

APLIKASI FILTER EEMD UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS DATA VLF-EM STUDI KASUS: ESTIMASI LOKASI GORONG-GORONG DI KAMPUS ITS SURABAYA

¹Yekti Widyaningrum, ²A.M. Miftahul Huda, ³Sungkono

¹Jurusan Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung

²Program Studi Instrumentasi Elektronika MIGAS, Sekolah Tinggi Teknologi MIGAS Balikpapan

³Jurusan Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

e-mail: widyaningrum_yekti@live.com

Abstrak. Eksplorasi bawah permukaan menggunakan Very Low Frequency Electromagnetics (VLF-EM) telah dilakukan untuk menentukan rongga bawah tanah (gorong-gorong). Untuk mempertajam hasil eksplorasi dan mereduksi gangguan diaplikasikan filter EEMD. Data hasil filter diinterpretasikan secara kualitatif menggunakan filter Karous-Hjelt. Hasil Interpretasi filter Karous-Hjelt menunjukkan bahwa anomali bawah permukaan terdapat pada 25-35 meter dari titik pengukuran awal dan kedalaman 3-6 meter. Anomali tersebut menyatakan lokasi gorong-gorong di lokasi pengukuran. .

Kata Kunci: filter; EEMD; gorong-gorong.

Abstract. *Underground exploration using Very Low Frequency Electromagnetics (VLF-EM) has been carried out to determine the underground cavity (culvert). To sharpen the results of exploration and reduce noise, an EEMD filter is applied. Filter data results are interpreted qualitatively using the Karous-Hjelt filter. The results of the Interpretation of the Karous-Hjelt filter show that subsurface anomalies are available at 25-35 meters from the initial measuring point and 3-6 meters deep. The anomaly states the location of the culvert at the measurement location.*

Keywords: filter; EEMD; culverts.

PENDAHULUAN

Gorong-gorong merupakan salah satu komponen utama dalam system drainase, khususnya di daerah padat bangunan. Gorong-gorong tersebut berfungsi untuk mengalirkan air hujan yang jatuh tetapi tidak dapat diserap, sehingga air tersebut akan dialirkan menuju ke sungai. Dengan demikian, air tersebut tidak akan menggenang di sekitar bangunan. Oleh karena itu, penentuan lokasi gorong-gorong menjadi penting apabila terjadi kerusakan dan akan memperbaikinya. Selain itu, dengan mengetahui lokasi gorong-gorong dapat dilakukan pemeriksaan tentang pencemaran air. VLF-EM merupakan metode geofisika yang sesuai dan aman terhadap lingkungan untuk menentukan lokasi gorong-gorong. Metode ini merupakan metode elektromagnetik pasif yang bekerja menggunakan frekuensi rendah antara 15-30 kHz. Selain itu, metode ini telah banyak diterapkan oleh ahli geofisika selama lebih dari setengah abad. Akan tetapi, data hasil pengukuran VLF-EM sering

bercampur dengan noise. Hal ini menyebabkan perlunya dilakukan peningkatan kualitas data tersebut, sehingga data yang didapatkan mampu mendekati representasi kondisi bawah permukaan yang sesungguhnya. Jeng dkk (2009) menyatakan bahwa data VLF-EM yang telah tesaring dapat menghasilkan model bawah permukaan yang lebih terpercaya. Berdasarkan hal tersebut, di dalam artikel ini digunakan penyaring data yaitu ensemble empirical mode decomposition (EEMD) untuk data VLF-EM sebagai sebuah filter bank to menghasilkan sinyal yang memberikan informasi geologi yang signifikan.

Lokasi Akuisisi Data

Secara astronomi, Kota Surabaya terletak diantara 112^o.36' - 112^o.54' Bujur Timur dan 7^o21' Lintang Selatan. Di sisi sebelah Timur dan Utara Kota Surabaya berbatasan dengan Selat Madura, sedangkan di sisi selatan berbatasan dengan Kabupaten Sidoarjo dan di sebelah Barat berbatasan

dengan Kabupaten. Sebagian besar wilayah Kota Surabaya merupakan dataran rendah dengan ketinggian antara 25-50 meter di atas permukaan laut.

Kampus ITS terletak di Kota Surabaya bagian Timur. Area ini merupakan dataran rendah yang hanya memiliki ketinggian 3-6 meter di atas permukaan laut, sehingga pengaturan sistem drainase menjadi hal penting untuk dilakukan. Pengaturan sistem drainase di kawasan kampus ini juga dapat membantu untuk memperlancar aliran air khususnya di daerah Surabaya bagian Timur. Selain itu, struktur tanah di kawasan kampus ITS dan sekitarnya merupakan daerah rawa yang terdiri dari tanah lempung dimana tanah jenis ini bersifat cenderung basah dan rapuh. Oleh karena itu, estimasi lokasi dari gorong-gorong perlu untuk dilakukan dengan hati-hati. Di dalam artikel ini, pengukuran lapangan dilakukan di depan area Fakultas Ilmu Alam.

