

RANCANGAN DASAR ON-LINE ANALYZER BATUBARA PADA BELT CONVEYOR DENGAN TEKNIK AKTIVASI NEUTRON

Rony Djokorayono, Agus Cahyono
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir (PRFN) – BATAN
Email : Ronyd@batan.go.id

ABSTRAK

RANCANGAN DASAR ON-LINE ANALYZER BATUBARA PADA BELT CONVEYOR DENGAN TEKNIK AKTIVASI NEUTRON. Telah dilakukan rancangan dasar on-line analyzer batubara pada belt conveyor dengan teknik aktivasi neutron. Dibandingkan dengan teknik pencuplikan, teknik aktivasi neutron ini memiliki kelebihan dalam hal akurasi dan waktu analisis. Kegiatan perancangan yang telah dikerjakan meliputi penentuan persyaratan desain, persyaratan fungsi, persyaratan teknis, spesifikasi teknis, perancangan subsistem deteksi, perancangan subsistem akuisisi data, dan perancangan computer console operator. Kegiatan ini akan menggunakan detektor sintilasi NaI(Tl) untuk mendeteksi sinar gamma yang dipancarkan oleh unsur-unsur dalam batubara akibat aktivasi neutron dari sumber ^{252}Cf (Californium-252). Desain dasar perangkat on-line analyzer batubara pada belt conveyor dengan teknik aktivasi neutron ini perlu diteruskan ke tahap rekayasa selanjutnya, yaitu desain rinci, konstruksi prototipe, dan pengujian di lapangan

Kata kunci: On-line analyzer, batubara, aktivasi neutron

ABSTRACT

DESIGNING ON-LINE ANALYZER FOR COAL ON BELT CONVEYOR USING NEUTRON ACTIVATION TECHNIQUE. Basic design of on-line analyzer for coal on belt conveyor using neutron activation technique has been carried out. Compared with sampling technique, this neutron activation technique has some advantages in term of analysis accuracy and time. The design activities performed include the establishment of design requirements, functional requirements, technical requirements, technical specification, detection sub-system design, data acquisition sub-system design, and operator computer console design. This program will use NaI(Tl) scintillation detector to detect gamma-rays emitted by elements in coal due to neutron activation of a neutron source, ^{252}Cf (Californium-252). This basic design of on-line analyzer for coal on belt conveyor using neutron activation technique should be followed up with the development of detailed design, prototype construction, and field testing.

Keywords: on-line analyzer, coal, neutron activation

1. PENDAHULUAN

Batubara merupakan bahan bakar fosil yang terbentuk dari endapan, batuan organik yang terutama terdiri dari karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), sulfur (S), dan fosfor (P). Unsur-unsur pembentuk lainnya adalah besi (Fe), kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), natrium (Na), dan titanium (Ti). Kualitas batubara sangat dipengaruhi oleh kandungan unsur-unsur tersebut dan kandungan abu, seperti SiO_2 (silikon oksida), Al_2O_3 (aluminium oksida), TiO_2 (titanium oksida), Fe_2O_3 (ferro oksida), CaO (kalsium oksida), dan K_2O (kalium oksida).^[1] Selama ini penentuan kandungan dan kadar kalor batubara dilakukan dengan metode pencuplikan. Selain itu, analisis cuplikan dikerjakan di laboratorium dan diperlukan beberapa hari untuk mengetahui hasilnya. Kondisi lapangan pengambilan sampel batubara yang biasanya berdebu, berlumpur, bahkan bersifat korosif merupakan kendala yang dapat mempengaruhi akurasi analisis. Untuk mengatasi ketidaktepatan dan kelambatan proses analisis konvensional ini, suatu teknik analisis secara *on-line* dengan menggunakan aktivasi neutron diajukan ^[2, 3, 4].

