

Analisis Coherence Change Detection Menggunakan Citra Satelit Sentinel 1B untuk Penentuan Cepat Kerusakan Pasca Gempabumi Mamuju 14 Januari 2021

Ni Luh Desi Purnami ^{a,b,*}, Abd. Rahman As-syakur ^c, Takahiro Osawa ^d

^a Program Studi Ilmu Lingkungan, Pascasarjana, Universitas Udayana, Jl. P.B. Sudirman, Denpasar, Bali 80232, Indonesia

^b BMKG Stasiun Geofisika Denpasar, Jl. Pulau Tarakan No. 1, Kota Denpasar, Bali 80361, Indonesia

^c Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana, Jl. Raya Kampus Unud, Jimbaran, Kabupaten Badung, Bali 80361, Indonesia

^d Center for Remote Sensing and Ocean Science (CReSOS), Udayana University, Denpasar, Bali, Indonesia.
Jl. PB.Sudirman, Kota Denpasar, Bali 80232, Indonesia

*Email: niluhdesipurnami@gmail.com

Diterima (received) 27 Juli 2026; disetujui (accepted) 8 Juli 2026; tersedia secara online (available online) 10 Agustus 2026

Abstract

The 14 January 2021 Mamuju earthquake caused significant damage to buildings and infrastructure in West Sulawesi, Indonesia. Rapid identification of affected areas is essential to support post-disaster response and recovery efforts. Synthetic Aperture Radar (SAR) remote sensing provides an effective approach for rapid damage assessment because it is independent of weather conditions and daylight availability. This study aims to evaluate the capability of Coherence Change Detection (CCD) derived from Sentinel-1B imagery for rapid identification of earthquake-damaged areas following the 2021 Mamuju earthquake. CCD analysis was conducted using two Sentinel-1B image pairs representing pre-seismic conditions (27 December 2020–08 January 2021) and co-seismic conditions (08 January 2021–20 January 2021). Coherence changes were quantified using the Normalized Difference Coherence (NDC) approach to identify areas affected by surface disturbances. The CCD results were validated using field damage observation data and evaluated through a confusion matrix analysis. The results show that areas affected by the earthquake generally experienced a decrease in coherence values, indicating significant changes in radar backscatter characteristics after the event. Validation results yielded an Overall Accuracy of 62.8%, Precision of 66.7%, Recall of 86.2%, and F1-Score of 75.2%. The high Recall value indicates that CCD successfully identified most of the damaged locations observed in the field. These findings demonstrate that CCD derived from Sentinel-1B imagery has considerable potential as a rapid damage assessment tool for post-earthquake disaster management.

Keywords: coherence change detection; sentinel-1; synthetic aperture radar; earthquake damage assessment; Mamuju earthquake

Abstrak

Gempabumi Mamuju pada 14 Januari 2021 menyebabkan kerusakan yang signifikan pada bangunan dan infrastruktur di Provinsi Sulawesi Barat, Indonesia. Identifikasi cepat terhadap wilayah terdampak sangat penting untuk mendukung upaya tanggap darurat dan pemulihan pasca bencana. Penginderaan jauh berbasis *Synthetic Aperture Radar* (SAR) menyediakan pendekatan yang efektif untuk penilaian kerusakan secara cepat karena tidak dipengaruhi oleh kondisi cuaca maupun ketersediaan cahaya matahari. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan *Coherence Change Detection* (CCD) yang diturunkan dari citra Sentinel-1B dalam mengidentifikasi secara cepat area yang terdampak gempa bumi Mamuju tahun 2021. Analisis CCD dilakukan menggunakan dua pasangan citra Sentinel-1B yang merepresentasikan kondisi pra-seismik (27 Desember 2020–08 Januari 2021) dan ko-

doi: <https://doi.org/10.24843/bljc.2026.v26.i02.p03>



© 2019 by the authors; Content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 licence. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI. Published under licence by Udayana University, Indonesia.

