

## Rancang Bangun Alat Pendeteksi Medan Listrik Portable untuk Keamanan Manusia

Husnibes Muchtar<sup>1</sup>, Ridwan Sobirin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta 10510  
Email: husnibes.muchtar@ftumj.ac.id<sup>1</sup>, 2013420062@ftumj.ac.id<sup>2</sup>

### ABSTRAK

*Metode yang digunakan Pada proyek akhir ini adalah menggunakan IC CMOS CD 4093 dan sistem mikrokontroler AtMega 328 P. Perencanaan sistem ini terdiri dari 4 bagian : sistem sensor, sistem pengolah data, sistem penampil data dan rangkaian Catu Daya. Sistem sensor menggunakan IC CMOS CD 40493 yang berfungsi untuk mendeteksi keberadaan medan listrik pada peralatan yang menggunakan sumber listrik. Sistem pengolah data berupa sistem minimum menggunakan mikrokontroler Atmega 328 P untuk mengolah data yang dihasilkan oleh IC CMOS CD 4093, kemudian bagian berikutnya adalah penampil data berupa LCD (Liquid Cristal Display) dengan type modul M1632 LCD, berfungsi untuk menampilkan data yang ditangkap oleh sensor dan kemudian diolah pada sistem mikrokontroler Atmega 328 P kemudian ditampilkan pada LCD.*

**Kata Kunci : IC CMOS CD 4043, Atmega 328p, LCD M1632**

### ABSTRACT

*The electric field generated by electrical equipment has a bad impact on humans, the electric field cannot be seen with the human eye but its impact can be felt by the human body, to determine the presence of an electric field and the farthest distance from the electric field in an electrical equipment, an electric field detector is needed. . The method used in this final project is to use IC CMOS CD 4093 and AtMega 328 P microcontroller system. The steps used are identification of equipment requirements, hardware design, software design, and data sharing. This system planning consists of 4 parts: sensor system, data processing system, data display system and power supply circuit. The sensor system uses the CMOS CD 40493 IC which functions to detect the presence of an electric field in equipment that uses a power source. The data processing system in the form of a minimum system uses an Atmega 328 P microcontroller to process the data generated by the IC CMOS CD 4093, then the next part is a data viewer in the form of an LCD (Liquid Cristal Display) with the M1632 LCD module type, functions to display data captured by sensors and then processed on the Atmega 328 P microcontroller system then displayed on the LCD, the last part is the Power Supply circuit, this section serves as a power supply provider so that the circuit can work properly.*

**Keywords: IC CMOS CD 4043, Atmega 328p, LCD M1632**

### 1. PENDAHULUAN

Medan listrik dapat juga didefinisikan sebagai gaya bertumpu pada muatan uji satuan pada titik yang ingin didapatkan harga medan vektornya [1]. Medan listrik dan medan magnet sudah ada sejak bumi kita ini terbentuk [2]. Salah satu sumber radiasi non-pengion yang paling umum terpapar pada manusia adalah medan elektromagnetik frekuensi industri. Pengaruh medan listrik dari frekuensi industri sangat penting di area yang dekat dengan fasilitas tegangan tinggi (HV) [3]. Akhir-akhir ini telah terjadi peningkatan kekhawatiran bahwa medan elektromagnetik ternyata tidak aman seperti anggapan kita selama ini. Pengaruh lain dari energi listrik terhadap kehidupan manusia terjadi karena energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit dan disalurkan melalui transmisi tegangan tinggi dan sistem distribusi akan menimbulkan medan

elektromagnetik [4]. Salah satu sumber radiasi non-pengion yang paling umum ditemukan bagi manusia yang diekspos adalah, dengan segala cara, medan elektromagnetik (EM) pada frekuensi industri [5]. Belum ada pengakuan telah dibuat yang menyatakan bahwa efek yang merugikan kesehatan mungkin dapat timbul akibat dari tingkat paparan yang sangat rendah., untuk mengetahui adanya medan listrik dan jarak terjauh medan listrik pada suatu peralatan listrik, maka diperlukan alat pendeteksi medan listrik.maka di rancang sebuah alat “PENDETEKSI MEDAL LISTRIK PORTABLE UNTUK KEAMANAN MANUSIA “ alat ini di gunakan sebagai pendeteksi medan listrik yang di hasilkan dari peralatan elektronika maupun kabel yg bermuatan arus listrik 220 v 50/60 Hz tanpa harus kontak langsung dengan sumber tegangan, sehingga

memberikan keamanan bagi orang yang melakukan pengecekan perangkat.

