

**RANCANG BANGUN MODUL ELEKTRONIK
TRANSMITTER SINYAL 4-20MA UNTUK PERANGKAT
ANALISIS UNSUR DENGAN TEKNIK XRF DI INDUSTRI**

¹Rony Djokorayono, ¹Achmad Suntoro, ²Benawi Santosa,
¹Ikhsan Shobari, ¹Usep S Gunawan,
1) Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – BATAN
Gedung 71, Kawasan PUSPIITEK Serpong, Tangerang Selatan 15314
2) PT. Industri Telekomunikasi Bandung
ronydbatan@gmail.com

ABSTRAK

RANCANG BANGUN MODUL ELEKTRONIK TRANSMITTER SINYAL 4-20 MA UNTUK PERANGKAT ANALISIS UNSUR DENGAN TEKNIK XRF DI INDUSTRI. Pengukuran gramatur kertas (*basis weight*), kelembaban (*moisture*), dan kadar abu (*ash content*) secara on-line diperlukan untuk menjamin kualitas produksi di industri kertas. Analisa unsur dengan teknik XRF (*X-Ray Fluorescence*) dapat diaplikasikan untuk melakukan pengukuran unsur terutama yang mempengaruhi kadar abu. Pengukuran secara on-line dan transmisi sinyal menggunakan standar industri 4-20 mA adalah suatu keharusan untuk proses pabrik kertas. Sistem on-line ini setelah diintegrasikan dengan elektronik data logger dan dedicated computer serta sistem kendali prosesnya dapat menghemat waktu dan mengoptimalkan pemakaian aditif. Data hasil pembacaan sensor dikirim menggunakan standar sinyal berbentuk pulsa yang kemudian dikonversi menjadi standar sinyal berbentuk arus 4-20 mA oleh modul elektronik transmitter sinyal 4-20 mA. Sinyal ini kemudian dikirim melalui kabel sepanjang 500 meter ke ruang kendali utama. Hasil rancang bangun modul transmitter sinyal ini telah diuji dengan kalibrator sinyal dan menghasilkan nilai penyimpangan counting rata rata sebesar +1,0 % serta koefisien linier antara input counting dengan output arus $r = 0,977$.

Kata kunci : Transmitter_sinyal, 4-20 mA, XRF_industri, pabrik_kertas, sistim_kendali.

ABSTRACT

A DESIGN AND CONSTRUCTION OF 4-20 MA SIGNAL ELECTRONIC TRANSMITTER MODULE FOR THE INDUSTRIAL ELEMENTAL ANALYSIS EQUIPMENT USING XRF TECHNIQUE. On-line measurement of paper gramature (*base weight*), moisture (*moisture*), and ash content is needed to ensure the quality of production in paper industry. Elemental analysis using XRF (*X-Ray Fluorescence*) technique can be applied to measure elements, especially those affecting ash content. On-line measurement and signal transmission using the industrial standar 4-20 mA is a must for paper mill processes. This on-line system after being integrated with electronic data loggers, dedicated computers and process control systems can save the time and optimize of the additive usage. The sensor reading data is sent from a detector with a standar pulse-shaped signal and then converted to a standar 4-20 mA signal by the 4-20 mA signal transmitter electronic module. The signal is then sent via a 500-meter cable to the main control room. The results of the transmitter signal module have been tested with signal calibrators. The results have an average deviation value of +1.0% and the linear coefficient between input counting and output current $r = 0.977$.

Keywords: Signal_transmitter, 4-20 mA, industrial_XRF, pulp_manufacturing, control_system.

