

Analisis Medan Listrik dan Rapat Arus Pada Bagian Skin, Fat, dan Muscle Manusia

Ryan Krishandi Lukito
Departemen Teknik Elektro dan
Teknologi Informasi
Fakultas Teknik Universitas Gadjah
Mada
Sleman, DI Yogyakarta
ryankrishandilukito@mail.ugm.ac.id

I. PENDAHULUAN

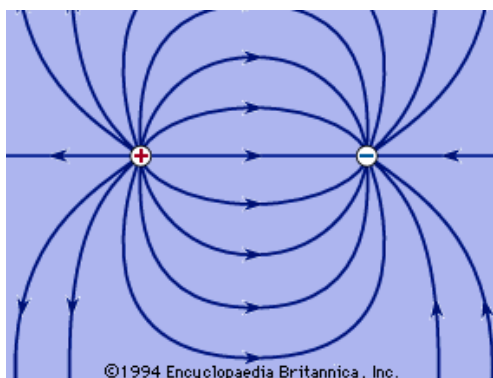
Listrik ada di mana saja, tak terkecuali tubuh manusia. Tubuh manusia merupakan salah satu contoh medan listrik alami. Hal ini dapat dimaklumi mengingat organ tubuh memerlukan listrik untuk bekerja dengan optimal, mulai dari otak sampai jantung. Meskipun demikian, bukan berarti secara alami manusia memiliki listrik dengan kapasitas sebesar gardu PLN. Namun, listrik pada manusia cukup untuk menimbulkan sengatan listrik statis.

Menyadari bahwa manusia memiliki medan listrik alami, pada laporan ini penulis akan membuat ilustrasi medan listrik sederhana pada tubuh manusia. Bagian tubuh yang dipilih adalah bagian tubuh yang paling umum menimbulkan listrik statis, yaitu kulit (*skin*), lemak (*fat*), dan otot (*muscle*). Ilustrasi akan dibuat menggunakan *software* octave dan medan listrik alami pada udara digunakan sebagai acuan awal untuk persamaan vektor di dalam tubuh manusia.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Medan Listrik

Medan listrik merupakan sebuah kondisi di mana ada muatan listrik di setiap titik pada sebuah ruang [1]. Muatan ini memiliki besaran dan arah. Umumnya, arah ditentukan dari jenis muatannya, positif atau negatif. Apabila positif, maka muatan mengarah keluar. Apabila negatif, maka muatan mengarah ke dalam.



Gambar 1 Ilustrasi Medan Listrik

Medan listrik dinyatakan dalam sebuah persamaan vektor dengan komponen x , y , z dengan simbol E . Seperti persamaan vektor pada umumnya, x , y , z digunakan untuk menentukan arah sementara nilai skalar pada masing-masing komponen menentukan besaran vektor pada masing-masing sumbu.

B. Rapat Arus

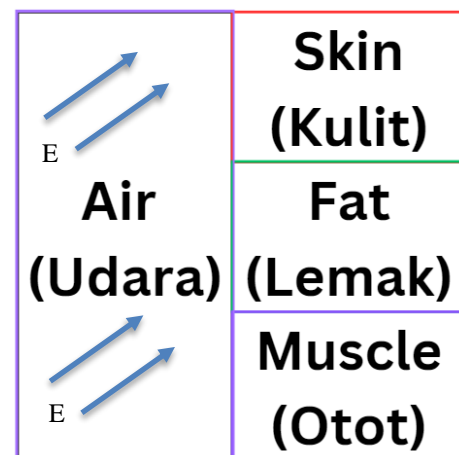
Rapat arus merupakan jumlah aliran arus yang melintasi sebuah bidang konduktor dan dinyatakan dengan satuan A/m^2 (Ampere per meter persegi) [2]. Apabila aliran dari arusnya seragam, maka jumlah dari aliran arus pada sebuah bidang konduktor akan selalu sama untuk setiap titik. Persamaan dari rapat arus dapat dinyatakan dalam bentuk $J = \sigma E$ dengan sigma dan vektor yang berbeda untuk tiap bagian tubuh. Perlu dipahami bahwa rapat arus berkorelasi dengan temperatur dengan nilai koefisien determinasi sebesar 94%. Angka ini menunjukkan ketepatan model regresi antara rapat arus dengan temperatur. Artinya, semakin besar nilai rapat arus, semakin tinggi pula nilai temperaturnya.

