	-55	-54	-49
17	-60	-60	-59	-57	-58	-53
18	-99	-91	-88	-85	-85	-87
19	-45	-43	-39	-40	-45	-48
20	-23	-22	-22	-21	-27	-32
21	-24	-22	-16	-17	-21	-22
22	-25	-21	-19	-18	-19	-18
23	-4	-4	-2	0	-1	0
24	-26	-24	-22	-18	-18	-26
25	-14	-10	-10	-13	-18	-21
26	-31	-27	-24	-20	-19	-23
27	-17	-14	-9	-7	-9	-10
28	-17	-14	-13	-15	-16	-14
29	-1	1	7	8	6	6
30	-8	-7	-6	-3	-3	0
31	-18	-14	-11	-18	-25	-32

Gambar 3. 13 Data Indeks Dst WDC

Data tersebut masih menggunakan format waktu UT, sehingga perlu dikonversi terlebih dahulu ke format waktu lokal yaitu WIB. Proses konversi ini dilakukan menggunakan program python. Fungsi yang digunakan dalam proses tersebut ditampilkan pada Gambar 3.14, sedangkan script lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 9.

```
def datetimeoffset1(date_obj):
    # Add 7 hours for WIB offset
    return date_obj + timedelta(hours=7)
df['datetime'] = df['datetime'].apply(datetimeoffset1)
```

Gambar 3. 14 Fungsi Untuk Konversi Waktu Indeks Dst

Tabel 3.1 menyajikan nilai indeks Dst pada tanggal 1 Mei 2024 dan untuk data lengkapnya terlampir pada lampiran 16.

3.3.9 Data Parameter Angin Surya

Data yang diperoleh dari OmniWeb disajikan sebagian pada Gambar 3.15 untuk memberikan gambaran terhadap struktur dan karakteristik data. Data lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 17.

Year	DOY	Hour	Minute	BZ (nT)	Speed (km/s)	Proton Dens	Proton Temp
Listing	for	omni_5min	data	from	20240501	to	20240531
YYYY	DOY	HR	MN	1	2	3	4
2024	122	0	0	-9.09	415.8	13.50	24934.
2024	122	0	5	-7.43	415.5	14.46	33584.
2024	122	0	10	-5.72	413.4	11.86	49108.
2024	122	0	15	-3.47	413.8	12.68	57020.
2024	122	0	20	-3.61	410.6	13.08	51824.
2024	122	0	25	-0.78	409.9	11.58	52885.
2024	122	0	30	-1.10	412.1	11.93	50530.
2024	122	0	35	0.68	414.4	11.55	50452.
2024	122	0	40	0.26	404.4	11.91	57916.
2024	122	0	45	0.87	406.0	11.04	50651.
2024	122	0	50	2.07	407.2	11.06	55857.
2024	122	0	55	0.25	412.3	12.61	55811.
2024	122	1	0	2.51	411.0	12.36	61797.

Gambar 3. 15 Data Angin Surya Omniweb

Data ini masih mengandung sejumlah kesalahan, ditandai dengan kehadiran nilai-nilai seperti 9999.99, 99999.9, 999.99, dan 9999999, yang merupakan indikator nilai tidak valid. Nilai-nilai ini perlu dihapus untuk menghindari terjadinya kesalahan dalam proses pengolahan data. Penghapusan nilai ini dilakukan dengan menggunakan program python. Fungsi yang digunakan untuk proses tersebut ditampilkan pada Gambar 3.16, sedangkan script lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 10.

```
# Bersihkan nilai-nilai tidak valid (flag data hilang)
invalid_values = [9999.99, 99999.9, 999.99, 9999999.]
df[numeric_cols] = df[numeric_cols].replace(invalid_values, np.nan)
df_bersih = df.dropna(subset=kolom_utama)
```

Gambar 3. 16 Fungsi Untuk Membersihkan Data Angin Surya

Selain itu, data dari Omniweb memiliki interval waktu setiap 5 menit. Untuk menyelaraskannya dengan data lain yang

menggunakan interval per jam, dilakukan perhitungan nilai median dari setiap jam. Proses ini juga dilakukan menggunakan program python. Fungsi yang digunakan ditampilkan pada Gambar 3.17, sedangkan script lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 11.

```
df_hourly_median = df.resample('60min').median()
df_hourly_median['date'] = df_hourly_median.index.date
result = df_hourly_median.groupby('date').head(24)
```

Gambar 3. 17 Fungsi Untuk Menghitung Median Angin Surya

Data ini masih menggunakan format waktu UT, sehingga perlu dikonversi ke waktu lokal Pontianak (WIB) agar selaras dengan waktu pengamatan lainnya. Proses konversi dilakukan menggunakan Program Python, dengan fungsi yang ditampilkan pada Gambar 3.18 dan script lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 13.

```
def datetimeoffset1(date_obj):
    # Add 7 hours for WIB offset
    return date_obj + timedelta(hours=7)
df['datetime'] = df['datetime'].apply(datetimeoffset1)
```

Gambar 3. 18 Fungsi Untuk Konversi Waktu Angin Surya

Tabel 3.1 menyajikan data pada tanggal 1 Mei 2024 sebagai contoh hasil akhir setelah proses konversi dan pembersihan data dilakukan. Data lengkap yang telah dibersihkan secara menyeluruh dapat dilihat pada lampiran 18.

