

## **PEMANTAUAN PAPARAN RADIASI LINGKUNGAN TERPADU DENGAN KOMUNIKASI GSM/GPRS**

**Ikhsan Shobari<sup>1</sup>, Risanuri Hidayat<sup>2</sup>, Sujoko Sumaryono<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa Pascasarjana Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi UGM

<sup>2,3</sup>Dosen Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi UGM

Jl. Grafika No 2, Yogyakarta, 55281.

Email: <sup>1</sup>ishobary@gmail.com, <sup>2</sup>risanuri@jteti.gadjahmada.edu, <sup>3</sup>sujoko@mti.ugm.ac.id

### **ABSTRAK**

**PEMANTAUAN PAPARAN RADIASI LINGKUNGAN TERPADU DENGAN KOMUNIKASI GSM/GPRS.** Penjaminan pengoperasian reaktor yang tidak membahayakan pekerja dan masyarakat sangat penting untuk dilakukan. Untuk itu perlu dilakukan pemantauan paparan radiasi dan lingkungan secara terus menerus. Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi terkini memungkinkan dilakukan pengukuran paparan radiasi dan lingkungan terpadu secara jarak jauh, on-line dan real time. Paper ini memperkenalkan dan membahas rancang bangun sistem pemantauan paparan radiasi lingkungan terpadu dengan memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi. Data berupa paparan radiasi, suhu, arah angin, kecepatan angin dan, curah hujan, dikirim secara periodis dengan memanfaatkan teknologi GSM/GPRS. Modul Arduino yang berbasis mikrokontroler AT Mega 328, digunakan untuk akuisi data dari kelima sensor tersebut, untuk selanjutnya melalui shield GSM/GPRS data dikirim ke komputer informasi proses melalui pesan singkat SMS. Data yang diterima ditampilkan dalam komputer dalam bentuk tabel dan dapat diolah dengan perangkat lunak lainnya. Hasil menunjukkan bahwa sistem yang dibangun berhasil diimplementasikan untuk pemantauan paparan radiasi lingkungan terpadu secara on-line dan real time untuk pemantauan jarak jauh. Rerata kesalahan pembacaan setelah dilakukan kalibrasi adalah 6,34 persen.

Kata Kunci : Monitor Radiasi, lingkungan, mikrokontroler, komunikasi GSM/GPR.

### **ABSTRACT**

**INTEGRATED ENVIRONMENTAL MONITORING OF RADIATION EXPOSURE WITH GSM/GPRS COMMUNICATION.** Assurance that the reactor operation does not endanger workers and the community is very important to do. It is necessary for monitoring environmental radiation exposure and continuous secar. The development of information and communication technology enables current measurement of radiation exposure and integrated environment remotely, on- line and real time . This paper introduces and discusses the design of monitoring system integrated environmental radiation exposure by utilizing information and communication technologies. Data such as exposure to radiation, temperature, wind direction, wind speed and, rainfall, sent periodically by utilizing GSM/GPRS. Arduino-based microcontroller module AT Mega 328, is used for the data acquisition of the fifth sensor, to further shield via GSM/GPRS data is sent to a computer processes information via SMS text message. The data received is shown in the computer in the form of tables and can be processed by other software. Results showed that the system successfully diimplementasikan for integrated environmental monitoring of radiation exposure on-line and in real time to remote monitoring. The mean reading error after calibration was 6.34 percent .

*Keywords: Radiation Monitor, environment, microcontroller, GSM/GPR communication*

## PENDAHULUAN

Indonesia saat ini mengoperasikan tiga reaktor nuklir untuk keperluan riset, Reaktor Kartini di Yogyakarta, Reaktor Triga 2000, di Bandung, dan Reaktor GA Siwabessy di Kawasan Puspisstek Serpong. Penjaminan pengoperasian reaktor-reaktor tersebut yang tidak membahayakan pekerja dan masyarakat sangat penting untuk dilakukan. Untuk itu perlu dilakukan pemantauan paparan radiasi dan lingkungan secara terus menerus sampai pada radius tertentu sekurangnya 5 km<sup>(1)(2)(3)</sup>.