C. Bahan Dielektrik

Bahan dielektrik merupakan sebuah medium yang tergolong konduktor lemah yang menjadi faktor pendukung terbentuknya medan elektrostatis. Medium ini tidak memiliki ikatan yang lemah antar selnya dan elektron bebas yang mampu melintasi antarcelah medium dengan leluasa. Fenomena polarisasi pada bahan dielektrik bisa terjadi apabila ditempatkan pada sebuah medan listrik dengan muatan listrik positif diposisikan searah dengan medan listrik dan muatan listrik negatif diposisikan arah sebaliknya. Pada frekuensi tertentu, tubuh manusia berperilaku seperti bahan dielektrik.

III. ANALISIS PERMASALAHAN

Pada laporan ini, medan listrik dibagi ke dalam empat segmen. Setiap segmen mewakili masing-masing bagian *air*, *skin*, *fat*, dan *muscle*. Berikut ilustrasi pembagian medan listrik.



Gambar 2 Ilustrasi Segmentasi Medan Listrik

Kondisi awal dinyatakan dalam segmen *air* dengan persamaan vektor $E_{udara} = 3a_x + 6a_y + a_z$. Sumbu yang digunakan adalah sumbu x dan y dengan sumbu z dinyatakan dalam titik. Artinya, sumbu z tidak diikuti dalam ilustrasi medan listrik.

IV. PENGHITUNGAN MEDAN LISTRIK DAN RAPAT ARUS

Medan Listrik

a. Medan Pada Udara

$$\begin{aligned} \rightarrow E_{udara} &= (3a_x + 6a_y + a_z) V/m \\ \rightarrow D_{udara} &= \epsilon_0(3a_x + 6a_y + a_z) c/m^2 \\ \rightarrow \text{Komponen Tangensial dan Normal} \\ \Rightarrow E_{n,udara} &= \epsilon_0 E_{udara} \cdot a_n \cdot a_n = [(3a_x + 6a_y + a_z) \cdot a_x] \cdot a_x = 3a_x V/m \\ \Rightarrow D_{n,udara} &= \epsilon_0 E_{n,udara} = 3\epsilon_0 a_x c/m^2 \\ \Rightarrow E_{t,udara} &= E_0 - E_{n,udara} = (3a_x + 6a_y + a_z - 3a_x) = 6a_y + a_z V/m \\ \Rightarrow D_{t,udara} &= \epsilon_0 E_{t,udara} = \epsilon_0(6a_y + a_z) c/m^2 \end{aligned}$$

b. Medan Pada Skin

$$\begin{aligned} \rightarrow D_{n,skin} &= D_{n,udara} = 3\epsilon_0 a_x c/m^2 \\ \rightarrow E_{n,skin} &= \frac{D_{n,skin}}{\epsilon_1} = \frac{3\epsilon_0 a_x}{38.56\epsilon_0} = \frac{75}{964} a_x V/m \\ \rightarrow E_{t,skin} &= E_{t,udara} = 6a_y + a_z V/m \\ \rightarrow D_{t,skin} &= \epsilon_1 E_{t,skin} = 38.56(6a_y + a_z)\epsilon_0 c/m^2 \\ \rightarrow E_{skin} &= E_{n,skin} + E_{t,skin} = \frac{75}{964} a_x + 6a_y + a_z V/m \end{aligned}$$

c. Medan Pada Fat

$$\begin{aligned} \rightarrow D_{n,fat} &= D_{n,udara} = 3\epsilon_0 a_x c/m^2 \\ \rightarrow E_{n,fat} &= \frac{D_{n,fat}}{\epsilon_1} = \frac{3\epsilon_0 a_x}{5.32\epsilon_0} = \frac{15}{26} a_x V/m \\ \rightarrow E_{t,fat} &= E_{t,udara} = 6a_y + a_z V/m \\ \rightarrow D_{t,fat} &= \epsilon_1 E_{t,fat} = 5.32(6a_y + a_z)\epsilon_0 c/m^2 \\ \rightarrow E_{fat} &= E_{n,fat} + E_{t,fat} = \frac{15}{26} a_x + 6a_y + a_z V/m \end{aligned}$$