1. PENDAHULUAN

Pemakaian kertas untuk kegiatan sehari hari saat ini masih belum dapat ditinggalkan. Masyarakat masih mengandalkan kertas untuk kegiatan dokumentasi,

sarana belajar, administrasi perkantoran, *advertising*, media, dan lainnya. Kebutuhan terus meningkat hingga diatas 400 juta ton pada tahun 2010^[1]. Kertas secara umum diidentifikasi dari jenis dan ukurannya. Jenis kertas diantaranya adalah HVS, kalkir, buram dan kertas koran. Untuk ukuran sebagai contoh kertas HVS 70 gr, 80 gr, dan 100 gr. Jenis kertas sangat dipengaruhi oleh bahan dan komposisi proses produksi, oleh karena itu kualitas produksi kertas sangat mempengaruhi nilai ekonomi dari produk kertas yang dihasilkan.

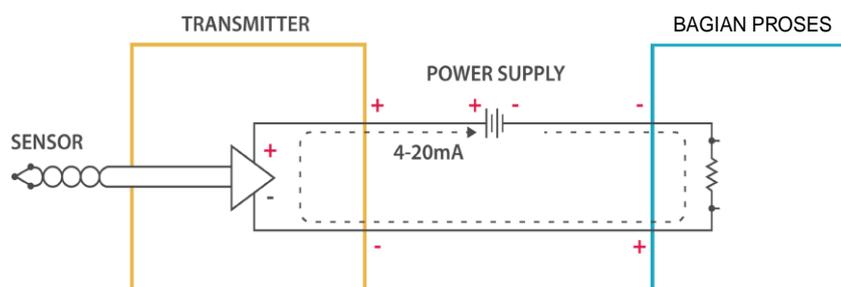
Produsen kertas selalu berusaha dengan ketat melakukan berbagai inovasi namun produk kertas yang dihasilkan harus tetap memiliki kualitas sesuai dengan standar produksi. Pengendalian gramatur atau *basis weight* telah dimulai sejak tahun 1983^[2]. Selain itu dilakukan juga otomatisasi pengendalian proses produksi lainnya seperti kelembaban kertas (*moisture*) dan kadar abu (*conten Ash*) secara *on-line*. Sedangkan penambahan aditif tertentu dilakukan untuk mendapatkan kualitas yang lebih baik. *Aditif organic* atau pigmen digunakan untuk meningkatkan *printability* dan opasitas di industri kertas. Penambahan *filler* (pengisi) dan pelapis pigmen harus dikendalikan secara ketat selama proses produksi agar kualitasnya baik, seragam dan ekonomis.

Salah satu teknik yang bisa digunakan untuk melakukan pengendalian produk kertas adalah dengan menggunakan teknik XRF (*xray flourecence*) yang dilengkapi komputer. Cara ini digunakan untuk mengendalikan additif *clay*, CaCO_3 dan TiO_2 secara optimal serta memantau secara selektip lembaran kertas dengan mengukur variable kadar abu dan opasitas secara *on-line*. Komunikasi pengiriman sinyal dari sensor ke pengolah data di ruang kendali utama diharuskan menggunakan standar sinyal 4-20 mA, sesuai dengan standar pengolahan sinyal di pabrik kertas. Dalam makalah ini akan dijelaskan rancang bangun pembuatan modul elektronik transmitter sinyal 4-20 mA untuk keperluan analisis pengendalian aditif secara online dengan teknik XRF tersebut.

2. DASAR TEORI

Dalam sistem pengendalian, pada prinsipnya adalah memproses sinyal pengendalinya hingga sesuai dengan yang diinginkan. Sinyal pengendali dapat berasal dari sistem detektor atau sensor yang telah merubah fenomena alam yang dikehendaki ke bentuk sinyal listrik. Dengan menggunakan algoritma tertentu selanjutnya sinyal listrik tersebut diproses oleh bagian proses. Lokasi dimana detektor atau sensor berada tidak selalu berdekatan dengan bagian proses, sehingga diperlukan sistem transmisi sinyal jarak jauh untuk kondisi tersebut.