Permasalahan yang muncul dalam penelitian yang berfokus mengembangkan alat ukur medan listrik ini antara lain adalah rancang bangun (desain) alat yang dapat mengeskan medan listrik dan mengubahnya menjadi tegangan analog yang dapat berubah sesuai dengan perubahan medan, desain sebuah rangkaian antarmuka untuk mengolah sinyal analog menjadi besaran digital, tampilan hasil pengukuran medan listrik agar dapat dilihat secara langsung di layar LCD.

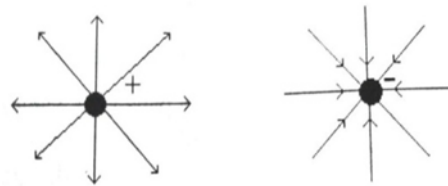
Tujuan dari penelitian ini antara lain adalah melakukan rancang bangun suatu alat instrumentasi yang dapat digunakan untuk mengukur besarnya medan listrik, membuat rangkaian antarmuka untuk mengubah tegangan listrik analog menjadi tegangan digital, mengembangkan teknik antarmuka untuk menampilkan hasil pengukuran medan listrik tersebut dengan tampilan modul M1632 LCD

Manfaat dari penelitian ini antara lain adalah terciptanya alat ukur medan listrik, memberikan pengetahuan tentang teknik mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital, memberikan pengetahuan tentang teknik antarmuka mikrokontroler dengan modul M1632 LCD.

Untuk keperluan kegiatan pembuatan alat dan karakterisasinya, dalam penelitian ini dilakukan pembatasan sebagai berikut.

- 1 Pembuatan alat ukur medan listrik dibatasi pada alat ukur digital yang berbasis pada mikrokontroler Atmega 328 E dengan tampilan modul M1632 LCD.
- 2 Pengujian yang dilakukan terhadap alat ukur adalah menyangkut 2 karakter alat, yaitu:
  - a Linieritas alat terhadap perubahan medan listrik yang diukur.
  - b Kalibrasi alat dilakukan dengan mencocokkan hasil pengukuran oleh
  - c alat hasil rancang bangun dengan hasil pengukuran Electromagnetic radiation detector DT- 1130.

Adapun, sebuah muatan negatif memiliki garis gaya listrik dengan arah masuk ke muatan tersebut. Simulasi muatan bidang 2 dimensi salah satunya dapat dihitung dengan beberapa muatan garis yang digambarkan pada sumbu x dan y [6]. Apabila medan listrik ini melebihi kekuatan tembus udara terjadilah pelepasan muatan [7].



Gambar 1 (a) Garis Gaya Listrik bermuatan Positif  
 (b) Garis Gaya Listrik Bermuatan Negatif [8].

Kuat medan listrik adalah gaya elektrostatis yang di alami oleh suatu muatan positif yang diletakkan di titik tertentu setiap satuan muatannya. Didefinisikan sebagai hasil bagi gaya listrik yang bekerja pada suatu muatan uji dengan besar muatan uji tersebut. Sehingga kuat medan listrik dibawah saluran transmisi dapat menggunakan persamaan 2.16 [9].