seismik (08 Januari 2021–20 Januari 2021). Perubahan koherensi dihitung menggunakan pendekatan *Normalized Difference Coherence* (NDC) untuk mengidentifikasi area yang mengalami gangguan permukaan. Hasil CCD kemudian divalidasi menggunakan data observasi kerusakan lapangan dan dievaluasi melalui analisis *confusion matrix*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah yang terdampak gempa bumi umumnya mengalami penurunan nilai koherensi, yang mengindikasikan adanya perubahan signifikan pada karakteristik hamburan balik radar setelah kejadian gempa. Hasil validasi menunjukkan nilai *Overall Accuracy* sebesar 69,1%, *Precision* sebesar 76,1%, *Recall* sebesar 85,4%, dan F1-Score sebesar 80,5%. Nilai *Recall* yang tinggi menunjukkan bahwa CCD berhasil mengidentifikasi sebagian besar lokasi kerusakan yang teramati di lapangan. Temuan ini menunjukkan bahwa CCD berbasis citra Sentinel-1 memiliki potensi yang baik sebagai metode penilaian kerusakan secara cepat untuk mendukung manajemen bencana pasca gempa.

Kata Kunci: *coherence change detection, sentinel-1, synthetic aperture radar, penilaian kerusakan gempabumi, gempabumi Mamuju*

1. Pendahuluan

Indonesia sebagai daerah dengan tingkat keaktifan seismisitas yang tinggi akibat adanya pertemuan tiga lempeng dunia, dimana Sulawesi sebagai salah satu Pulau di Indonesia yang memiliki keaktifan tektonik yang kompleks. Daerah Sulawesi Barat, merupakan salah satu wilayah yang secara historis mengalami beberapa kali gempa bumi merusak. Tanggal 8 Januari 1984 gempa bumi dengan M 6.7 menimbulkan kerusakan dengan ratusan korban jiwa, tanggal 11 April 1976 gempa bumi dengan M 6.7 mengguncang Polewali Mandar yang menimbulkan tsunami dengan 13 orang korban jiwa, 23 Februari 1969 gempa bumi dengan M 6.9 menimbulkan tsunami di Maliaya, Taan, Tepalang dan Malunda menyebabkan 64 orang meninggal dan hilang serta 1287 rumah mengalami kerusakan. (BMKG, 2021). Tahun 2021, gempa bumi kembali mengguncang Sulawesi Barat pada tanggal 14 Januari 2021 dengan magnitude 5.7 pada pukul 16:35:50 WITA kemudian disusul dengan gempa bumi utama pada tanggal 15 Januari 2021 dengan magnitude M 6.2 pukul 18:28:21. (BMKG, 2021). Data dari BNPB menunjukkan bahwa korban meninggal dunia sebanyak 105 orang (10 orang di Kabupaten Majene dan 95 orang di kabupaten Mamuju), 3369 orang mengalami luka-luka dan 89.524 orang dievakuasi. (Supartoyo *et al.*, 2022). BNPB mengestimasi kerugian ekonomis dari kejadian ini mencapai Rp 831.9 miliar. (Gunawan *et al.*, 2022). Informasi mengenai tingkat kerusakan pasca gempa bumi perlu diperoleh secara cepat dan akurat untuk mendukung kegiatan tanggap darurat dan membantu dalam pengambilan keputusan dalam manajemen bencana. Metode survei lapangan merupakan metode yang umum digunakan dalam mengidentifikasi kerusakan pasca gempa bumi. Namun, dalam hal bencana yang cukup masif dapat menyebabkan sulitnya akses ke daerah terdampak. Dalam kondisi ini, metode penginderaan jauh dapat menjadi alternatif dalam membantu menyediakan informasi kerusakan yang dapat mencakup area-area terdampak bencana dalam waktu yang relatif singkat. Salah satu metode yang dapat dimanfaatkan dalam pemantauan bencana adalah *Syntethic Aperture Radar* (SAR) yang memiliki kemampuan merekam permukaan bumi tanpa pengaruh kondisi cuaca atau pencahayaan matahari. Salah satu Teknik SAR yang berkembang adalah pemanfaatan perubahan Koherensi atau *Coherence Change Detection* (CCD). Metode ini memanfaatkan perubahan nilai koherensi interferometri antara citra sebelum (pre-seismic) dan citra sesudah (co-seismic) kejadian bencana. Koherensi merupakan ukuran Tingkat kesamaan karakteristik hamburan radar dalam dua waktu akuisisi yang berbeda. Pada wilayah dengan perubahan signifikan pasca bencana, seperti runtuhnya bangunan, pergeseran permukaan tanah atau kerusakan infrastruktur lainnya, maka nilai koherensi secara umum akan mengalami penurunan karena adanya perubahan sifat hamburan radar pada objek yang diamati.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa CCD mampu digunakan untuk mendeteksi perubahan yang diakibatkan oleh berbagai jenis bencana, termasuk gempa bumi, tanah longsor, banjir, dan siklon tropis. Washaya *et al.* (2018) menunjukkan bahwa citra Sentinel-1 dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi perubahan pada kawasan perkotaan menggunakan pendekatan CCD secara cepat dan efisien. Selain itu, Tzouvaras *et al.* (2020) menemukan bahwa pendekatan *normalized coherence difference* memberikan kemampuan deteksi yang lebih baik dibandingkan perbedaan koherensi sederhana dalam mengidentifikasi

