

**RANCANG BANGUN SMART PROTOTIPE  
PENGUKUR DENSITAS LARUTAN KIMIA DI DALAM BEJANA  
MENGUNAKAN SERAPAN RADIASI GAMMA**

<sup>1</sup>Rony Djokorayono, <sup>1</sup>Achmad Suntoro <sup>2</sup>Robby Kurnia,  
<sup>1</sup>Usep Setia Gunawan, <sup>2</sup>Ahmad Aminudin  
1) Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – BATAN  
Gedung 71 Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314  
2) Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung  
[ronydbatan@gmail.com](mailto:ronydbatan@gmail.com), [robby.kurnia11@student.upi.edu](mailto:robby.kurnia11@student.upi.edu)

**ABSTRAK**

**RANCANG BANGUN SMART PROTOTIPE PENGUKUR DENSITAS LARUTAN KIMIA DI DALAM BEJANA MENGGUNAKAN SERAPAN RADIASI GAMMA.** Pengukuran densitas dengan metoda serapan radiasi gamma dapat diaplikasikan untuk proses pengolahan kimia pada reaktor Sp36 petrokimia gresik sehingga densitas bahan baku P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dapat dikendalikan secara akurat. Prototip ini tersusun dari detektor NaI(TL) diameter 5 cm yang dilengkapi photomultiplier, modul tegangan tinggi, modul preamp, modul pulse shaping dan mikrokontroler Atmega 328P dengan tampilan LCD dengan resolusi 128x64, serta dilengkapi juga dengan modul Wifi ESP8266-01 sehingga hasil pengukuran dapat dimonitor oleh hand phone menggunakan jaringan internet. Hasil rancang bangun prototip pengukur densitas larutan kimia di dalam bejana menggunakan serapan radiasi gamma telah di uji dengan berbagai sampel P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dengan variasi densitas dan menghasilkan sensitivitas ukur ± 0.44%.

*Kata kunci : Pengukur densitas larutan kimia, bejana proses, serapan radiasi gamma.*

**ABSTRACT**

**A DESIGN AND CONSTRUCTION OF SMART PROTOTYPE CHEMICAL SOLUTION DENSITY GAUGE USING GAMMA RADIATION ABSORPTION.** Density measurement using gamma radiation absorption method can be applied to chemical processing in the Gresik petrochemical reactor Sp36 so that the density of its raw material P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> can be controlled accurately. This prototype is composed of a 5 cm diameter NaI(TL) detector equipped with a photomultiplier, a high voltage module, a preamp module, a pulse shaping module and an Atmega 328P microcontroller with an LCD display with a resolution of 128x64, and is also equipped with an ESP8266-01 Wifi module so that the measurement results can be monitored by a mobile phone using internet network. The results of this prototype design for measuring the density of the chemical solution in the vessel using gamma radiation absorption have been tested with various P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> samples with density variations and yield measurement sensitivity of ± 0.44%.

*Keywords: Chemical solutions density gauge, process vessel, gamma radiation absorption.*

**1. PENDAHULUAN**

Sistem pengukuran dan pengendalian densitas larutan kimia P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pada produksi pupuk SP36 Petrokimia Gresik pada awalnya menggunakan metoda cuplikan dimana setiap 3 jam diambil sample untuk dianalisis di Laboratorium dengan metoda konvensional. Hasilnya akan didapat beberapa jam kemudian, sehingga umpan balik nilai densitas ke sistem proses kontrol akan tertunda beberapa jam. Hal tersebut tidak efisien karena pada saat pemeriksaan sample berlangsung, nilai densitas larutan kimia P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> telah berubah sehingga akan mengurangi keakuratan. Keadaan ini mengakibatkan pemborosan bahan baku<sup>[1]</sup>. Untuk menanggulangi masalah tersebut, proses produksi harus dilakukan secara *On Line*, yang dapat melakukan pengukuran

secara *real time* dan sekaligus mengendalikan densitas atau konsentrasi larutan kimia *rock phospat*  $P_2O_5$  sebagai bahan baku produksi.