Metode VLF-EM

Metode VLF-EM merupakan metode geofisika yang dikenal sederhana untuk dilakukan serta dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi dangkal pada daerah yang tidak rata (Paál, 1965; Santos, 2006; Bernard and Valla, 1991; Jeng dkk, 2004). Walaupun metode ini bekerja berdasarkan frekuensi, metode ini tidak memiliki pemancar frekuensi sendiri. Pemancar berada jauh dari lokasi pengukuran, sehingga dalam proses pengukuran menggunakan sinyal berupa gelombang elektromagnetik yang dipantulkan oleh lapisan Ionosfer. Sinyal VLF-EM menjalar sebagai gelombang tanah sekaligus gelombang pantul di antara permukaan bumi dan lapisan Ionosfer. Sinyal ini berupa medan magnetik yang didefinisikan sebagai medan magnetik utama. Apabila di bawah permukaan terdapat material konduktor, maka medan magnet utama akan menginduksi material tersebut sehingga timbul arus sekunder (arus Eddy) yang menghasilkan medan magnet, disebut medan magnet sekunder. Data terukur pada dasarnya disebut In-phase dan Quadrature dimana keduanya merupakan dua komponen utama untuk menentukan karakteristik kelistrikan dari material bawah permukaan. Metode ini pada awalnya digunakan sebagai survei lapangan pendahuluan dikarenakan prosedur yang ketat dan hasil resolusi yang kasar, karena hanya interpretasi kualitatif yang dapat dilakukan. Akan tetapi, pada akhirnya survei dengan metode VLF-EM mampu menghasilkan

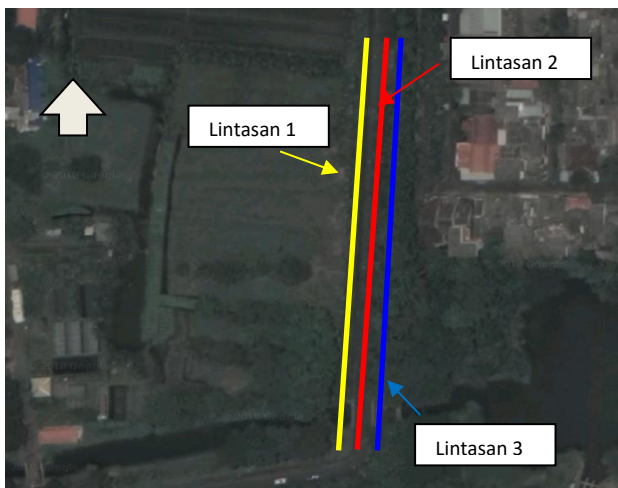
model struktur bawah permukaan yang lebih akurat dan lebih dapat dipercaya (Beamish, 1994; Beamish, 2000; Santos, 2006). Bagaimanapun juga, keberhasilan dari interpretasi secara kuantitatif dan pemodelan inversi dari metode ini bergantung pada kualitas datanya (Jeng dkk, 2009). Pada kenyataannya, kualitas data VLF-EM sering menurun disebabkan oleh berbagai jenis derau (*noise*) seperti derau geologi yang disebabkan oleh sinyal VLF-EM sendiri (Everett and Weiss, 2002) dan latar dari gelombang Elektro-Magnetik. Derau utama bagi sinyal VLF-EM berasal dari sumber eksternal yang dihasilkan oleh radiasi medan Elektro-Magnetik, khususnya saat petir berada di atmosfer baik secara regional maupun keseluruhan.

Penyaring EEMD

Metode aplikasi (*filtering*) yang digunakan di dalam artikel ini didasarkan pada EEMD (*ensemble empirical mode decomposition*). Metode aplikasi EEMD merupakan perbaruan dari teknik analisis dasar EMD (*empirical mode decomposition*) yang diperkenalkan oleh Huang dkk (1998) untuk merepresentasikan sinyal non-stasioner secara adaptif sebagai komponen *sums of zero* modulasi rata-rata amplitudo dan modulasi frekuensi (Flandrin dkk, 2004). Penyaring EEMD merupakan versi revisi dari EMD. Penyaring ini memadukan analisa konsep noise-assisted dengan metode penyaring EMD. EEMD merepresentasikan peningkatan yang substansial terhadap EMD. Perbaruan ini membuat metode EMD menjadi lebih efektif untuk menganalisa data non-linier dan non-stasioner (Wu and Huang, 2009). Dengan memanfaatkan teknik yang dikembangkan tersebut, data VLF-EM yang didapatkan kemudian dipecah menjadi beberapa bentuk diskrit dari fungsi mode intrinsik (IMF) tanpa mengganggu mode *mixing problem*, sehingga didapatkan sinyal asli yang tercampur oleh derau (*noise*) non-linier.

