

# Analisis Pengaruh Diameter Kawat terhadap Distribusi Kapasitansi dari *Wire Mesh Sensor Tomography* menggunakan Convolutional Neural Network

Mahendra Satria Hadiningrat <sup>1)\*</sup>, Dimas Prasetyo <sup>2)</sup>

Institut Teknologi dan Sains Nahdlatul Ulama Pasuruan <sup>1,2)</sup>  
[mahendra@itsnupasuruan.ac.id](mailto:mahendra@itsnupasuruan.ac.id) <sup>1)\*</sup>, [dim688160pras@gmail.com](mailto:dim688160pras@gmail.com) <sup>2)</sup>

## Abstrak

*Wire Mesh Sensor (WMS)* adalah sensor berbasis tomografi yang menghasilkan gambar distribusi aliran fluida. Citra distribusi merupakan pola distribusi kapasitansi yang diukur dengan elektroda sensor. Dari hasil simulasi dilakukan analisis terhadap pola sebaran potensial listrik untuk mengetahui karakteristik potensial listrik dari sistem WMS yang dimodelkan. Ditemukan ada perbedaan parameter berupa variasi jenis larutan yang dapat mempengaruhi distribusi potensial listrik. Hal ini disebabkan adanya perbedaan nilai konstanta dielektrik masing-masing jenis larutan. Kinerja sistem WMS dalam mendeteksi anomali dievaluasi dengan menganalisis perubahan distribusi kapasitansi terhadap pengaruh perubahan diameter kawat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jenis fluida pada kondisi tanpa dan dengan anomali dapat dibedakan dengan jelas melalui pola distribusi kapasitansi yang diukur untuk seluruh diameter kawat. Diameter kawat hanya mempengaruhi kualitas gambar distribusi. Penelitian kualitas citra ini berbasis Convolutional Neural Network (CNN) menggunakan arsitektur MobileNet. Teknik khusus utama pada algoritma CNN adalah convolution, di mana filter meluncur di atas input dan menggabungkan nilai input + nilai filter pada peta fitur. Tujuan akhirnya adalah CNN mampu mengenali objek atau gambar baru berdasarkan fitur-fitur yang dideteksi. Perancangan sistem dibagi menjadi beberapa tahapan dimulai dari penginputan data citra, tahap selanjutnya adalah preprocessing, pada penelitian ini menggunakan dua jenis preprocessing yaitu filter CLAHE dan Filter Gaussian.

**Kata kunci:** Diameter Kawat; Distribusi Kapasitansi; Wire Mesh Sensor; Convolutional Neural Network (CNN)

## Abstract

**[Analysis of the Effect of Wire Diameter on the Capacitance Distribution of Wire Mesh Tomography Sensors using a Convolutional Neural Network]** Wire Mesh Sensor (WMS) is a tomography-based sensor that produces a distribution image of a fluid flow. The distribution image is a capacitance distribution pattern measured by sensor electrode. From the simulation results, an analysis is carried out on the distribution pattern of the electric potential for know the electrical potential characteristics of the modeled WMS system. It was found that the difference parameters in the form of variations in the type of solution can affect the distribution of electric potential. This is due to there is a difference in the value of the dielectric constant of each type of solution. WMS system performance in detecting anomalies is evaluated by analyzing changes in the capacitance distribution to the effect of change in wire diameter. The simulation results show that the type of fluid in conditions without and with anomalies can be clearly distinguished through the measured capacitance distribution pattern for the entire wire diameter. Wire diameter only affects the distribution image quality. This image quality research is based on Convolutional Neural Network (CNN) uses Mobile Net architecture. The main special technique to the CNN algorithm is convolution, in which the filter slides over the input and combines the input value + filter value on the feature map. The ultimate goal is that CNN is able to recognize new objects or images based on the detected features. The design of the system is divided into several stages starting from inputting data image, the next stage is preprocessing, in this study using two types of preprocessing, i.e. CLAHE and Gaussian filters.

