

Vol. 6 No. 1 (2025), Halaman 161-176



GEOGRAPHIA

Jurnal Pendidikan dan Penelitian Geografi

ISSN: 2774-6968

GROUND CLUTTER FILTERING PADA RADAR CUACA MANADO

Dhira Utama^{12*}, Bangun Mulyo Sukojo³

¹Departemen Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

²Stasiun Meteorologi Klas II Sam Ratulangi Manado, Indonesia

³Departemen Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Email: dhirautama2025@gmail.com^{1*}, bangun_ms@its.ac.id²

Website Jurnal: <http://ejurnal.unima.ac.id/index.php/geographia>



Akses dibawah lisensi CC BY-SA 4.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

DOI: 10.53682/gjppg.v6i2.11699

(Diterima: 07-05-2025; Direvisi: 02-06-2025; Disetujui: 29-06-2025)

ABSTRACT

This study aims to improve the accuracy of Manado weather radar data by filtering ground clutter interference originating from reflections of surface objects such as mountains and buildings. The scope of the study includes the analysis of Manado weather radar reflectivity data in 2024, focusing on the North Sulawesi region. The methods used include thresholding techniques to separate weather signals from ground clutter, data processing using the Python programming and the wradlib module, and validation based on Himawari-9 satellite imagery and Automatic Weather Station (AWS) data. Radar data in VOL format is converted to geospatial projections to produce CMAX (Column Maximum Reflectivity) products and integrated with SRTM30 topographic data. The results show that thresholding is effective in reducing ground clutter, with a correlation value between radar rainfall estimates and AWS observations reaching 0.859 (MAE: 0.306 mm/10 minutes; RMSE: 1.283 mm/10 minutes). Mapping the results via Web GIS facilitates visualization of corrected data. The study's conclusion states that this method improves the accuracy of radar interpretation and rainfall estimates. This study provides operational contributions to weather information-based disaster mitigation in the Manado region.

Keywords: Ground clutter, Rainfall Estimation, Weather Radar.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan meningkatkan akurasi data radar cuaca Manado dengan menyaring gangguan ground clutter yang berasal dari pantulan objek permukaan seperti pegunungan dan bangunan. Lingkup penelitian mencakup analisis data reflektivitas radar cuaca Manado tahun 2024, dengan fokus pada wilayah Sulawesi Utara. Metode yang digunakan meliputi teknik thresholding untuk memisahkan sinyal cuaca dari ground clutter, pengolahan data menggunakan bahasa pemrograman Python dan modul wradlib, serta validasi berbasis citra satelit Himawari-9 dan data Automatic Weather Station (AWS). Data radar dalam format VOL dikonversi ke proyeksi geospasial untuk menghasilkan produk CMAX (Column Maximum Reflectivity) dan diintegrasikan dengan data topografi SRTM30. Hasil penelitian menunjukkan bahwa thresholding efektif mengurangi ground clutter, dengan nilai korelasi antara estimasi curah hujan radar dan observasi AWS mencapai 0,859 (MAE: 0,306 mm/10 menit; RMSE: 1,283 mm/10 menit). Pemetaan hasil melalui Web GIS memudahkan visualisasi data terkoreksi.

Kesimpulan penelitian menyatakan bahwa metode ini meningkatkan akurasi interpretasi radar dan estimasi curah hujan. Penelitian ini memberikan kontribusi operasional bagi mitigasi bencana berbasis informasi cuaca di wilayah Manado.

Kata Kunci: *Estimasi Curah Hujan, Ground clutter, Radar Cuaca.*

PENDAHULUAN

Cuaca yang ekstrem dapat memiliki dampak yang serius pada kehidupan manusia dan infrastruktur. Dengan demikian, informasi cuaca yang akurat dan tepat waktu sangat penting untuk mitigasi risiko dan perencanaan kegiatan sehari-hari, seperti penerbangan, navigasi maritim, pertanian, dan manajemen bencana. Radar adalah sistem yang menggunakan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi dan menentukan jarak, kecepatan, dan arah objek (Bogush Jr, 1989). Radar cuaca sangat penting dalam manajemen bencana alam, seperti banjir, tanah longsor, dan badai. Dengan memantau fenomena cuaca secara *real-time*, otoritas dapat mengeluarkan peringatan dini kepada masyarakat dan mengkoordinasikan upaya evakuasi atau mitigasi. Radar sangat berguna untuk penerbangan karena dapat memberikan informasi yang penting mengenai kondisi cuaca. Dalam industri penerbangan dan maritim, radar cuaca digunakan untuk memberikan informasi tentang kondisi cuaca di rute perjalanan. Hal ini membantu pilot dan kapten kapal untuk menghindari cuaca buruk dan mengoptimalkan rute perjalanan (Doviak et al., 1994; Fang et al., 2004).

Radar cuaca adalah sistem radar yang dirancang khusus untuk mengamati dan menganalisis fenomena cuaca. Radar cuaca menggunakan gelombang elektromagnetik, biasanya dalam bentuk gelombang mikro atau gelombang radio, untuk memantarkan sinyal ke atmosfer dan menerima pantulan kembali dari berbagai objek atau fenomena cuaca, seperti hujan, badai, petir, dan bahkan partikel kecil seperti tetesan air atau butir-butir es. Radar cuaca telah mengalami perkembangan pesat sejak pertama kali diperkenalkan abad ke 20 (Bigler, 1981). Awalnya, radar cuaca hanya mampu mendeteksi hujan. Namun, dengan kemajuan dalam teknologi, radar kini dapat mendeteksi berbagai fenomena cuaca seperti badai, petir, dan bahkan tornado. Pemanfaatan radar cuaca telah membantu ilmuwan dan ahli meteorologi dalam memahami pola dan perilaku cuaca dengan lebih baik. Informasi yang diperoleh dari radar cuaca memungkinkan

untuk pemodelan yang lebih akurat tentang perubahan cuaca yang akan terjadi.

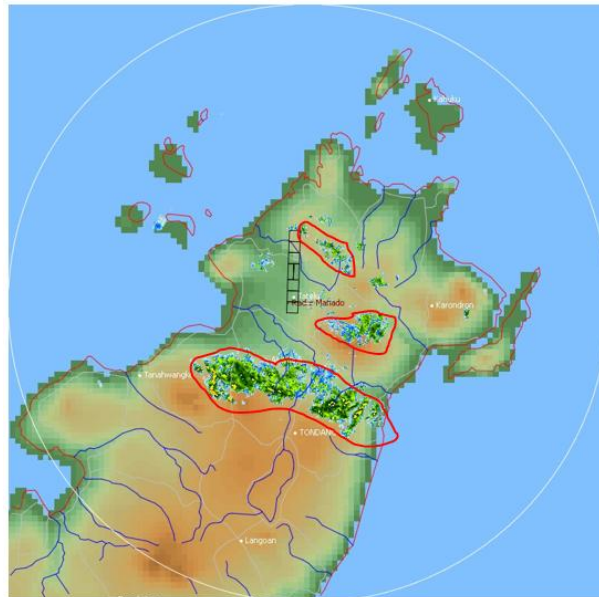
Radar cuaca telah terpasang di kota Manado pada tahun 2007 dan mulai dioperasikan tahun berikutnya guna mendukung kegiatan pengamatan meteorologi di wilayah Manado dan sekitarnya. Dengan jangkauan hingga 240 kilometer, radar cuaca ini mampu memberikan data lokasi spasial hujan dengan intensitasnya. Namun pemanfaatan radar cuaca ini memerlukan teknik interpretasi yang mumpuni karena tidak semua data yang ditangkap oleh radar cuaca merupakan objek meteorologi atau dalam hal ini adalah hujan.

Berdasarkan penelitian oleh Bringi & Chandrasekar, (2001), tidak semua *echo radar* dapat dikategorikan sebagai hujan. Terdapat beberapa objek non meteorologi lain yang mungkin tertangkap oleh radar, dan dapat disalah artikan sebagai hujan, salah satunya adalah *ground clutter*. Dengan demikian, interpretasi *echo radar* memerlukan analisis lebih lanjut untuk menentukan sumbernya dan apakah itu terkait dengan hujan atau tidak. Sebagai contoh pada Gambar 1 citra radar cuaca Manado terlihat *echo* di bagian Selatan kota Manado walaupun kondisi cuaca pada saat itu adalah cerah dan tidak ada awan, yang mengindikasikan adanya *ground clutter*.

Radar cuaca Manado mulai operasional pada tahun 2008 yang berlokasi di Stasiun Klimatologi Minahasa Utara Manado dengan koordinat 1.5° LU dan 124.92° BT. Tipe frekuensi yang dipakai yaitu *C-Band*, sehingga radius efektifnya adalah 120 kilometer. Radar ini merupakan radar cuaca tipe Gematronik yang berasal dari negara Jerman dan diproduksi oleh perusahaan Leonardo (sebelumnya bernama Selex ES GmbH). Radar gematronik merupakan instrumen yang digunakan untuk membuat prakiraan cuaca jangka pendek dan peringatan dini cuaca.

