

Analisis Pola Radiasi Antena *Dipole* pada aplikasi *Wireless Sensor Networks* di *Industrial Site*

Nabila Husna Shabrina¹, Samuel²

Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Multimedia Nusantara, Tangerang, Indonesia

nabila.husna@umn.ac.id

samuel.hutagalung@umn.ac.id

Diterima 12 Oktober 2018

Disetujui 21 Desember 2018

Abstract—In industry 4.0, a complex system was needed to automatically control and communicate between devices. One component that often used in industrial automation is Wireless Sensor Networks (WSN), which is worked by transmitting the data needed through electromagnetic waves. The electromagnetic propagation in industrial process encounter challenges which caused by reflection or scattering from the object inside the industrial site. Therefore, in this research, the author will conduct a simulation to determine the characteristic of electromagnetic propagation in industrial site. The simulation was done by simulating antenna dipole with frequency 2.4 GHz in the simple 3D industrial site consist of some component. The result shows that simulating antenna dipole in industrial site will affect the characteristic of the antenna such as gain, directivity, and S parameter.

Indeks Terms— *Antenna dipole, electromagnetic wave propagation, industrial site*

I. PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi nirkabel seperti *Wireless Sensor Networks* mengalami perkembangan yang cukup pesat khususnya pada *industrial site* [1]-[2]. Dengan adanya *Wireless Sensor Networks*, pengumpulan dan pendistribusian data yang dibutuhkan oleh operator industri dapat dilakukan secara otomatis sehingga proses pengolahan dan *monitoring* data dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien. *Wireless Sensor Networks* memanfaatkan gelombang elektromagnetik untuk mentransmisikan data yang diperlukan. Proses transmisi data melalui gelombang elektromagnetik pada *Wireless Sensor Networks* dilakukan melalui sebuah antenna. Antena merupakan sebuah *transducer* antara *guided wave* dengan gelombang terpancar atau sebaliknya [3]. Beberapa jenis antena yang sering digunakan dalam aplikasi *Wireless Sensor Networks* meliputi antena dengan jenis *monopole*, $\frac{1}{2} \lambda$ *dipole*, $\frac{1}{4} \lambda$ *dipole*, *folded dipole*, *inverted F*, dan antena *omni directional* [4]-[6].

Gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh antena pada *Wireless Sensor Networks* memiliki karakteristik yang rentan terhadap mesin manufaktur

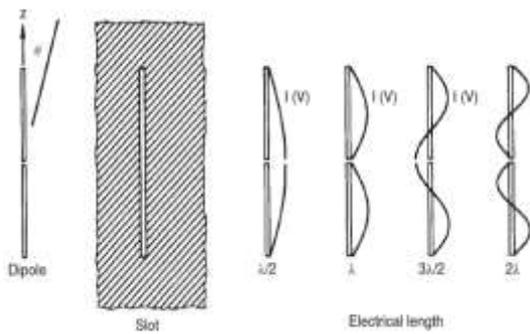
yang berada di sekitarnya. Oleh karena itu, implementasi *Wireless Sensor Networks* yang tidak tepat akan menurunkan kualitas proses komunikasi dari *Wireless Sensor Networks* [7]. Untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan uji coba terlebih dahulu sebelum melakukan implementasi *Wireless Sensor Networks* pada *industrial site*. Uji coba dapat dilakukan dengan mensimulasikan *Wireless Sensor Networks* yang digunakan pada *industrial site*. Dengan adanya simulasi, pengguna dapat terlebih dahulu mengetahui pola radiasi dan menentukan lokasi terbaik untuk setiap *nodes Wireless Sensor Networks*.

Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pemodelan dan simulasi untuk mengetahui pola radiasi antena yang digunakan pada *Wireless Sensor Networks*. Penelitian dilakukan dengan memodelkan *industrial site* dalam bentuk sederhana yang terdiri dari beberapa komponen seperti *tank*, *pipa*, *building*, *work site*, dan beberapa *block*. *Wireless Sensor Networks*. Dimodelkan dengan menggunakan antena *dipole* frekuensi 2,4 GHz untuk proses transmisi data. Hasil simulasi tersebut akan dianalisis dalam hal *gain*, *directivity*, *far-field*, dan S parameter.

II. RADIASI ANTENA

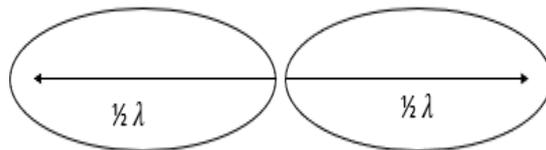
A. Antena Dipole $\frac{1}{2} \lambda$

Antena *dipole* merupakan salah satu jenis antena yang paling sederhana. Antena ini terbuat dari 2 silinder konduktor dengan panjang menyesuaikan frekuensi yang digunakan. Pada titik tengah kedua silinder konduktor tersebut terdapat sebuah *feeder* untuk impedansi masukan yang sesuai. Bentuk antena *dipole* $\frac{1}{2} \lambda$ ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Antena *dipole* [8]

Pola radiasi antena *dipole* berbentuk angka delapan terhadap sumbu silinder konduktor. Pola radiasi antena *dipole* $\frac{1}{2} \lambda$ ditunjukkan pada Gambar 2 [9].



Gambar 2. Pola radiasi antena *dipole*

B. Pola Radiasi Antena

Pola radiasi gelombang elektromagnetik dari suatu antena dapat dideskripsikan dengan persamaan Maxwell sebagai bentuk persamaan dari gelombang medan magnet dan medan listrik [10]. Persamaan gelombang elektromagnetik dirumuskan dalam bentuk diferensial dan integral dan dapat dilihat pada Persamaan (1)-(8). Dari persamaan Maxwell didapatkan bahwa persamaan medan listrik yang berubah terhadap waktu akan menghasilkan medan magnet yang juga berubah terhadap waktu. Pola tersebut kemudian menghasilkan perambatan gelombang elektromagnetik yang diradiasikan dari antena.

Hukum Gauss Medan Listrik

$$\oint_s \epsilon_0 E \cdot ds = \int_v \rho_v dv \tag{1}$$

$$\nabla \cdot \epsilon_0 \cdot E = \rho_v \tag{2}$$

Hukum Gauss Medan Magnet

$$\oint_s B \cdot ds = 0 \tag{3}$$

$$\nabla \cdot B = 0 \tag{4}$$

Hukum Faraday

$$\oint_l E \cdot dl = - \frac{d}{dt} \int_s B \cdot ds \tag{5}$$

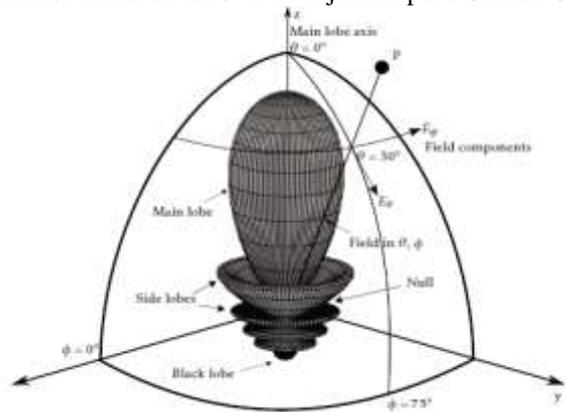
$$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t} \tag{6}$$

Hukum Ampere

$$\oint_c \frac{B}{\mu_0} \cdot dl = \int_s J \cdot ds + \frac{d}{dt} \int_s \epsilon_0 \cdot E \cdot ds \tag{7}$$

$$\nabla \times \frac{B}{\mu_0} = J + \frac{\partial \epsilon_0 E}{\partial t} \tag{8}$$