Kendala yang dihadapi pabrik adalah material fosfat merupakan senyawa asam tinggi sehingga sangat merusak instrument pengukur densitas konvensional, serta pipa penyalur larutan kimia karena korosi, walaupun sudah menggunakan pipa SS316 yang lebih tahan korosi. Temperatur material fosfat yang mengalir berkisar antara  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  sampai  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Metoda yang tepat untuk proses pengukuran larutan kimia pada kondisi tersebut adalah menggunakan teknik serapan radiasi gamma. Metoda ini sangat sederhana karena tidak perlu kontak dengan larutan kimia (fluida) yang mengalir di dalam pipa yang akan diukur densitasnya, tetapi cukup ditempelkan diluar pipa<sup>[2]</sup>. Dengan perhitungan kompensasi laju korosi akan didapatkan nilai densitas larutan kimia (fluida) yang mengalir secara cepat dan akurat. Dalam makalah ini akan dijelaskan rancang bangun dari prototipe alat ukur tersebut dan uji coba nya.

## 2. DASAR TEORI

*Smart* prototipe pengukur densitas larutan kimia di dalam bejana proses menggunakan prinsip pancaran radiasi gamma yang diserap oleh material sample, dan sisa intensitas radiasinya diukur oleh detektor jenis *scintilasi* atau *ion chamber*. Intensitas yang diterima detektor sebanding secara eksponensial dengan nilai densitas material uji yang diukur<sup>[3,4,5]</sup>. Besarnya intensitas diterima detektor memenuhi persamaan:

$$I = I_0 e^{-\mu \rho d} \quad (1)$$

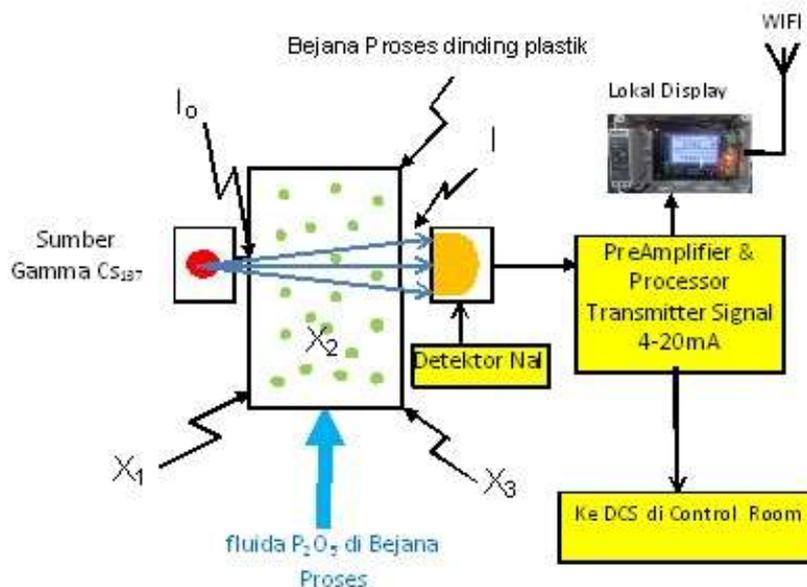
dimana :

$I$  = Intensitas radiasi gamma yang diterima detektor

$I_0$  = Intensitas radiasi awal yang keluar dari sumber radiasi gamma.

$\mu$  = Koefisien *absorpsi* ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )

$\rho$  = Densitas material uji (sample) ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )



Gambar 1. Bagan *Smart* prototipe pengukur densitas larutan kimia di dalam bejana proses menggunakan prinsip pancaran radiasi gamma.

Intensitas radiasi yang diterima detektor tergantung jarak antara detektor dan sumber radiasi gamma serta besarnya intensitas radiasi yang diterima sebanding dengan kwadrat jarak. Sebagai contoh bila jarak detektor dengan sumber radiasi bertambah dua kali lipat maka intensitas radiasi yang diterima oleh detektor menjadi seperempat kali lebih kecil dengan anggapan bahwa material yang dilalui pancaran radiasi gamma homogen serta jaraknya konstan. Kontaminasi yang dihasilkan dari interaksi gamma terhadap material yang berada antara detektor dan sumber radiasi gamma tidak akan terjadi, karena radiasi gamma tidak mengaktifkan unsur material yang dilalui radiasi gamma.