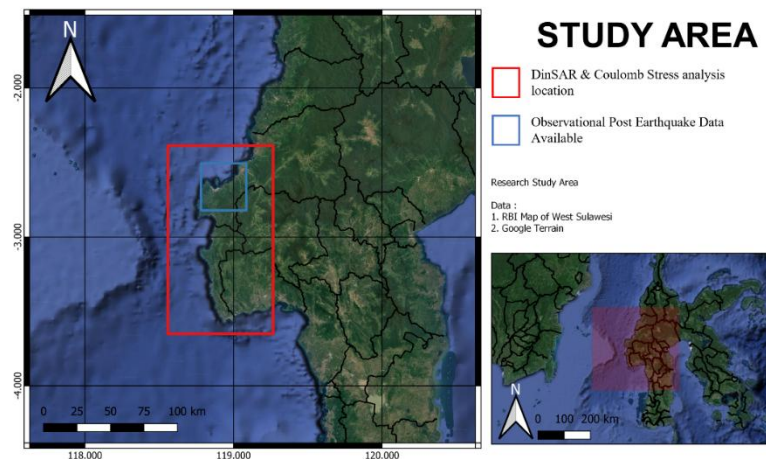
area yang terdampak longsor. Keunggulan lain dari CCD adalah kemampuannya dalam menghasilkan informasi kerusakan secara cepat dengan memanfaatkan data Sentinel-1 yang tersedia secara bebas dan memiliki periode ulang pengamatan yang relatif singkat. Meskipun demikian, interpretasi hasil CCD tetap memerlukan kehati-hatian karena perubahan nilai koherensi tidak selalu disebabkan oleh kerusakan bangunan. Faktor lain seperti perubahan vegetasi, aktivitas manusia, kelembapan tanah, maupun kondisi lingkungan dapat memengaruhi nilai koherensi dan menghasilkan indikasi perubahan yang tidak berkaitan langsung dengan dampak gempa bumi. Oleh sebab itu, validasi menggunakan data observasi lapangan tetap diperlukan untuk menilai tingkat keandalan hasil deteksi perubahan. Gempa bumi Mamuju pada tanggal 14 Januari 2021 dengan magnitudo Mw 6,2 menyebabkan kerusakan yang cukup luas di wilayah Kabupaten Mamuju dan Majene, Provinsi Sulawesi Barat. Peristiwa ini menimbulkan kerusakan pada bangunan permukiman, fasilitas umum, serta infrastruktur lainnya. Mengingat pentingnya informasi kerusakan yang cepat pada fase tanggap darurat, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode *Coherence Change Detection* (CCD) menggunakan citra Sentinel-1 dalam mengidentifikasi area yang mengalami perubahan pasca gempa. Hasil deteksi kemudian dibandingkan dengan data observasi kerusakan lapangan untuk mengevaluasi kemampuan CCD sebagai metode penilaian kerusakan pasca gempa secara cepat di wilayah terdampak gempa bumi.