Ada banyak teknik transmisi sinyal yang dapat digunakan. Penggunaanya disesuaikan dengan optimasi teknis sistem perangkat secara menyeluruh. *American National Standards Institute* (ANSI) dan *Instrumentation Systems and Automation Society* (ISA) menetapkan standar transmisi sinyal 4-20 mA^[3], dan standar transmisi sinyal ini digunakan dalam sistem instrumentasi kendali di dunia industri termasuk industri kertas.



Gambar 1. Prinsip sistem transmisi 4-20 mA^[4].

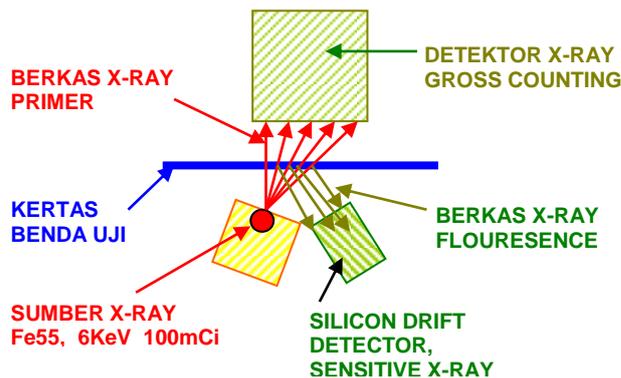
Dalam sistem transmisi sinyal 4-20 mA, besaran sinyal dikirim dengan besaran arus listrik searah dari 4 s/d 20 mA yang setara dengan 0 s/d 100% dari amplitudo sinyal. Secara umum pola pengiriman sinyal tersebut ditunjukkan pada Gambar 1^[4].

Power supply pada Gambar 1 pada prinsipnya memberi daya pada lingkaran tertutup tersebut, dan arus dari power supply tersebut akan berubah dari 4 s/d 20 mA yang ditentukan oleh sinyal listrik dari sensor. Arus listrik tersebut oleh bagian proses akan diolah sesuai dengan algoritma pengendalian yang digunakan.

Beberapa kelebihan dari sistem transmisi sinyal 4-20 mA adalah sbb^[4]:

- Memerlukan daya yang rendah
- Jarak hantar maksimum 1 Km
- Sinyal yang dikirim tidak dipengaruhi oleh kualitas kabel transmisi
- Tidak sensitip terhadap noise listrik
- Jika sinyal 0 berarti terjadi kesalahan transmisi (mudah dalam pelacakan perbaikan)

Dalam sistem pengendalian produk kertas menggunakan teknik XRF (*xray flourescence*), dua buah detektor digunakan seperti ditunjukkan pada Gambar 2. *Poly-Ash* adalah dua sisi pengukuran dari TiO_2 dan $CaCO_3$ yang selektif dengan menggunakan metoda *flourescence x-ray*. Sebuah sumber radioisotop *x-ray* Fe-55 digunakan untuk meradiasi lembaran kertas. Berkas *x-ray flourescence* yang terpantul (*backscater*) dari lembaran kertas dideteksi oleh *silicon drift detector*, dan serapan radiasi lembaran kertas diseberangnya diukur oleh detektor *ionisation chamber*.