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi saat ini sangat mendukung untuk dilakukan pengukuran paparan radiasi dan lingkungan terpadu secara remote, on-line dan real time. Pemanfaatan teknologi dengan penempatan jaringan sensor nirkabel, selanjutnya disebut Wireless Sensor Network (WSN) atau dengan memanfaatkan wahana tak berawak baik darat ataupun udara sangatlah memungkinkan. Beberapa pemakaian dan pemanfaatan *Wireless Sensor Network (WSN)* untuk bidang pertanian, lingkungan, ataupun industri telah banyak digunakan<sup>(4)(5)(6)</sup>.

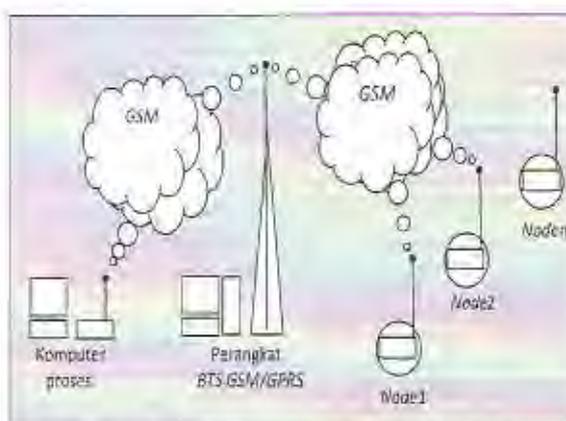
Beberapa protokol komunikasi dipakai dan dikombinasikan untuk saling melengkapi kekurangan masing-masing pada saat diaplikasikan. Beberapa protokol komunikasi yang dikombinasikan misalnya dari node sensor ke node sensor yang lain menggunakan protokol IEEE 802.15.4, selanjutnya dari masing-masing node data dikirim ke lokal server menggunakan protokol IEEE 802.11.a/b/g/n atau *wireless LAN*. Data yang sudah terkumpul di lokal server selanjutnya dapat diakses atau ditransmisikan melalui internet dengan memanfaatkan modem GSM (*Global System for Mobile Communications*), modem CDMA (*Code Division Multiple Access*) atau modem ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), atau komunikasi lainnya yang sudah tersedia<sup>(5,7)</sup>.

Paper ini memperkenalkan dan membahas rancang bangun sistem untuk pengambilan data dalam hal ini data paparan radiasi, dan data cuaca seperti suhu udara, kecepatan angin, arah angin, dan curah hujan. Data dikirim dari titik pemantauan (*node*) melalui jaringan GSM/GPRS (*Global System for Mobile Communications*)/(*General Packet Radio Service*) dengan layanan SMS (*short message service*) dengan memanfaatkan modul Arduino dan *GSM Shield*. Data dikirim secara periodis

setiap selang waktu tertentu. Selanjutnya data diterima melalui modul Arduino dan *GSM Shield* yang berfungsi sebagai penampung untuk selanjutnya dikirim ke komputer proses melalui komunikasi serial. Data di komputer ditampung dan disimpan dalam bentuk tabel dengan format data berupa file \*.CSV. Teknologi ini memungkinkan pengukuran paparan radiasi dapat dilakukan secara *on-line* dan *real time*, untuk jarak yang jauh, dan data dapat ditampilkan lebih cepat. Dengan data yang terus diperbaharui peringatan bila terjadi tingkat paparan radiasi yang melebihi nilai batas ambang segera diketahui, dan dapat secepatnya diberikan peringatan kedaruratan.