Penelitian mengenai pemanfaatan CCD untuk penilaian kerusakan pasca gempa di Indonesia masih relatif terbatas, khususnya yang memanfaatkan data Sentinel-1 dan divalidasi menggunakan data observasi kerusakan lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan CCD dalam mendukung penentuan cepat kerusakan pasca gempa pada kasus Gempa bumi Mamuju 14 Januari 2021.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di wilayah Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat, yang terdampak oleh Gempa bumi Mamuju tanggal 14 Januari 2021. Secara geografis wilayah penelitian terletak pada kisaran koordinat 118.852° – 119.909° BT dan 2.655° – 2.700° LS. Gempa tersebut menyebabkan kerusakan pada bangunan permukiman, fasilitas umum, dan infrastruktur di beberapa kecamatan, terutama di wilayah Mamuju, Malunda, Tapalang, dan sekitarnya.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2. Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data citra radar Sentinel-1B yang diperoleh dari European Space Agency (ESA) melalui Copernicus Open Access Hub. Citra yang digunakan berupa produk Single Look Complex

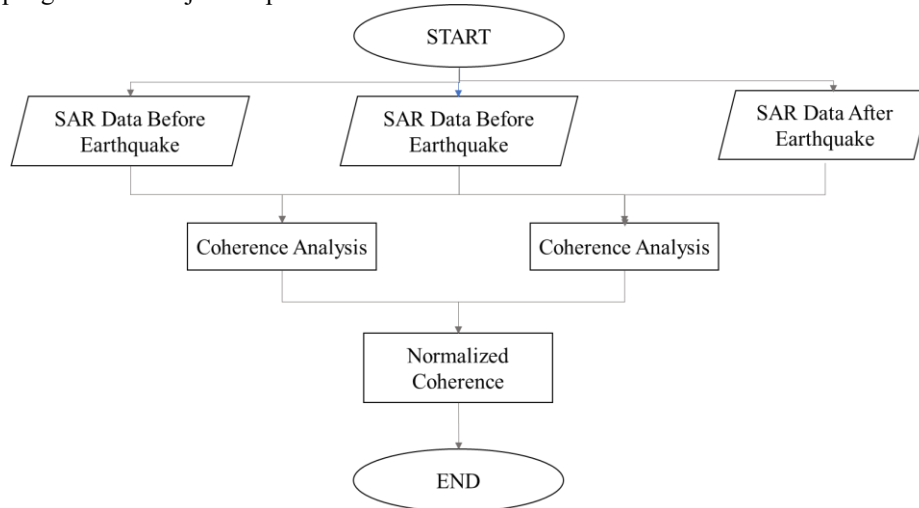
(SLC) dengan mode akuisisi Interferometri Wide Swath (IW) dan polarisasi VV. Untuk memperoleh perubahan koherensi akibat gempa bumi, digunakan dua pasangan citra yang terdiri atas pasangan pra-gempa (pre-seismic) dan pasangan saat terjadinya gempa (co-seismic). Selain itu, digunakan data observasi kerusakan lapangan sebagai data validasi hasil deteksi perubahan koherensi. Dalam Tabel 1. Disajikan informasi citra data Sentinel 1B yang digunakan.

Tabel 1. Informasi Citra Satelit Sentinel 1B yang Digunakan Dalam Penelitian

No	ID	Acquisition Date & Time	Acquisition Mode	Type	Orbit
1	S1B_IW_SLC_1SDV_20201227T102555_20201227T102622_024886_02F60F_277C	2022-12-27 102555Z	IW	SLC	Ascending
2	S1B_IW_SLC_1SDV_20210108T102554_20210108T102621_025061_02FBAA_DF1D	2021-01-08 102554Z	IW	SLC	Ascending
3	S1B_IW_SLC_1SDV_20210120T102554_20210120T102621_025236_030144_F377	2021-01-20 102554Z	IW	SLC	Ascending

2.3. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan metode *Coherence Change Detection* (CCD) yang memanfaatkan perubahan nilai koherensi interferometrik antara periode sebelum dan sesudah gempa bumi. Tahapan pengolahan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian Dalam Perhitungan Normalized Coherence

2.3.1. Penentuan Koherensi Interferometrik

Pasangan citra Sentinel-1B terlebih dahulu dikoregistrasi untuk memastikan kesesuaian posisi piksel antar citra. Setelah proses koregistrasi, dilakukan pembentukan interferogram dan perhitungan koherensi

menggunakan pasangan citra pra-gempa (27 Desember 2020 – 08 Januari 2021) dan pasangan citra saat gempa (08 Januari 2021 – 20 Januari 2021). Nilai koherensi dihitung berdasarkan hubungan kompleks antara dua citra SAR yang direpresentasikan oleh Persamaan (1).

$$\gamma = \frac{|S_1 S_2^*|}{\sqrt{S_1 S_1^* S_2 S_2^*}} \quad (1)$$

dimana γ adalah koherensi; S_1 adalah citra SAR pertama; S_2 adalah citra SAR kedua; S_1^* adalah konjugan kompleks citra pertama dan kedua.