**Keywords:** Wire Diameter; Capacitance Distribution; Wire Mesh Sensor; Convolutional Neural Network (CNN)

## 1. PENDAHULUAN

Sistem WMS merupakan sistem sensor tomografiberbentuk wire mesh yang dirancang untuk pengukuran fraksi ruang kosong di dalam sistem gas-cair. Hasil pengukuran fraksi berupa citra distribusi ruang kosong yang terukur dalam suatu aliran multifase. Aliran multifase yang dimaksud berupa campuran dua atau lebih fluida yang berbeda secara fisik. Prinsip kerja WMS didasarkan pada pengukuran dari sifat kelistrikan fluida, yaitu konduktivitas dan permitivitas atau konstanta dielektrik. Dengan demikian parameter turunan dari aliran dapat diperoleh dari sifat listrik tersebut.[1]

Metode kelistrikan yang bergantung pada perbedaan permitivitas atau konduktivitas antara fase fluida juga dapat digunakan untuk menentukan adanya rongga. Penerapan ini dapat berupa sebuah probe tunggal, seperti probe optik, sel konduktansi yang terdapat dalam pipa atau penerapan metode intrusif lainnya yang mampu melakukan pencitraan tomografi secara langsung dengan membentuk kisi-kisi titik deteksi yang memungkinkan rekonstruksi secara penuh pada daerah fraksi rongga.[2][3]

Untuk sistem monitoring pada sistem pembuangan limbah dapat digunakan konstruksi sensor WMS yang terdiri dari dua lapisan, yaitu transmitter dan receiver. Kawat transmitter diposisikan  $90^\circ$  relatif terhadap kawat receiver. Posisitransmitter dan receiver dipisahkan secara aksial dengan suatu jarak tertentu. Pada pengukuran pertama, salah satu elektroda transmitter sebagai elektroda aktif dikenai sinyal listrik yang tidak terhantar secara langsung pada lapisan receiver akibat adanya jarak pemisah antar lapisan tersebut. Sedangkan elektroda transmitter lainnya bertindak sebagai elektroda pasif yang dihubungkan dengan ground. Sinyal listrik akan diterima oleh masing-masing receiver dan diolah dalam proses rekonstruksicitra.[4][5]

Perkembangan sistem sensor ini masih tergolong baru sehingga analisis jenis fluida yang dideteksi dan penerapannya masih sangat terbatas.Penerapan sistem WMS telah berhasil dikembangkan pada beberapa sistem deteksi, seperti sistem deteksi campuran minyak dengan air di dalam pipa kilang minyak lepas pantai,sistem deteksi termal surya pada pembangkit tenaga uap, dan sistem investigasi aliran multifase pada saluran pipa horizontal. Selain penerapan sensorpada sistem deteksi, terdapat penerapan lainnya sebagai sistem pengukuran kuat medan listrik yang dapat mencitrakan pola persebaran medan listrik pada suatu bahan.

Peningkatan performansi sistem WMS juga telah dilakukan melalui analisis pengaruh parameter desain geometri sensor, seperti jarak kawat dan jarak antar lapisan. Dari hasil penelitiansebelumnya, masih harus dilakukan pengujian terhadap parameter desain yang lainnya, seperti diameter kawat.[6]

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui performansi sistem WMS  $16 \times 16$  yang diterapkan disistem performansi dalam mendeteksi anomali

didasarkan pada hasil analisis pengaruh diameter kawat sebagai parameter desain geometri sensor terhadap distribusi kapasitansi yang terukur. Metode analisis dilakukan secara simulasi menggunakan perangkat lunak.

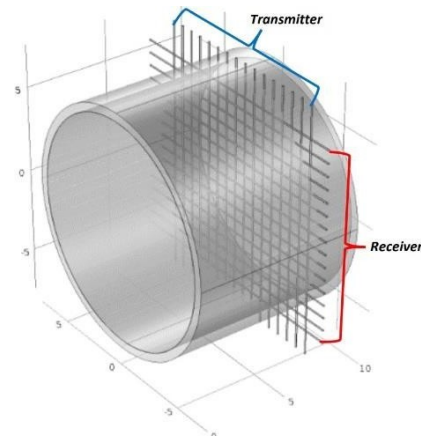
## 2. BAHAN DAN METODE

CNN menggunakan convolution sebagai pengganti perkalian matriks umum. Operasi ini digunakan paling tidak pada satu lapisannya.

