

Rekonstruksi Citra Berbasis Gelombang Mikro dengan Algoritma ART untuk Aplikasi Pendeteksian Kekeporosan Pohon

Alvita Maurizka dan Achmad Munir

Laboratorium Telekomunikasi Radio dan Gelombang Mikro
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10, Bandung
alvitamaurizka18@gmail.com

Abstrak— Pada makalah ini, desain dari sebuah sistem rekonstruksi citra menggunakan gelombang mikro diusulkan untuk aplikasi pendeteksi kekeporosan pohon. Sistem rekonstruksi yang diusulkan terdiri dari alat pemancar dan penerima gelombang mikro yang berputar mengelilingi suatu obyek, dalam hal ini sebuah kayu sebagai representatif pohon. Sistem ini memiliki tujuan akhir untuk mendapatkan citra dari struktur internal obyek tanpa harus merusak obyek itu sendiri dengan menggunakan gelombang mikro yang dihasilkan oleh Vector Network Analyzer. Antena penerima mengukur parameter S hasil transmisi gelombang mikro dari antena pengirim yang tersebar oleh obyek. Pengukuran yang dilakukan oleh antena penerima di sekeliling obyek ini kemudian diproses menggunakan algoritma Algebraic Reconstruction Technique (ART) untuk menghasilkan citra mengenai lokasi dan bentuk dari obyek. Hasil dari pendekatan ini dievaluasi menggunakan data sintesis hasil simulasi dan hasil awal dari rekonstruksi citra.

Kata kunci—rekonstruksi citra, gelombang mikro, algoritma ART, pendeteksi kekeporosan pohon.

I. PENDAHULUAN

Tomografi adalah sebuah teknik pencitraan suatu obyek dari data transmisi atau pantulan yang dikumpulkan dengan menerangi obyek dari berbagai arah. Teknik tomografi tersebut bertujuan untuk merekonstruksi gambar dari struktur internal suatu obyek tanpa merusak obyek tersebut, sehingga tomografi memerankan peran penting dalam berbagai bidang seperti medis dan industri kayu. Secara dasar, citra tomografi adalah sebuah rekonstruksi gambar dari hasil proyeksi yang diberikan pada sudut-sudut tertentu sehingga didapatkan informasi dari energi yang ditransmisikan selama proyeksi [1].

Beberapa teknik tomografi seperti x-ray, ultrasonik, dan *thermal* telah digunakan untuk mendeteksi kerusakan pada pohon. Teknik x-ray dapat digunakan untuk mendeteksi variasi masa jenis dan komposisi kayu, sedangkan teknik *thermal* tomografi mendeteksi dengan skala citra yang lebih besar yaitu *knot* kayu, distribusi kelembapan, arah jaringan kayu dsb [2]. Teknik tomografi ultrasonik berhasil mendeteksi anomali kecil struktur kayu, namun sinyal ultrasonik tidak berhasil memberikan hasil yang baik untuk area kayu yang mengalami kerusakan karena sinyal ultrasonik cenderung menghindari area tersebut [3]. Teknik tomografi berbasis gelombang mikro selain dapat memberikan informasi

mengenai persebaran konstanta dielektrik pada obyek, juga dapat memberikan informasi mengenai kerusakan, persebaran kelembapan, dan retakan pada kayu [2].

Rekonstruksi citra berbasis gelombang mikro adalah salah satu teknik pencitraan tomografi dimana obyek diterangi dengan gelombang mikro dari berbagai arah. Teknik tersebut telah menjadi salah satu teknik tomografi yang menjanjikan karena memiliki beberapa keuntungan seperti murah, mudah, dan aman untuk digunakan [4] [5]. Selain itu teknik berbasis gelombang mikro memungkinkan tersedianya informasi terkait persebaran sifat dielektrik dari sebuah obyek, yang tidak dapat didapatkan dari teknik lainnya [2] [4].