Pola radiasi antena merupakan gambaran sifat radiasi medan jauh dari suatu antena. Contoh pola radiasi antena *directional* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Contoh pola radiasi antena *directional* [3]

C. Parameter Antena

Tiga parameter penting yang dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik dari suatu antena adalah direktivitas, *gain* dan *S Parameter*. Menurut *IEEE Standard Definition of Term for Antenas*, direktivitas pada arah tertentu merupakan rasio antara intensitas maksimum radiasi pada arah tersebut dibandingkan dengan intensitas radiasi rata-rata di semua arah [11]. Memperbesar direktivitas berarti memperkuat atau memfokuskan radiasi antena ke arah tertentu. Direktivitas dapat dicari menggunakan Persamaan (9) Dengan *U* merupakan radiasi antena.

$$D = \frac{U(\theta, \phi), \max}{U_{av}} \tag{9}$$

Gain merupakan besarnya daya yang ditransmisikan pada arah dengan direktivitas maksimum. Dengan mengetahui antena *gain*, kita dapat mengetahui besarnya *loss* yang terjadi pada transmisi daya antena. Nilai *gain* atau penguatan antena dapat dicari dengan Persamaan (10) dengan η merupakan efisiensi antena yang nilainya berada diantara $0 < \eta < 1$.

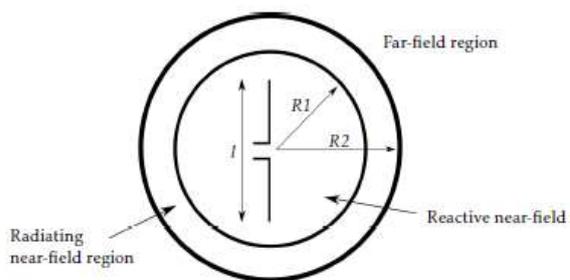
$$G = \eta \cdot D \tag{10}$$

S Parameter menggambarkan perilaku elektrik pada antena. *S Parameter* dapat digunakan untuk menyatakan *gain*, *VSWR*, *transmission coefisien*, *return loss* dan *reflection coefisien*. Untuk perangkat dua port ada empat macam *S Parameter* yang dapat

dianalisis yaitu S_{11} , S_{21} , S_{12} , dan S_{22} . S_{11} dan S_{22} menunjukkan koefisien *forward* dan efisiensi refleksi dari suatu perangkat sedangkan S_{21} dan S_{12} menunjukkan adanya *reverse gain* dan *forward gain* dari suatu perangkat elektrik.

D. Region Field

Karakteristik medan radiasi elektromagnetik yang dihasilkan dari radiasi antena dapat dianalisis dalam beberapa kondisi yang dipengaruhi oleh jarak pengamatan. Pengamatan karakteristik medan radiasi elektromagnetik dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu *near-field*, *Fresnel region*, dan *far-field*. Ketiga jenis pengamatan untuk medan radiasi elektromagnetik tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Medan Radiasi pada Antena [12]

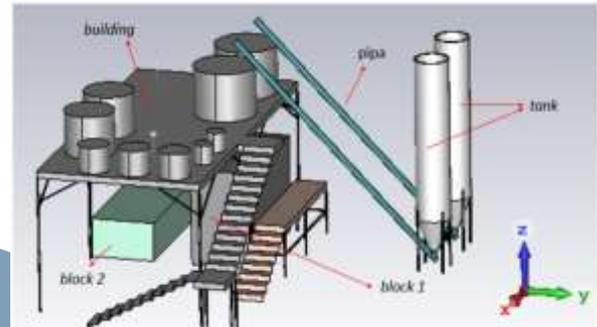
Pola medan radiasi biasanya digambarkan dalam bentuk 3D di koordinat bola maupun dalam bentuk polar. Pada umumnya pola medan radiasi tersebut memiliki dua komponen utama yaitu *minor lobe* dan *major lobe*. *Major lobe* merupakan arah medan radiasi yang sesuai dengan direktivitas suatu antena sedangkan *minor lobe* merupakan arah medan radiasi yang berlawanan dengan direktivitas antena atau pada arah yang tidak diinginkan.