Nilai koherensi berada pada rentang 0–1, dimana nilai mendekati 1 menunjukkan kondisi permukaan yang relatif stabil, sedangkan nilai mendekati 0 menunjukkan perubahan karakteristik hamburan radar yang signifikan.

2.3.2. Perhitungan Coherence Change Detection

Perubahan koherensi dihitung menggunakan pendekatan Normalized Difference Coherence (NDC) untuk mengurangi pengaruh variasi koherensi alami antar citra.

$$NDC = \frac{\gamma_{pre} - \gamma_{co}}{\gamma_{pre} + \gamma_{co}} \quad (2)$$

Nilai NDC berada pada rentang -1 hingga +1. Nilai positif menunjukkan penurunan koherensi setelah kejadian gempa yang mengindikasikan adanya perubahan permukaan, sedangkan nilai negatif menunjukkan peningkatan koherensi atau tidak adanya perubahan signifikan. Pada penelitian ini, piksel dengan nilai $NDC > 0$ diklasifikasikan sebagai area mengalami perubahan, sedangkan piksel dengan nilai $NDC \leq 0$ diklasifikasikan sebagai area tidak mengalami perubahan.

2.4. Validasi Hasil CCD

Evaluasi kemampuan CCD dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi perubahan koherensi terhadap data observasi kerusakan lapangan. Data lapangan terdiri atas empat kategori kerusakan, yaitu rusak berat, rusak sedang, rusak ringan, dan tidak rusak. Untuk keperluan evaluasi biner dan keterbatasan citra dalam menentukan kerusakan struktural seperti keretakan dinding yang tidak mempengaruhi sinyal hamburan balik radar, kategori rusak berat dan rusak sedang dikelompokkan sebagai kelas "rusak", sedangkan kategori rusak ringan dan tidak rusak dikelompokkan sebagai kelas "tidak rusak". Kinerja metode CCD dievaluasi menggunakan *confusion matrix* yang terdiri atas *True Positive* (TP), *False Positive* (FP), *False Negative* (FN), dan *True Negative* (TN). Berdasarkan matriks tersebut dihitung nilai *Overall Accuracy*, *Precision*, *Recall* dan *F1-Score* menggunakan Persamaan (3)–(6). *Overall Accuracy* menunjukkan persentase keseluruhan data yang berhasil diklasifikasikan dengan benar.

$$OA = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (3)$$

Precision menunjukkan proporsi area yang terdeteksi mengalami perubahan oleh CCD dan benar-benar merupakan lokasi kerusakan berdasarkan observasi lapangan.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4)$$

Recall menunjukkan kemampuan CCD dalam mengidentifikasi seluruh lokasi kerusakan yang teramati di lapangan.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5)$$

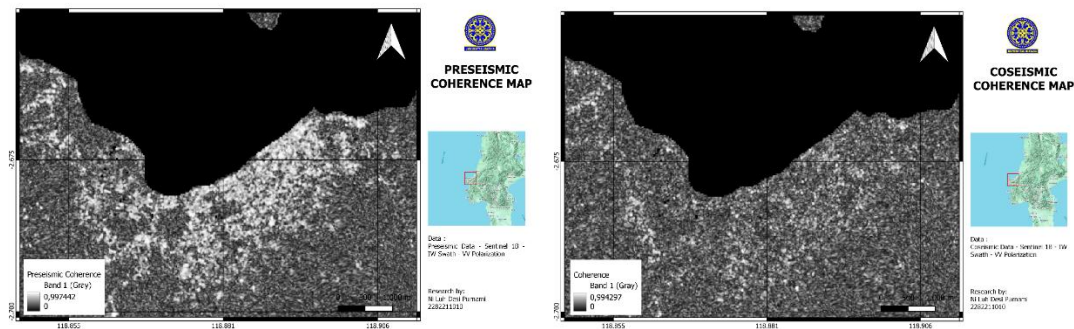
F1-Score merupakan rata-rata harmonik antara *Precision* dan *Recall* yang digunakan untuk menilai keseimbangan kedua metrik tersebut.

$$F1\ Score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (6)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Distribusi Koherensi Sebelum dan Sesudah Gempa Bumi