METODOLOGI

Untuk mendapatkan data yang relevan, Pengukuran dilakukan pada 3 lintasan dengan spasi 5 meter pada masing-masing lintasan dan jarak antar lintasannya sebesar 5 meter. Pengukuran dilakukan di depan area Fakultas Ilmu Alam kampus ITS Surabaya. Data pengukuran tersebut terdiri dari komponen In-Phase dan quadrature yang selanjutnya didekomposisi menggunakan penyaring EEMD .



Gambar 1. Denah Lintasan Pengukuran

Metode aplikasi yang digunakan dalam analisis data penelitian ini yaitu dengan pendekatan Ensemble Empirical Mode Decomposition (EEMD). Metode EEMD merupakan revisi dari teknik analisis dasar EMD (Empirical Mode Decomposition). Metode EMD telah banyak digunakan untuk analisis data baik dalam komunitas ilmuwan maupun teknik pada beberapa tahun terakhir dan metode tersebut terbukti cukup efektif dalam mengekstrak sinyal asli dari sinyal gangguan. EEMD merupakan versi perbaruan dari EMD dengan memadukan konsep analisis data sinyal pengganggu dan metode EMD yang menunjukkan perkembangan penting dibandingkan EMD sebelumnya. Perbaikan ini membuat EMD menjadi alat yang handal untuk analisis data non-linier dan non stasioner (Wu dan Huang, 2009). Dengan menggunakan teknik yang berkembang ini, kami memisahkan data murni VLF-EM menjadi jumlah diskrit pada mode fungsi intrinsik tanpa mengganggu mode pencampuran masalah, meningkatkan kualitas sinyal asli dari latar gangguan non-linier.

Selanjutnya Data VLF-EM diinterpretasikan secara kualitatif menggunakan penyaring Fraser dan Karous-Hjelt. Interpretasi kualitatif dari data VLF-EM berdasar pada prosedur aplikasi. Aplikasi Fraser dan Karous-Hjelt adalah dua metode yang banyak digunakan untuk memproses data VLF-EM (Fraser, 1969; Karous-Hjelt, 1983). Metode aplikasi Fraser

mengubah titik pertemuan nol menjadi puncak kenaikan sinyal dari struktur konduktif. Pusat dari struktur anomali kemungkinan turun tajam dibawah puncak dari data saringan Fraser (data asli dan komponen in-phase). Karakteristik in-phase menunjukkan puncak positif dari intensitas dan ketajaman yang berbeda, serta memberikan gambaran tentang dangkal atau dalamnya keberadaan konduktor. Data saringan Fraser dan rapat arus semu relatif mengindikasikan keberadaan dangkal atau dalamnya zona konduktif yang melalui area mengamatan sepanjang arah bahan konduktif yang diperkirakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi EEMD Pada Data Vlf-EM

Gambar 1 a, 2 a, dan 3 a menunjukkan rekaman data asli hasil pengukuran komponen In-Phase dan Quadrature. Data tersebut menunjukkan bahwa hanya sedikit informasi yang dapat diambil karena masih terbungkus oleh latar belakang energi frekuensi rendah. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kualitas sinyal, kedua data tersebut diproses ulang dengan menggunakan EEMD. Akan tetapi, untuk membuat dekomposisi ini efektif, penting juga untuk mengurangi efek gangguan dari penambahan noise dalam hasil dekomposisi untuk ukuran kecil. Data aktual pada penambahan amplitudo noise adalah kasus yang saling berhubungan. Data ini didominasi oleh frekuensi sinyal rendah sehingga amplitudo noise yang lebih besar sangat dibutuhkan. Secara matematis, proses ini dapat dituliskan sebagai berikut

$$W_i(t) = w(t) + \beta y_i(t) \quad (1)$$

dengan:

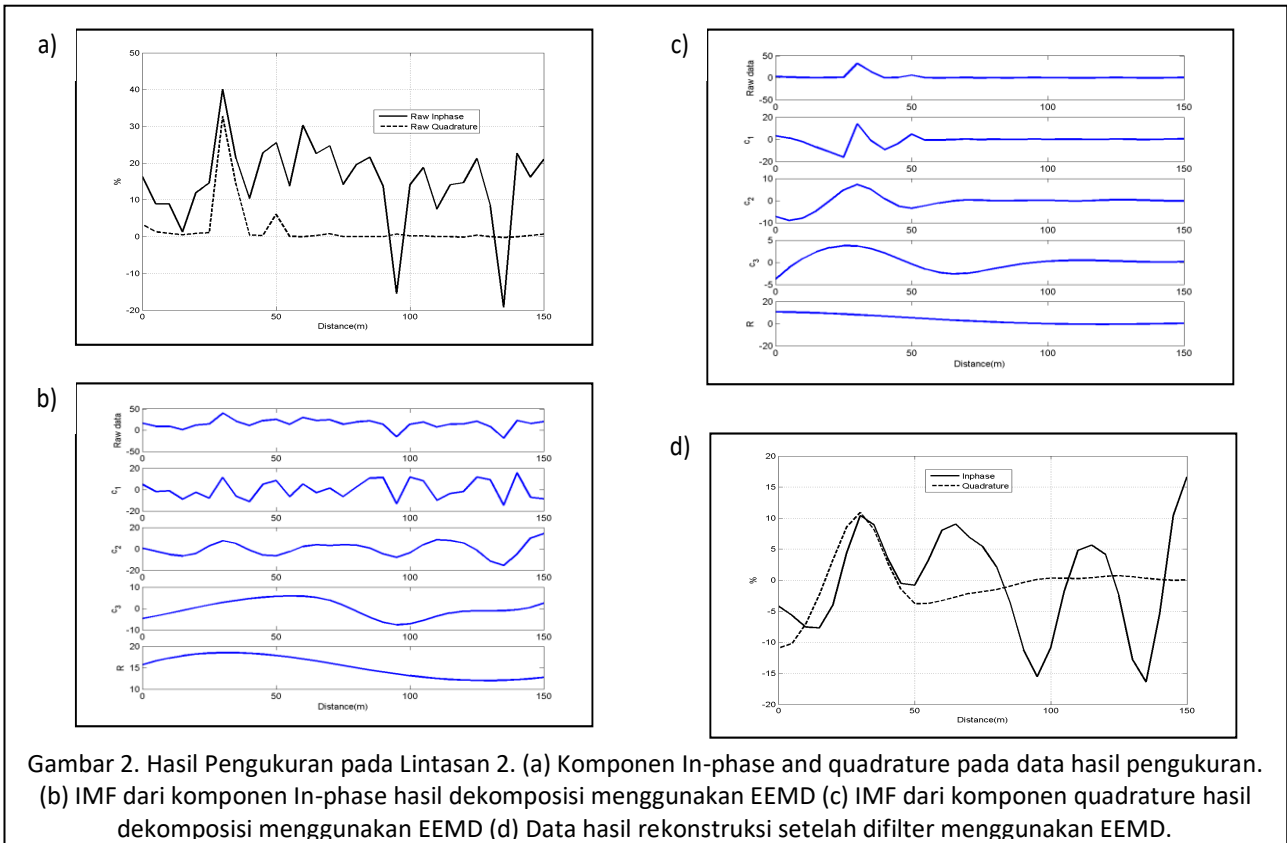
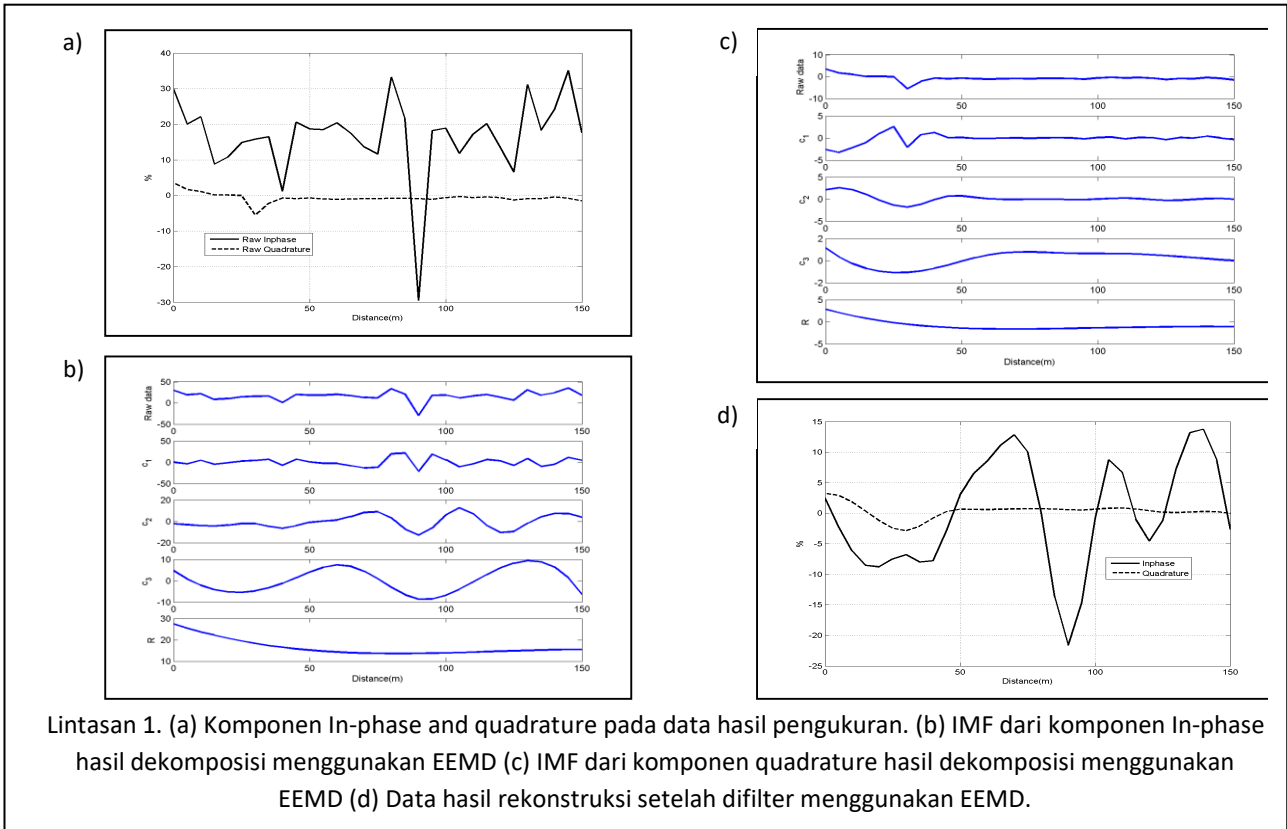
$w(t)$ = satu set data pengukuran