3.3.10 Grafik BZ IMF, Temperatur Proton, Densitas Proton, Kecepatan plasma, dan Indeks Dst

Untuk mempermudah pembacaan data parameter angin surya dan Indeks Dst, dibuat visualisasi data dalam bentuk grafik. Grafik ini membantu dalam memahami dinamika hubungan antara

parameter-parameter tersebut secara lebih jelas dan terstruktur. Proses pembuatan grafik dilakukan menggunakan pemrograman python. Fungsi yang digunakan ditampilkan pada Gambar 3.19, sedangkan script lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 12.

```
# Buat figure dan 5 axis (panel)
fig, axs = plt.subplots(5, 1, figsize=(12, 14), sharex=True)

# Panel 1 - Bz IMF
axs[0].plot(df['datetime'], df['BZ (nT)'], color='black')
axs[0].set_ylabel('Bz IMF (nT)')
axs[0].set_title('Parameter Angin Surya Pada Bulan Mei 2024')

# Panel 2 - Temperatur Proton
axs[1].plot(df['datetime'], df['Proton Temperature (K)'], color='black')
axs[1].set_ylabel('Temperatur (K)')

# Panel 3 - Densitas Proton
axs[2].plot(df['datetime'], df['Proton Density (n/cc)'], color='black')
axs[2].set_ylabel('Densitas (N/cm³)')

# Panel 4 - Kecepatan Plasma
axs[3].plot(df['datetime'], df['Speed (km/s)'], color='black')
axs[3].set_ylabel('Kecepatan (km/s)')

# Panel 5 - Indeks Dst
axs[4].plot(df['datetime'], df['Indeks Dst (nT)'], color='black')
axs[4].set_ylabel('Dst (nT)')
axs[4].set_xlabel('Tanggal')

# Format sumbu X agar hanya menampilkan angka tanggal
for ax in axs:
    ax.xaxis.set_major_locator(mdates.DayLocator(interval=1))
    ax.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%-d')) # Ganti jadi '%#d' di Windows
    ax.grid(True)

# Tampilkan grafik
fig.autofmt_xdate()
plt.tight_layout()
plt.show()
```

Gambar 3. 19 Fungsi Untuk Menampilkan Plot Angin Surya

3.3.11 Data Aktivitas Matahari (CME dan Flare Sinar X)

Data CME yang diperoleh dari SOHO/LASCO disajikan sebagian pada Gambar 3.20 untuk memberikan gambaran terhadap struktur dan karakteristik data. Data lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 19.

12/8/24, 4:58 PM SOHO/LASCO CME Catalog

- CME heights (with respect to the disk center) are measured at the fastest segment of the leading edge.
- PA= Position Angle measured from Solar North in degrees (counter-clockwise)
- Halo CMEs are indicated in the "Central PA" column. The letters ("S", "BA", "OA") in the brackets show type of halo CMEs. [See examples.](#)
- Click on date to view Java script movie of the CME.
- Click on time to see height-time measurements as a text file.
- Click on speed to view height-time plots of the CME.
- Beware of data gaps. Check for LASCO/C2 data gaps [here](#).
- [A complete description of the catalog](#)
- Click [here](#) to search the entire catalog.

First C2 Appearance Date Time [UT]	Central PA [deg]	Angular Width [deg]	Linear Speed [km/s]	2nd-order Speed at final height [km/s]	2nd-order Speed at 20 Rs [km/s]	Accel [m/s ²]	Mass [gram]	Kinetic Energy [erg]	MPA [deg]	Movies, plots, & links	Remarks
2024.05.01 00:24:05	261	26	229	230	234	0.1 ^{*1}	----	----	257	C2 C3 PHTX DST Java Movie	Very Poor Event
2024.05.01 00:36:05	216	44	464	230	0	-20.8 ^{*1}	----	----	217	C2 C3 PHTX DST Java Movie	Poor Event
2024.05.01 02:12:05	167	8	475	282	0	-120.1 ^{*1}	----	----	169	C2 C3 PHTX DST Java Movie	Poor Event