## Perancangan Sistem

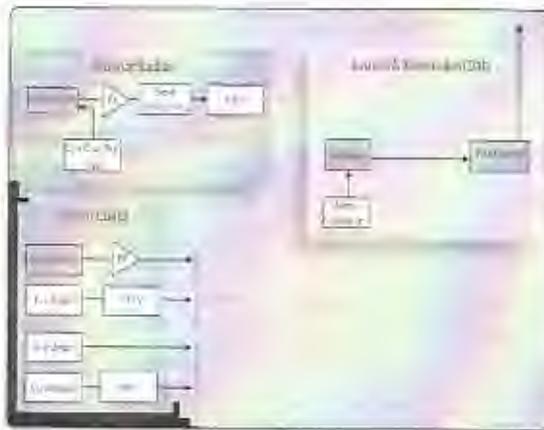
Sistem pemantauan paparan radiasi terpadu dengan komunikasi GSM/GPRS terdiri dari dua bagian utama yaitu pada bagian *node* dan bagian komputer proses, seperti ditampilkan pada Gambar 1. Bagian *node* berfungsi untuk mengumpulkan data dari sensor - sensor. Bagian ini terdiri dari sistem monitor radiasi, sistem sensor cuaca, modul akuisisi dan komunikasi, dan modul catu daya. seperti pada ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah. Bagian komputer proses berfungsi untuk menerima data yang dikirim dari setiap *node* untuk selanjutnya data ditampilkan pada komputer. Bagian ini terdiri dari modul akuisisi dan komunikasi serta komputer proses. Gambar 3, menunjukkan blok diagram sistem untuk ini.



Gambar 1. Blok diagram keseluruhan sistem

Pengiriman data melalui SMS dilakukan untuk selang waktu setiap 2 menit sekali, dengan memanfaatkan layanan operator GSM yang ada. Data dikirim ke komputer proses melalui modul akuisisi dan komunikasi data

dari setiap *node* yang ada. Keterbatasan sarana penunjang membatasi penelitian ini dilakukan pengiriman data hanya dari satu *node* pengambilan data. Pengiriman data dari *node* lainnya dapat disimulasikan dan sistem dapat menerima data simulasi yang dikirimkan (lihat Gambar 2 dan 3).



Gambar 2. Blok diagram sistem pada setiap node



Gambar 3. Blok diagram sistem penerima dan komputer proses

Peralatan yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan sistem ini berupa *toolset* elektronik. *Scoopemeter* Fluke 192B, *Signal Source Calibrator* HIOKI 7016, *Digital Multimeter* Fluke 117. Peralatan untuk pembandingan pengukuran berupa termometer digital, Kompas penunjuk arah, dan *surveymeter* digital Thermo Scientific FAGG seri FH-40-GL. Peralatan penunjang untuk pembuatan program berupa *software* perangkat lunak Sketch, untuk pembuatan program di modul arduino, dan Gobetwino untuk manajemen pengaturan dan penyimpanan file ke komputer proses. Komputer dengan sistem operasi *Microsoft Window Seven*,

*Ultimate Edition*, difungsikan untuk pembuatan program dan sebagai komputer proses.

Bahan yang digunakan adalah dua buah Modul Arduino dengan Shield GSM, Sensor Suhu, *Detektor Geiger Mueller*, *Phototransistor*, sebagai sensor kecepatan angin, Potensiometer sebagai sensor arah angin, dan *switch* sebagai simulasi sensor curah hujan. Bahan-bahan elektronik seperti *resistor*, *capasitor*, *dioda* dan *transistor*, dalam berbagai nilai, beberapa jenis IC CMOS, TTL, OPAMP, *Timer counter LM555*, *Regulator*, *dioda Led*, berbagai jenis *conector* dan terminal digunakan untuk membangun modul-modul yang diperlukan.

Langkah kerja yang dilakukan setelah peralatan dan bahan tersedia adalah melakukan pembuatan perangkat keras, instalasi, pembuatan *software*, kalibrasi, dan pengujian.

Sistem monitor radiasi terdiri dari detektor Geiger Mueller tipe Centronic SI-180G, yang dicatu oleh tegangan tinggi 400 V DC, dan signal conditioning. Keluaran dalam bentuk pulsa tinggi 5 V yang merepresentasikan banyaknya paparan radiasi yang ditangkap oleh detektor. Selanjutnya jumlah pulsa dirubah dalam bentuk tegangan yang merepresentasikan jumlah pulsa dengan menggunakan rangkaian F to V (Frekwensi to Voltage).

Keluaran berupa tegangan 0 – 5 Volt setelah melalui rangkaian rangkaian F to V (Frekwensi to Voltage). Keluaran berupa tegangan analog sebagai masukan analog input modul Arduino port A3. Rangkaian pengubah frekwensi ke tegangan (F to V) digunakan. Pengaturan untuk rangkaian F to V, maksimal adalah 1600 pulsa untuk 4 volt, yang setara dengan paparan radiasi maksimal sebesar 50 uSv/jam yang setara dengan pulsa keluaran detektor 1600 pulsa per detik.