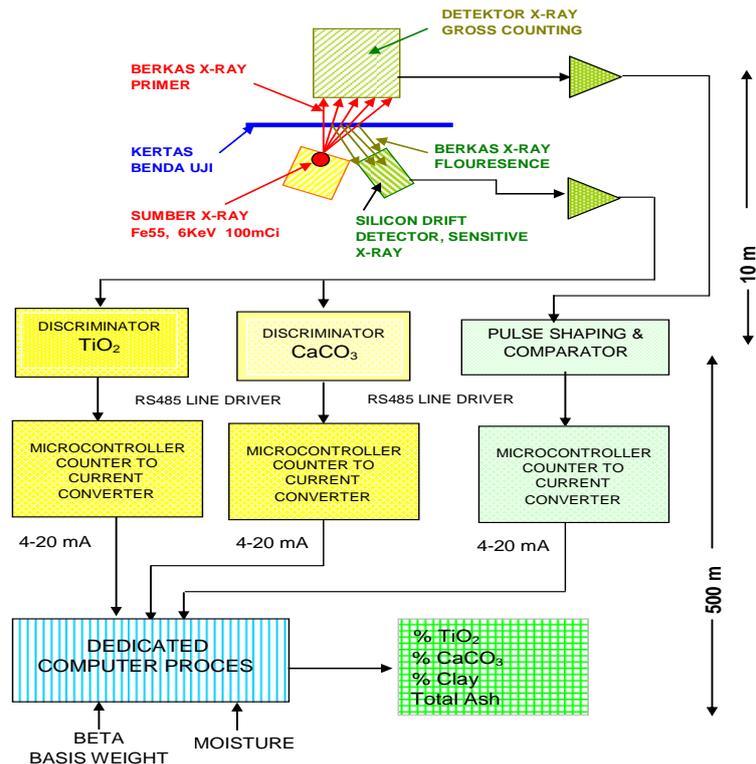


Gambar. 2. Prinsip pengukuran *total Ash* dengan metoda serapan *transmisi x-ray*^[5, 6].

Penggunaan energi *x-ray flourescence* dengan pemilah spektrum yang selektif yang diaplikasikan untuk menentukan konsentrasi unsur didalam suatu material atau bahan telah diterima oleh kalangan industri secara luas. Sebagai contoh atom Titanium memancarkan *flourescence x-ray* dengan energi 4,5 keV, dan atom Calsium memancarkan *flourescence x-ray* dengan energi 3,69 keV. Jumlah cacahan (*counting*) atau intensitas *x-ray flourescence* setiap unsur menunjukkan konsentrasi unsur yang terdapat didalam material atau senyawa lembaran kertas uji.

3. RANCANGAN SISTEM

Sistem pada perckayasaan perangkat analisa unsur dengan teknik XRF untuk industri, terdiri dari tiga bagian utama. Gambar 3 menjelaskan blok diagram sistem secara keseluruhan dan Gambar 4 menjelaskan Blok diagram modul elektronik transmitter sinyal 4-20 mA. Pada makalah ini disampaikan pembahasan rancang bangun modul elektronik *transmitter* sinyal 4-20mA untuk perangkat analisa unsur dengan teknik XRF di Industri. Komponen utama modul elektronik *transmitter* sinyal 4-20mA yaitu mikroprosesor Atemega 328P, atau Atemega 162. 16P, DN74LS165 (Paralel to Serial), MAX7219CWG (Led Driver), XTR116U, AP64 Opto Isolated, AP614 (MPC4725-dac-Serial).



Gambar 4. Blok diagram modul elektronik transmitter sinyal 4-20 mA.

Modul elektronik *transmitter* sinyal 4-20 mA pada sistem perangkat analisa unsur dengan teknik XRF difungsikan sebagai pengonversi sinyal yang berasal dari detektor xray *flouresence* berupa *silicon drift detektor* dan detektor *gross counting* atau *ionisation chamber*. Jarak antara sistem deteksi dengan modul transmitter sinyal 4-20 mA sekitar 10 meter, sehingga sistem transmisi sinyal RS-485 dapat digunakan. Sinyal dari sistem deteksi melalui RS-485 ini diproses oleh modul *transmitter* sinyal serta dikonversi ke bentuk sinyal untuk 4-20 mA. Sinyal ini selanjutnya dikirim ke sistem *dedicated computer proses* yang tersusun dari elektronik data *logger* dan komputer standar industri, atau lebih dikenal dengan nama *distributed control system*.