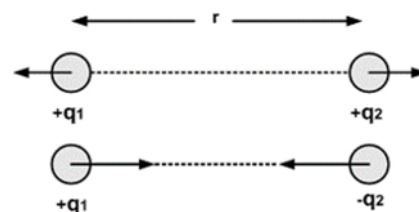
Besar medan listrik dari sebuah benda bermuatan listrik dinamakan kuat medan listrik. Jika dalam sebuah daerah ruang, sebuah muatan uji  $q$  mengalami sebuah gaya  $F$ , maka daerah itu dicirikan oleh sebuah medan listrik yang kuat medan listriknya  $E$ . Muatan listrik terdiri atas:

Elektron yang membawa muatan negative, Proton yang membawa muatan positif

- Muatan 1 elektron =  $- 1,6 \cdot 10^{-19}$  Coulomb
- Muatan 1 proton =  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Coulomb
- Bila benda kelebihan elektron ( $\sum$  elektron  $>$   $\sum$  proton), maka benda bermuatan negatif.
- Bila benda kekurangan elektron ( $\sum$  elektron  $<$   $\sum$  proton), maka benda bermuatan positif.
- Bila  $\sum$  elektron =  $\sum$  proton, maka benda tidak bermuatan ( netral ).

Sifat muatan listrik

- Muatan sejenis akan tolak menolak
- Muatan tidak sejenis akan tarik-menarik



Gambar 2 Sifat muatan listrik.

Hukum Coulomb yang dinyatakan oleh Charles Augustin de Coulomb (1786) adalah sebagai berikut :

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \dots(1)$$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \dots(2)$$

Gaya tarik menarik atau gaya tolak antara dua muatan listrik sebanding dengan muatan-muatannya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua muatan [9]–[13]. Secara matematis Hukum Coulomb dirumuskan sebagai berikut dimana  $F$  = gaya Coulomb (Newton),  $q$  = muatan listrik (Coulomb),  $r$  = jarak kedua muatan (meter),  $k$  = konstanta.

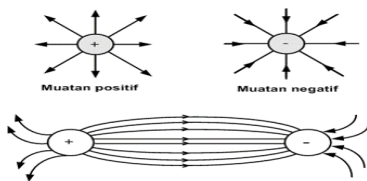
$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$

- $\epsilon_0$  = permitivitas listrik dalam ruang hampa udara  
 $= 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$

Maka gaya Coulomb dalam zat/bahan tersebut menjadi :

$$F_{\text{bahan}} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \dots(2.3)$$

$$\text{atau } F_{\text{bahan}} = \frac{k}{K} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} = \frac{1}{\epsilon_r} \cdot F_{\text{vakum}}$$



Gambar 3 Garis gaya listrik.

Diukur/dihitung pada ketinggian 1 meter di atas permukaan tanah pada medan yang tidak terganggu. Serta ambang batas nilai efektif induksi medan magnet ( $B_b$ ) secara terus menerus adalah  $B_b = 0,5 \text{ mT}$ . Diukur/dihitung pada ketinggian 1 m di atas tanah pada medan yang tidak terganggu.

Badan Standarisasi Nasional tentang Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) - Nilai Ambang Batas Medan Listrik dan Medan Magnet [14].

Tabel 1 Rekomendasi SNI 04-6950-2003 Untuk Batas Paparan Terhadap Medan Listrik Dan Medan Magnet Yang Berlaku Pada Lingkungan Kerja Dan Umum Untuk Frekuensi 50/60 Hz.

Klasifikasi	Kuat Medan Listrik (kV/m)	Kuat Medan Magnet (mT)
Yang berhubungan dengan pekerjaan		
Sekuruh hari kerja	10	0.5
Jangka pendek	30 a)	1 b)
Hanya pada lengan	-	25
Yang berhubungan dengan masyarakat umum		
Sampai 24 jam/hari c)	5	0.1
Beberapa jam/hari d)	10	1

Durasi paparan untuk kuat medan listrik antara 10-30 kV/m dapat dihitung dengan rumus :  $t \leq 80/E$  dimana  $t$  = lama *exposure* (jam) dan  $E$  = Kuat medan listrik (kV/m). Durasi paparan maksimum per hari adalah 2 jam. Pembatasan ini berlaku untuk ruang terbuka dimana anggota masyarakat umum dapat secara wajar diperkirakan menghabiskan sebagian besar waktu selama satu hari, seperti misalnya kawasan rekreasi, lapangan untuk bertemu dan lain-lain yang semacam itu.