Pada kasus pengukuran densitas fluida didalam bejana proses akan memenuhi persamaan berikut :

$$I = I_0 e^{-(\mu_1 \rho_1 x_1 + \mu_2 \rho_2 x_2 + \mu_3 \rho_3 x_3)} \quad (2)$$

$\mu_1$  = koefisien absorpsi massa bejana proses tebal X

$\mu_2$  = koefisien absorpsi massa fluida P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tebal X<sub>2</sub>

$\mu_3$  = koefisien absorpsi massa bejana proses tebal X<sub>3</sub>

X<sub>1</sub> = tebal dinding bejana proses kiri

X<sub>2</sub> = tebal lapisan fluida P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

X<sub>3</sub> = tebal lapisan bejana proses kanan

$\rho_1$  = densitas bejana proses kiri

$\rho_2$  = densitas fluida P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> didalam bejana proses

$\rho_3$  = densitas bejana proses kanan

Karena tebal dan material bejana proses tetap sehingga  $\mu_1, \mu_3, X_1, X_3, \rho_1, \rho_3$  dianggap konstan, dengan demikian intensitas radiasi yang diterima oleh detektor dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$I = I_0 e^{-(K_1 + \mu_2 \rho_2 x_2 + K_3)} \quad (3)$$

$$I = I_0 A e^{-(\mu_2 \rho_2 x_2)} \quad (4)$$

Sehingga intensitas yang diterima detektor merupakan fungsi dari densitas material fluida larutannya,  $I = f(\rho_2)$ . Jumlah pulsa yang dicacah oleh lokal *display* (mikrokontroler) merupakan pulsa yang sudah dilakukan pengolahan, sehingga merepresentasikan intensitas sumber radioaktif yang terserap material fluida larutannya kimia P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, dengan keluaran standar signal 4-20 mA.

### 3. TATA KERJA

Rancangan *Smart* prototip untuk pengukuran densitas material fluida ini bekerja berdasarkan persamaan (1) yang diuraikan menjadi persamaan (3) dan (4), yaitu dengan memasukkan parameter-parameter persamaan dari data yang telah disiapkan sebelumnya dan dari pengukuran langsung ke obyek materi. Dengan pola pengukuran ini yang ditunjukkan pada Gambar 1, data densitas dapat diketahui dengan segera dan dapat dikirim ke instrumen lain yang memerlukan data tersebut secara online. Materi yang akan diukur densitasnya di posisikan diantara sumber radiasi gamma dan detektor, sehingga tidak ada sentuhan langsung sistem instrumentasi dalam rancangan ini dengan materi yang diukur, karena materi yang diukur berada di bejananya sendiri dan bejana tersebut bisa *flexible* disesuaikan dengan kondisi sistem pengukuran dimana akan digunakan.

Proses konstruksi dan percobaan terhadap prototipe tersebut adalah sebagai berikut:

- **Persiapan Sample Uji Densitas.**  
Persiapan sample dilakukan dengan pengukuran masa cairan sample yang terdapat pada bejana proses, dalam hal ini jerigen plastik. Semua sample dimasukkan ke dalam tiga jerigen berbeda dengan volume yang sama. Pengukuran dilakukan dengan menimbang semua cairan sehingga mendapatkan nilai densitas tiap cairannya<sup>[6]</sup>.
- **Perakitan Perangkat Keras dan Perangkat Lunak.**  
Perakitan perangkat elektronik untuk mengkonversi & mengolah sinyal keluaran hasil dari detektor. Perangkat tersebut adalah detektor NaI(Tl), modul preamp, dan modul *pulse shaping*. Hasil perakitan diintegrasikan dengan mikrokontroler, modul LCD grafik monochrome<sup>[7]</sup> dan modul Wifi ESP8266-01. Tata letak perangkat diatur sedemikian rupa untuk meminimalkan kemungkinan gangguan gelombang elektromagnetik dengan mengutamakan faktor keselamatan. Pembuatan Perangkat lunak meliputi pembuatan program di Arduino IDE untuk *counter* dan tampilan yang akan ditampilkan pada LCD serta komunikasi Wifi.
- **Tampilan di HP**  
Membuat aplikasi tampilan di HP dalam sitem operasi android menggunakan *website* MIT APP Inventor, rancangan *user interface* disiapkan seperti berikut:



Gambar 2. Rancangan User interface tampilan HP

Disiapkan rancangan *block* untuk menampilkan proses seperti pada Gambar 2 di atas, dan susunan rancangan bloknnya adalah sebagai berikut:



- **Pengujian.**

Pada proses pengujian dilakukan terlebih dahulu penyesuaian program persamaan untuk tampilan densitas pada arduino dengan memasukkan persamaan yang telah didapatkan. Program yang telah disesuaikan diunggah ke mikrokontroler. Pengujian memiliki cara yang sama dengan kalibrasi namun dengan tambahan pencatatan densitas masing-masing cairan yang diuji. Diambil beberapa data untuk masing-masing cairan. Analisis data dilakukan dan digunakan untuk mendapatkan sensitifitas detektor pada sistem yang telah dibuat

- **Alat dan Bahan**

Perangkat, komponen dan bahan yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada Tabel 1 & 2.

Tabel 1 Komponen Elektronika

Komponen Elektronika	Spesifikasi	Keterangan
Arduino Uno	Atmega328P	1 buah
Graphic LCD 128x64	ST7920	1 buah
Kristal NaI(Tl)		1 buah
Optical Coupling		1 buah
PMT	R1306	1 buah
Tabung Pelindung Detektor		1 buah
High Voltage		1 buah
Preamp		1 buah
Pulse Shaping		1 buah
Cesium-137	662 KeV	1 buah
Bekas Lampu Petromaks	2611 KeV	1 buah
Modul Wifi ESP 8266-01		1 buah
HP Samsung galaxy A10s		1 buah

Tabel 2 Alat dan Bahan

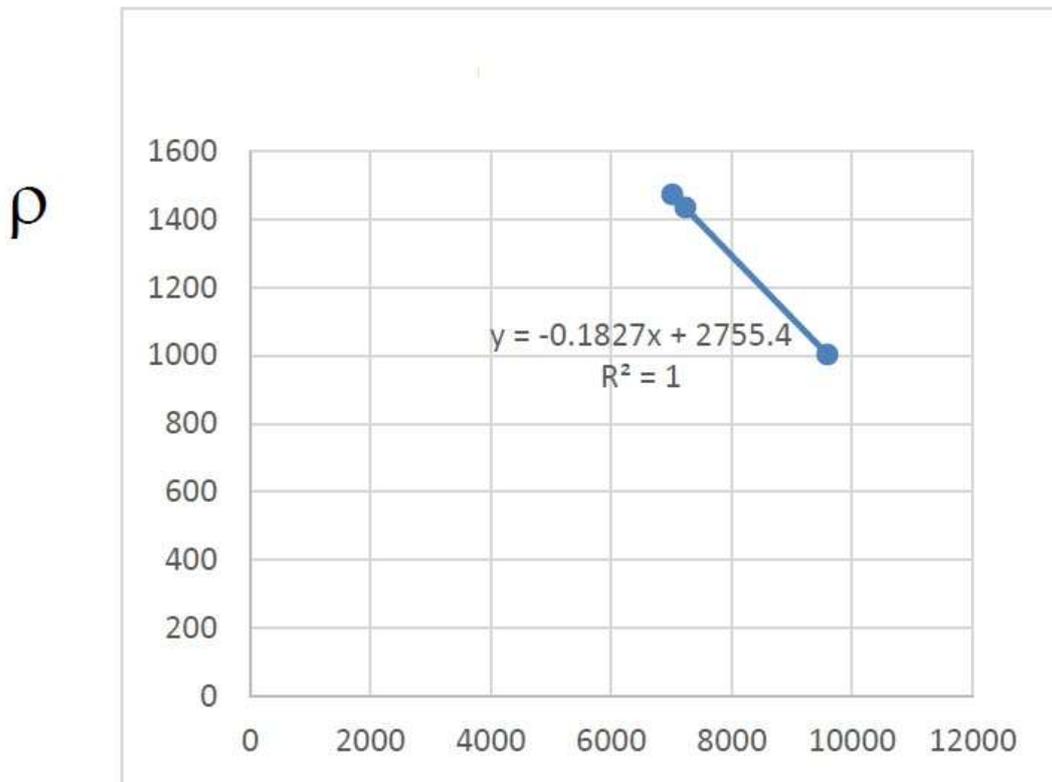
Alat dan Bahan	Spesifikasi	Keterangan
Timbangan	Min 0,1 g	1 buah
Jerigen	2 liter	1 buah
Air	$\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$	5,22 Kg
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	$\rho = 1475 \text{ Kg/m}^3$	7,70 Kg
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	$\rho = 1436 \text{ Kg/m}^3$	7,50 Kg