Modul elektronik *transmitter* sinyal 4-20mA tersusun dari beberapa komponen utama diantaranya mikroprosesor Atmega-328P, atau Atmega-162.16P. Mikroprocessor menerima masukan pulsa kotak dari sistem deteksi, dan dicacah persatuan waktu (timer). Mikroprocessor ini sebelum melakukan pencacahan (*counting*), akan membaca masukan *dipswitch timer*, yang merupakan informasi nilai waktu yang harus digunakan untuk mencacah, yaitu tergantung dari kelipatan 10 mikro detik dikali minimal 1 atau maksimum 255 (8 bit). Hasil pencacahan dikeluarkan ke tampilan LED 8 digit (display C). Hasil pencacahan display C akan dikurangi dengan pencacah background atau suatu nilai pencacah minimal (zero) yang dimasukan melalui *dipswitch zero* (16 bit), kemudian hasilnya dikeluarkan ke tampilan LED 8 digit (display D).

Untuk masuk ke wilayah 4 mA sampai 20 mA, hasil nilai tampilan D (display D) harus dikalikan bilangan maksimum 255 (8 bit) kemudian dibagi dengan bilangan maksimum 65535 (16 bit). Selanjutnya processor akan mengeluarkannya secara serial ke komponen DAC (digital analog konverter) MPC-4725, tetapi sebelumnya dilewatkan dulu ke komponen AP64 Opto Isolated (isolasi logic). Secara bersamaan hasilnya juga ditampilkan pada LED display A (4 digit) dengan rentang nilai 0 sampai 4095 atau 819 sampai 4095 yang setara dengan 0 Volt sampai 10 Volt atau 2 Volt sampai 10 Volt keluaran DAC. Setelah sinyal pengukuran berbentuk tegangan (Volt), kemudian dimasukan ke komponen XTR116U untuk dikonversi menjadi rentang arus antara 0 mA sampai 20 mA atau 4 mA sampai 20 mA, sehingga siap ditranmisikan melalui

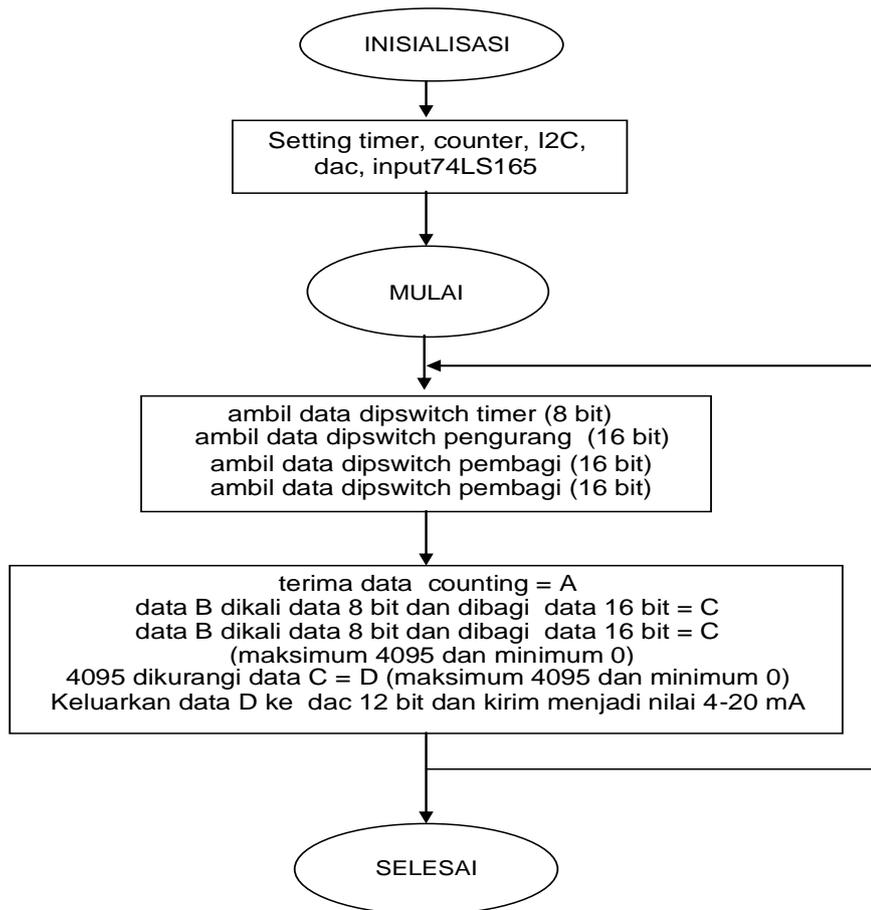
kabel sejauh 500 meter ke *dedicated computer proces* di ruang kendali utama (*control room*).