Nilai kuat medan listrik dan kuat medan magnet dapat dilampaui untuk durasi beberapa menit/hari asalkan diambil tindakan pencegahan untuk mencegah efek kopling tak langsung.

WHO pada tahun 1990 memberikan rekomendasi untuk nilai ambang batas medan listrik seperti terlihat pada tabel 2.4 berikut:

Tabel 2 Nilai Ambang Batas Medan Listrik Berdasarkan Rekomendasi WHO 199.

Intensitas Medan Listrik (kV/m)	Lama <i>Exposure</i> per 24 jam yang diperbolehkan (menit)
5	Tidak Terbatas
10	180
15	90
20	10
25	5

Rapat fluks magnetik sebesar 0,5 mT pada frekuensi 50/60 Hz akan menginduksi rapat arus efektif sekitar 1 mA/m pada keliling suatu *loop* jaringan tubuh yang berjejari 10 cm.

Secara umum, potensi gangguan kesehatan akibat radiasi elektromagnetik pada manusia, berupa efek jangka panjang, berupa potensi proses degeneratif dan keganasan (kanker) serta efek hipersensitivitas, dengan berbagai manifestasinya. Potensi terjadinya proses degeneratif dan keganasan tergantung batas paparan medan listrik dan medan magnet dalam satuan waktu. Sedangkan efek

hipersensitivitas tidak harus tergantung pada batas paparan.

Radiasi elektromagnetik berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan tertentu. Berbagai potensi gangguan kesehatan tersebut adalah sebagai berikut:

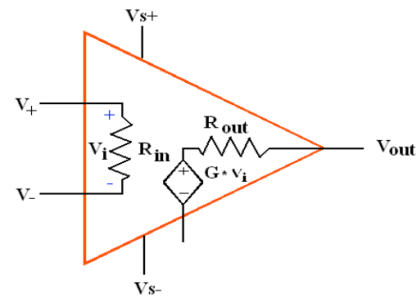
- a Sistem darah, berupa leukemia dan limfoma malignum.
- b Sistem reproduksi laki-laki, berupa infertilitas.
- c Sistem saraf, berupa degeneratif saraf tepi.
- d Sistem kardiovaskular, berupa perubahan ritme jantung.
- e Sistem endokrin, berupa perubahan metabolisme hormon melatonin.
- f Psikologis, berupa neurosis dan gangguan irama sirkadian.
- g Hipersensitivitas.

Potensi gangguan terhadap sistem darah, kardiovaskular, reproduksi dan saraf, memerlukan waktu yang panjang dan tidak dapat dirasakan atau diamati dalam waktu pendek. Sedangkan potensi gangguan pada sistem hormonal, psikologis dan hipersensitivitas, umumnya dapat terjadi dalam waktu pendek. Manifestasi gangguan dalam waktu pendek, biasanya berupa berbagai keluhan. Keluhan yang paling banyak dikemukakan oleh penduduk yang bertempat tinggal di bawah SUTET adalah sakit kepala, pening dan keletihan menahun. (Anies, 2007)

*Inverting Amplifier* merupakan penerapan dari penguat operasional sebagai penguat sinyal dengan karakteristik dasar sinyal *output* memiliki phase yang berkebalikan dengan phase sinyal *input*. Tegangan yang masuk ke *inverting amplifier* adalah bentuk penyesuaian arus yang dihasilkan sensor kumparan solenoid, dimana:

$$V=I \cdot R \dots \dots \dots (3)$$

Pada dasarnya penguat operasional (Op-Amp) memiliki faktor penguatan yang sangat tinggi sampai dengan 100.000 kali penguatan pada kondisi tanpa rangkaian umpan balik. Pada Gambar 2.7 menunjukkan contoh ideal penguat operasional. Bagian utama dalam sebuah amplifier adalah sumber tegangan tergantung yang meningkatkan dengan jatuh tegangan  $R_{in}$ , sehingga memperkuat perbedaan tegangan antara  $V_{+}$  dan  $V_{-}$ .