Neural network yang umum biasanya mengubah input dengan meletakkannya melalui rangkaian hidden layer. Setiap layer terdiri dari sekumpulan neuron, dimana setiap layer terhubung secara penuh dengan semua neuron pada layer sebelumnya. Terakhir, lapisan yang sudah terhubung sepenuhnya (output layer) digunakan untuk mewakili prediksi.

Tidak seperti neural network biasa, lapisan pada algoritma CNN memiliki neuron yang diatur dalam 3 dimensi: width, height, dan depth. Dimensi depth mengacu pada dimensi ketiga dari fungsi aktivasi, bukan kedalaman neural network atau jumlah total layer dalam jaringan.

Neuron-neuron dalam satu layer tidak terhubung ke semua neuron di layer berikutnya tetapi hanya ke sebagian kecil saja. Terakhir, hasil akhir akan direduksi menjadi satu vektor skor probabilitas, yang diatur sepanjang dimensi depth.Bagian pemodelan ini terdiri dari 2 tahap, yaitu pengaturan parameter model geometri dan perancangan desain geometri. Model geometri yang dirancang pada penelitian ini berupa geometri pipadan elektroda WMS.[7] Untuk parameter model digunakan phantom berbentuk tabung dengan ukuran diameter dalam 13 cm, diameter luar 14 cm, dan panjang 10 cm. Untuk geometri elektroda WMS  $16 \times 16$  diberikan ukuran panjang 15 cm pada setiap kawat dan variasi diameter kawat sebesar 0,1 cm, 0,3 cm, dan 0,5 cm dengan jarak antar kawat sebesar 0,8 cm. Sistem elektroda wire mesh terdiri dari dua panel, yaitu panel transmitter dan panel receiver seperti pada Gambar 1. Kedua panel tersebut dipisahkan dengan jarak 0,2 cm. [8][9]



**Gambar 1.** Model geometri pipa dengan elektroda wiremesh  $16 \times 16$

Pada bagian ini dilakukan tahap simulasi melalui pendekatan hukum elektrostatik pada geometri yang telah dimodelkan menggunakan perangkat lunak COMSOL Multiphysics. Tahap simulasi terdiri dari pengaturan parameter fisika, proses komputasi, dan pengukuran parameter keluaran. Tabel 1 menunjukkan set parameter simulasi yang diterapkan dalam penelitian ini. Pada pengaturan parameter fisika, parameter yang diatur meliputi parameter subdomain, boundary, mesh, dan solver. Parameter fisika yang diatur harus disesuaikan dengan kondisi asli dari sistem.[10][11][12]

**Tabel 1.** Parameter Simulasi

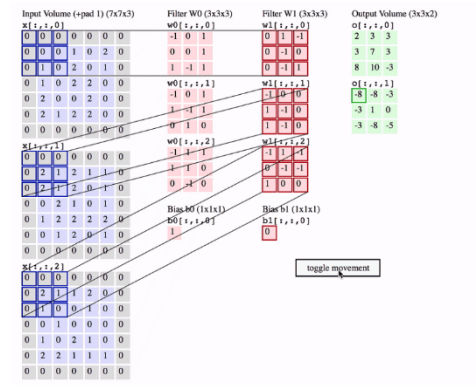
Parameter	Set
Subdomain	1. Pipa pembuangan (PVC) 2. WMS (tembaga) 3. Fluida (air dan udara) 4. Anomali (nikel)
Boundary	Terminal 1. Kawat 1-16 (terminal 1-16) 2. Kawat 17-32 (terminal 1-16)
Mesh	Normal
Solver	Electronics (Ec)
Physical Study	Stationary