Teknik aktivasi neutron pada prinsipnya berdasarkan pada konversi inti atom stabil menjadi inti radioaktif akibat iradiasi dengan neutron, dan kemudian sinar gamma yang

dipancarkan oleh inti radioaktif tersebut dideteksi dan diidentifikasi. Berdasarkan waktu pengukurannya, teknik aktivasi neutron dapat dibedakan menjadi dua kategori, yaitu (1) analisis aktivasi neutron sinar gamma cepat, dimana pengukuran dilakukan selama iradiasi, dan (2) analisis aktivasi neutron sinar gamma kasip, dimana pengukurannya mengikuti peluruhan radioaktif. Kategori yg kedua yang dipakai pada teknik aktivasi neutron ini. Persyaratan dasar yang diperlukan untuk melaksanakan analisis dengan teknik ini adalah suatu sumber neutron, instrumentasi yang sesuai untuk mendeteksi sinar gamma, dan pemahaman yang memadai mengenai reaksi yang terjadi ketika neutron berinteraksi dengan inti atom target. Selain mempersingkat waktu dan meningkatkan akurasi analisis terhadap unsur-unsur yang ada dalam batubara, aplikasi teknik aktivasi neutron secara *on-line* juga dapat meningkatkan kinerja unit penanganan batubara dari suatu pembangkit listrik tenaga uap.

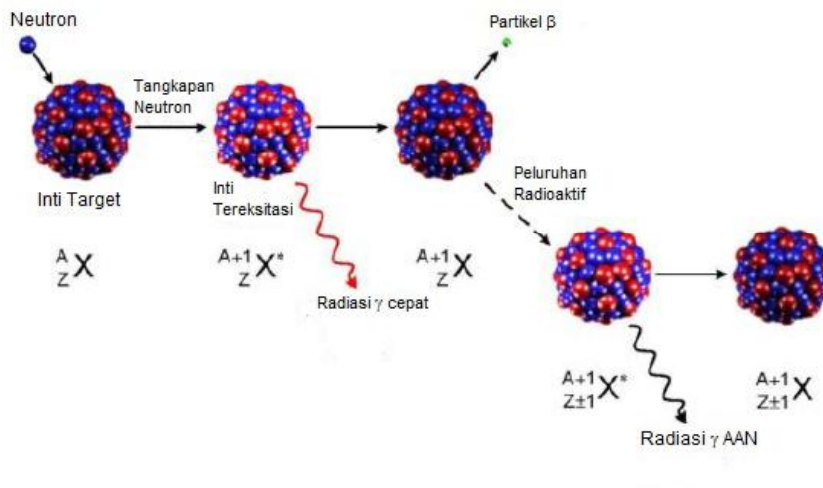
Adapun kualitas batubara yang dipersyaratkan oleh pembangkit energi batubara atau PLTU batubara secara *on line* adalah kadar kalor atau kadar abu, yang berasal dari unsur unsur Cl (*Chlor*), S (*Sulfur*), Fe (*Ferrum*), Al (*Aluminum*), Ca (*Calsium*), Ti (*Titanium*), K (*Kalium*), N (*Nitrogen*), Na (*Natrium*), C (*Carbon*), B (*Boron*) serta perhitungan kadar abunya dilakukan dengan mengukur dan mengkalkulasi konsentrasi SiO₂ (silikon oksida), Al₂O₃ (almunium oksida), TiO₂ (titanium oksida), Fe₂O₃ (ferro oksida), CaO (kalsium oksida), K₂O (kalium oksida), serta laporan kualitasnya dapat dilakukan setiap 10 menit dan ditampilkan pada layar monitor komputer *operator consule*.

Pada makalah ini akan dibahas mengenai instrumentasi sistem deteksi sinar gamma yang berperan sangat penting dalam analisis batubara dengan teknik aktivasi neutron ini. Kegiatan perancangan *on-line analyzer* untuk batubara dengan teknik aktivasi neutron menjadi perlu untuk dilaksanakan.