Gambar 4 Ideal operational amplifier.

Arduino adalah sebuah board mikrokontroler yang berbasis ATmega328 [15]. Arduino memiliki 14 pin input/output yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog input, crystal osilator 16 MHz, koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol reset. Arduino mampu *men-support* mikrokontroler; dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB..(FeriDjuandi, 2011)



Gambar 5 Board arduino uno.

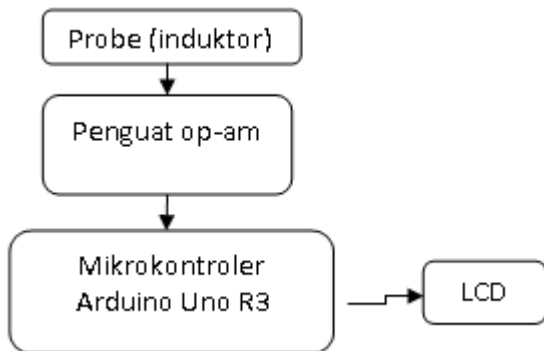
Apakah arduino? Menurut (FeriDjuandi, 2011) Arduino adalah merupakan sebuah board minimum system mikrokontroler yang bersifat open source. Didalam rangkaian board arduino terdapat mikrokontroler AVR seri ATmega 328 yang merupakan produk dari Atmel. Arduino Uno dapat diprogram dengan perangkat lunak Arduino . Pada ATmega328 di Arduino terdapat *bootloader* yang memungkinkan Anda untuk meng-*upload* kode baru untuk itu tanpa menggunakan *programmer hardware eksternal*. IDE Arduino adalah *software* yang sangat canggih ditulis dengan menggunakan Java. IDE Arduino terdiri dari:

Teori Dasar LCD 16x2 karakter M1632  
 Arduino LCD module 16 x 32 (M1632) ini akan membahas lebih detail mengenai struktur memori, register-register, inialisasi dan teknik antar mukanya ke mikrokontroler / arduino.

## 2. PERANCANGAN PERANGKAT KERAS

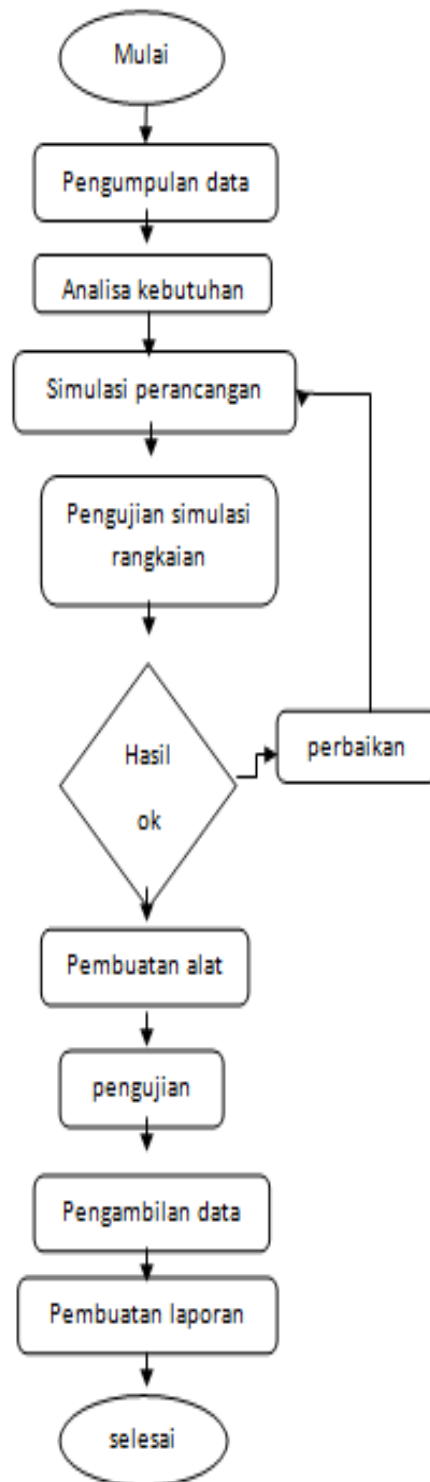
Pada bagian ini di jelaskan mengenai rangkaian elektronika yang menyusun sistem yang di buat. Dibawah merupakan blok diagram yang digunakan

dalam perancangan perangkat keras pada pembuatan pendeteksi dan pengukuran besaran listrik.