Radar cuaca bekerja dengan memancarkan gelombang elektromagnetik ke atmosfer, berinteraksi dengan partikel seperti air, es, atau debu, dan mendeteksi waktu yang dibutuhkan sinyal untuk kembali. Radar menggunakan efek Doppler untuk menganalisis frekuensi sinyal yang dipantulkan, menentukan kecepatan dan

arah gerakan partikel. Data diproses untuk menghasilkan gambar atau peta cuaca ([Doviak et al., 1994](#)).



Gambar 1. Indikasi Adanya *Ground clutter* (dalam Polygon Merah) Pada Citra Radar Manado ([BMKG Manado, 2024a](#))



Gambar 2. Prinsip Kerja Radar Cuaca berdasarkan Pergeseran Frekuensi atau Efek Doppler ([Prakasa & Utami, 2019](#))

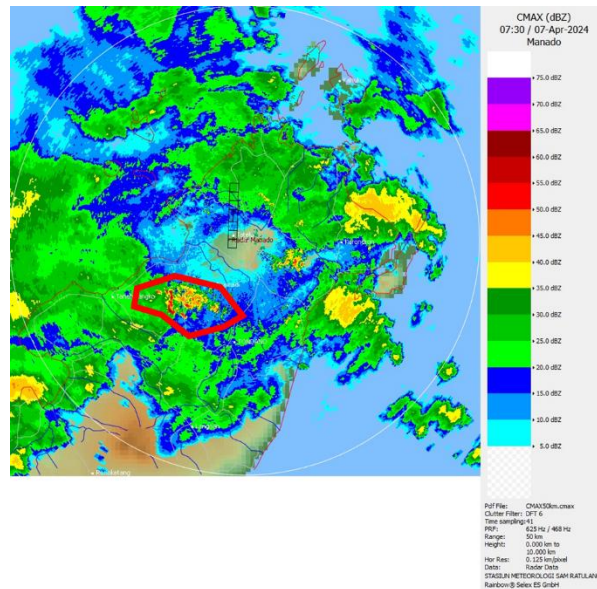
Radar cuaca menghasilkan beberapa produk turunan, salah satunya adalah CMAX. Produk CMAX (atau *Maximum Reflectivity*) pada radar cuaca merujuk pada citra yang menunjukkan nilai reflektivitas maksimum yang terdeteksi oleh radar di setiap titik ruang udara pada waktu tertentu. Produk ini digunakan untuk mengidentifikasi area dengan intensitas hujan atau badai yang paling kuat, karena reflektivitas radar mencerminkan jumlah dan ukuran partikel air (seperti tetesan hujan atau es) yang dipantulkan kembali ke radar. Dengan mengekstraksi rawdata radar menghasilkan

produk CMAX (*Column Maximum*), maka akan diperoleh citra yang dapat membantu memprakirakan dan menganalisis curah hujan di area yang terjangkau oleh radar.

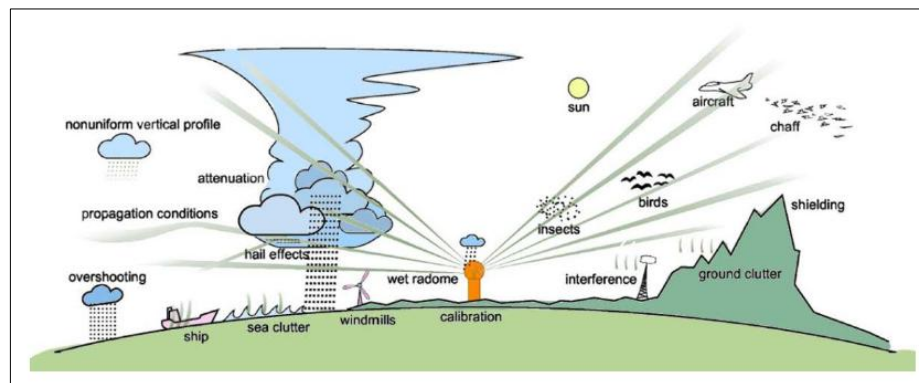
Ground clutter merupakan sinyal yang dipantulkan oleh objek di permukaan tanah, seperti bangunan dan pohon, yang dapat mengganggu dan mengaburkan sinyal radar cuaca, sehingga mengurangi kemampuan radar untuk mendeteksi dan memantau fenomena cuaca yang sebenarnya ([Hubbert et al. 2009](#)). Untuk mengatasi masalah ini, sistem radar cuaca menggunakan teknik penyaringan dan

pemrosesan sinyal untuk mengidentifikasi dan menghilangkan sinyal yang berasal dari permukaan Bumi, sehingga meningkatkan kualitas data cuaca yang disediakan oleh radar. *Ground clutter*, yang ditemukan pada citra radar cuaca Manado, dapat mengakibatkan salah

tafsir dan informasi cuaca yang tidak benar yang disampaikan kepada publik. Karakteristik utama *ground clutter* pada citra radar cuaca meliputi sumber sinyal, frekuensi dan pola, serta variabilitasnya (Billingsley, 2002; Long, 1975).



Gambar 3. Contoh Output Spasial Radar Produk CMAX (Stasiun Meteorologi Sam Ratulangi Manado, 2024).



Gambar 3. *Ground clutter* dan Objek Lain yang Ditangkap Radar Cuaca (Peura et al., 2006).

Kekacauan di permukaan tanah dapat menutupi sinyal cuaca dari fenomena cuaca, sehingga sulit untuk mengidentifikasi kondisi sebenarnya. Hal ini dapat menyebabkan kesalahan dalam analisis data, seperti salah mengira sinyal yang dihasilkan permukaan sebagai sinyal cuaca. Keberadaan kekacauan di permukaan tanah juga dapat mengurangi keakuratan prakiraan cuaca, karena sinyal yang tidak relevan dapat memengaruhi model prediktif. Memisahkan sinyal cuaca dari kekacauan di permukaan tanah memerlukan teknik pemrosesan sinyal yang rumit, sehingga

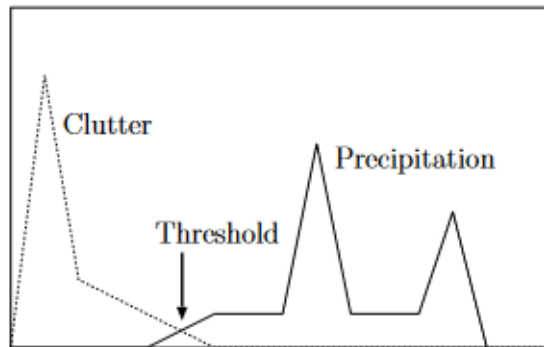
meningkatkan waktu dan sumber daya yang diperlukan untuk analisis.

Pemfilteran kekacauan di permukaan tanah sangat penting dalam radar cuaca untuk memastikan representasi kondisi atmosfer yang akurat, sehingga memungkinkan pengguna untuk membuat keputusan yang tepat dalam merencanakan aktivitas harian dan mengelola dampak cuaca ekstrem. Teknik untuk memfilter kekacauan di permukaan tanah meliputi *thresholding*, *moving average*, *doppler filtering*, *analysis spectral*, dan *adaptive filtering* (Billingsley, 2002; Doviak et al., 1994;

[Fang et al., 2004](#)). Kombinasi dari teknik-teknik ini sering diterapkan untuk mengoptimalkan kinerja sistem radar cuaca dalam menghilangkan kekacauan di permukaan tanah dan meningkatkan keakuratan informasi cuaca.

Thresholding adalah yang paling mudah diterapkan, karena hanya melibatkan pengaturan ambang batas untuk memisahkan sinyal cuaca dari kekacauan di permukaan tanah

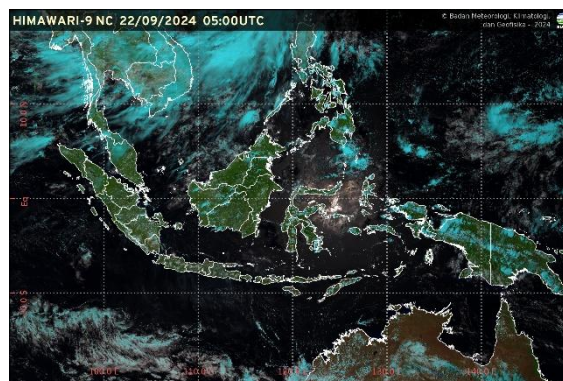
berdasarkan kekuatan sinyal ([Billingsley, 2002](#)). Jika sinyal berada di atas ambang batas, maka sinyal tersebut dianggap sebagai sinyal cuaca, dan jika tidak, maka sinyal tersebut dianggap sebagai gangguan. Teknik ini cocok untuk kebutuhan operasional dan keterbatasan komputasi, meningkatkan waktu pemrosesan data, dan memberikan informasi pemetaan citra radar cuaca kepada prakirawan dan publik.