Pada makalah ini, rekonstruksi citra berbasis gelombang mikro diusulkan untuk aplikasi pendeteksi kekeporosan pohon dengan menggunakan obyek kayu sebagai representatif pohon. Antena penerima mengukur parameter S hasil transmisi gelombang mikro dari antena pengirim yang tersebar oleh obyek. Vector Network Analyzer (VNA) digunakan sebagai alat untuk mengirimkan dan mengukur gelombang mikro yang berputar mengelilingi obyek. Data yang terukur kemudian diolah menjadi citra rekonstruksi menggunakan *Algebraic Reconstruction Technique* (ART). Hasil dari pendekatan ini dievaluasi menggunakan data sintesis hasil simulasi dan hasil awal dari rekonstruksi citra. Makalah ini terdiri dari empat bagian, yaitu I. Pendahuluan. II. Metode. III. Hasil dan Diskusi. IV. Kesimpulan, beserta Daftar Pustaka

II. METODE

A. Model Forward

Model *forward* memodelkan bagaimana energi atau sinyal terhambur yang akan terukur jika suatu obyek disinari dengan gelombang mikro. Pada model forward, medan listrik direpresentasikan mendekati kondisi yang sebenarnya. Area latar belakang dimodelkan sebagai medium homogen dengan permitivitas dielektrik relatif ϵ_D , konduktivitas σ_D , dan permeabilitas μ_D . Permitivitas dielektrik relatif dari obyek diasumsikan sebagai $\epsilon_r(r')$ dan konduktivitas obyek sebagai $\sigma(r')$ di dalam area investigasi D . Fungsi kontras $\epsilon_\delta(r')$ yang merepresentasikan selisih antara konstanta dielektrik dari medium area latar belakang dengan konstanta dielektrik obyek, didefinisikan sebagai [6]:

$$\varepsilon_{\delta}(r') = \varepsilon_r(r') - \varepsilon_D + j[\sigma(r') - \sigma_D]/2\pi f \varepsilon_0 \quad (1)$$

Model *forward* scalar yang merepresentasikan antara medan terhambur dengan profil dielektrik obyek dapat didefinisikan sebagai berikut [6]:

$$E^S(r_n^t, r_m^r) = Qk_0^2 \int_D [a_m^r \cdot G(r_m^r, r')] \cdot [G(r', r_n^t) \cdot a_n^t] \varepsilon_{\delta}(r') dr' \quad (2)$$

dengan Q adalah konstanta yang bergantung pada karakteristik antena yang digunakan, a_m^r dan a_n^t adalah unit vector yang merepresentasikan orientasi menerima dan transmisi, k_0 adalah *wavenumber* di dalam D dengan $k_0 = w\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$, dan G adalah fungsi *Green*.

B. Model Inverse

Pada pemodelan *inverse*, dilakukan rekonstruksi untuk memprediksi citra berdasarkan sinyal terhambur yang terukur dari hasil proyeksi. Masalah pada model *inverse* adalah bagaimana merekonstruksi ε_{δ} berdasarkan inversi dari persamaan (2).

Salah satu metode untuk menyelesaikan model *inverse* adalah dengan mendiskritisasi persamaan (2) menjadi sebuah sistem linear sebagai berikut [7]:

$$E^S = L \cdot \varepsilon_{\delta}(r') \quad (3)$$

dengan E^S adalah data yang berkaitan dengan E^S , L adalah matrix dari operator linear, dan $\varepsilon_{\delta}(r')$ adalah vector yang tidak diketahui terkait dengan $\varepsilon_{\delta}(r')$. Pada makalah ini, matrix $\varepsilon_{\delta}(r')$ diselesaikan dengan menggunakan teknik regularisasi bernama ART. Metode ini menyelesaikan satu persamaan pada satu waktu selama iterasi menggunakan aturan perbarui [8] [9]:

$$\varepsilon_{\delta}^{k+1} = \varepsilon_{\delta}^k + \mu [L_i(E_i^S - L_i \cdot \varepsilon_{\delta}^k) / \|L_i\|^2] \quad (3)$$

dengan μ adalah parameter relaksasi. Metode ini menggunakan parameter relaksasi bernilai $\mu \in (0,2)$ dan $\mu = 1$ digunakan pada makalah awal metode ini digunakan [8].

C. Sistem Pengukuran

Untuk mendapatkan karakteristik obyek yang sebenarnya dari sinyal terhambur yang terukur, digunakan sebuah teknik bernama *hybrid de-embedding* [10]. Teknik tersebut menggabungkan antara data simulasi struktur model perangkat uji yang dipakai dengan data simulasi atau pengukuran secara eksperimental. Struktur sistem uji disimulasikan untuk mendapatkan data parameter S yang kemudian diubah menjadi parameter T dengan persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{S_{21}} \begin{bmatrix} -(S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}) & S_{11} \\ -S_{22} & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Data parameter T tersebut digunakan untuk proses *de-embedding* dengan membuang karakteristik dari perangkat uji yang digunakan, dengan persamaan seperti berikut:

$$[T_{obyek}] = [T_{background}]^{-1} [T_{obyek+background}] \quad (5)$$

dengan $T_{obyek+background}$ adalah parameter T untuk kondisi pengukuran obyek tes beserta *background*, $T_{background}$ adalah parameter T untuk pengukuran kosong tanpa obyek, dan T_{obyek} adalah parameter T untuk obyek saja. Hasil akhir yang akan digunakan untuk pengolahan data adalah parameter S untuk obyek saja, yang didapatkan dengan persamaan berikut:

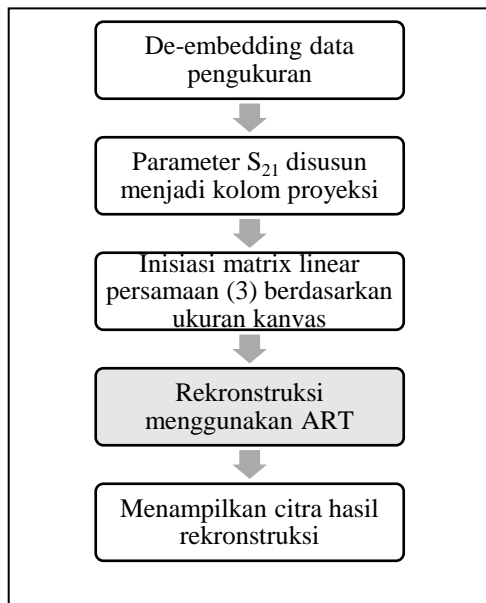
$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{T_{22}} \begin{bmatrix} T_{12} & (T_{11}T_{22} - T_{12}T_{21}) \\ 1 & -T_{21} \end{bmatrix} \quad (4)$$

D. Pengolahan Data

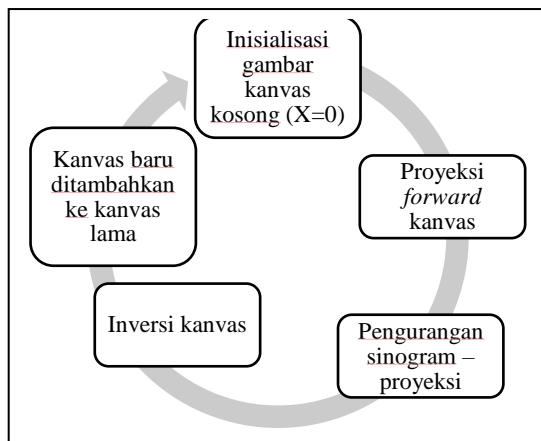
Diagram blok pengolahan data pada skema makalah ini terlampir pada Gambar 1. Data parameter S hasil pengukuran sistem diproses menggunakan proses *de-embedding* untuk menghasilkan data parameter S obyek yang sesungguhnya. Dari hasil data parameter S tersebut, data parameter S_{21} kemudian diambil untuk disusun menjadi kolom proyeksi sesuai sudut proyeksi yang digunakan untuk pengambilan masing-masing data parameter S .

Selanjutnya kanvas untuk menghasilkan rekonstruksi citra dipersiapkan sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Matrix operator linear L pada persamaan (3) dibuat sesuai dengan ukuran kanvas. Parameter S_{21} yang didapat merupakan E^S pada persamaan (3). Sedangkan vector $\varepsilon_{\delta}(r')$ diperoleh dengan menyelesaikan persamaan (3) menggunakan algoritma ART untuk sekian iterasi sebelum ditampilkan sebagai citra hasil akhir rekonstruksi.

Diagram blok algoritma ART dapat dilihat pada Gambar 2. Untuk nilai awal kanvas tidak diketahui, sehingga diasumsikan semua bagian pada kanvas bernilai 0. Kemudian dilakukan proyeksi *forward* dengan mengalikan kanvas $\varepsilon_{\delta}(r')$ dengan matriks operasi L . Hasil perkalian tersebut, yang antara lain sudah berupa hasil proyeksi atau sonogram, dikurangkan dengan matriks hasil pengukuran parameter S yang didapat dari simulasi. Setelah dilakukan pengurangan, kemudian dilakukan inversi matriks sehingga kanvas yang didapatkan kembali berbentuk gambar atau *phantom*. Hasil inversi ini kemudian ditambahkan ke kanvas lama, yang pada iterasi pertama kanvas pertama adalah kosong, sehingga didapatkan kanvas hasil iterasi pertama.