III. SIMULASI ANTENA *DIPOLE* PADA *INDUSTRIAL SITE*

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Abaqus dan CST Microwave studio. Simulasi dilakukan dengan memodelkan *industrial site* menggunakan perangkat lunak Abaqus. Pada model yang dibuat dilakukan penyederhanaan model yang disimulasikan. Hal tersebut dilakukan karena adanya keterbatasan *hardware* penunjang dan juga untuk mempersingkat waktu simulasi. Pada pemodelan tersebut, *industrial site* dibangun atas beberapa komponen yaitu *tank*, pipa, *building*, *work site*, dan beberapa *block*. Pemodelan *industrial site* ditunjukkan pada Gambar 5 sedangkan karakteristik untuk masing-masing komponen yang dimodelkan ditunjukkan pada Tabel 1 dengan μ merupakan permeabilitas relatif komponen, σ merupakan konduktivitas komponen dan ϵ merupakan permitivitas relatif komponen yang dimodelkan.

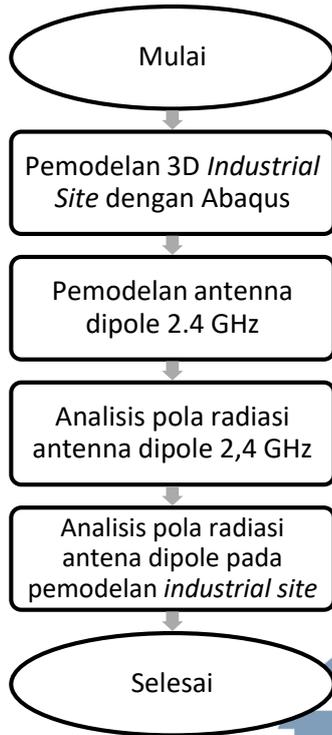
Tabel 1. Karakteristik komponen pada *industrial site*

Komponen	Jenis komponen	μ	Σ (S/m)	ϵ
Block 1	Lossy metal	1	6.99×10^6	1
Block 2	Normal	1	0	9.4
Pipa	Lossy metal	1	8×10^6	1
Tank	Lossy metal	1	1.04×10^7	1
Worksite	Normal	1	0	9.9
Building	Lossy metal	1	1.04×10^7	1



Gambar 5. Pemodelan *industrial site*

Model tersebut kemudian digunakan sebagai area simulasi untuk antena *dipole* yang digunakan sebagai pendekatan untuk model *Wireless Sensor Networks*. Antena *dipole* dipilih karena selain merupakan jenis antena yang sering digunakan pada *Wireless Sensor Networks*, antena ini juga memiliki bentuk yang sederhana sehingga proses simulasi masih dapat dilakukan dengan perangkat keras yang tersedia. Secara umum, *flowchart* proses simulasi untuk penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 6.