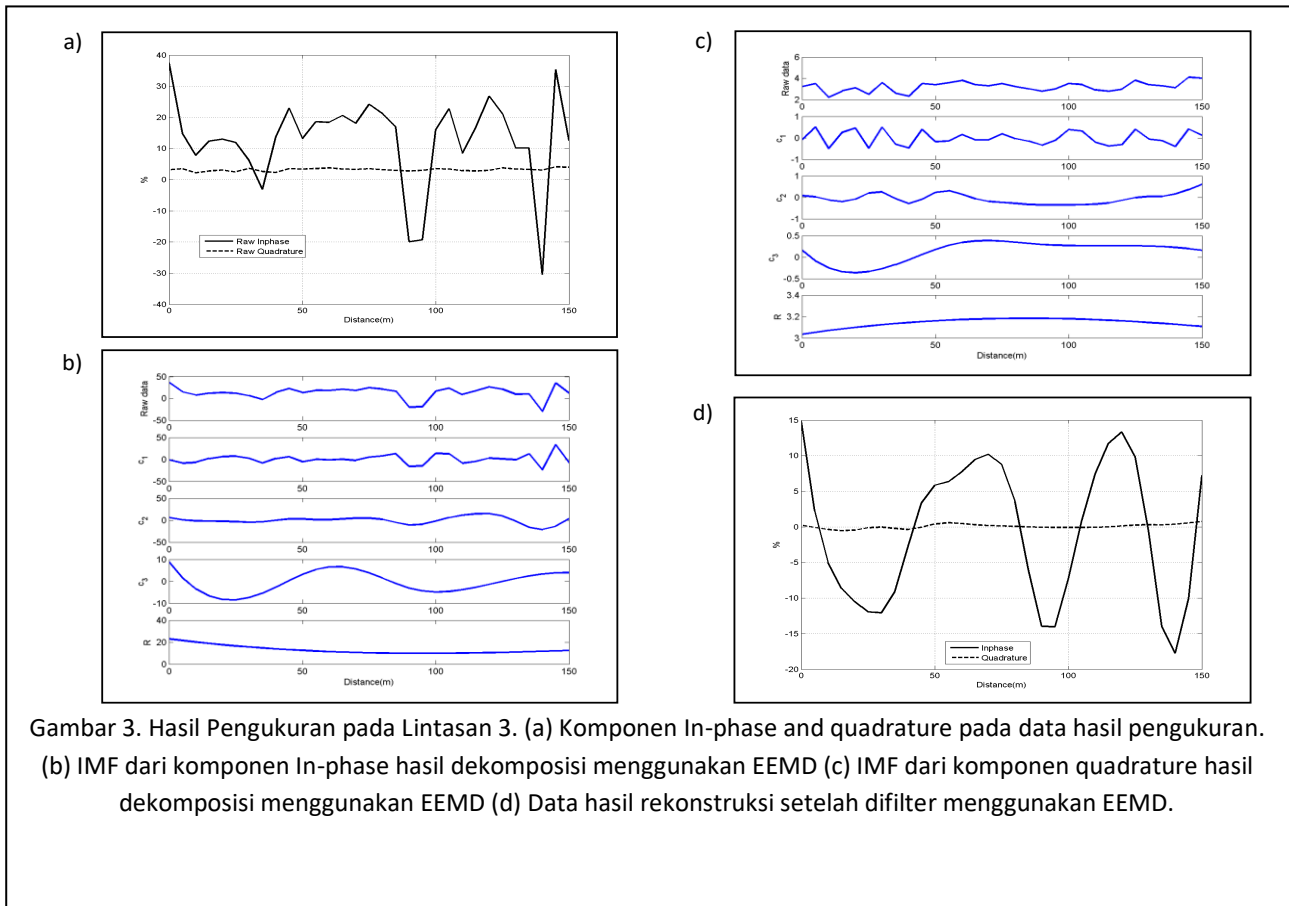
$Y_i(t)$ = *white noise*

$W_i(t)$ = data yang telah ditambahkan *white noise*

i = variasi *white noise* dengan amplitudo yang sama

β = nilai standar deviasi amplitudo penambahan *noise*.





Gambar 3. Hasil Pengukuran pada Lintasan 3. (a) Komponen In-phase and quadrature pada data hasil pengukuran. (b) IMF dari komponen In-phase hasil dekomposisi menggunakan EEMD (c) IMF dari komponen quadrature hasil dekomposisi menggunakan EEMD (d) Data hasil rekonstruksi setelah difilter menggunakan EEMD.

Di dalam penelitian ini dekomposisi data menghasilkan 4 data IMF, yakni c_1 , c_2 , c_3 dan R . Data yang terakhir merupakan tren dari Wu dan Huang (2009) menyarankan nilai aktual penambahan amplitudo *noise* sebesar 0.2 dengan *white noise* yang berbeda-beda akan didapatkan hasil yang bagus dalam banyak kasus. Dalam kasus kami, kumpulan data terekam terdapat sedikit sinyal dengan frekuensi rendah.