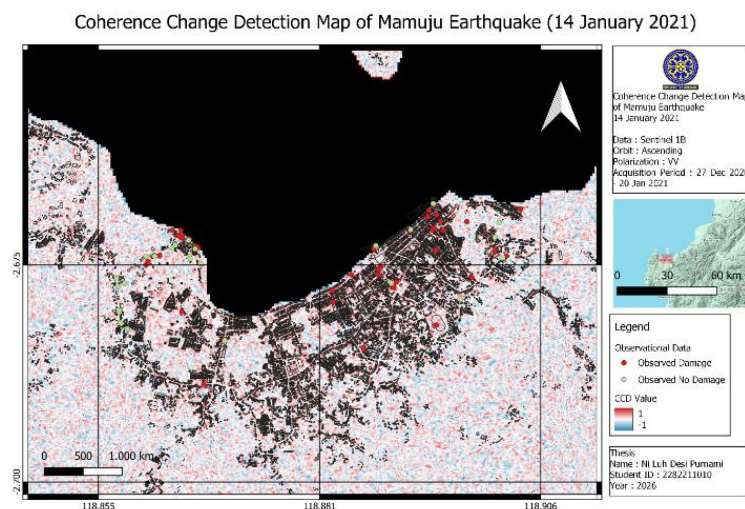
Nilai koherensi interferometrik dihitung menggunakan pasangan citra pre-seismic tanggal 27 Desember 2020–08 Januari 2021 dan pasangan citra co-seismic tanggal 08 Januari 2021–20 Januari 2021. Secara umum, wilayah perkotaan dan kawasan terbangun menunjukkan nilai koherensi yang relatif tinggi pada pasangan pra-gempa karena karakteristik hamburan radar yang cenderung stabil dari waktu ke waktu. Sebaliknya, area yang didominasi vegetasi menunjukkan nilai koherensi yang lebih rendah akibat perubahan struktur kanopi dan pengaruh kondisi lingkungan. Pada pasangan co-seismic, terjadi penurunan nilai koherensi di beberapa wilayah yang terdampak gempa bumi, khususnya pada area dengan laporan kerusakan bangunan. Penurunan koherensi ini mengindikasikan adanya perubahan karakteristik hamburan radar yang dapat disebabkan oleh kerusakan bangunan, deformasi permukaan, maupun perubahan kondisi lingkungan yang dipicu oleh gempa bumi).



Gambar 3. Perbandingan Koherensi Citra Sebelum Gempa Bumi (Pre-Seismic) dan Setelah Gempa Bumi (Co-Seismic) Tampak Adanya Penurunan Koherensi pada Citra Pasca Gempa Bumi

3.2. Validasi Hasil CCD

Peta *Coherence Change Detection* (CCD) diperoleh dari perhitungan *Normalized Difference Coherence* antara koherensi *pre-seismic* dan koherensi *co-seismic*. Nilai CCD berada pada rentang -1 hingga $+1$, dimana nilai positif menunjukkan terjadinya penurunan koherensi setelah kejadian gempa bumi.



Gambar 4. Peta *Coherence Change Detection* di Overlay Terhadap Data Kerusakan Hasil Observasi

3.3. Validasi dengan Menggunakan Data Lapangan

Kemampuan CCD dalam mengidentifikasi area terdampak dievaluasi menggunakan data observasi kerusakan lapangan. Kategori rusak berat dan rusak sedang dikelompokkan sebagai kelas rusak, sedangkan kategori rusak ringan dan tidak rusak dikelompokkan sebagai kelas tidak rusak. Berdasarkan hasil perbandingan antara CCD dan data observasi lapangan diperoleh nilai.

- *True Positive* (TP) = 35
- *False Positive* (FP) = 11
- *False Negative* (FN) = 6
- *True Negative* (TN) = 3

Dari hasil tersebut diperoleh nilai *Overall Accuracy* sebesar 62.8%, *Precision* sebesar 66.7%, *Recall* sebesar 86.3%, dan F1-Score sebesar 75.2%. Nilai *Recall* yang tinggi menunjukkan bahwa CCD berhasil mengidentifikasi sebagian besar lokasi kerusakan yang teramati di lapangan. Hanya sebagian kecil titik kerusakan yang tidak terdeteksi oleh metode ini, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai *False Negative* yang relatif rendah. Sementara itu, nilai *Precision* yang lebih rendah dibanding *Recall* menunjukkan adanya sejumlah area yang teridentifikasi mengalami perubahan oleh CCD tetapi tidak tercatat sebagai lokasi kerusakan berdasarkan data observasi lapangan. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya *false alarm* yang kemungkinan berasal dari perubahan permukaan non-struktural.