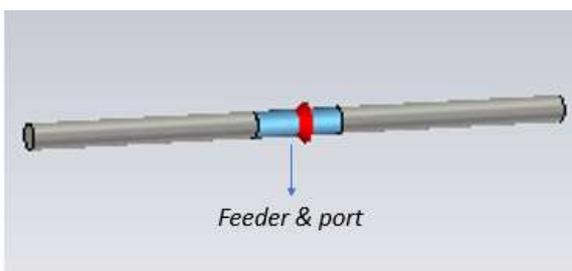


Gambar 6. Flowchart Simulasi

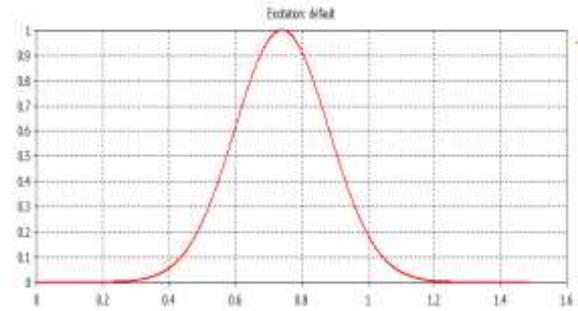
Antena *dipole* yang dimodelkan menggunakan frekuensi 2.4 GHz dengan eksitasi berupa sinyal *gaussian* dengan amplitudo 1 V/m dengan deskripsi setiap parameternya dapat dilihat pada Tabel 2. Antena *dipole* yang disimulasikan ditunjukkan pada Gambar 7 sedangkan eksitasi sinyal pada antena *dipole* ditunjukkan pada Gambar 8. Radiasi dari antena *dipole* yang dibuat kemudian disimulasikan pada *industrial site* yang sudah dimodelkan. Hasil dari simulasi ini kemudian dianalisis terhadap beberapa parameter seperti *gain*, direktivitas, S parameter, dan *farfield*.

Tabel 2. Parameter antena *dipole*

Parameter	Ukuran Parameter
Panjang antena	62,46 mm
Radius antena	1,5 mm
Pajang <i>feeder</i>	10 mm
Impedansi	73 Ω



Gambar 7. Pemodelan antena *dipole*

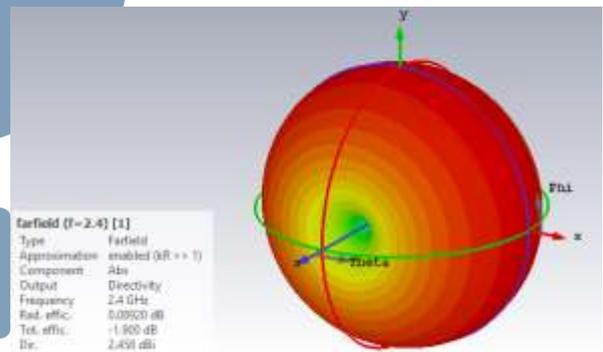


Gambar 8. Eksitasi sinyal pada antena *dipole*

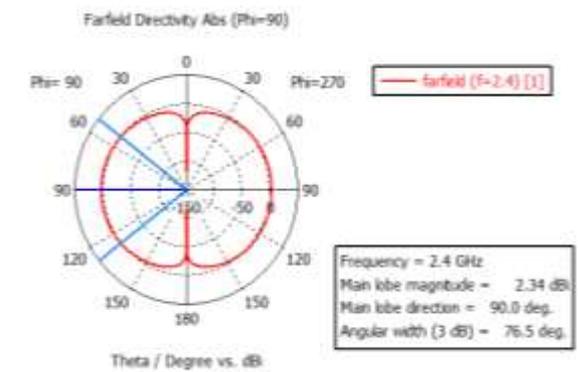
IV. ANALISIS POLA RADIASI ANTENA *DIPOLE* PADA *INDUSTRIAL SITE*

A. Analisis Simulasi Antena *Dipole* $\frac{1}{2} \lambda$

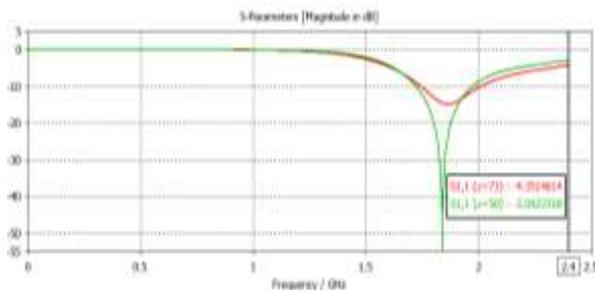
Hasil simulasi antena *dipole* yang telah dimodelkan ditunjukkan pada Gambar 9-12. Antena *dipole* disimulasikan di udara dengan parameter $\mu = 1$, $\sigma = 0$, dan $\epsilon = 1$. Gambar 9 menunjukkan *farfield* antena *dipole* dalam koordinat 3D bola. Dari hasil tersebut didapatkan besarnya direktivitas antena *dipole* sebesar 2,458 dB dengan efisiensi radiasi sebesar 0,089 dB. *Main lobe* yang didapatkan dari simulasi antena *dipole* sebesar 2,340 dB.