Gambar 4. Penentuan Nilai *Threshold Clutter* ([Bovith, 2008](#))

Studi ini menggunakan data satelit cuaca untuk meningkatkan pemetaan radar gempa cuaca yang difilter, memastikan bahwa penyaringan berasal dari objek permukaan Bumi dan bukan partikel awan. Satelit cuaca Himawari-9 dari Jepang digunakan, dilengkapi dengan sensor untuk mengukur parameter atmosfer seperti suhu, kelembaban, dan tekanan ([Bessho et al., 2016](#)). Satelit tersebut menangkap gambar Bumi dan atmosfer dalam berbagai panjang gelombang, membantu dalam mengidentifikasi pola cuaca, sistem badai, dan perubahan atmosfer. Data yang dikumpulkan diproses untuk menghasilkan informasi yang berguna, termasuk pemodelan dan prakiraan

cucu berdasarkan data historis dan pengamatan terkini. Data tersebut kemudian dikirimkan ke pusat meteorologi dan pengguna akhir melalui jaringan komunikasi. Satelit Himawari-9 merupakan bagian dari seri Himawari dan dirancang untuk memantau cuaca dan kondisi lingkungan di kawasan Asia-Pasifik ([Japan Meteorological Agency, 2015](#)). Citra satelit biasanya mencakup data dari berbagai panjang gelombang, seperti inframerah dan cahaya tampak. Awan diidentifikasi berdasarkan reflektansi dan emisi radiasinya, dengan area awan tampak putih atau abu-abu muda dalam gambar RGB.



Gambar 5. Citra Satelit Himawari-9 NC ([BMKG, 2024](#)).

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah ada sebelumnya, beberapa lokasi radar cuaca di Indonesia telah dicoba diterapkan penggunaan peta clutter untuk menghilangkan *clutter* untuk meningkatkan kemampuan radar cuaca dalam mendeteksi objek meteorologi (Ali et al., 2023; Lukita et al., 2019; Rosyady, Saputra, Pangestu, et al., 2020; Rosyady, Saputra, Wardoyo, et al., 2020). Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi informasi cuaca yang dihasilkan oleh radar cuaca Manado dengan mengidentifikasi sinyal *ground clutter* dari sinyal cuaca pada data radar cuaca Manado. Penelitian dibatasi pada data dari Stasiun Meteorologi Klas II Sam Ratulangi Manado, menganalisis reflektivitas radar tahun 2024. Teknik penyaringan yang digunakan adalah *thresholding*, dan pengolahan data dilakukan dengan menggunakan Python. Validasi hanya dilakukan pada data cuaca cerah dan hujan, bukan kondisi cuaca ekstrem. Data pendukung adalah data satelit cuaca Himawari-9. Tujuan penelitian antara lain untuk meningkatkan akurasi informasi cuaca, mengurangi interferensi dari *ground clutter*, meningkatkan akurasi peringatan dini, dan memungkinkan pemantauan yang lebih efisien. Penelitian sebelumnya telah menyarankan penggunaan teknik pemetaan web-GIS untuk meningkatkan akurasi informasi cuaca.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini difokuskan pada wilayah Sulawesi Utara, dengan menggunakan data grid reflektivitas yang dihasilkan oleh radar cuaca Manado. Data dikumpulkan setiap 10 menit dan digunakan untuk mengidentifikasi kondisi cuaca cerah dan hujan. Data Himawari-9 juga digunakan untuk menunjukkan sebaran awan selama pengamatan. Data hasil pengamatan cuaca dari Stasiun Meteorologi Manado juga digunakan sebagai indikator kondisi tersebut.

Data diolah menggunakan perangkat lunak Python dengan modul khusus untuk membaca data radar dan satelit cuaca, mengolah data, dan menampilkannya dalam bentuk web GIS. Data radar mentah dikumpulkan dalam format VOL dari situs radar cuaca Manado tahun 2024, dengan beberapa sampel dipilih untuk mewakili kondisi cuaca cerah dan hujan. Data tersebut diolah menggunakan bahasa pemrograman Python dan modul *open-source*, WRadlib, yang banyak digunakan dalam penelitian meteorologi, klimatologi, dan aplikasi terkait cuaca lainnya. Data diolah menggunakan fungsi

`wrl.util.get_wradlib_data_file` dan `wrl.io.read_rainbow` dalam modul wradlib. Data reflektivitas diambil untuk setiap azimuth dan range, sehingga menghasilkan proyeksi *Cartesian*. Proyeksi georeferensi kemudian diubah menjadi bentuk tabel yang menunjukkan data koordinat lintang, bujur, dan reflektivitas.

Analisis statistik dilakukan pada data dengan kondisi cuaca cerah untuk mengetahui karakteristik nilai gema *ground clutter* di wilayah Manado. Setelah menentukan ambang batas *ground clutter*, dilakukan proses penyaringan pada data dengan cuaca hujan untuk membuat peta geospasial yang bersih dari *ground clutter*. Hasil analisis ini menjadi panduan pembuatan peta spasial citra radar terkoreksi, yang ditampilkan menggunakan perangkat lunak matplotlib dan Folium serta Flask.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

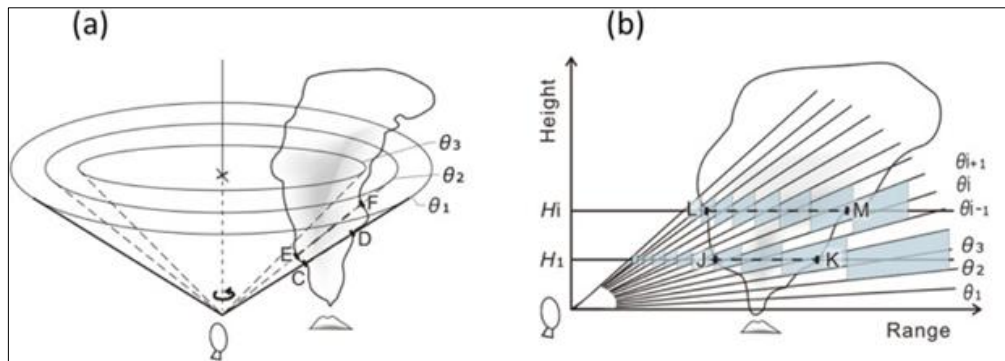
Pengolahan Data RAW Radar

Data radar cuaca Manado yang digunakan pada penelitian ini mempunyai format struktur binary dengan tipe VOL. Format ini mempunyai struktur khusus yang dikembangkan oleh pabrikan, sehingga dapat menampung data setiap sapuan (*sweep*) radar berikut metadatanya seperti informasi waktu observasi dan konfigurasi azimuth dan elevasi sapuan. Pada penelitian ini digunakan software Python dan modul wradlib untuk dapat membuka dan mengekstrak informasi pada format data tersebut.

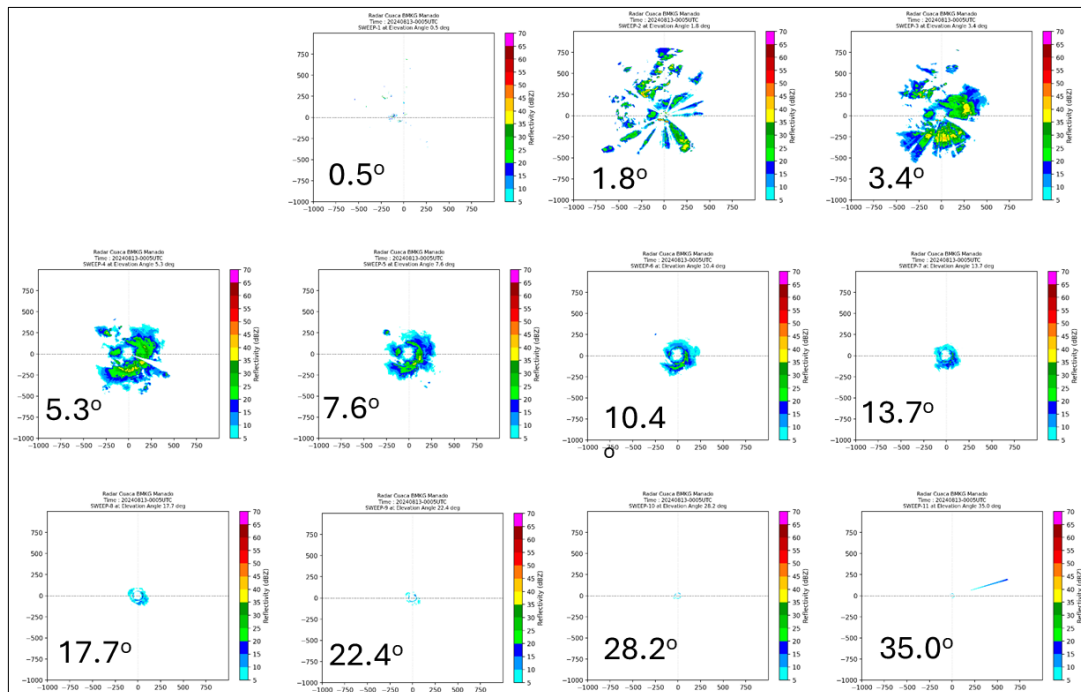
Pada radar cuaca Manado diterapkan konfigurasi 11 sapuan yang berbeda elevasi untuk setiap observasinya, sehingga setelah diintegrasikan maka akan menghasilkan data volumetrik yang bersifat 3 dimensi. Adapun elevasi yang digunakan adalah 0.5°, 1.8°, 3.4°, 5.3°, 7.6°, 10.4°, 13.7°, 17.7°, 22.4°, 28.2°, dan 35°. Sedangkan azimuth yang digunakan adalah dari 0°-360° dengan resolusi radial setiap 1°. Radar ini memiliki resolusi data sekitar 250 meter, dimana semakin menjauhi radar, maka resolusinya semakin berkurang. Jangkauan yang dapat ditangkap radar adalah radius 250 kilometer.