3.4. Evaluasi Kemampuan CCD untuk Penentuan Cepat Kerusakan Pasca Gempa

Hasil penelitian menunjukkan bahwa CCD memiliki kemampuan yang cukup baik sebagai metode identifikasi cepat area terdampak gempa bumi. Nilai *Recall* yang mencapai 86.3% menunjukkan bahwa sebagian besar lokasi kerusakan berhasil terdeteksi melalui perubahan koherensi citra Sentinel-1. Keunggulan utama metode CCD terletak pada kemampuannya menghasilkan informasi secara cepat dengan cakupan area yang luas tanpa memerlukan survei lapangan pada tahap awal tanggap darurat. Selain itu, ketersediaan data Sentinel-1 yang bebas biaya dan tidak dipengaruhi oleh kondisi cuaca menjadikan metode ini berpotensi digunakan untuk mendukung pemetaan kerusakan pasca bencana di wilayah Indonesia.

Meskipun demikian, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa CCD tidak secara langsung mendeteksi kerusakan bangunan, melainkan mendeteksi perubahan karakteristik hamburan radar pada permukaan bumi. Oleh karena itu, perubahan koherensi yang teridentifikasi tidak selalu berkaitan dengan kerusakan struktural. Beberapa jenis kerusakan struktur, yang tidak menimbulkan perubahan hamburan balik pada citra radar tidak dapat terdeteksi melalui citra. Faktor-faktor seperti perubahan vegetasi, kelembapan tanah, aktivitas manusia, maupun variasi kondisi lingkungan lainnya dapat menghasilkan penurunan koherensi yang serupa dengan dampak kerusakan akibat gempa bumi. Secara keseluruhan, nilai *Overall Accuracy* sebesar 62.8% dan F1-Score sebesar 75.2% menunjukkan bahwa CCD memiliki potensi yang baik sebagai alat pendukung penentuan cepat area terdampak gempa bumi. Namun demikian, untuk meningkatkan akurasi identifikasi kerusakan bangunan, hasil CCD sebaiknya dikombinasikan dengan data pendukung lain seperti inventaris bangunan, citra optik resolusi tinggi, atau survei lapangan.

4. Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa CCD berbasis citra Sentinel-1 memiliki potensi sebagai metode rapid *damage assessment* pasca gempa di wilayah Indonesia, khususnya pada tahap awal respons bencana yang memerlukan informasi kerusakan secara cepat dan mencakup area yang luas.

Daftar Pustaka

- BMKG. (2021). Laporan Pendahuluan Hasil Survei Gempa bumi M 6.2 Mamuju-Majene 16 – 22 Januari 2021. <https://content.bmkg.go.id/wp-content/uploads/Lap-Survei-Mamuju-Majene.pdf>
- Gunawan, E., Kholil, M., & Widiyantoro, S. (2022). Coseismic slip distribution of the 14 January 2021 Mamuju-Majene, Sulawesi, earthquake derived from GPS data. *Natural Hazards*, 111(1), 939–948. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05084-y>

- Supartoyo, Suwargana, H., & Karim, A. (2022). Dampak Gempa Bumi Di Sulawesi Barat Dan Upaya Mitigasi. *Jurnal Geominerba (Jurnal Geologi, Mineral Dan Batubara)*, 7(2), 104–118. <https://doi.org/10.58522/ppsdm22.v7i2.100>
- Tzouvaras, M., Danezis, C., & Hadjimitsis, D. G. (2020). Small-scale landslide detection using Sentinel-1 interferometric SAR coherence. *Remote Sensing*, 12(10), 1560. <https://doi.org/10.3390/rs12101560>
- Washaya, P., Balz, T., & Mohamadi, B. (2018). Coherence change detection with Sentinel-1 for natural and anthropogenic disaster monitoring in urban areas. *Remote Sensing*, 10(7), 1026. <https://doi.org/10.3390/rs10071026>.