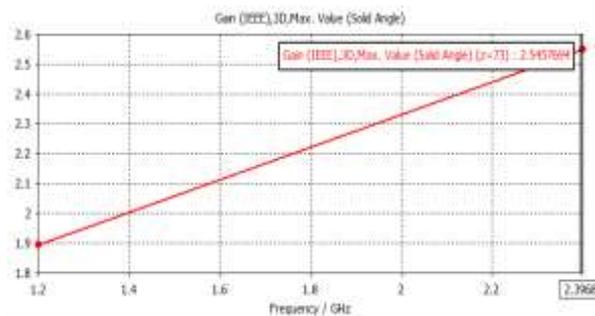
Gambar 9. *Farfield* antena *dipole* (dalam 3D)



Gambar 10. Direktivitas *farfield* (dalam polar)



Gambar 11. Plot S₁₁ Parameter antenna *dipole*

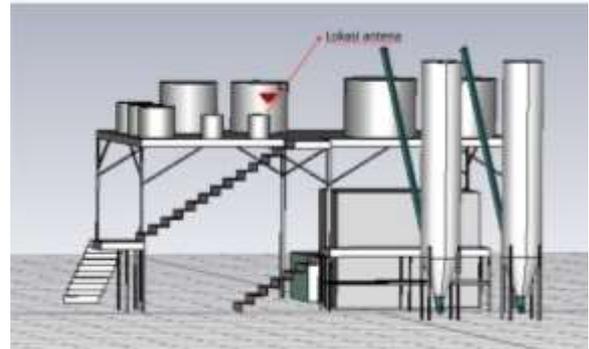


Gambar 12. Plot Gain antenna *dipole*

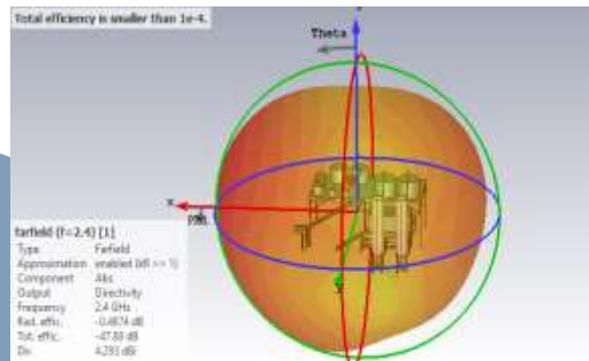
Gambar 11 menunjukkan plot S₁₁ parameter dari antenna *dipole*. Dari hasil tersebut didapatkan besarnya S₁₁ parameter minimum untuk impedansi 73 Ω sebesar -14,583 dB yang terjadi di frekuensi 1.838 GHz sedangkan pada frekuensi 2.4 GHz didapatkan S parameter sebesar -4,361 dB. Dari Gambar 12 didapatkan besarnya *gain* antenna *dipole* yang dimodelkan sebesar 2,545 dB.

B. Analisis Simulasi Antena Dipole 1/2 λ pada Industrial Site

Metode simulasi dilakukan dengan meletakkan satu antenna *dipole* pada *industrial site* yang sudah dimodelkan sebelumnya. Antena *dipole* diletakkan pada bagian *building* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13. Lokasi ini dipilih untuk memodelkan WSN yang mentransmisikan data dari bagian *building* dan karena lokasi ini memiliki kondisi mendekati LOS (*Line of Sight*) dibandingkan dengan lokasi lainnya. Hasil simulasi untuk skenario ini ditunjukkan pada Gambar 14-17.