Data signal (*echo*) yang diperoleh setiap sapuan memiliki koordinat *cartesian polar*, dimana titik tengah dari sapuan tersebut adalah lokasi radar cuaca, yaitu pada koordinat 124.91852°BT, 1.50094°LU dengan elevasi 101.0 meter. Data VOL menyimpan data sesuai

dengan azimuth, elevasi dan jarak dari titik koordinat pusat pada [Gambar 9](#).



Gambar 8. (a) Skema Observasi Data Radar Beberapa Elevasi, dan (b) Cross Section



Gambar 9. Peta Sapuan 11 Elevasi Dalam Satu Kali Observasi Pada Tanggal 13 Agustus 2024 00.00 UTC ([BMKG Manado, 2024a](#))

Untuk dapat ditampilkan sebagai informasi geospasial, maka proyeksi data tersebut harus diubah ke dalam proyeksi *latitude* dan *longitude*. Perhitungan yang digunakan untuk mengubah koordinat tersebut menggunakan pendekatan geodesik, khususnya menggunakan konsep sferoid dan proyeksi azimuth, dimana perhitungannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta x &= d \cdot \cos(E) \cdot \sin(A) \\ \Delta y &= d \cdot \cos(E) \cdot \cos(A) \\ \Delta z &= d \cdot \sin(E) \\ \Delta \phi &= \Delta z / R \\ \Delta \lambda &= \Delta x / R \cos(\phi_0) \\ \phi &= \phi_0 + \Delta \phi\end{aligned}$$

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta \lambda$$

Dimana:

ϕ_0, λ_0 : koordinat radar dalam bentuk *latitude* dan *longitude*

A : *azimuth echo*

E : *elevasi echo*

d : jarak *echo* (meter) dari radar

R : jari-jari rata-rata Bumi (sekitar 6371 km)

ϕ, λ : koordinat *echo* dalam bentuk *latitude* dan *longitude*

Sebagai contoh berikut apabila satu titik *echo* yang ditangkap oleh radar cuaca Manado memiliki azimuth 45° (arah Timur) dan elevasi 10°, serta merupakan data ke-4 dari arah

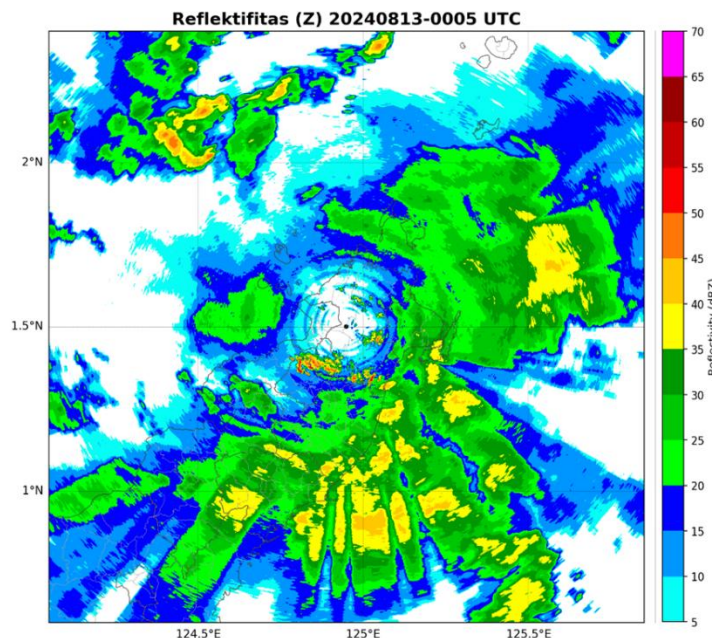
tersebut, sehingga dengan mengetahui resolusi polarnya 250 meter, berarti jarak ke radar cuaca berada pada 1.000 meter, maka dengan menggunakan persamaan sebelumnya, koordinat *latitude* dan *longitude* dari *echo* tersebut adalah 1.50250°LU dan 124.92478°BT.

Semua sapuan (11 elevasi) yang telah dikonversi ke dalam koordinat *latitude* dan *longitude* kemudian dapat diintegrasikan sehingga diperoleh gambaran 3 dimensi (3D) kondisi partikel/butir air di udara pada saat itu. Namun untuk menampilkan data 3D memerlukan pengolahan yang kompleks dan analisis yang lebih panjang, sehingga umumnya digunakan pemetaan 2 dimensi (2D) yang sesuai dengan kebutuhan analisis. Pada penelitian ini digunakan pengolahan data menjadi produk CMAX.

Produk CMAX mengidentifikasi nilai reflektivitas maksimum yang tercatat dalam volume pemindaian radar pada ketinggian tertentu. Ini berarti radar akan mencari nilai reflektivitas tertinggi yang tercatat dari berbagai sudut dan ketinggian (misalnya, dari permukaan hingga ketinggian yang lebih tinggi) untuk memberi gambaran tentang intensitas hujan atau badai dalam area tertentu.

Pada [Gambar 9](#) yang telah dikonversi ke dalam *latitude* dan *longitude*, kemudian di setiap kolomnya diambil nilai paling maksimum, sehingga diketahui secara spasial 2 dimensi wilayah dengan nilai reflektifitas di titik tersebut seberapa. Hasilnya kemudian dipetakan menjadi satu gambar ([Gambar 10](#)), sehingga dapat memudahkan prakirawan menganalisis secara cepat di wilayah mana terjadi kondisi cuaca ekstrim yang disebabkan oleh terjadinya hujan lebat, yang ditandai dengan nilai reflektifitas yang tinggi.

Pada [Gambar 10](#) menunjukkan adanya banyak *echo* di sebagian besar wilayah Sulawesi Utara yang menunjukkan banyaknya partikel atau butiran air yang merefleksikan gelombang radio yang dipancarkan oleh radar cuaca Manado. Semakin tinggi nilai reflektifitasnya, maka berarti densitas atau kerapatan butiran air di wilayah tersebut semakin tinggi, yang dapat diasumsikan terjadi hujan yang lebih intensif (lebat). Sehingga dapat disimpulkan pada tanggal 13 Agustus 2024 00.00 UTC di sebagian besar wilayah Sulawesi Utara mengalami hujan ringan hingga lebat.



Gambar 10. Produk CMAX dari Observasi Tanggal 13 Agustus 2024 00.00 UTC ([BMKG Manado, 2024b](#))

Filtering *Ground clutter*

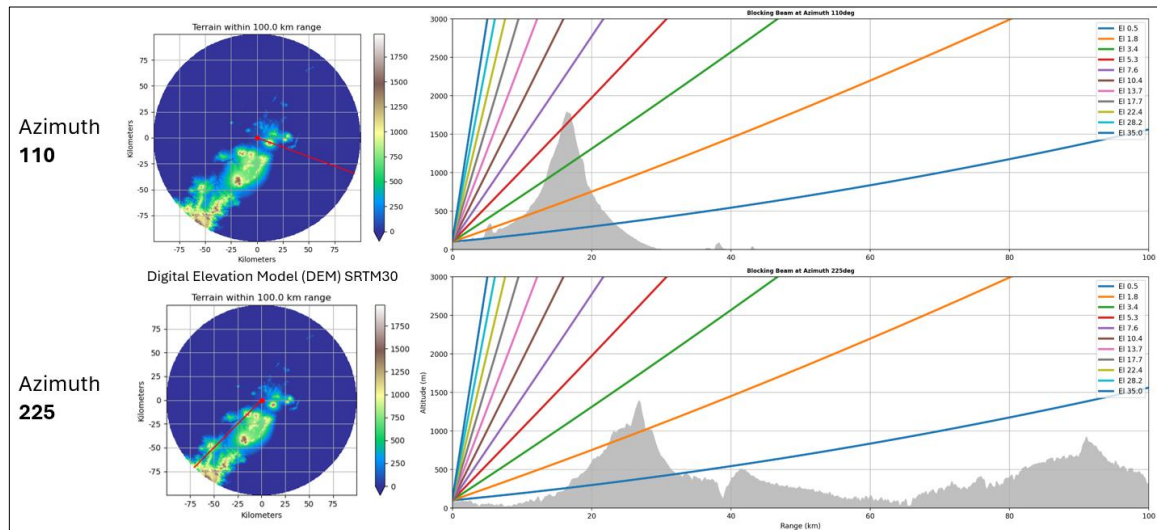
Pada produk CMAX yang diolah kemudian harus dianalisis lebih lanjut untuk membedakan *echo* non meteorologi seperti *ground clutter*,

sehingga tidak menghasilkan kesalahan interpretasi. *Ground clutter* adalah *echo* non meteorologi akibat gelombang radio yang dipancarkan radar menabrak kontur permukaan

bumi, sehingga sebagian gelombang yang dipantulkan kembali tertangkap oleh radar. Namun dalam analisis kondisi cuaca, *echo* ini tidak diperlukan, karena bukan objek yang ingin diamati.