Sensor cuaca terdiri dari sensor suhu, kecepatan angin, sensor arah angin, dan sensor curah hujan. Sensor suhu digunakan LM35, dan sinyalnya dilipatkan dengan dua buah penguat inverting. Penguat pertama akan melipatkan keluaran tegangan menjadi 5 kalinya. Penguat inverting berikutnya digunakan untuk merubah polaritas yang semula negatif menjadi polaritas positif. Penguatan diperlukan karena respon LM35 terhadap perubahan suhu relatif kecil yaitu 10 mV untuk setiap kenaikan 1 derajat Celcius,

sehingga bila suhu  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , maka tegangan keluaran hanya 1 V. Penguatan 5 kali dimaksudkan suhu mencapai  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , maka keluaran tegangan 5 V, dan ini merupakan batas maksimum sinyal analog yang akan dibaca oleh modul akuisisi dan komunikasi data. Alasan lainnya adalah agar bila terjadi penurunan tegangan akibat pemakaian kabel yang panjang tidak akan mempengaruhi hasil pembacaan. Sinyal keluaran sebagai masukan pada analog input modul Arduino port A5.

Sensor kecepatan angin digunakan untuk memberikan informasi kecepatan angin yang pada saat itu. Sensor terdiri dari baling-baling yang dikopel dengan poros dan sebuah cakram. Pada gambar 4 diperlihatkan sistem mekanik yang memungkinkan ditematkannya sensor opto transistor. Baling-baling dengan diameter 13 cm. Gambar 8. Menunjukkan opto transistor yang ditempatkan pada posisi cakram untuk mendapatkan informasi kecepatan angin. Informasi kecepatan angin berbanding lurus dengan banyaknya pulsa yang dihasilkan. Data jumlah pulsa selanjutnya sebagai masukan modul *F to V*, sehingga data input ke modul Arduino berupa tegangan 0 – 5 Volt pada port A4

Pengaturan modul *F to V*, adalah 1600 pulsa setara dengan 4 volt yang ekuivalen dengan kecepatan angin 64 km/jam. Untuk mendapatkan nilai ini baling-baling dengan diameter 13 cm dalam satu putaran menempuh jarak panjang /keliling lingkaran dengan diameter 13 cm adalah  $L = 3,14 \times d$ , sehingga keliling =  $3,14 \times 13 = 40,82\text{ cm} = 0,4082\text{ m}$  dan dalam satu putaran terdapat 36 lubang, yang akan menghasilkan 36 pulsa dalam satu putaran dengan lintasan 0,4082 meter.

Sensor arah angin difungsikan untuk memberikan informasi arah angin. Sensor terdiri dari potensio rotary 5 K, yang dikopel dengan poros yang dihubungkan dengan plat aluminium tipis yang difungsikan sebagai sirip-sirip. Bila sirip tertutup angin maka posisinya sejajar dengan arah angin dan potensio rotary akan mengikuti pergerakan arah angin tersebut. Prinsip rotary potensio adalah sebagai pembagi tegangan, dengan *setting* tegangan antara 0 sampai 4 V, yang menunjukkan arah angin antara 0 derajat sampai 359 derajat. Pengaturan untuk sensor ini adalah 0 derajat arah utara tegangan keluaran 0,060 volt, timur 90 derajat 1,45 volt, selatan 180 derajat keluaran tegangan 3 volt dan barat 270 derajat

keluaran tegangan 4 volt. Keluaran tegangan ini sebagai masukan modul Arduino pada port A4

Secara umum, alat yang digunakan untuk mengukur curah hujan disebut penakar hujan atau istilah lainnya rain gauge (penakar hujan). Satuan curah hujan yang umum digunakan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika adalah millimeter (mm). Jumlah curah hujan yang diukur sebenarnya adalah tebal atau tingginya permukaan air hujan yang menutupi suatu area di permukaan bumi. Curah hujan 1 mm artinya dalam area  $1\text{ m}^2$  (1 meter persegi) pada tempat yang datar tertampung air setinggi 1 mm atau tertampung sebanyak 1 liter atau 1000 ml<sup>[7]</sup>.