Tahap pengaturan parameter subdomain meliputi penentuan jenis bahan dan parameter fisika yang digunakan. Pada penelitian ini, bahan yang digunakan untuk elektroda wire mesh sensor adalah tembaga. Proses simulasi geometri pipa dilakukan pada kondisi homogen dan inhomogen. Pada kondisi homogen digunakan variasi fluida sebagai isi pipa, yaitu udara dan air. Sedangkan pada kondisi inhomogen diletakkan sebuah anomali berbentuk bola dengan ukuran diameter 4 cm dan berbahan elektrolit. Pada simulasi ini dikondisikan bagian luar pipa adalah ruang udara.[13][14]

Tahap pengaturan boundary dilakukan untuk memberikan batasan pada elektroda kapasitif geometri yang berupa elektroda wire mesh sensor. Pada tahap ini dilakukan pembagian terminal elektroda yang bertindak sebagai transmitter dan receiver seperti pada Gambar 2. Untuk satu terminal transmitter aktif akan diberikan tegangan masukan sebesar 5 V sedangkan terminal transmitter lainnya akan bertindak pasif atau dikoneksikan dengan ground [15]

Pada tahap pengaturan parameter solver digunakan pengaturan parameter uji berupa komponen physics dan komponen study. Tujuan simulasi pada penelitian ini adalah mendapatkan data distribusi kapasitansi melalui pendekatan konsep medan listrik sehingga digunakan pengaturan elektrostatik sebagai parameter physics. Sedangkan untuk parameter study yang digunakan sebagai parameter solver adalah stationary.

Visualisasi dari cara kerja convolution layer pada CNN dapat dilihat



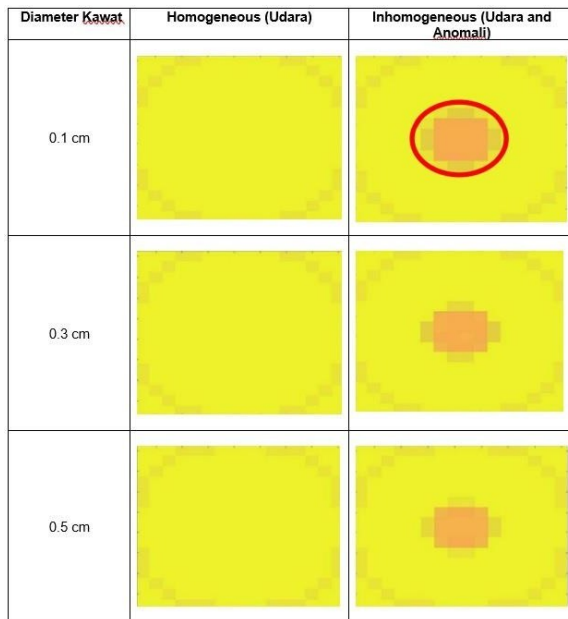
**Gambar 2.** Model Visualisasi CNN

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan analisis karakteristik potensial listrik dari simulasi sistem WMS yang telah dimodelkan maka dilanjutkan dengan analisis performansi sistem. Untuk mengetahui performa sistem WMS dalam mendeteksi anomali di dalam pipa pembuangan limbah industri maka dilakukan analisis pengaruh diameter kawat terhadap distribusi kapasitansi. Pada bagian analisis ini, dilakukan tahap simulasi dan visualisasi data. Hasil pengukuran nilai kapasitansi tiap receiver yang didapat dari simulasi divisualisasikan dalam bentuk citra distribusi kapasitansi sebagai forward model. Dilakukan perbandingan hasil citra distribusi kapasitansi untuk variasi diameter kawat sebesar 0,1 cm, 0,3 cm, dan 0,5 cm pada kondisi homogen dan inhomogen seperti pada Gambar 3. Pemilihan diameter disesuaikan dengan dimensi model pipa yang digunakan.