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *toolset* elektronik, *Digital Multimeter* Fluke 8021B, kalibrator Function Generator GW Instek GFG-3015 *Signal source*. Peralatan penunjang pembuatan program berupa *software* perangkat lunak *arduino atmega328P*, untuk pembuatan program mikrokontroler dan aplikasi tampilan dibuat dengan *IDE Arduino dan Sketch Arduino ISP* berbahasa C. Bahan pendukung yang digunakan dalam pembuatan modul elektronik *transmitter* sinyal 4-20 mA adalah modul Arduino atmega 328P, modul catu daya tegangan rendah 5 dan 12 volt, Capacitor dan Resistor digunakan untuk melakukan konversi arus 4 – 20 mA menjadi tegangan 0 – 10 V.

Langkah kerja yang dilakukan dalam rancang bangun modul elektronik transmitter 4-20 mA ini adalah melakukan studi literatur terutama cara kerja dari sistem instrumentasi basis weight, deteksi ash dan moisture di pabrik kertas leces. Melakukan rancangan sistem keseluruhan. *Prototyping*, yaitu melakukan penyusunan perangkat keras, dengan tampilan LED yang dapat terlihat oleh pengguna pada jarak 5 meter, pengukurannya bisa tertelusur dari mulai counting awal hingga proses kakulasi sampai keluar dalam bentuk sinyal 4-20 mA, tanpa harus mereset sistem operasi microcontrollernya. Memilih komponen komponen yang tersedia dipasar *on line* dan ketersediaannya mencukupi bila diproduksi untuk beberapa modul, maka dipilih komponen mikroprocessor jenis mikrokontroler atmega 328P, beberapa dipswitch untuk pengaturan *timer* buka gate counting, pengatur bilangan kali bagi dan bilangan pengurang. Agar susunan *printed circuit board* menjadi ringkas maka dipilih nya komunikasi antar komponen menggunakan komunikasi serial dan sebagian besar menggunakan komponen SMD (*surface mount devices*) seperti serial dac MCP4725, AP64 Opto Isolated, XTR116U, driver LED MAX7219CWG sedangkan komponen mikroprocessornya masih menggunakan jenis DIL, dan diberi socket karena sering dimodifikasi programnya serta ditukar ke modul lain yang sejenis.

Penyusunan perangkat keras dengan menyambung antar komponen. Hubungan antara *dipswich* dan konverter paralel ke serial 74LS165 menggunakan hubungan paralel kemudian keluaran 74LS165 pin Q7 disambung secara serial ke mikroprosesor (mikrokontroler) atmega328P yang bersinergi dengan clock CP2 pin 5 dari komponen 74LS165 yang dihubungkan ke pin PB3 (MOSI jenis *serial peripheral interface master out slave in* atmega328P) yang mana untuk pengatur bilangan timer (*dipswitch* 8 bit) pin Q7 disambung ke pin PB0 (PCINT0/CLK0/ICP1 *pin change interrupt request* 0) atmega328P, pengatur bilangan pengali (*dipswitch* 8 bit) *pin* Q7 disambung ke *pin* PB1 (PCINT1), pengatur bilangan pembagi LSB (*dipswitch* 8 bit) *pin* Q7 disambung ke *pin* PD6 (PCINT6), pengatur bilangan pembagi MSB (*dipswitch* 8 bit) *pin* Q7 disambung ke *pin* PB2 (PCINT2), pengatur bilangan pengurang LSB (*dipswitch* 8 bit) *pin* Q7 disambung ke *pin* PC3 (PCINT11), dan pengatur bilangan pengurang MSB (*dipswitch* 8 bit) *pin* Q7 disambung ke *pin* PD7 (PCINT23). Hubungan antara komponen digital analog converter MCP4725 dengan mikrokontroler atmega328 melalui komunikasi I2C yaitu pin SDA (*serial interface data*) dan SCL (*serial interface clock*). Sedangkan hubungan mikrokontroler atmega328P dengan LED driver 7219 melalui PD2/PD3/PD4 atmega328P disambung ke masing masing *pin* DIN (*serial data input*) tiga buah LED driver 7219) yang disinkronisasi dengan PC1 atmega328P sambung ke *pin* CLK (*serial clock input*) paralel ke tiga buah LED driver 7219.