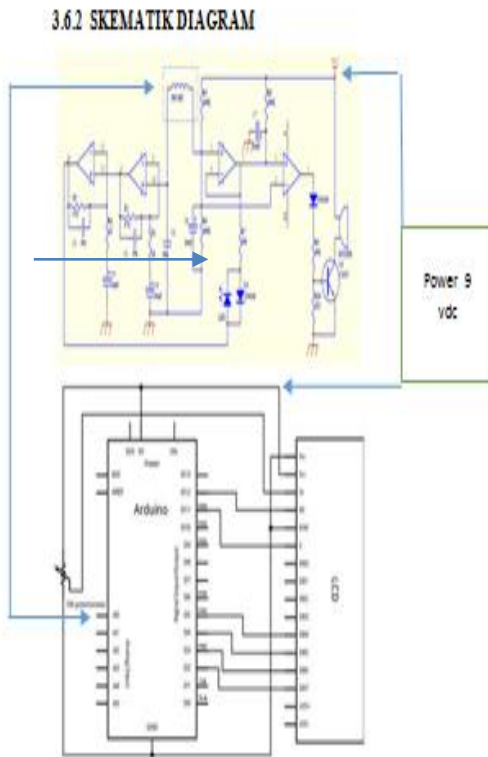


Gambar 6 Blok diagram sistem pengukuran.

Langkah-langkah kerja dalam penelitian ini diperjelas dalam diagram alir penelitian sebagai berikut:



Gambar 7 Diagram alir perancangan alat dan sistem.



Gambar 8 Skema lengkap rangkaian.

Probe akan menangkap sinyal jala 220V AC, kemudian masuk ke pin 10 IC LM324, kemudian melalui R47k, c10n, r 1k dan elco 10uf sinyal ini akan difilter sehingga hanya frekuensi sekitar 50/60 hz yang akan lewat pada keluaran pin8, kemudian sinyal ini akan melalui filter kedua setelah masuk pada pin 8 dan juga melalui R47k,C10n, R1K dan elco 10uf, agar frekuensi yang dilewati lebih baik, kemudian pada keluaran pin 14, jika frekuensi filter terlewati, maka pada pin 14 akan menjadi low, sehingga LED akan menyala, kemudian keluaran op-amp pada pin 1 akan high,

```

emf_umj_skrpsi

File Edit Sketch Tools Help

emf_umj_skrpsi

void setup()
{
  Serial.begin(9600); // opens serial port, sets data rate to 9600 bps
  lcd.begin(16, 2); // set up the LCD's number of columns and rows:
  lcd.print("EMF PORTABLE UMJ");
}
void loop()
{
  //Conversion formula

  int analog_value = analogRead(A0);
  temp = (analog_value * 5.0) / 1023.0;
  input_voltage = temp / (r2 / (r1 + r2));

  if (input_voltage < 0.1)
  {
    input_voltage = 0.0;
  }
  Serial.print("v= ");
  Serial.println(input_voltage);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(input_voltage);
  lcd.print(" = v/cm");
  delay(300);
}

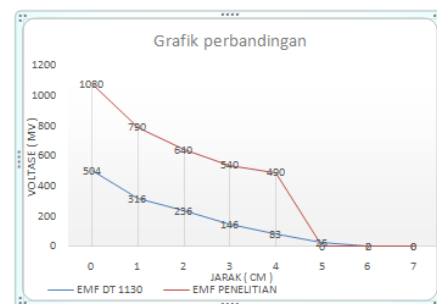
Done uploading
Sketch uses 5642 bytes (17%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 415 bytes (20%) of dynamic memory, leaving 1633 bytes for local variables.
    
```

Gambar 9 Sketch program detektor.