Gambar 1. Diagram Blok Algoritma Pengolahan Data



Gambar 2. Diagram Blok Algoritma ART

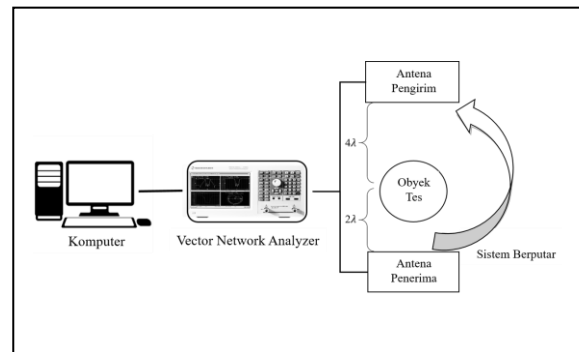
III. HASIL DAN DISKUSI

Pada makalah ini telah dilakukan simulasi untuk menguji apakah sistem dapat mendeteksi dan mengukur lubang yang berada pada obyek kayu sebagai representasi pohon yang keropos. Pada sistem ini digunakan frekuensi tunggal 1.5 GHz. Citra hasil rekonstruksi didapatkan dengan membagi area investigasi menjadi 126 pixel. Tes obyek yang digunakan adalah kayu dengan permitivitas relatif $\epsilon_r = 2.4$, konduktivitas elektrik $\sigma = 0$ s/m, dan *dielectric loss tangent* $\delta = 0.0006$ dengan lubang yang dibuat dari ujung atas sampai ke ujung bawah. Setiap tes obyek memiliki diameter 6 cm dan tinggi 20 cm, dengan lubang memiliki diameter 4 cm dan tinggi 20 cm. Setiap gambar 2D yang diperoleh diasumsikan sama untuk tinggi yang berbeda.

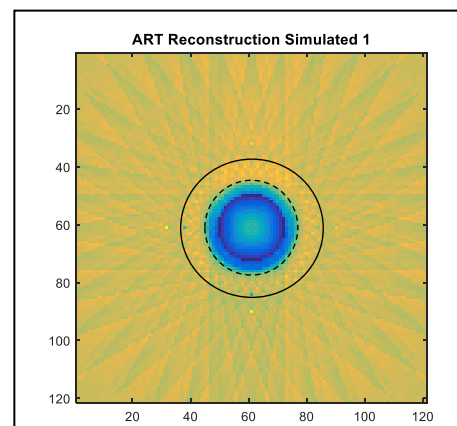
Simulasi sistem yang dibuat dapat terlihat pada Gambar 3. Sistem terdiri dari antenna pengirim dan penerima yang mempropagasikan dan menerima gelombang TM yang melewati tes obyek untuk mendapatkan data parameter S. Jarak antara antenna pengirim dengan obyek adalah 4λ sedangkan jarak antara

antena penerima dengan obyek adalah 2λ . Antena pengirim dan penerima kemudian diputar mengelilingi obyek untuk 36 titik pengukuran, sehingga diperoleh data pengukuran untuk setiap 10 derajat perputaran. Data parameter S dari simulasi kosong dan simulasi dengan obyek kemudian di konversikan menjadi parameter T untuk dilakukan proses *de-embedding*. Data parameter S hasil *de-embedding* tersebut kemudian diolah menggunakan algoritma ART. Rekonstruksi pada makalah ini menggunakan komputer dengan prosesor Intel Core i5 dengan memori 8 GB RAM.

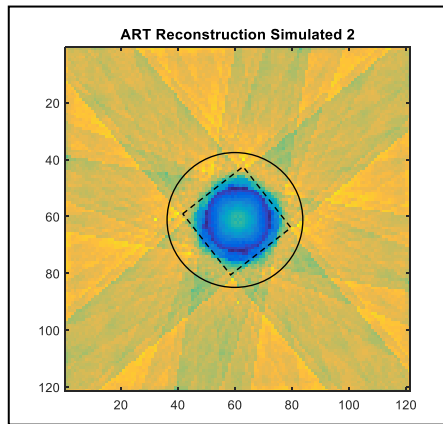
Citra hasil rekonstruksi yang didapat terlihat pada Gambar 4 untuk lubang berbentuk lingkaran (silinder) dan Gambar 5 untuk lubang berbentuk persegi (kubus). Citra hasil rekonstruksi tersebut menggambarkan lubang yang berada pada kayu, yang direpresentasikan dengan garis putus-putus. Sedangkan garis padat menggambarkan ukuran kayu yang sebenarnya. Dari gambar terlihat bahwa bentuk luar dari lubang dapat dikenali dengan cukup baik, namun bagian dalam dari lubang tidak tergambar dengan baik. Selain itu iterasi ART menyebabkan adanya bayangan yang tidak diinginkan, sehingga jika terdapat lubang atau perbedaan dielektrik yang kecil akan sulit untuk dikenali. Bentuk sudut dari lubang kotak pun tidak tergambar dengan akurat secara kuantitatif, walaupun secara penilaian kualitatif masih dapat dikenali sebagai bentuk persegi. Hal tersebut mungkin disebabkan karena model *forward* yang digunakan mengabaikan mekanisme hamburan banyak.