Untuk mengetahui lokasi dari *ground clutter*, dapat dilihat dengan perbandingan arah sapuan tiap elevasi dibandingkan dengan kontur permukaan bumi. Dalam penelitian ini

digunakan data DEM SRTM30 (*Shuttle Radar Topography Mission 30*) untuk menggambarkan elevasi dan kontur permukaan bumi di wilayah Sulawesi Utara. Data ini merupakan data topografi digital yang dihasilkan oleh misi radar satelit NASA pada tahun 2000. Model ini memiliki resolusi sekitar 30 arc-detik, yang setara dengan sekitar 900 meter di ekuator.



Gambar 11. Penampang Melintang 11 Elevasi Sapuan Radar Cuaca Manado pada Azimuth 110 dan 225 Derajat

Pada [Gambar 11](#) terlihat pada Azimuth 110° sapuan radar pada elevasi rendah mengenai kontur permukaan bumi, dimana fitur tersebut adalah Gunung Klabat yang berjarak sekitar 18 kilometer dari radar cuaca Manado. Gunung ini memiliki ketinggian hingga 2.000 meter. Elevasi yang terhambat oleh gunung ini adalah 0.5°, 1.8°, 3.4°, dan 5.3°. Ketika gelombang radar pada elevasi ini mengenai permukaan gunung, maka sebagian besar gelombang akan dipantulkan kembali dan ditangkap oleh *receiver* pada radar, kemudian nilai reflektansi yang diperoleh menunjukkan seberapa kuat *ground clutter* yang berasal dari tempat itu. Demikian juga pada sapuan dengan arah azimuth 225, dimana pada elevasi 0.5°, dan 1.8° mengalami *blocking* yang menghasilkan *ground clutter*. Pada arah ini hanya dua elevasi yang terganggu karena jarak pegunungan di wilayah tersebut lebih rendah, dimana Gunung Lokon ini ketinggian puncaknya sekitar 1.500 meter, serta jarak yang lebih jauh yaitu sekitar 28 kilometer dari radar cuaca Manado. Dari kedua contoh azimuth ini, dapat diketahui radar cuaca Manado mengalami *blocking* hingga ketinggian 5.3°.

Untuk menghindari *blocking* pada sapuan radar cuaca Manado, elevasi sapuan dapat ditingkatkan dimana sapuan pertama diatur pada elevasi 65.3°, namun akan merugikan karena fenomena hujan yang berada pada lapisan udara dekat permukaan tidak akan terdeteksi, dan radar hanya menangkap perubahan pada bagian menengah awan hingga ke atasnya. Hal ini menyebabkan fungsi utama radar cuaca untuk mendeteksi hujan tidak terpenuhi, selain itu mengingat lokasi radar Manado tidak jauh dari kota Manado, yang memiliki populasi tinggi sehingga lebih rentan terhadap kondisi cuaca ekstrim, menghasilkan pengamatan yang kurang akurat, karena ada kemungkinan hujan yang terdeteksi tidak sepenuhnya jatuh ke permukaan, disebabkan oleh posisi hujan yang terdeteksi terlalu tinggi.

Ground clutter akan sangat terlihat pada saat kondisi dimana tidak terjadi hujan yaitu pada saat kondisi cuaca cerah atau berawan. Pada citra radar akan terlihat *echo* walaupun di tempat tersebut tidak ada sama sekali hujan yang jatuh. Pada penelitian ini diambil *sampling* data radar cuaca yang pada saat tersebut diketahui pengamatan di lapangan

menunjukkan adanya awan namun tidak terdapat hujan. Sebagai salah satu contohnya adalah pada tanggal 13 September 2024, dimana hasil pengamatan di Stasiun Meteorologi Sam Ratulangi ditampilkan pada

[Tabel 1](#). Secara garis besar data yang ditunjukkan oleh [Tabel 1](#) menjelaskan kondisi cuaca cerah, dimana awan yang terbentuk hanya menutupi 3/8 dari seluruh kubah langit.

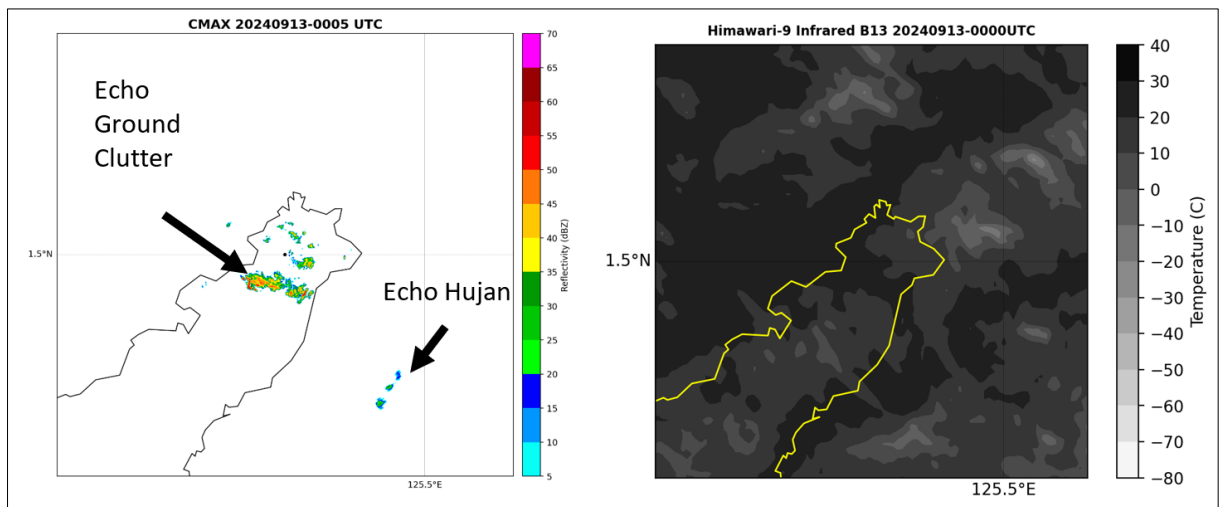
Tabel 1. Kondisi Cuaca di Stasiun Meteorologi Manado 13 September 2024 00.00 UTC

Parameter Cuaca	Nilai
Hujan	0 mm
Visibility	10 km
Tutupan Awan	3/8 oktas
Suhu / Titik Embun	29.5°/19.8° C
Tekanan Udara	999.3 hPa
Arah / Kecepatan Angin	170°/19kt

Sumber: hasil penelitian, 2024.

Demikian juga dengan jarak pandang mendatar (*visibility*) mencapai 10 kilometer dan tidak ada hujan yang teramati. Ini menunjukkan pada waktu tersebut seharusnya tidak terdapat *echo* disekitar daerah pengamatan radar cuaca Manado. Analisis kondisi ini juga didukung dengan gambar citra satelit Himawari-9 yang

mengamati kondisi perawanan dengan lebih luas ([Gambar 12 kanan](#)). Citra satelit menunjukkan warna yang dominan abu-abu pekat hingga hitam, yang menunjukkan suhu permukaan daratan, dan sedikit awan yang menutupi hampir seluruh Sulawesi Utara.



Gambar 12. Citra Radar CMAX (kiri) dan Citra Satelit Infrared Himawari-9 (kanan) di Sulawesi Utara 13 September 2024 00UTC

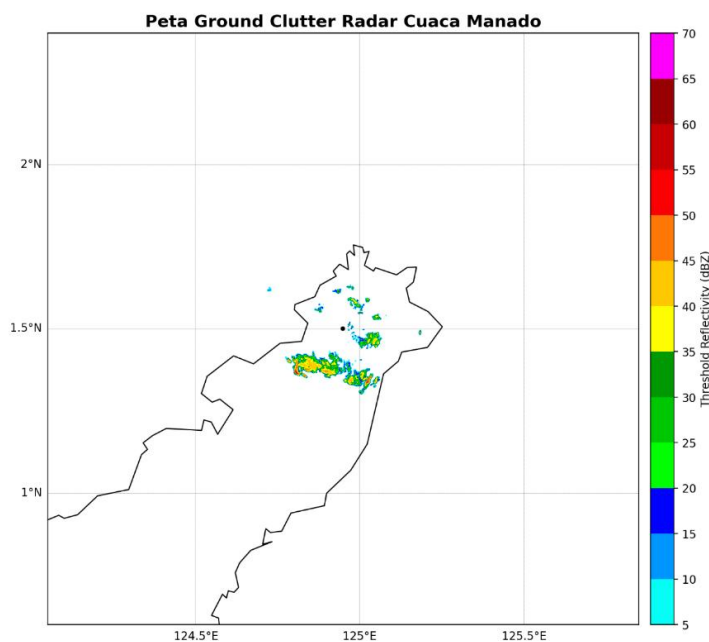
Pada kondisi ini data radar cuaca Manado dengan format VOL diolah dengan menggunakan modul wradlib, kemudian dilakukan pengolahan georeferensi ke dalam proyeksi latitude longitude, selanjutnya hasil 11 sapuan diintegrasikan, kemudian dilakukan pengolahan data menjadi produk CMAX yang menampilkan nilai maksimum dalam setiap kolom di seluruh wilayah observasi ([Gambar 12 kiri](#)). Pada hasil pengolahan ini terlihat terdapat pada beberapa lokasi didekat pegunungan yang mengalami blocking walaupun pada saat itu

kondisi cuaca cerah berawan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *echo* dilokasi tersebut merupakan *ground clutter*. Namun di beberapa tempat di lautan sebelah tenggara dari sulawesi utara terdapat beberapa *echo* kecil yang menunjukkan diwilayah perairan itu memang terdapat hujan, karna tidak ada fitur topografi yang memungkinkan terjadinya *ground clutter* di wilayah tersebut.