Selanjutnya dekomposisi data dilakukan oleh aplikasi EEMD yang menghasilkan data IMF yang secara matematis dituliskan sebagai berikut

$$X(t) = \sum_{k=1}^n c_k + r_n \quad (2)$$

dengan:

$X(t)$ = data yang telah ditambahkan *white noise*

c_k = komponen IMF

r_n = residu / tren

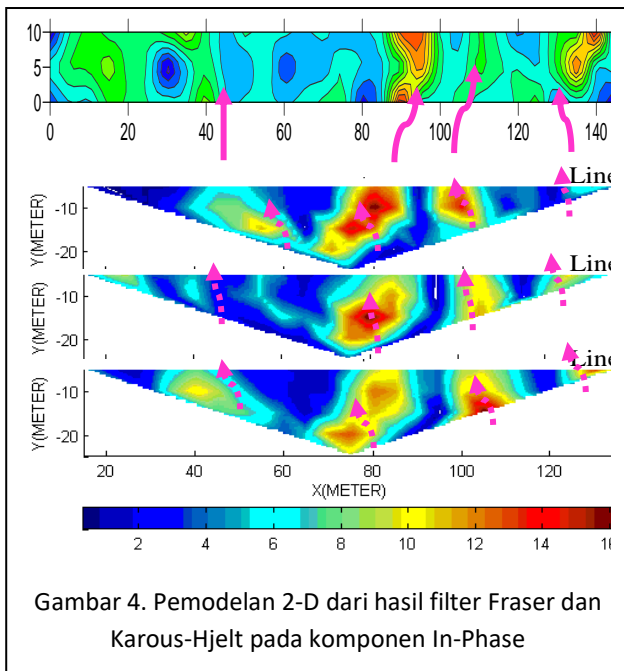
k = nomor pengulangan

n = banyaknya pengulangan

Di dalam penelitian ini dekomposisi data menghasilkan 4 data IMF, yakni c_1 , c_2 , c_3 dan R .

Data yang terakhir merupakan tren dari keseluruhan data, disebut data residu. Data IMF yang direkonstruksi adalah data c_2 dan c_3 , hal ini dikarenakan data c_1 menunjukkan masih terdapat sinyal *noise*. Hasil dekomposisi dari in-phase dan kuadratur ditunjukkan pada grafik 1 b dan c untuk data lintasan 1; grafik 2 b dan c untuk lintasan 2; dan grafik 3 b dan c untuk lintasan 3. Dalam penelitian ini, digunakan 100 kali pengulangan supaya didapatkan hasil yang memuaskan.