Gambar 3 menunjukkan citra distribusi kapasitansi yang merupakan visualisasi dari nilai kapasitansi tiap titik persilangan WMS untuk masing-masing kondisi pengukuran. Dari simulasi yang telah dilakukan didapat perbedaan nilai kapasitansi rata-rata pada setiap kondisi pengukuran. Nilai kapasitansi rata-rata untuk fluida udara sebesar 11,1 pF, fluida air sebesar 806 pF, dan anomali nikel sebesar 192 pF. Dari hasil tersebut diketahui bahwa pemberian fluida air akan menghasilkan nilai kapasitansi yang lebih besar dibandingkan dengan fluida udara. Secara teori kapasitansi, perbedaan nilai kapasitansi ini dapat dipengaruhi oleh sifat kelistrikan suatu bahan.

Pada studi ini sifat kelistrikan bahan yang dijadikan parameter adalah konstanta dielektrik. Sesuai dengan persamaan (2) didapat bahwahubungan kapasitansi dengan konstanta dielektrik adalah berbanding lurus. Berdasarkan perbandingan konstanta dielektrik antara fluida udara, air, dan nikel didapat bahwa udara memiliki nilai konstanta dielektrik paling kecil sedangkan air memiliki nilai konstanta dielektrik paling besar.

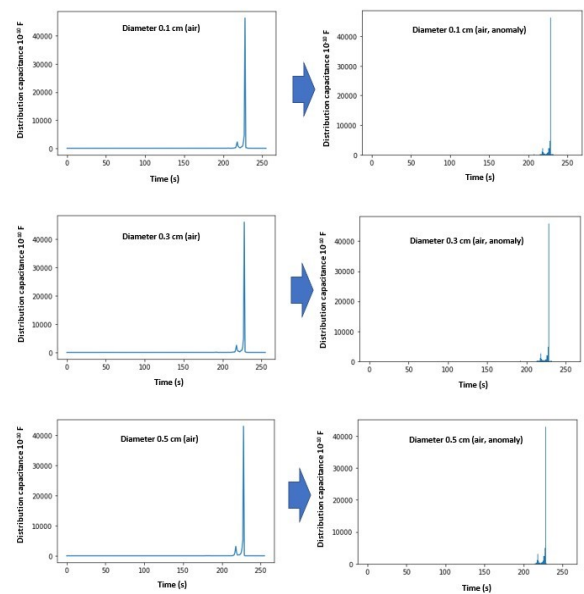


**Gambar 3.** Distribusi kapasitansi sistem WMS dengan variasi diameter kondisi homogen dan inhomogen

Dari analisis pola warna dari citra distribusi kapasitansi didapat bahwa terdapat perbedaan pola warna yang dihasilkan setiap kondisi. Diketahui bahwa pola warna yang ditampilkan pada citra berasal dari nilai kapasitansi yang terukur pada setiap titik persilangan.

Untuk analisis pengaruh diameter kawat terhadap distribusi kapasitansi didapat bahwa seluruh variasi diameter kawat yang diterapkan dalam sistem WMS dapat membedakan fluida dan mendeteksi anomali yang terdapat di dalam pipa. Namun jika dianalisis berdasarkan studi literatur dari hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai resolusi citra dari sistem WMS didapat bahwa diameter kawat dapat mempengaruhi resolusi citra. Diketahui bahwa resolusi citra yang baik akan memiliki intrusiveness effect atau efek gangguan yang rendah.

Efek ini dapat berupa pola yang tidak merata dalam suatu citra seperti yang ditunjukkan oleh lingkaran merah pada Gambar 3. Dari hasil citra yang didapat dalam studi ini diketahui bahwa citra yang dihasilkan oleh sistem dengan diameter kawat 0,5 cm memiliki intrusiveness effect paling sedikit dibandingkan pada diameter kawat 0,1 dan 0,3 cm (Gambar 4). Hal ini ditunjukkan dengan sedikitnya jumlah pola warna yang tidak merata pada citra yang dihasilkan oleh sistem dengan diameter 0,5 cm pada kondisi homogen dan inhomogen menggunakan fluida air. Sedangkan efek ini tidak terlihat pada kondisi homogen dan hanya terlihat sedikit di sekitar anomali pada kondisi inhomogen menggunakan fluida udara.