Sensor curah hujan yang akan digunakan menggunakan jenis Tipping Bucket. Yang pada saat bucketnya saling berjungkit, secara elektrik terjadi kontak dan menghasilkan keluaran nilai curah hujan. Penakar hujan type tipping bucket, nilai curah hujannya tiap bucket berjungkit tidak sama, serta luas permukaan corongnya beragam tergantung dari merk pembuatnya. Keluaran sinyal berupa data digital berupa pulsa, yang merepresentasikan banyaknya curah hujan yang ditakar.

Keterbatasan prasarana, sensor curah hujan banya disimulasikan dengan switch on/off. Dengan pelipat informasi satu ketuk pulsa dilipatkan menjadi 4 pulsa dan akan mewakili sekitar  $1\text{ mm}^3$  air. Pengaturan modul *F to V* adalah maksimum 120 pulsa per detik dengan tegangan keluaran 4 Volt. Dengan pengaturan ini jumlah maksimum yang dapat dilakukan pengukuran adalah untuk  $30\text{ mm}^3$  air dalam 1 detik. Klasifikasi hujan lebat adalah 10 – 20 mm air untuk satu jam, yaitu dalam 1 jam tinggi air 10 – 20 mm untuk luasan  $1000\text{ cm} \times 1000\text{ mm}$ , atau volum air  $10.000 - 20.000\text{ mm}^3$ , dalam 1 jam atau  $2,78 - 5,55\text{ mm}^3$  dalam satu detik. Sinyal keluaran tegangan analog akan dimasukkan ke modul arduino port A2.

#### Akuisisi Dan Komunikasi Data

Perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram Arduino adalah *Sketch* versi 0.022. Perangkat lunak ini di upload ke modul Arduino untuk selanjutnya modul Arduino akan menangani perintah untuk melakukan pengambilan pembacaan data dari sensor-sensor melalui analog input pada port A1, A2, A3, A4, dan A5. Data hasil pembacaan

selanjutnya dikirim dengan format SMS melalui modul shield komunikasi GSM/GPRS Icomsat versi 1.10, dengan perintah *AT Command*. Gambar 4. menunjukkan

langkah akuisi data dari sensor untuk selanjutnya dikirim ke komputer informasi proses. Proses akuisisi dan pengiriman datanya seperti tertampil dalam Gambar 4.



Gambar 4. a). Flowchart akuisi dan komunikasi data pada node, b) flowchart terima data dan tampilkan data pada komputer informasi proses

Program aplikasi *Sketch* digunakan untuk membuat program di modul Arduino yang digunakan untuk mengirimkan dan menerima data melalui layanan SMS. Penggalan list program pengiriman datanya adalah sebagai berikut :

```
void kirim_paramater_via_sms ()
{
  GPRS.print("AT+CMGF=1\r");
  delay(1000);
  GPRS.println("AT+CMGS
"+6287809267926\r");
  delay(1000);
  // isi SMS
  GPRS.print("Node 001 :");
  GPRS.print("\r");
  GPRS.print(status_batray);
  GPRS.print("\r");
  GPRS.print(suhu);
  GPRS.print("\r");
  GPRS.print(arah_angin);
  GPRS.print("\r");
  GPRS.print(paparan_radiasi);
  GPRS.print("\r");
  GPRS.print(kecepatan_angin);
  GPRS.print("\r");
  GPRS.println(curah_hujan);
  GPRS.print("\r");
}
```

```
Serial.println("SMS telah dikirim ke :
+6287809267926");
GPRS.println((char)26);
GPRS.println();
delay(72000);
return ;
}
```

Penggalan list program untuk penerimanya :

```
void Check_SMS();
if (Serial.available() > 0)
{
  while (Serial.available() > 0) {
    inSerial[i]=(Serial.read()); //baca data
    i++;
  }
  inSerial[i]='\0';
  return;
}
```

Pengaturan penyimpanan file dari pembacaan data menggunakan *software* Gobetwino. *Software* ini akan mengatur data serial yang dikirimkan dari modul penerima ke komputer untuk disimpan dalam bentuk format file \*.CSV.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil rancang bangun yang diimplementasikan setelah dilakukan integrasi dilakukan kalibrasi dan pengujian. Beberapa hal yang sudah dilakukan adalah integrasi untuk perangkat sensor cuaca dengan modul akuisisi dan komunikasi data. Gambar peralatan sistem yang dibangun dapat ditampilkan seperti pada Gambar 5, dan 6.