Gambar 3. 20 Data CME Soho/Lasco

Data ini masih berada dalam format waktu UT, sehingga perlu dikonversi terlebih dahulu ke waktu lokal WIB agar sesuai dengan data lainnya. Proses konversi ini dilakukan menggunakan program python. Fungsi yang digunakan ditampilkan pada Gambar 3.21, sedangkan script lengkapnya dapat dilihat pada 13.

```
def datetimeoffset(date_str, time_str, offset_hours):
    # Updated to match the 'YYYY-MM-DD' format
    dt = datetime.strptime(f"{date_str} {time_str}", "%Y-%m-%d %H:%M:%S")

    # Apply the offset
    dt_offset = dt + timedelta(hours=offset_hours)

    # Return the updated date and time
    return [dt_offset.strftime("%Y-%m-%d"), dt_offset.strftime("%H:%M:%S")]

for row in df.itertuples(index=True):
    haha = datetimeoffset(row.Date, row.Time, 7)

    # Replace Date and Time columns with new values
    df.at[row.Index, 'Date'] = haha[0]
    df.at[row.Index, 'Time'] = haha[1]
```

Gambar 3. 21 Fungsi Konversi Waktu CME

Adapun data CME yang telah dikonversi ke waktu lokal (WIB) disajikan sebagian pada Gambar 3.22 untuk memberikan

gambaran terhadap hasil akhir konversi. Data lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 20.

Date	Time(WIB)	Central PA (deg)	Angular Width (deg)	Linear Speed (Km/s)	2nd-order Speed at final height (Km/s)	2nd-order speed at 20 Rs (Km/s)	Accel (m/s ²)	MPA (deg)
2024-05-03	09:48:05	Halo	360	808	763	791	-4,2	17
2024-05-08	12:36:06	Halo	360	530	599	582	5,4 ¹	209
2024-05-08	19:24:05	Halo	360	677	419	521	-24,9	199
2024-05-09	05:24:05	Halo	360	952	959	954	0,7 ¹	213
2024-05-09	16:24:05	Halo	360	1280	1170	1224	-20,6	207

Gambar 3. 22 Data CME Yang Sudah Bersih

Namun yang dianalisis adalah peristiwa CME yang mengarah langsung ke bumi, yaitu CME tipe Halo. Data yang dipilih merupakan peristiwa yang terjadi 3 hari sebelum terjadinya badai geomagnetik, tepatnya pada tanggal 8 Mei 2024. Selain itu, untuk mendukung analisis, digunakan pula data *flare sinar-X*, namun hanya yang termasuk dalam kelas terkuat yaitu kelas X, karena *flare* jenis ini memiliki pengaruh paling signifikan terhadap kondisi ionosfer.

3.3.12 Analisis korelasi

Setelah memperoleh grafik harian nilai VTEC yang dilengkapi dengan qVTEC, grafik yang menunjukkan perubahan nilai VTEC terhadap waktu, grafik indeks Dst serta grafik parameter-parameter angin surya, Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis perbandingan terhadap parameter-parameter tersebut.

Untuk menilai bagaimana badai geomagnetik berdampak terhadap variabilitas ionosfer, serta bagaimana parameter-parameter angin surya berperan dalam memicu atau memperkuat badai geomagnetik tersebut dilakukan analisis korelasi kuantitatif

menggunakan kombinasi dua metode, yaitu *Wavelet Transform Coherence* dan *Spearman Sliding Window*.

Wavelet Transform Coherence digunakan untuk untuk menelaah hubungan simultan dalam domain waktu dan frekuensi, sedangkan *Spearman Sliding Window* dimanfaatkan untuk mendeteksi perubahan pola hubungan secara dinamis baik linier maupun non linier. Percobaan dilakukan dengan ukuran jendela 1,3,5,7, dan 10 hari, lalu dipilih ukuran jendela yang paling representatif dalam menunjukkan korelasi antarparameter. Analisis kuantitatif ini dijalankan menggunakan program python, fungsi-fungsi yang digunakan untuk perhitungan WTC dan *Spearman Sliding Window* ditampilkan pada Gambar 3.23, sedangkan script lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 21.

```
# fungsi untuk menghitung Wavelet Transform Coherence
WCT, aWCT, coi, freq, signif = wavelet.wct(
    vtec, dst, dt,
    dj=0.125,
    s0=2*dt,
    J=-1,
    significance_level=0.8646,
    wavelet=mother
)

# fungsi untuk menghitung Spearman Sliding Window
for start in start_times:
    if start > max_start:
        break

    end = start + pd.Timedelta(hours=23)
    window = df.loc[start:end]

    if len(window) == 24:
        row = {'Waktu': start}
        for param in param_korelasi:
            x = window[kolom_target]
            y = window[param]
            if x.nunique() > 1 and y.nunique() > 1:
                coef, _ = spearmanr(x, y, nan_policy='omit')
            else:
                coef = np.nan
            row[f'Spearman_{param}'] = coef
        result.append(row)
```

Gambar 3. 23 Fungsi Untuk Menghitung Wavelet Transform Coherence Dan Spearman Sliding Window

Selain analisis kuantitatif tersebut dilakukan pula analisis korelasi kualitatif antara CME dan *flare* dengan indeks gangguan geomagnetik atau Dst.

3.4 Area Penelitian

Wilayah yang diteliti dalam penelitian ini adalah Kota Pontianak yang merupakan ibu kota dari Provinsi Kalimantan Barat, yang berada pada koordinat 0°1'34.788" S, 109°20'33.0216" E.