### 3. HASIL PENGUKURAN ALAT

Tabel 3 Pengujian 1 pengujian terhadap beban lampu 5 watt 220 volt ac.

NO	JARAK (CM)	HASIL UJI ALAT (mv)/cm		% KESALAHAN
		EMF DT 1130	EMF PENELITIAN	
1	0	504	1080	114 %
2	1	316	790	150 %
3	2	236	640	171 %
4	3	146	540	269 %
5	4	83	490	490 %
6	5	25	0	100 %
7	6	2	0	100 %
8	7	0	0	0 %

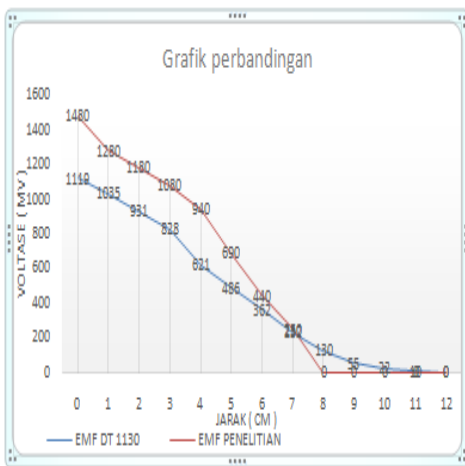


Gambar 10 Grafik perbandingan 1.

Setelah dilakukan perbandingan di ketahui jumlah % kesalahan pada alat uji buatan untuk beban lampu bolham 5 watt relatif tidak stabil dengan rata rata kesalahan di atas 100%.

Tabel 4 Pengujian terhadap beban lampu 30 watt 220 volt ac

NO	JARAK (CM)	HASIL UJI ALAT (mV) / cm		% KESALAHAN
		EMF DT 1130	EMF PENELITIAN	
1	0	1119	1480	32,36 %
2	1	1035	1280	23,67 %
3	2	931	1180	26,74 %
4	3	828	1080	30,43 %
5	4	621	940	51,36 %
6	5	486	690	41,97 %
7	6	362	440	21,54 %
8	7	232	250	7,75 %
9	8	130	0	100 %
10	9	55	0	100 %
11	10	22	0	100 %
12	11	10	0	100 %
13	12	0	0	0%

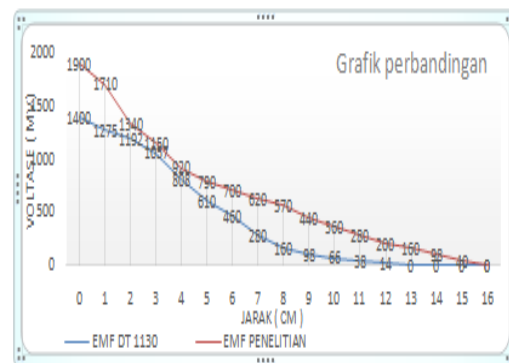


Gambar 11 Grafik perbandingan 2.

Setelah Dilakukan perbandingan diketahui jumlah % kesalahan pada alat uji untuk beban lampu 30 watt relatif lebih stabil dengan rata rata kesalahan dibawah 50 % untuk pengukuran 0 – 7 cm.

Tabel 5 Pengujian 1 pengujian terhadap beban exhause 80 watt 220 volt ac

BEBAN EXHAUSE 80 WATT				
NO	JARAK (CM)	HASIL UJI ALAT (mV) / cm		% KESALAHAN
		EMF DT 1130	EMF PENELITIAN	
1	0	1400	1900	35,71 %
2	1	1275	1710	34,11 %
3	2	1192	1340	12,41 %
4	3	1057	1150	8,79 %
5	4	808	920	13,86 %
6	5	610	790	29,50 %
7	6	460	700	52,17 %
8	7	280	620	121,4 %
9	8	160	570	256 %
10	9	98	440	348 %
11	10	66	360	445 %
12	11	38	280	636 %
13	12	14	200	1328 %
14	13	0	160	100 %
15	14	0	98	100 %
16	15	0	40	100 %
17	16	0	0	0%



Gambar 12 Grafik perbandingan 3.