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses percobaan dilakukan dengan meletakkan detektor berhadapan dengan sumber Cs<sub>137</sub>. Larutan kimia yang diukur diletakkan diantara detektor dan sumber. Data yang ditampilkan oleh LCD direkam dengan menggunakan kamera *handphone*. Data yang ditampilkan pada layar LCD berganti tiap detik dengan fluktuasi yang cukup kecil karena telah di-*smoothing* pada program arduino uno yang mencacah dan merata-ratakan cacahan pulsa dalam satu detik<sup>[8]</sup>. Dari pengujian yang dilakukan didapat data densitas dan jumlah cacahan pulsa yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data pengukuran.

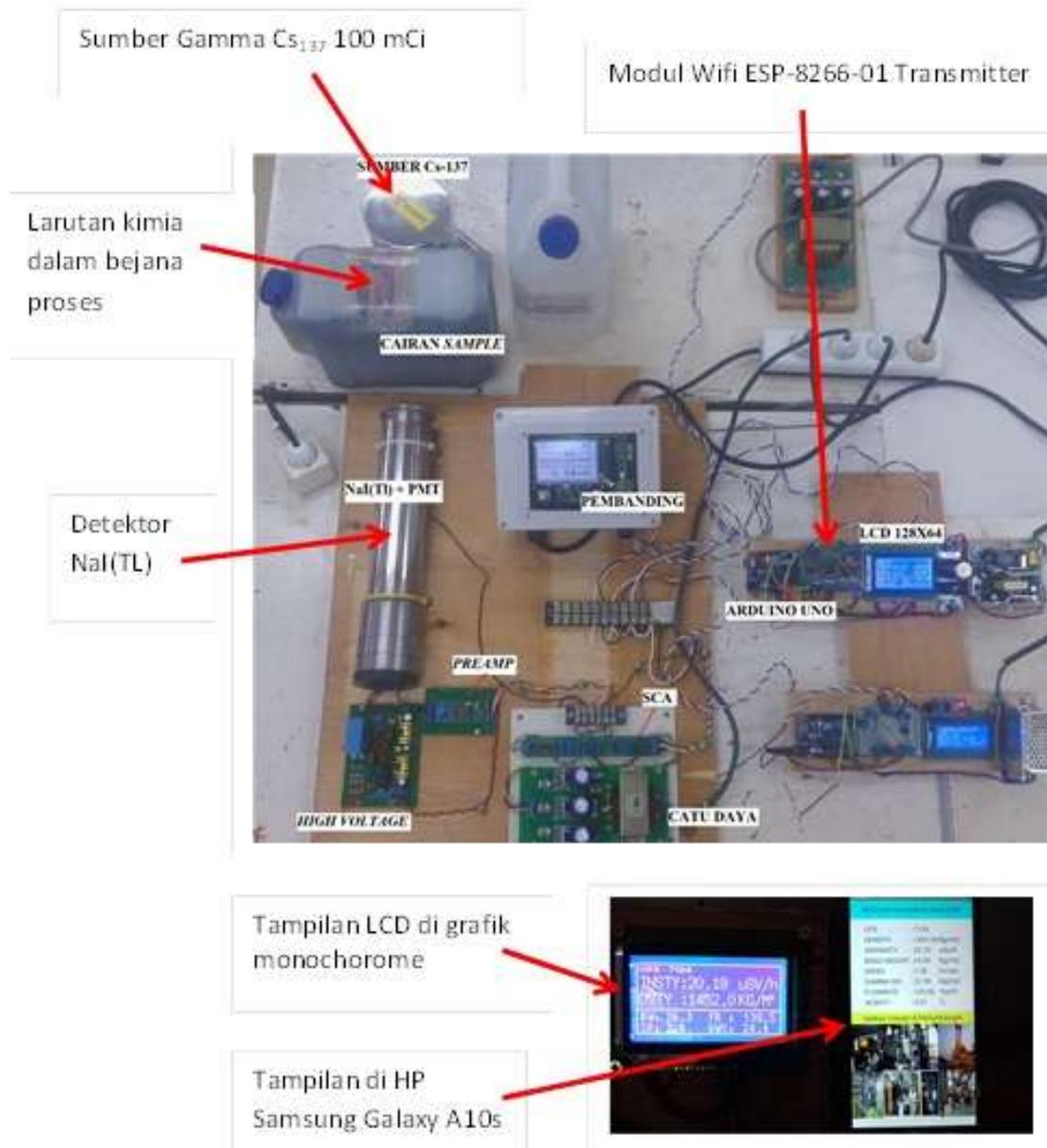
No.	Sampel Air & P2O5 ( $\rho$ kg/m <sup>3</sup> )	Hasil Pengukuran Alat Air & P2O5 ( $\rho$ kg/m <sup>3</sup> )	CPS
1.	1000.0	1003.64	9588
2	1436.0	1435.45	7225
3	1475.0	1473.95	7014