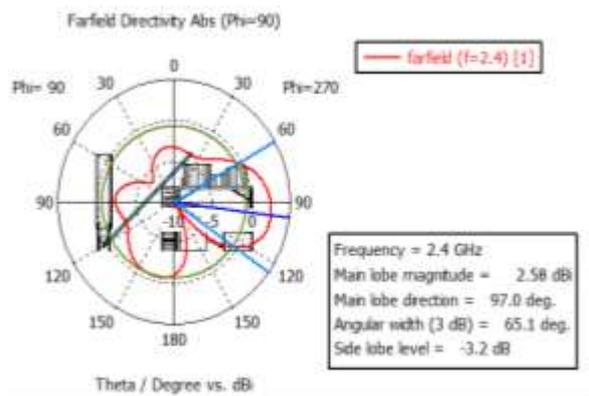


Gambar 13. Lokasi simulasi antenna *dipole* pada *industrial site*

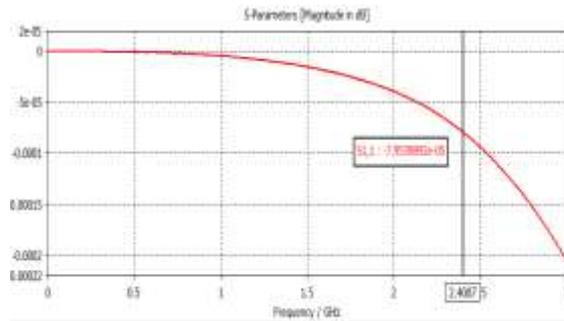


Gambar 14. *Farfield 1* antenna *dipole* pada *industrial site* (dalam 3D)

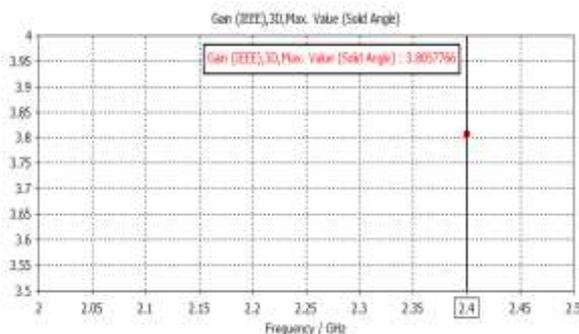
Gambar 14 menunjukkan hasil *farfield 1* antenna *dipole* pada *industrial site* dalam bentuk 3D di koordinat bola sedangkan Gambar 15 merupakan hasil *farfield* dalam koordinat polar. Dari Gambar 14 terlihat bahwa besarnya direktivitas yang didapatkan adalah sebesar 4,293 dB dengan efisiensi radiasi sebesar -0,487 dB. Besarnya *main lobe* pada simulasi ini adalah 2,580 dB dengan arah direktivitas 97 *degree* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. *Farfield 1* antenna *dipole* pada *industrial site* (dalam polar)



Gambar 16. Plot S_{11} parameter 1 antenna *dipole* pada *industrial site*



Gambar 17. Plot Gain antenna *dipole* pada *industrial site*

Gambar 16 menunjukkan plot S parameter pada simulasi dengan 1 antenna. Dari hasil tersebut terlihat bahwa *range* frekuensi yang digunakan yaitu sebesar 0 sampai 3 GHz belum dapat dianalisis nilai maksimum S parameternya namun pada frekuensi 2.4 GHz besarnya S parameter yang diperoleh adalah -1,558 dB. Dari hasil plot *gain* yang ditunjukkan pada Gambar 17 diperoleh besarnya *gain* adalah 3,806 dB.