Kemudian untuk menghasilkan peta *ground clutter* dilakukan pengolahan data spasial dengan mencari kondisi yang hampir sama

dengan kondisi pada tanggal 13 September 2024 00 UTC tersebut, dimana curah hujan 0 mm dan langit tertutupi hanya sedikit awan. Dari beberapa *sampling* yang diambil kemudian dilakukan pencarian nilai minimum, dimana apabila nilai minimum di wilayah tersebut lebih dari 0 dBZ, maka dapat diketahui wilayah tersebut mengalami *ground clutter*. Pengolahan ini juga bertujuan untuk mengeliminasi wilayah yang mungkin terjadi hujan pada saat pengamatan. Kemudian untuk wilayah-wilayah

yang teridentifikasi mengalami gangguan *ground clutter*, dicari nilai maksimum dari *echo* di wilayah tersebut selama periode *data sampling*. Ini digunakan untuk mencari nilai ambang yang akan digunakan sebagai pembatas antara nilai *ground clutter* dan hujan. Ketika *echo* reflektifitas di wilayah tersebut melebihi nilai ambang, maka *echo* tersebut menunjukkan terjadi hujan, dengan besaran *echo* yang diterima radar dikurang dengan nilai ambang ([Gambar 4](#)).



Gambar 13. Peta *Threshold Ground clutter* Radar Cuaca Manado

Hasil pemetaan dari setiap nilai ambang ditampilkan pada [Gambar 13](#). Dimana nilai ambang batas berkisar antara 5-55 dBZ. Peta ini kemudian menjadi acuan untuk mengoreksi produk CMAX selanjutnya, sehingga *ground clutter* tidak masuk dalam pemetaan yang dapat meningkatkan akurasi hasil analisis.

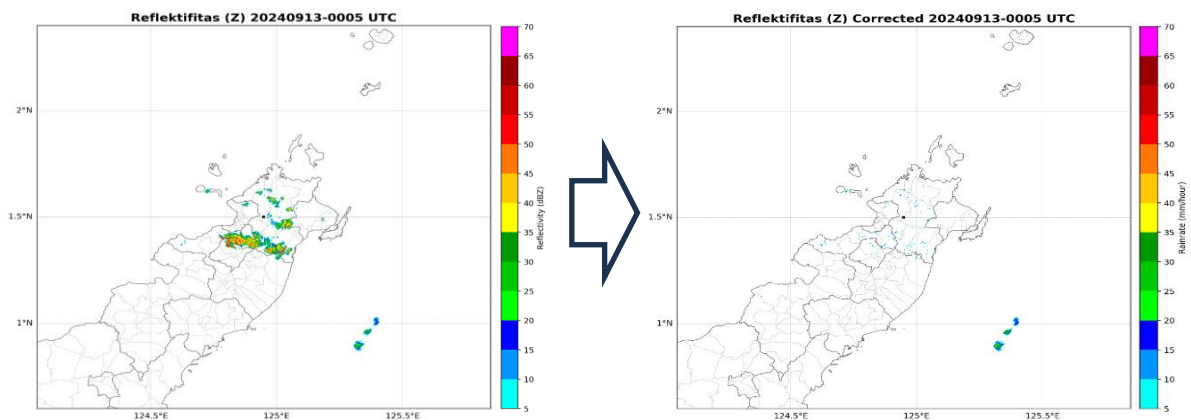
Berikut hasil *filtering ground clutter* dengan menggunakan referensi peta *ground clutter* ([Gambar 13](#)) untuk menghasilkan peta produk CMAX yang terkoreksi. Pada kondisi cuaca cerah berawan, tanggal 13 September 2024 pkl 00 UTC ([Gambar 14](#)), sebagian besar *echo* di wilayah pegunungan yang sebelumnya memiliki nilai reflektifitas 5-55 dBZ telah mengalami penurunan *echo* menjadi 0-5 dBZ. Nilai ini tidak dapat dihilangkan seluruhnya, karena mungkin saja di wilayah pegunungan pada saat itu terdapat kabut atau awan yang dekat dengan permukaan, sehingga masih menghasilkan *echo* walaupun relatif sangat kecil, yang bisa diasumsikan terjadi hujan

sangat ringan atau berkabut. Pada beberapa lokasi di perairan sebelah tenggara dari Sulawesi Utara masih terdapat *echo*, yang menunjukkan di sekitar itu tidak terdapat koreksi *ground clutter*, sehingga nilai yang tertangkap menunjukkan kondisi memang terjadi hujan di perairan tersebut.

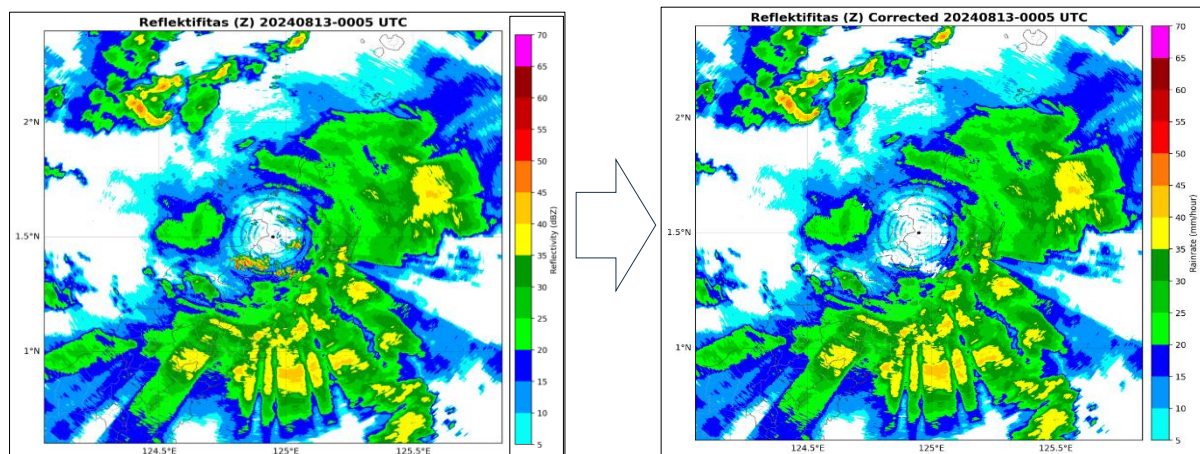
Selanjutnya teknik yang sama digunakan juga pada kondisi terjadi hujan di sebagian besar wilayah Sulawesi Utara. Pada kondisi cuaca hujan ringan hingga lebat, tanggal 13 Agustus 2024 pkl 00 UTC ([Gambar 15](#)), sebagian besar *echo* di wilayah pegunungan yang sebelumnya memiliki nilai reflektifitas 5-55 dBZ telah mengalami penurunan *echo* menjadi 0-20 dBZ. Hal ini disebabkan oleh *echo* yang dihasilkan hujan di pegunungan tersebut masih dapat ditangkap dan dianalisis kemudian untuk diketahui intensitas curah hujan di wilayah tersebut. Di wilayah selain diluar wilayah yang terdapat nilai ambang, memiliki nilai *echo* yang tidak berubah, karena

dianggap tidak terdapat *ground clutter*. Pada peta CMAX yang telah terkoreksi, tidak terdapat *ground clutter* yang berpotensi

menyebabkan salahnya interpretasi wilayah yang mengalami kondisi cuaca ekstrim.



Gambar 14. Hasil *Filtering Ground clutter* Pada Saat Cuaca Cerah Berawan



Gambar 15. Hasil *Filtering Ground clutter* Pada Saat Cuaca Hujan Ringan Hingga Lebat

Dari kedua contoh pengolahan data ini dapat disimpulkan bahwa metode untuk menghilangkan *ground clutter* di peta reflektifitas yang dihasilkan oleh radar cuaca Manado telah berhasil memperbaiki produk turunan yang dihasilkan. Pola *echo ground clutter* yang terlihat jelas pada [Gambar 14](#) setelah terkoreksi pada kondisi hujan juga tidak terlihat lagi. Ketika pengguna melihat produk CMAX yang terkoreksi, tidak akan menjumpai kesalahan berupa *echo non meteorologi* yang dihasilkan oleh *ground clutter*. Kemudian hasil ini dapat digunakan untuk perhitungan selanjutnya dalam menentukan intensitas curah hujan yang diturunkan dari nilai reflektifitas yang telah terkoreksi.