Pembuatan *software* di perangkat keras untuk modul elektronik *transmitter* sinyal 4-20 mA diantaranya menyiapkan *frequency counter*, menggunakan *Counter* 1 untuk mengcacah pulsa masukan dan waktu buka *gate* nya ditentukan oleh *Timer*2. Perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram atmega328P adalah *IDE (Integrated Development Environment) Arduino dan loading Sketch Arduino ISP* berbahasa C. Pada Gambar 5, ditunjukkan langkah akuisi pembacaan *data counter* dari sistem deteksi untuk selanjutnya dikirim ke tampilan LED dan *transmitter* sinyal 4-20 mA.



Gambar 5. Flowchart software modul elektronik transmitter sinyal 4-20 mA.

Program aplikasi yang dibuat menampilkan parameter yang diukur dalam bentuk digital 0 sampai 4095 dan arus keluaran antara 0 mA sampai dengan 20 mA. Untuk dapat menampilkan dalam bentuk besaran yang sebenarnya, maka harus dilakukan kalibrasi. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan terhadap obyek ukur standar atau dengan membandingkan dengan sistem alat lain. Nilai persamaan kalibrasi dapat langsung di setting pada masukan *dipswitch* yang tersedia. Proses yang terakhir adalah melakukan pengujian, yaitu membandingkan hasil bacaan dengan nilai yang sebenarnya. Cara ini dilakukan dengan melakukan injeksi pulsa TTL (*Transistor Transistor Logic*) dengan menggunakan kalibrator pulsa TTL.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengujian ditampilkan seperti pada Tabel 1, data diambil dengan melakukan injeksi kalibrator generator pulsa TTL terhadap modul transmitter sinyal. Hasil pembacaan modul *transmitter* sinyal 4-20 mA dibandingkan dengan nilai tampilan pada kalibrator, selanjutnya dilakukan perhitungan. Perhitungan kesalahan pembacaan adalah dengan menggunakan persamaan :

$$KR = \frac{PS-PP}{PP} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan *KR* merupakan kesalahan relatif, *PS* adalah hasil pembacaan sistem, dan *PP* merupakan hasil pembacaan pada kalibrator.

Tabel. 1. Data hasil pengukuran.

No	Kalibrator GW Instek GFG-3015 (FuncGen) Hz	Counting CPS Modul Transmitter	Output Digital Modul Transmitter	Output Arus mA, Modul Transmitter
1.	26000	26261	4070	21,12
2.	26500	26768	3565	20,85
3.	26800	27069	3262	20,24
4.	27000	27272	3062	19,84
5.	27400	27676	2657	18,85
6.	27800	28075	2252	17,03
7.	28000	28282	2051	15,66
8.	28400	28687	1649	13,09
9.	28800	29091	1244	10,55
10.	29000	29292	1024	9,27
11.	29400	29696	637	6,54
12.	29800	30101	232	3,85
13.	30000	30301	32	2,72



Gambar 6. Tampilan modul transmitter sinyal 4-20 mA tampak depan.