d. Medan Pada Muscle

$$\begin{aligned} \rightarrow D_{n,muscle} &= D_{n,udara} = 3\epsilon_0 a_x c/m^2 \\ \rightarrow E_{n,muscle} &= \frac{D_{n,muscle}}{\epsilon_1} = \frac{3\epsilon_0 a_x}{55.04\epsilon_0} = \frac{75}{1376} a_x V/m \\ \rightarrow E_{t,muscle} &= E_{t,udara} = 6a_y + a_z V/m \\ \rightarrow D_{t,muscle} &= \epsilon_1 E_{t,muscle} = 55.04(6a_y + a_z)\epsilon_0 c/m^2 \\ \rightarrow E_{muscle} &= E_{n,muscle} + E_{t,muscle} = \frac{75}{1376} a_x + 6a_y + a_z V/m \end{aligned}$$

Rapat Arus

a. Skin

$$\begin{aligned} \rightarrow J &= \sigma E_{skin} = 1.26 \left(\frac{75}{964} a_x + 6a_y + a_z \right) = \\ &= \frac{189}{1928} a_x + \frac{189}{25} a_y + 1.26 a_z A/m^2 \\ \rightarrow |J| &= \sqrt{\left(\frac{189}{1928} \right)^2 + \left(\frac{189}{25} \right)^2 + 1.26^2} = \\ &= 7.66 A/m^2 \end{aligned}$$

b. Fat

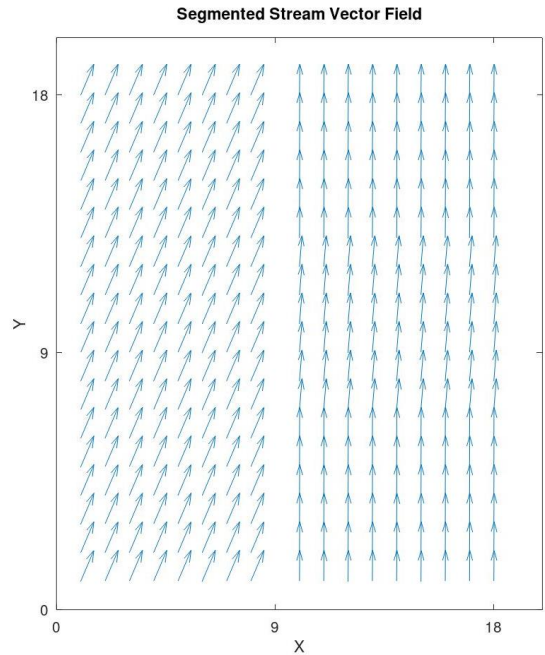
$$\begin{aligned} \rightarrow J &= \sigma E_{fat} = 0.08 \left(\frac{15}{26} a_x + 6a_y + a_z \right) = \\ &= \frac{3}{65} a_x + \frac{12}{25} a_y + 0.08 a_z A/m^2 \\ \rightarrow |J| &= \sqrt{\left(\frac{3}{65} \right)^2 + \left(\frac{12}{25} \right)^2 + 0.08^2} = 0.48 A/m^2 \end{aligned}$$

c. Muscle

$$\begin{aligned} \rightarrow J &= \sigma E_{muscle} = 1.56 \left(\frac{75}{1376} a_x + 6a_y + a_z \right) = \\ &= \frac{117}{1376} a_x + \frac{234}{25} a_y + 1.56 a_z A/m^2 \\ \rightarrow |J| &= \sqrt{\left(\frac{117}{1376} \right)^2 + \left(\frac{234}{25} \right)^2 + 1.56^2} = \\ &= 9.48 A/m^2 \end{aligned}$$