Pemetaan Estimasi Curah Hujan

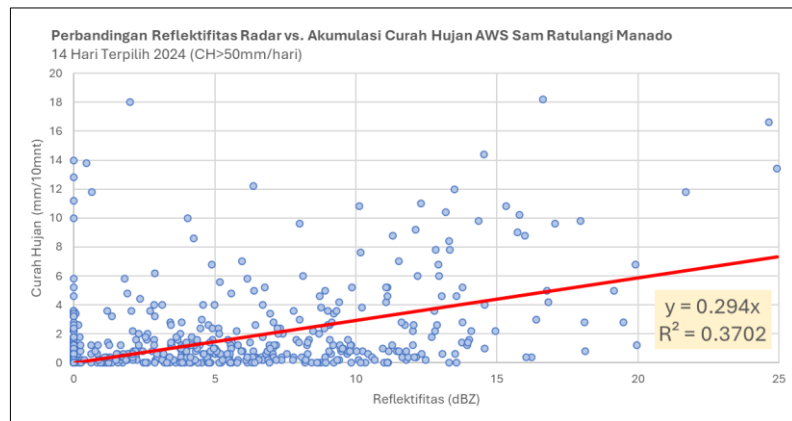
Curah hujan mempunyai korelasi yang tinggi dengan nilai reflektifitas yang ditangkap oleh radar cuaca. Semakin tinggi curah hujan di

suatu wilayah, maka sebagian besar pula reflektifitas yang ditangkap. Hubungan antara curah hujan dan reflektifitas, biasa dikenal sebagai Z-R relationship. Pada beberapa penelitian sebelumnya, hubungan ini telah dilakukan percobaan pada radar cuaca Surabaya. Dengan menggunakan persamaan Z-R relationship yang digunakan Marshall-Palmer ($Z=200R^{1.6}$) dan yang digunakan oleh Rosenfeld ($Z=250R^{1.2}$) menunjukkan nilai estimasi curah hujan dibawah nilai data observasi stasiun (*underestimate*) terutama pada saat kondisi hujan lebat ([Hutapea et al., 2021](#); [Rosenfeld et al., 1994](#); [Yangang, 1993](#)). Kemudian dilakukan modifikasi persamaan logaritmik tersebut untuk mendapatkan hasil yang lebih baik ($Z=110R^{1.6}$), yang walaupun secara nilai korelasi dan kesalahan lebih baik, namun tetap bernilai *underestimate*. Persamaan ini memiliki sifat yang unik, sehingga belum

tentu cocok digunakan pada radar cuaca Manado.

Pada penelitian ini digunakan pendekatan hampir sama, dengan menghubungkan antara nilai reflektifitas dengan akumulasi curah hujan (mm/10menit) yang didapat dari pengamatan dengan menggunakan *Automatic Weather Station* (AWS) di Stasiun Meteorologi Sam Ratulangi Manado. Alat ini mengukur secara otomatis ketinggian akumulasi curah hujan (*rainfall depth*) dalam 10 menit. Untuk perbandingan data digunakan data per 10 menit pada hari dimana akumulasi hujan harian

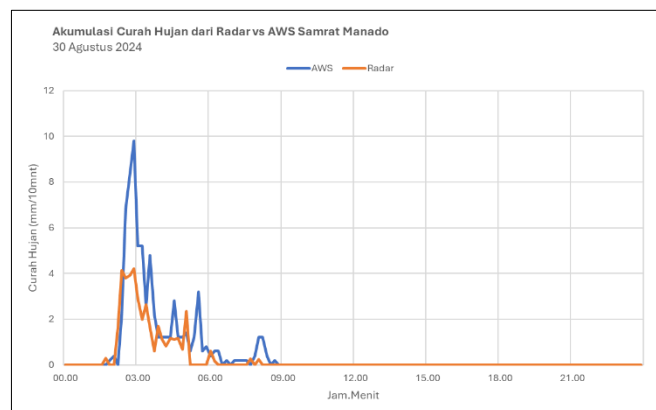
melebihi dari 50mm/hari (kategori hujan lebat) sepanjang tahun 2024. Selain untuk memfokuskan penelitian pada saat terjadinya hujan, pemilihan ini juga digunakan untuk mengurangi banyaknya kondisi cuaca tidak hujan ($Z=0\text{dBZ}$ dan $RR=0\text{mm}$) yang berpotensi mengurangi akurasi persamaan hubungan yang dicari. Sepanjang tahun 2024 diketahui terdapat 14 hari yang melebihi curah hujan 50mm/hari. Sehingga kemudian dilakukan pengambilan sampling data hujan dan reflektifitas sebanyak 14 hari x 144 sampel data (2016 pasang).



Gambar 16. Scatter Plot Reflektifitas Radar dan Akumulasi Curah Hujan AWS

Pada [Gambar 16](#), diketahui hubungan antara reflektifitas radar cuaca Manado dan akumulasi curah hujan yang didapat dari AWS Sam Ratulangi Manado bersifat positif, dengan nilai determinasi $R^2 = 0.3702$, dimana dengan adanya peningkatan reflektifitas berarti terjadi peningkatan curah hujan pula. Hubungan antara keduanya dapat digambarkan dengan

persamaan regresi linier sebagai $y=0.294x$, dimana x adalah nilai reflektifitas (dBZ) dan y adalah akumulasi curah hujan (mm/10menit). Persamaan ini kemudian diujicobakan pada kejadian hujan harian pada saat terjadinya hujan di Sulawesi Utara pada tanggal 30 Agustus 2024 yang ditampilkan pada [Gambar 17](#).



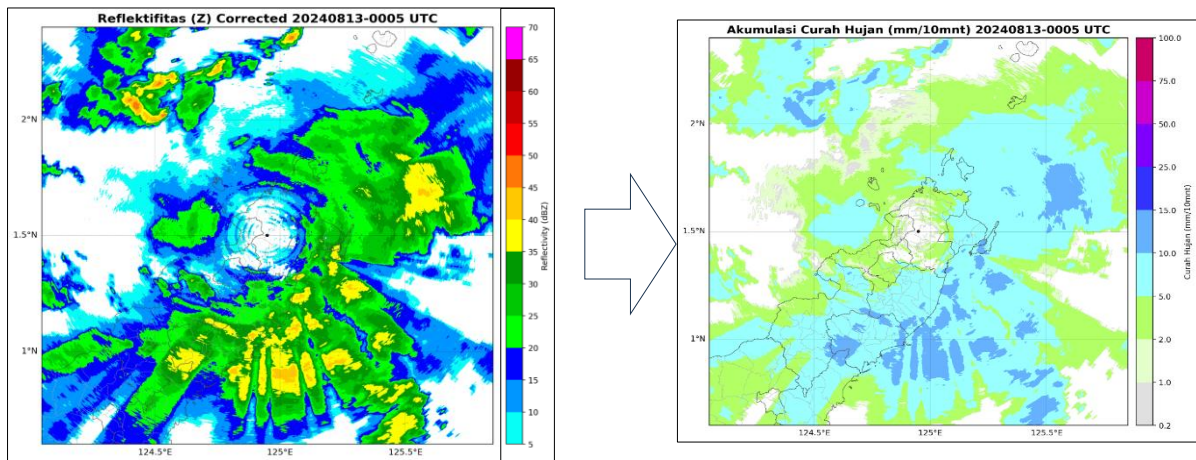
Gambar 17. Estimasi Curah Hujan dari Radar vs AWS

Berdasarkan [Gambar 17](#) diketahui curah hujan dengan menggunakan persamaan $y=0.294x$ memiliki pola yang hampir sesuai

dengan penakaran hujan dari AWS. Berdasarkan data AWS (garis biru) Peningkatan curah hujan terjadi sekitar pukul

02.10 UTC dan mencapai puncaknya 03.00 UTC. Pola ini dapat ditangkap pula dengan pengamatan menggunakan radar hujan, walaupun terdapat perbedaan cukup signifikan pada intensitas curah hujan pukul 03.00 UTC tersebut. Hal ini disebabkan karena sifat pengukuran yang bersifat terus menerus selama 10 menit, sedangkan menggunakan radar hanya mengambil sampling secara singkat untuk menentukan intensitasnya dan dikonversi ke dalam periode 10 menit. Namun sepanjang periode hujan pada tanggal tersebut terlihat pola kenaikan dan penurunannya dapat diikuti oleh

pengukuran dengan radar yang tampak dari hasil korelasinya. Nilai korelasi antara kedua grafik tersebut adalah 0.859, sedangkan nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 0.306 mm/10menit dan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 1.283 mm/10menit. Hasil ini cukup baik untuk digunakan sebagai persamaan selanjutnya untuk mengestimasi tinggi curah hujan dalam 10 menit di semua wilayah yang diamati oleh radar cuaca Manado. Pemetaan spasial dengan persamaan tersebut dapat dilihat pada [Gambar 18](#).