Gambar 7. Tampilan modul transmitter tampak belakang.

Tabel. 2. Data kesalahan relatif hasil pengukuran dibandingkan kalibrator

No	Kalibrator GW Instek GFG-3015 (FuncGen) Hz	Counting CPS Modul Transmitter	Presentase Kesalahan Relatif (%)
1.	26000	26261	1,00
2.	26500	26768	1,01
3.	26800	27069	1,00
4.	27000	27272	1,00
5.	27400	27676	1,00
6.	27800	28075	0,99
7.	28000	28282	1,00
8.	28400	28687	1,01
9.	28800	29091	1,01
10.	29000	29292	1,00
11.	29400	29696	1,00
12.	29800	30101	1,01
13.	30000	30301	1,00

Kesalahan relatif hasil pengukuran terjadi hampir merata sekitar +1,0% disetiap pengukuran sehingga perbaikan dapat dilakukan dengan melakukan setting *Zero* pada modul *transmitter* sinyalnya melalui *dipswitch* pengurangan 16 bit.



Gambar 8. Pengujian modul *transmitter* sinyal 4-20 mA, diinjeksi oleh kalibrator sinyal TTL

Tabel 3. Hubungan linier antara *input Counting* (CPS) dengan output arus

No	<i>Input Counting</i> CPS Modul <i>Transmitter</i>	<i>Output Arus</i> Modul <i>Transmitter</i> mA
1.	26261	21,12
2.	26768	20,85
3.	27069	20,24
4.	27272	19,84
5.	27676	18,85
6.	28075	17,03
7.	28282	15,66
8.	28687	13,09
9.	29091	10,55
10.	29292	9,27
11.	29696	6,54
12.	30101	3,85
13.	30301	2,72

Dari tabel 3 didapat persamaan linier $Y = -0,005X + 154,407$ dengan koefisien linier $r = 0,977$ dimana X adalah *input counting* dan Y adalah output arus dari modul *transmitter* sinyal 4-20 mA.

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa rancang-bangun modul *transmitter* sinyal 4-20 mA berhasil mengkonversi dan mentransmisikan data pengukuran melalui standar sinyal 4-20 mA yang merupakan standar sinyal di industri. Penyimpangan pengukuran saat dilakukan pengujian sebesar 1,00 % dan koefisien linier antara *input counting* dan output arus adalah 0,977.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ververis C, Geoghiou K, Christodoulakis N, Santas P dan Santas R, 2004, "*Fiber Dimension, Lignin And Cellulose Content Of Various Plant Materials And Their Stability For Paper Production*", Industrial Crops and Products, pp. 245-254, Vol. 19.
- [2]. Waller MH, 2003, "*Basis Weight Gauges: What's New?*", The Instrumentation, System and Automation Society, ISA Expo.
- [3]. Anonymous, "*4-20 mA Transmitters*", *Application Note*, 3331 E, Hemisphere Loop, Tucson AZ 85706. <https://www.dataforth.com/4-20mA-transmitter.aspx>
- [4]. Anonymous, Juni 2017, "*4-20 mA Current Loop Sensor Board*", Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. , Document version: v7.2 –.
- [5]. <https://www.libelium.com/development/waspmote/documentation/4-20,a-current-loop-guide/>
- [6]. Ikhsan Sobari dkk, 15 September 2015, *Perancangan Modul Antar Muka Untuk Data Logger Analisa Unsur Dengan Teknik XRF Untuk Industri Menggunakan Port USB*, pada Seminar Nasional XI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta.
- [7]. Rony Djokorayono, dkk, , Juni 2014 "*Rancangan Dasar On-Line Analyzer Batubara Pada Belt Conveyor Dengan Teknik Aktivasi Neutron*" Jurnal Perangkat Nuklir Volume 08, Nomor 01.