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

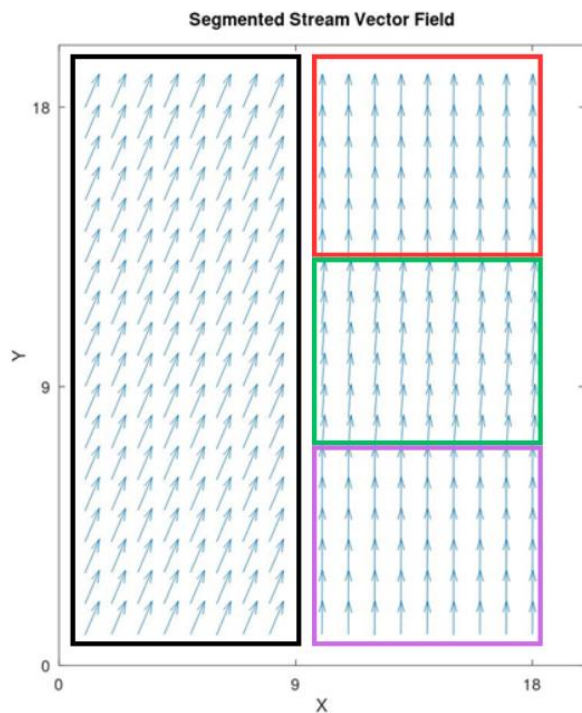
Hasil penghitungan medan listrik pada poin IV menjadi masukkan untuk menentukan besar serta arah dari ilustrasi vektor medan listrik. Program untuk membuat ilustrasi medan listrik dapat diakses pada laman <https://github.com/ryanlukito/Proyek-UTS-ME-2023>. Berikut ilustrasi medan listrik untuk setiap bagian tubuh (*skin*, *fat*, dan *muscle*) menggunakan *software octave*.



Gambar 3 Medan Listrik pada Air, Skin, Fat, dan Muscle

Sesuai dengan yang digambarkan pada poin III, ilustrasi medan listrik terbagi ke dalam empat segmen, yaitu *air* (kuadran kiri), *skin* (kuadran kanan atas), *fat* (kuadran kanan tengah), dan *muscle* (kuadran kanan bawah). Acuan awal dari penghitungan setiap medan listrik adalah udara (kondisi awal). Setiap kuadran ditandai dengan kotak yang berbeda warnanya. Apabila diperhatikan, setiap kuadran memiliki arah yang berbeda. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan nilai vektor a_x untuk setiap bagian tubuh.

Sesuai dengan vektor pada umumnya, komponen x, y, z mempengaruhi arah dari sebuah vektor. Semakin besar nilai skalar komponennya, maka semakin “menarik” juga vektornya apabila ditinjau dari bentuk semula (dalam kasus ini, vektor awal dinyatakan dengan persamaan $3a_x + 6a_y + a_z$). Hasil penghitungan pada poin IV menunjukkan perubahan nilai vektor dari kondisi awal hanya berbeda di komponen a_x . Hal ini dikarenakan tidak adanya faktor pengubah pada komponen tangensial.



Gambar 4 Medan Listrik pada Air, Skin, Fat, dan Muscle dengan Segmentasi

Selain menghitung besar medan listrik, poin III juga menghitung besar dari rapat arus masing-masing bagian tubuh. Berdasarkan nilai skalar, *muscle* memiliki nilai

terbesar. Sesuai dengan yang ditulis pada poin II, yaitu rapat arus berkorelasi dengan temperatur dengan nilai koefisien determinan sebesar 94% terhadap temperatur. Artinya, *muscle* merupakan bagian tubuh dengan temperatur tertinggi (terpanas) apabila dibandingkan dengan *skin* dan *muscle* pada kondisi yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Britannica, "Britannica," 9 March 2024. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/electric-field>. [Accessed 14 April 2024].
- [2] G. f. Geeks, "Geeks for Geeks," 12 March 2024. [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/current-density/>. [Accessed 14 April 2024].
- [3] J.-Y. Hwang and J.-Y. Lai, "The effect of temperature on limiting current density and mass transfer in electrodialysis," *Journal of Chemical Technology & ,* vol. 37, no. 2, pp. 123-132.