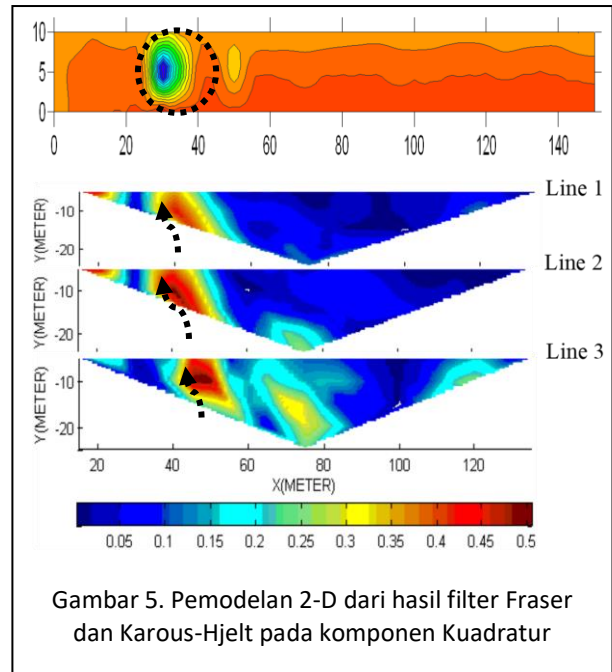
Gambar 1d, 2d, dan 3d menunjukkan hasil rekonstruksi data EEMD dari komponen in-phase dan kuadratur. Hasil ini menunjukkan bahwa aplikasi dengan metode EEMD dapat meningkatkan kualitas data VLF-EM sebelumnya (Gambar 1 a, 2 a, dan 3 a).



Gambar 4. Pemodelan 2-D dari hasil filter Fraser dan Karous-Hjelt pada komponen In-Phase

Pada komponen in-phase di lintasan 1, 2 dan 3 ditunjukkan oleh Gambar 4. Bagian pertama pada gambar tersebut merupakan hasil pemodelan 2 D dengan sudut pandang atas (filter Fraser). Gambar tersebut menunjukkan daerah dengan resistivitas tinggi (daerah dengan lingkaran putus-putus berwarna pink) terletak pada jarak 25-35 meter dari titik awal pengukuran. Sedangkan dua nilai resistivitas tinggi juga terdapat pada jarak 80 meter dan antara 120-140 meter dari titik awal pengukuran dimungkinkan bukan merupakan anomali yang dicari. Hal ini diperkuat oleh data pada komponen kuadatur (gambar 5 bagian pertama) yang ditunjukkan oleh lingkaran putus-putus berwarna pink. Meskipun demikian, hasil pada komponen In-phase dimungkinkan dipengaruhi oleh gangguan karena adanya kabel listrik yang melintang di sepanjang lokasi pengukuran. Hasil-hasil tersebut hanya menunjukkan posisi anomali secara horizontal di permukaan. Oleh karena itu, ketiga bagian gambar berikutnya yang merupakan hasil pemodelan 2 D penampang lapisan bawah permukaan pada lintasan 1, 2 dan 3 menunjukkan posisi anomali secara vertikal. Ketiga gambar tersebut menunjukkan anomali pada lintasan 1, 2 dan 3 terletak pada kedalaman sekitar 5-15 meter. Hasil pada komponen in-phase dan kuadatur menunjukkan posisi kedalaman anomali yang sama

(gambar 4 dan 5 bagian kedua). Keseluruhan hasil pada komponen in-phase dan kuadatur menunjukkan posisi anomali yang sama baik secara vertikal maupun horizontal.



Gambar 5. Pemodelan 2-D dari hasil filter Fraser dan Karous-Hjelt pada komponen Kuadatur