Keseluruhan hasil tersebut menunjukkan bahwa mensimulasikan antenna *dipole* pada *industrial site* akan mengubah beberapa karakteristik antenna seperti *gain*, direktivitas, dan S_{11} parameter. Perbedaan karakteristik tersebut disebabkan oleh komponen-komponen *industrial site* yang berada di sekitarnya. Komponen tersebut memiliki permitivitas, permeabilitas, dan konduktivitas yang berbeda-beda seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Karakteristik dari masing-masing komponen akan mempengaruhi propagasi dan pola radiasi gelombang elektromagnetik dari antenna *dipole* yang disimulasikan.

Dibandingkan dengan hasil simulasi antenna di udara, hasil simulasi antenna pada *industrial site* mengalami penambahan *gain* 1,261 dB dengan direktivitas meningkat sebesar 1,835 dB. Hal tersebut menunjukkan bahwa arah radiasi sinyal cenderung berubah dan cenderung fokus ke arah tertentu seperti perubahan yang ditunjukkan pada Gambar 10 dan

Gambar 15. Hasil simulasi antenna di *industrial site* juga memberikan peningkatan S_{11} parameter (*return loss*) sebesar 2,803 dB yang berarti bahwa beberapa objek dengan karakteristik permitivitas, permeabilitas dan konduktivitas yang lebih besar dibandingkan udara akan menyebabkan pemantulan radiasi gelombang yang juga lebih besar.

V. KESIMPULAN

Pola radiasi antenna *dipole* yang disimulasikan pada *industrial site* memiliki hasil yang berbeda dengan antenna *dipole* yang disimulasikan di udara. Hal tersebut disebabkan karena adanya pengaruh beberapa komponen *industrial site* di sekitarnya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa besarnya direktivitas antenna *dipole* meningkat sebesar 1,835 dB dengan besar *main lobe* meningkat sebanyak 0,240 dB. Besarnya S_{11} Parameter dan *gain* pada simulasi antenna *dipole* di *industrial site* juga meningkat masing-masing sebesar 2,803 dB dan 1,261 dB. Hasil penelitian ini nantinya akan dilanjutkan dengan menambahkan sinyal gangguan berupa *noise* dari komponen elektrik untuk dianalisis pengaruh adanya komponen elektrik pada pola radiasi antenna di *industrial site*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Hibah Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (sesuai dengan Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2018) skema Penelitian Dosen Pemula yang telah mendukung proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E.R. Iglesias, "Propagation Channel Characteristic of Industrial Wireless Sensor Networks," IEEE Antennas and Propagations Magazines, hal 66 – 73, Feb, 2016.
- [2] R. Budampati dan S. Kolavennu, "Industrial Wireless Sensor Networks: Monitoring, Control and Automation (Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials) 1st ed.," Woodhead Publishing, 2015.
- [3] J.D. Kraus dan R.J. Marhefka, "Antennas for All Applications 3rd ed.," Tata McGraw-Hill, 1997.
- [4] Crossbow Wireless Sensor Networks Product Guide, 2017 Edition, Crossbow Technology, Inc, California, USA, 2007, hal. 31-44.
- [5] MICAz Wireless Measurement Systems Datasheet, Crossbow Technology, Inc, California, USA, 2007, hal. 1-2.
- [6] User Guide and Specification NI WSN-3202, 2010 Ed., National Instrument, Texas, USA, 2010.
- [7] V.C. Gungor dan G.P. Hancke, "Industrial Wireless Sensor Networks: Challenges, Design Principles, and Technical Approaches," IEEE Transactions on Industri Electronics, Vol. 56, No. 10, hal. 4258-4265, Oct. 2009.
- [8] T.A. Milligan, "Modern Antenna Design 2nd ed.," John Wiley & Sons Inc., 2005.
- [9] D. Roddy dan J. Coolen, "Electronic Communication", Prentice Hall of India, 1984.
- [10] M.F. Iskander, "Electromagnetic Fields and Wave", Prentice Hall Inc, 1992.
- [11] IEEE Standard for Definitions of Terms for Antennas'
- [12] C. A. Balanis. "Antenna theory, analysis and design 3rd ed.," JohnWiley and Sons Inc., 2005.