Setelah dilakukan perbandingan di ketahui jumlah % kesalahan pada alat uji untuk beban exhause 80 watt relatif lebih tinggi di banding alat ukur buatan pabrik.dengan rata rata kesalahan di bawah 50 % untuk pengukuran di bawah 6 cm dan kesalahan relatif lebih tinggi di jarak lebih dari 6 cm dengan rata rata kesalahan di atas 50 %.

#### 4. KESIMPULAN

Setelah melakukan perancangan dan uji coba terhadap alat yang telah dibuat maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut bahwa jarak akan mempengaruhi kuat intensitas medan listriknya, semakin jauh jarak antara alat pendeteksi maka semakin kecil efek medan listrik yang di terbaca. Indikator keberadaan medan listrik frekuensi 50-60hz tegangan 220VAC diketahui dengan buzzer dan di tampilan tegangannya di lcd. Hasil pengukuran menggunakan alat yang di buat masih belum stabil bila dibandingkan dengan alat buatan pabrik. Penggunaan daya yang sangat kecil sehingga tidak boros baterai.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] S. Azmi, A. Warsito, and M. Facta, "Penggunaan FEM (Finite Element Method) Dalam Memetakan Medan Listrik Pada Permukaan Isolator Jenis Pin Dan Post 20 kV Dan Udara Disekitarnya," Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip, 2011.
- [2] N. Tribuana, "Pengukuran medan listrik dan medan magnet di bawah SUTET 500kV," *Elektro Indones.*, 2000.
- [3] A. Ranković and M. S. Savić, "Generalized charge simulation method for the calculation of the electric field in high voltage substations," *Electr. Eng.*, vol. 92, no. 2, pp. 69–77, 2010.
- [4] U. S. Baafai, "Sistem Tenaga Listrik: Polusi Dan Pengaruh Medan Elektromagnetik Terhadap Kesehatan Masyarakat," *Pidato Pengukuhan Jab. Guru Besar Tetap Fak. Tek. Univ. Sumat. Utara Medan*, 2004.
- [5] D. M. Petković, D. D. Krstić, and V. B. Stanković, "The effect of electric field on humans in the immediate vicinity of 110 kv power lines," *Facta Univ.-Ser. Work. Living Environ. Prot.*, vol. 3, no. 1, pp. 63–72, 2006.
- [6] Y. Kato, "A charge simulation method for the calculation of two-dimensional electrostatic fields," 福井工業大学研究紀要, no. 10, pp. 107–117, 1980.
- [7] J. Ginting, "ANALISA EFEK TEGANGAN INDUKSI KARENA SAMBARAN PETIR PADA AREA OPERASIONAL PT. X," *X Depok Jur. Tek. Elektro Fak. Tek. Univ. Indones.*, 2012.
- [8] T. K. Priyambodo and B. M. E. Jati, "Fisika dasar untuk mahasiswa ilmu komputer dan informatika," *Penerbit ANDI Yogyakarta*, 2009.
- [9] W. H. Hayt Jr, J. A. Buck, and M. J. Akhtar, *Engineering Electromagnetics/ (SIE)*. McGraw-Hill Education, 2020.
- [10] A. Beiser, "Konsep fisika modern," 1999.
- [11] D. Halliday and R. Resnick, "Fisika Edisi Ketiga Jilid 2 Jakarta: Erlangga," 1997.
- [12] M. F. Iskander, *Electromagnetic fields and waves*. Waveland Press, 2013.
- [13] L. C. Shen and J. A. Kong, *Applied electromagnetism*. PWS Publishing Company, 1987.
- [14] B. S. Nasional, "Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)," *Jkt. SNI*, pp. 04–6918, 2002.
- [15] "Arduino - Home." <https://www.arduino.cc/> (accessed Apr. 02, 2019).