Gambar 4. Grafik data pengukuran sistem deteksi densitas  $\rho$  dengan intensitas radiasi gamma I yang diterima detektor

Dari data yang ditunjukkan pada table 3 di atas, didapatkan nilai sensitivitas alat sebesar 0,44 % ( $6.48538 \text{ Kg/m}^3 (\rho) \approx 30 \text{ cps (I)}$ ). Pada gambar 4 didapatkan grafik korelasi antara cacahan dari sumber radiasi gamma dengan densitas dimana nilai X adalah jumlah cacahan pulsa dan Y adalah nilai densitas larutan kimia yang diukur. Koefisien korelasi yang didapatkan adalah  $R^2 = 1$ .

Hasil rancang bangun sistem *smart* prototipe pengukur densitas larutan kimia di dalam bejana proses menggunakan radiasi gamma dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. Prototip *Smart* pengukur densitas larutan kimia di dalam bejana proses menggunakan radiasi gamma.

## 5. KESIMPULAN

Hasil yang didapat berupa prototipe pengukur densitas larutan kimia yang terdapat di dalam bejana. Dari data hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 3 didapatkan nilai sensitivitas alat sebesar 0,44 % ( $6.48538 \text{ Kg/m}^3 (\rho) \approx 30 \text{ cps (I)}$ ), dengan Koefisien korelasi linier yang didapatkan adalah  $R^2 = 1$ . Berarti metoda serapan radiasi gamma dapat digunakan secara teliti untuk mengukur densitas suatu larutan di dalam suatu bejana proses tanpa harus menyentuh atau menimbanginya, dan dapat membedakan perubahan densitas sebesar  $6.5 \text{ Kg/m}^3$ . Hasil pengukuran dapat dipantau menggunakan HP dengan fasilitas komunikasi internet dengan kecepatan perubahan tiap sampling 20 detik.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Djokorayono, rony. jamil, A. junus. (n.d.). *Sistem monitoring dan pengendalian densitas aliran fluida  $P_2O_5$  pada pembuatan pupuk SP-36 petrokimia gresik yang menggunakan technique gamma radioactive*, 1–10.
- [2] Branch, D. *Radioactive Isotopes in Process Measurement*, 1–5, 2012.
- [3] Berthold, *Density Measurement for Industrial Applications - Berthold Technologies*. 2020, Diunduh 20 Juli, 2020, <https://www.berthold.com/en/process-control/products/density-measurement/>
- [4] Endress and Hauser, *Density Measurement for Quality Monitoring and Process Control Endress*, 2017.
- [5] Tsoulfanidis, N., & Landsberger, S, *Measurement & detection of radiation* (4th ed.). Boca Raton. Diunduh dari CRC Press, 2015
- [6] Anonim, *Cara Menghitung Massa Jenis (Densitas) | Ukuran Dan Satuan*, 14 Juli 2016, Diunduh 26 Februari, 2020, <http://ukurandansatuan.com/cara-menghitung-massa-jenis-densitas.html/>
- [7] Sitronix, *ST7920 Chinese Fonts built in LCD controller/driver. History*. 2002.
- [8] SM, *Arduino – Smoothing*, Juli 2015, Diunduh 15 Juli 15, 2020, <https://www.arduino.cc/en/tutorial/smoothing>

-oOo-