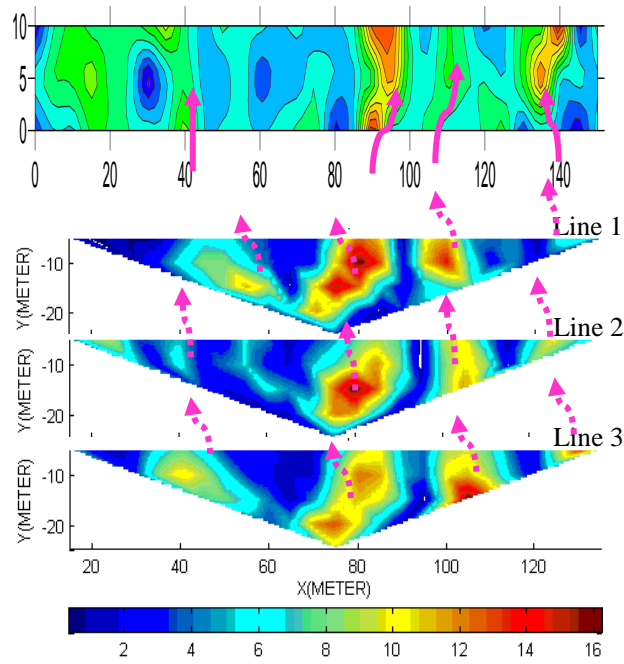
KESIMPULAN

Sebagian besar data yang didapatkan dari pengukuran dengan metode VLF-EM bercampur dengan sinyal gangguan (noise). EEMD merupakan metode aplikasi (filter) yang sesuai, stabil dan dapat dipercaya untuk merekonstruksi data tersebut sehingga didapatkan data yang lebih halus dan lebih baik. Data yang telah direkonstruksi tersebut selanjutnya diinterpretasikan secara kualitatif setelah diproses dengan filter Fraser dan Karous-Hjelt. Hasilnya didapatkan estimasi posisi gorong-gorong yaitu pada jarak 25-35 meter dari titik awal permukaan (horizontal) dan pada kedalaman 5-15 meter di bawah permukaan (vertikal).

DAFTAR PUSTAKA

- Beamish, D. (1994), "Two-dimensional, regularised inversion of VLF data", *Journal of Applied Geophysics*, Vol.32, No.4, hal. 357–374. [http://doi.org/10.1016/0926-9851\(94\)90034-5](http://doi.org/10.1016/0926-9851(94)90034-5).
- Everett, M.E. dan Weiss, C.J. (2002), "Geological Noise in Near-Surface Electromagnetic Induction Data", *Geophysical Research Letters*, Vol.29, No.1, hal. 10-1-10-4. <http://doi.org/10.1029/2001GL014049>.
- Flandrin, P., Rilling, G. dan Goncalves, P. (2004), "Empirical mode decomposition as a filter bank", *IEEE Signal Processing Letters*, Vol.11, No.2, hal. 112–114. <http://doi.org/10.1109/LSP.2003.821662>.
- Fraser, D. (1969), "Contouring of vlf-em data", *GEOPHYSICS*, Vol.34, No.6, hal. 958–967. <http://doi.org/10.1190/1.1440065>.
- Huang, N.E., Shen, Z., Long, S.R., Wu, M.C., Shih, H.H., Zheng, Q., Yen, N.-C., Tung, C.C. dan Liu, H.H. (1998), "The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Spectrum for Nonlinear and Non-Stationary Time Series Analysis", *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Vol.454, No.1971, hal. 903–995. <http://doi.org/10.1098/rspa.1998.0193>.
- Jeng, Y., Lin, M., Chen, C. dan Wang, Y. (2007), "Noise reduction and data recovery for a VLF-EM survey using a nonlinear decomposition method", *GEOPHYSICS*, Vol.72, No.5, hal. F223–F235. <http://doi.org/10.1190/1.2752561>.
- Karous, M. dan Hjelt, S.E. (1983), "Linear Filtering of Vlf Dip-Angle Measurements*", *Geophysical Prospecting*, Vol.31, No.5, hal. 782–794. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1983.tb01085.x>.
- Monteiro Santos, F.A., Mateus, A., Figueiras, J. dan Gonçalves, M.A. (2006), "Mapping groundwater contamination around a landfill facility using the VLF-EM method — A case study", *Journal of Applied Geophysics*, Vol.60, No.2, hal. 115–125. <http://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2006.01.002>.
- Sungkono, Feriadi, Y., Husein, A., Prasetyo, H., Charis, M., Irawan, D., Rochman, J.P.G.N., Bahri, A.S. dan Santosa, B.J. (2018), "Assessment of Sidoarjo Mud Flow Embankment Stability Using Very Low Frequency Electromagnetic Method", *Environmental Earth Sciences*, Vol.77, No.5, hal. 196. <http://doi.org/10.1007/s12665-018-7333-6>.
- Wijayanto, T., Santosa, B.J., Warnana, D.D. dan Candra, A.D. (2015), "Penerapan Metode Very Low Frequency Electromagnet (Vlf-Em) Untuk Menafsirkan Bidang Longsoran, Studi Kasus Desa Jombok, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, Jawa Timur", *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol.16, No.3, hal. 11–15.
- Wu, Z. dan Huang, N.E. (2009), "Ensemble empirical mode decomposition: a noise-assisted data analysis method", *Advances in Adaptive Data Analysis*, Vol.01, No.01, hal. 1–41. <http://doi.org/10.1142/S1793536909000047>.
- Yadi, K., Warnana, D.D., Rochman, J.P.G.N., Sutra, N. dan Soemitro, R.A.A. (2017), "Deteksi Persebaran Air Lindi Menggunakan Inversi VLF-EM Studi Kasus TPA Ngipik", *Jurnal Geosaintek*, Vol.3, No.2, hal. 99–102. <http://doi.org/10.12962/j25023659.v3i2.2964>.

LAMPIRAN



Pemodelan 2-D dari hasil filter Fraser dan Karous-Hjelt pada komponen In-Phase