Gambar 3. Diagram Blok dari Sistem



Gambar 4. Rekonstruksi Citra untuk Lubang Lingkaran



Gambar 5. Rekonstruksi Citra untuk Lubang Persegi

IV. KESIMPULAN

Pada makalah ini, prosedur untuk rekonstruksi citra berbasis gelombang mikro dilakukan untuk mendapatkan citra dari lubang pada kayu yang merepresentasikan kekeroposan pada pohon tanpa merusak obyek. Dari simulasi disimpulkan bahwa skema yang diusulkan berhasil merekonstruksi bentuk dari lubang pada kayu, namun sistem masih belum berhasil merekonstruksi citra secara akurat khususnya untuk bentuk-bentuk seperti sudut. Selain itu citra kekeroposan yang dapat diperoleh baru sebatas kayu yang berlubang, sedangkan untuk kondisi nyata dibutuhkan sistem yang dapat mendeteksi kekeroposan dari struktur dengan ukuran yang lebih kecil dan perbedaan kelembapan pohon. Penelitian lebih lanjut dibutuhkan untuk menghasilkan prototype yang dapat berfungsi lengkap untuk dapat mendeteksi kekeroposan pada pohon dengan sempurna. Untuk penelitian selanjutnya, akan dilakukan percobaan untuk skema dengan bentuk geometris yang lebih kompleks dan tidak berpusat pada tengah. Serta akan dilakukan penelitian lebih

lanjut mengenai skema *transmitter* dan *receiver* yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. C. Kak and M. Slaney, Principles of Computerized Tomographic Imaging, New York: SIAM IEEE Press, 1998.
- [2] V. Bucur, "Techniques for High Resolution Imaging of Wood Structure: A Review," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 14, pp. 91-98, 2003.
- [3] G. Nicolotti, L. V. Socco, R. Martinis, A. Godio and L. Sambuelli, "Application and Comparison of Three Tomographic Techniques for Detection of Decay in Trees," *Journal of Arboriculture*, vol. 29, no. 2, pp. 66-78, 2003.
- [4] M. Pastorino, A. Randazzo, A. Fedeli, A. Salvade, S. Poretti, M. Maffongelli, R. Monleone and M. Latini, "A Microwave Tomographic System for Wood Characterization in the Forests Products Industry," *Wood Material Science and Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 75-85, 2015.
- [5] D. Choffel, "Automation of Wood Mechanical Grading," *Coupling of Vision and Microwave Devices SPIE*, no. 3836, pp. 114-21.
- [6] L. L. Monte, D. Erricolo, F. Soldovieri and M. C. Wicks, "Radio Frequency Tomography for Tunnel Detection," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 48, no. 3, pp. 1128-1139, 2010.
- [7] T. Negishi, Y. Liu, V. Picco, D. Erricolo, G. Gennarelli, F. Soldovieri and P. L. Uslenghi, "Experimental Validation of Radio Frequency Tomography for an Inhomogeneous Medium," *USRI International Symposium on Electromagnetic Theory*, 2016.
- [8] S. Kaczmarz, "Angenäherte Auflösung von Systemen linearer Gleichungen," *Bull. Acad. Pol. Lett.*, vol. A35, pp. 355-357, 1937.
- [9] G. T. Herman, *Fundamentals of Computerized Tomography: Image Reconstruction from Projections* 2nd ed, New York: Springer, 2009.
- [10] A. Munir, "Hybrid De-embedding Technique for Microwave Absorber Characterization," *TELKOMNIKA*, vol. 9, no. 1, pp. 133-138, 2011.