Gambar 18. Konversi Produk CMAX Menjadi Estimasi Curah Hujan dengan Persamaan $y=0.294x$

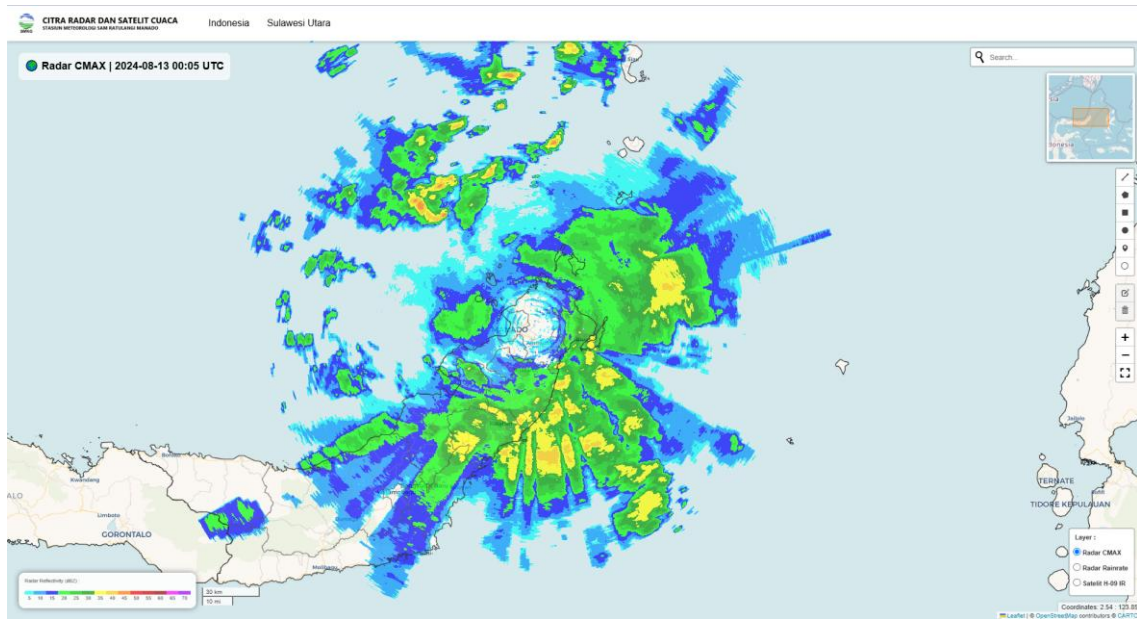
Pada hasil konversi terlihat di wilayah Sulawesi Utara umumnya terjadi hujan ringan hingga hujan lebat, dimana estimasi curah hujannya berkisar 2-15 mm/10menit. Informasi curah hujan yang bersifat kuantitatif lebih diperlukan oleh *forecaster*, sehingga lebih memudahkan menganalisis secara objektif wilayah yang mengalami cuaca ekstrem.

Pemetaan Web GIS

Hasil *filtering ground clutter* yang diperoleh dari pengolahan data sebelumnya dan estimasi curah hujan dengan persamaan empiris yang telah diuji, kemudian ditampilkan dengan sistem Web GIS. Penggunaan sistem informasi ini dibandingkan dengan pemetaan geospasial yang bersifat statik memberi beberapa keuntungan, seperti kemudahan dalam melakukan analisis secara spasial dikarenakan peta dapat di *zoom in* atau di *zoom out*. Untuk

membuat web GIS ini digunakan modul Flask dan Folium yang masih berbasis bahasa pemrograman Python. Modul Flask ketika dijalankan akan menjalankan web server, sehingga program html yang dikonversi menggunakan modul Folium dapat diakses oleh pengguna dengan media browser internet.

Data yang ditampilkan dalam web GIS ini adalah produk CMAX yang telah difilter dalam format PNG transparan, dimana wilayah yang tidak terdapat *echo* akan memiliki transparan 1, sehingga peta dasar yang ada pada web GIS digunakan akan terlihat. Peta dasar yang digunakan secara online adalah CartoDB Voyager. Selain itu pengguna juga dapat melihat produk estimasi curah hujan dan satelit cuaca Himawari-9 Infrared. Pengguna juga dapat menggunakan beberapa tool untuk menambahkan gambar atau menentukan jarak antara objek pada peta.



Gambar 19. Tampilan Web GIS Untuk Pemetaan Data Radar Cuaca Manado yang Telah Dilakukan *Filtering Ground clutter*

KESIMPULAN

Filter thresholding dapat dipakai untuk menghilangkan efek *ground clutter* yang ada pada radar cuaca Manado. Peta *clutter* yang dihasilkan dari penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk operasional, sehingga menjadi acuan dalam menentukan batasan hujan dan *ground clutter*. Hasil perbaikan *echo* yang diperoleh juga dapat digunakan untuk mengestimasi curah hujan dengan persamaan $y=0.294x$, yang bila dibandingkan dengan pengamatan menghasilkan korelasi yang cukup tinggi. Pada pengujian nilai korelasi antara curah hujan AWS dan radar cuaca adalah 0.859, dengan nilai MAE sebesar 0.306 mm/10menit dan RMSE sebesar 1.283 mm/10menit. Upaya peningkatan pemanfaatan hasil yang diperoleh juga dilakukan dalam penelitian ini dengan cara menampilkan hasil akhir ke dalam sistem Web GIS, sehingga memudahkan pengguna mengakses dan menganalisa peta tersebut dengan lebih fleksibel.

SARAN

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang perbaikan data radar cuaca yang mengalami gangguan *ground clutter*. Namun seiring usia operasional radar bertambah, ada kemungkinan terjadi penurunan kualitas data dan peningkatan luasan *ground clutter*. Hal ini terlihat pada kondisi terbaru di tahun 2025, dimana indikasi *ground clutter* semakin meluas. Oleh sebab itu saran dari penulis adalah menambah jangka waktu

penelitian dan menganalisis perubahan temporalnya, sehingga diketahui penyebab dan perbaikannya secara lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Jakarta, Stasiun Meteorologi Klas II Sam Ratulangi Manado yang telah memfasilitasi penelitian ini sebagai penyedia data dan penyanggah dana.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., Umam, I. H., Argo, H. J. W., Permana, D., Deranadyan, G., & Adiyasa, A. 2023. Sidarma: Sistem Integrasi Data Radar Cuaca Mandiri Berbasis Web-Gis dan Aplikasi Android. *Geomatika*, 29(1), 1–8.
- Bessho, K., Date, K., Hayashi, M., Ikeda, A., Imai, T., Inoue, H., Kumagai, Y., Miyakawa, T., Murata, H., & Ohno, T. 2016. An introduction to Himawari-8/9—Japan's new-generation geostationary meteorological satellites. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 94(2), 151–183.
- Bigler, S. G. 1981. Radar: A short history. *Weatherwise*, 34(4), 158–163.
- Billingsley, J. B. 2002. *Low-angle radar land clutter: measurements and empirical models*. IET.

- BMKG. 2024. *Himawari-9 Natural Color*.
<https://www.bmkg.go.id/cuaca/satelit/>
- BMKG Manado. 2024a. *Radar Cuaca*.
- BMKG Manado. 2024b. *Reflektivitas CMAX*.
- Bogush Jr, A. J. 198). Radar and the Atmosphere. *Norwood*.
- Bøvith, T. 2008. *Detection of weather radar clutter*.
- Bringi, V. N., & Chandrasekar, V. 2001. *Polarimetric Doppler weather radar: principles and applications*. Cambridge University Press.
- Doviak, R. J., Zrnic, D. S., & Schotland, R. M. 1994. Doppler radar and weather observations. *Applied Optics*, 33(21), 4531.
- Fang, M., Doviak, R. J., & Melnikov, V. 2004. Spectrum width measured by WSR-88D: Error sources and statistics of various weather phenomena. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 21(6), 888–904.
- Hutapea, T. D. F., Permana, D. S., Praja, A. S., & Muzayanah, L. F. 2021. Modifikasi Konstanta Persamaan ZR Radar Surabaya Untuk Peningkatan Akurasi Estimasi Curah Hujan. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 21(2), 91–97.
- Japan Meteorological Agency. 2015. *Himawari User's Guide From Japan Meteorology Association*.
<http://www.jmanet.go.jp/msc/en/support/index.html>.
- Long, M. W. 1975. Radar reflectivity of land and sea. *Lexington*.
- Lukita, N. R., Saputra, A. H., Nugraheni, I. R., Ali, A., & Paksi, L. M. W. 2019. The Effectiveness of Clutter Map towards the Quantitative Precipitation Estimation (QPE) on the Heavy Rain Condition in the Region of Padang (a Case Study on March 26, 2018, and September 18, 2018). *PROCEEDING BOOK VOL.*, 40.
- Peura, M., Koistinen, J., & Hohti, H. 2006. Quality information in processing weather radar data for varying user needs. *Proceedings of ERAD*, 563–566.
- Prakasa, A., & Utami, F. D. 2019. Sistem Informasi Radar Cuaca Terintegrasi BMKG. *Journal of Telecommunication Electronics and Control Engineering (JTECE)*, 1(02), 78–87.
- Rosenfeld, D., Wolff, D. B., & Amitai, E. 1994. The window probability matching method for rainfall measurements with radar. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 33(6), 682–693.
- Rosyady, M. P., Saputra, A. H., Pangestu, T. A., & Putri, A. 2020. Implementasi Teknologi Penginderaan Jauh Berbasis Dual Doppler Radar sebagai Upaya Mitigasi Asap Karhutla. *Jurnal Widya Climago*, 2(2).
- Rosyady, M. P., Saputra, A. H., Wardoyo, E., Putri, A., & Pangestu, T. A. 2020. Implementation of Clutter Correction during Forest Fire Smog in the Banjarbaru region (Case Study September 17th, 2018). *PROCEEDING BOOK VOL. 4*, 46.
- Stasiun Meteorologi Sam Ratulangi Manado. 2024. *Spasial Radar Produk CMAX*.
- Yangang, L. 1993. Statistical theory of the Marshall-Palmer distribution of raindrops. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 27(1), 15–19.