**Gambar 4.** Analisa Kondisi Akhir Homogen-Inhomogen

#### 4. KESIMPULAN

Hasil simulasi menunjukkan bahwa jenis fluida pada kondisi tanpa dan dengan anomali dapat dibedakan dengan jelas melalui pola distribusi kapasitansi yang terukur untuk seluruh diameter kawat. Diameter kawat hanya mempengaruhi kualitas citra distribusi. Untuk penerapan perangkat keras sistem WMS  $16 \times 16$  khususnya pada pemilahan/ deteksi saluran pipa pembuangan limbah industri (yang bermanfaat/ tidak untuk lingkungan sekitar) dimana membutuhkan deteksi kualitas citra yang baik akan mungkin untuk menggunakan diameter kawat yang lebih besar guna memberikan dampak yang nyata bagi lingkungan sekitar tanpa limbah dari industry yang seringkali mengganggu/ merusak.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. W. Lee, H. Heo, D. K. Sohn, and H. S. Ko, "Development of a numerical method for multiphase flows using an electrostatic model in a wire-mesh sensor," *Eng. Appl. Comput. Fluid Mech.*, vol. 15, no. 1, pp. 344–362, Jan. 2021, doi: 10.1080/19942060.2021.1876775.
- [2] F. D. A. Dias, P. Wiedemann, M. J. da Silva, E. Schleicher, and U. Hampel, "Tuning capacitance wire-mesh sensor gains for measurement of conductive fluids," *Tech. Mess.*, vol. 88, no. S1, pp. S107–S113, Sep. 2021, doi: 10.1515/TEME-2021-0055.
- [3] K. Li, Q. Wang, M. Wang, and Y. Han, "Imaging of a distinctive large bubble in gas–water flow based on a size projection algorithm," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 30, no.

- 9, p. 094004, Jul. 2019, doi: 10.1088/1361-6501/AB16B0.
- [4] L. Andiani, A. Rohsari, and I. Utami, "Analisis Pengaruh Diameter Kawat terhadap Distribusi Kapasitansi dari Wire Mesh Sensor: Studi Kasus Simulasi Sistem Deteksi Anomali pada Saluran Pembuangan Limbah Industri," *POSITRON*, vol. 11, no. 2, pp. 104–111, Dec. 2021, doi: 10.26418/POSITRON.V11I2.50072.
- [5] A. I. (Ali) Hameed, L. A. (Lokman) Abdulkareem, and R. A. (Raid) Mahmood, "Experimental Comparison Between Wire Mesh and Electrical Capacitance Tomography Sensors to Predict A Two-Phase Flow Behaviour and Patterns in Inclined Pipe," *Technium*, vol. 3, no. 5, pp. 49–63, Jun. 2021, doi: 10.47577/TECHNIUM.V3I5.3938.
- [6] M. Lehti-Polojärvi *et al.*, "Retrieval of the conductivity spectrum of tissues in vitro with novel multimodal tomography," *Phys. Med. Biol.*, vol. 66, no. 20, p. 205016, Oct. 2021, doi: 10.1088/1361-6560/AC2B7F.
- [7] M. Vauhkonen, A. Hänninen, J. Jauhiainen, and O. Lehtikangas, "Multimodal imaging of multiphase flows with electromagnetic flow tomography and electrical tomography," *Meas.Sci. Technol.*, vol. 30, no. 9, p. 094001, Jul. 2019, doi: 10.1088/1361-6501/AB1EF7.
- [8] K. Sun and Y. Li, "An HDTV-SB imaging algorithm for wire-mesh tomography," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 31, no. 4, p. 045404, Jan. 2020, doi: 10.1088/1361-6501/AB463F.
- [9] P. Ghoshal, F. Sinha, S. Sen, G. Das, and P. K. Das, "Development and Application of Wire Mesh Tomography for Gas-Liquid Systems," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1050, no. 1, p. 175, Sep. 2008, doi: 10.1063/1.2999986.
- [10] F. D. A. Dias, P. Wiedemann, E. Schleicher, M.J. Da Silva, and U. Hampel, "Improvement of wire-mesh sensor accuracy via adapted circuit