Gambar 5. Sistem akuisisi data dan komunikasi untuk *node* pengirim



Gambar 6. Sistem akuisisi data dan komunikasi untuk komputer proses penerima

Data hasil pengukurannya adalah sebagai berikut file \*.CSV, yang dapat dibuka dengan program aplikasi *Microsoft Office Excel*.

Hasil akuisi data setelah dilakukan pembacaan data akan dibandingkan dengan alat ukur lainnya untuk mengetahui prosentase kesalahan. Setelah dilakukan akuisisi data file \*.CSV dilakukan *editing* dengan mengganti (.) dot menjadi komma (,) pada tampilan desimal agar bisa dilakukan perhitungan. Hal ini dilakukan karena pengaturan angka *customisasi* pada program *Microsoft Excel* pada komputer penulis menggunakan format Indonesia. Hasil data ditabelkan seperti pada tabel lampiran 1. Data hasil pengukuran,

Tampilan atau antar muka penyajian data dapat diperbaiki dengan menggunakan program berbasis Web. Tampilan yang berbasis Web dapat lebih informatif, dan dapat dijadikan web server, sehingga dapat dilakukan pemantauan dari tempat lain atau perangkat lain.

Sistem yang dirancang memanfaatkan komunikasi *GSM/GPRS*, dengan melakukan pengiriman data yang memanfaatkan layanan *SMS*. Jaringan komunikasi fihak ke tiga akan sangat mempengaruhi pengiriman data dari *node* ke modul penerima. Pengiriman data dilakukan setiap selang waktu 2 menit, sehingga untuk 24 jam diperlukan 720 kali *SMS* pengiriman data. Biaya operasional pengiriman data akan sangat tergantung dari tarif *SMS* yang dikenakan oleh operator. Saat ini tarif relatif murah karena banyak operator yang memberikan paket gratis 1000 *SMS*. Tabel 1. Data hasil pengukuran (lampiran 1) dapat dilihat data hasil pengukuran.

Data hasil pengukuran selanjutnya dilakukan perbandingan dengan data yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan perangkat lain. Pengukuran suhu untuk perbandingan dilakukan dengan menggunakan termometer digital ruangan, yang diletakan berdekatan dengan sensor *LM35*. Hasilnya rerata selama berlangsung pengukuran adalah  $30^{\circ}\text{C}$ . Perbandingan untuk arah angin dilakukan dengan menggunakan kompas digital, yang diletakan sejajar dengan sirip-sirip arah angin, terukur pada kompas  $228^{\circ}$ . Kecepatan angin dibandingkan dengan perbandingan teori, yaitu dengan baling-baling diberi angin dengan menggunakan kipas angin, pulsa yang keluar dari sensor dilihat dan frekwensinya diukur dengan *scoopmeter*, hasilnya 205 Hz. Bila 1 kali putaran per detik setara dengan jarak 0,4082 m, maka 205 Hz setara dengan jarak 2,78 m untuk setiap detiknya, atau 8,20 km/jam. Pengukuran curah hujan tidak dilakukan.

Perbandingan pengukuran paparan radiasi dilakukan dengan mengukur *sample* sumber radioaktif kaos lampu (*mantle*) yang dengan menggunakan *surveymeter* Thermo Scientific FAGG seri FH-40-GL. Hasil pengukuran dengan *surveymeter* menunjukkan nilai 1,40  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ .

Dari data hasil pengukuran tersebut dibandingkan dengan data dari pembacaan

untuk diketahui besarnya kesalahan. Hasilnya dapat ditabelkan seperti tabel 2. di bawah.

$$Kes, \text{relatif} = \frac{Pemb. \text{ sistem} - Pemb. \text{ Pemb}}{Pemb. \text{ Pemb}} \times 100\%$$

Tabel 2. Hasil pembacaan alat ukur dengan hasil pembacaan sistem pemantauan paparan radiasi terpadu.

Parameter	Pembacaan Sistem	Pembacaan Pembanding	Kesalahan Relatif
Suhu	28,30	30,00	5,67
Arah Angin	300,02	228,00	7,15
Paparan Radiasi	1,54	1,40	10,00
Kecepatan Angin	8,41	8,20	2,56
Rerata kesalahan			6,34

### KESIMPULAN

Hasil menunjukkan bahwa sistem yang dibangun berhasil diimplementasikan untuk pemantauan paparan radiasi lingkungan terpadu secara on-line dan real time untuk pemantauan jarak jauh. Sistem sangat tergantung kepada layanan jaringan komunikasi *GSM/GPRS*, karena pengiriman data dilakukan dengan layanan *SMS*. Tampilan sistem masih perlu perbaikan karena data masih disimpan dalam bentuk tabel dengan format file \*.CSV, sehingga lebih *user friendly* dan informatif. Hasil pengujian dengan membandingkan dengan peralatan ukur standar dihasilkan kesalahan pembacaan suhu 5,67 %, arah angin 7,15 %, paparan radiasi 10 % dan kecepatan angin 2,56 %, rerata kesalahan 6,34 %. Dengan kesalahan pembacaan yang relatif masih tinggi perlu adanya perbaikan pada sistem terutama pada *hardware*.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Undang - Undang No. 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran.
2. Peraturan Pemerintah Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang Keselamatan Sumber Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif.
3. Komisi Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong. "Pedoman Keselamatan dan Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong Revisi I", BATAN. 2011.

4. João Valente, David Sanz, Antonio Barrientos, Jaime del Cerro, Ángela Ribeiro and Claudio Rossi, "An Air-Ground Wireless Sensor Network for Crop Monitoring", *Sensors* ISSN 1424-8220, *Sensors* 2011, 11, 6088-6108; doi:10.3390/s110606088, www.mdpi.com/journal/sensors
5. Tokihiro FUKATSU, Masayuki HIRAFUJI, "Field Monitoring Using Sensor-Nodes with a Web Server", *Journal of Robotics and Mechatronics* Vol.17 No.2, 2005 pp.164-172.
6. Peter Rysavy, "GPRS to HSDPA and beyond", Rysavy Research, 2002.
7. <http://dc237.4shared.com/doc/cNa8ASWa/preview.html>, diakses 10 November 2012.

**Lampiran . Tabel data pengukuran**

Waktu	No datang	Node	Batray %	Suhu * C	Arah Angin *	Pap. Rad uSv/j	Kec. Angin km/j	Curah Hujan mm
12 Okt 2013 08:40:29	+6285927401223	Node 001	100,00	28,44	300,02	1,50	8,35	0,00
12 Okt 2013 08:42:29	+6285927401223	Node 001	100,00	28,60	300,02	1,58	8,40	0,00
12 Okt 2013 08:44:29	+6285927401223	Node 001	100,00	28,06	300,02	1,63	8,50	0,00
12 Okt 2013 08:46:29	+6285927401223	Node 001	100,00	28,87	300,02	1,62	8,44	0,00
12 Okt 2013 08:48:29	+6285927401223	Node 001	100,00	27,56	300,02	1,40	8,38	0,00
12 Okt 2013 08:50:29	+6285927401223	Node 001	100,00	28,99	300,02	1,54	8,48	0,00
12 Okt 2013 08:52:29	+6285927401223	Node 001	100,00	28,29	300,02	1,45	8,36	0,00
12 Okt 2013 08:54:29	+6285927401223	Node 001	100,00	28,43	300,02	1,61	8,34	0,00
12 Okt 2013 08:56:29	+6285927401223	Node 001	100,00	28,12	300,02	1,49	8,52	0,00
12 Okt 2013 08:58:29	+6285927401223	Node 001	100,00	27,67	300,02	1,61	8,36	0,00
Rerata				28,30	300,02	1,54	8,41	0,00