1.1. TEORI

1.1.1. Analisis Aktivasi Neutron

Analisis aktivasi neutron (AAN) merupakan suatu proses nuklir yang digunakan untuk menentukan konsentrasi elemen-elemen dalam suatu material yang berjumlah besar. Prinsip kerja AAN berdasarkan pada eksitasi oleh neutron sehingga sampel yang dikenainya memancarkan sinar gamma karakteristik. Hal ini memungkinkan identifikasi dan kuantifikasi elemen-elemen dalam sampel ^[5, 6]. Rangkaian kejadian yang terjadi selama proses reaksi nuklir yang paling umum yang digunakan dalam AAN ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema proses aktivasi neutron pada inti atom yang memancarkan sinar γ [5, 6]

Suatu inti menjadi tereksitasi setelah ia berinteraksi dengan sebuah neutron melalui suatu tumbukan non-elastik. Energi eksitasi inti atom akibat adanya energi ikat neutron dengan inti atom [5,6]. Inti atom yang tereksitasi ini akan mengalami de-eksitasi ke inti atom yang lebih stabil dengan memancarkan satu atau lebih sinar γ cepat, yang diikuti dengan pancaran partikel β . Selanjutnya, inti yang baru menghasilkan inti radioaktif yang akan meluruh ke inti yang lebih stabil dengan memancarkan sinar γ .

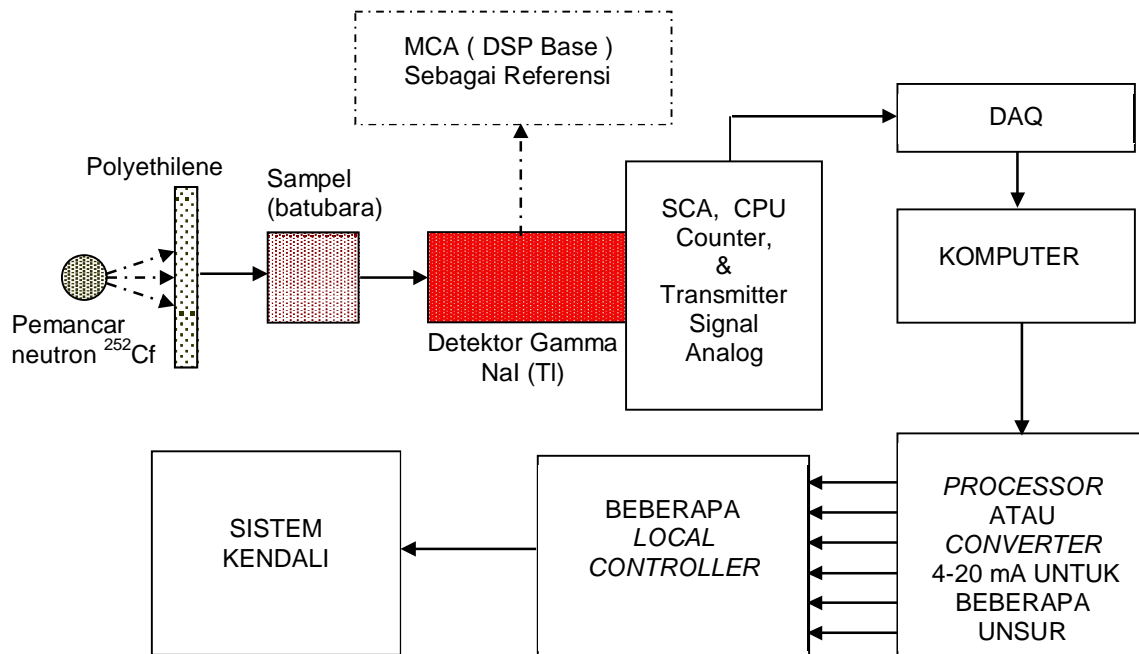
1.1.2. Sistem Deteksi Sinar Gamma (γ) pada *On-line Analyzer* Batubara

Pada aplikasinya secara on-line pada industri batubara, sampel batubara yang mengalir pada *belt conveyor* diaktivasi oleh sumber neutron ^{252}Cf dengan aktivitas minimal $15 \mu\text{gram}$ [1]. Akibat aktivasi neutron pada sampel, radiasi γ yang dihasilkan memiliki berbagai level energi yang berkaitan dengan unsur-unsur yang ada di dalam sampel batubara. Unsur-unsur yang biasanya ada dalam batubara antara lain Cl (Klor), S (Sulfur), Fe (Besi), Al (Aluminium), Ca (Kalsium), Ti (Titanium), K (Kalium), N (Nitrogen), Na (Natrium), C (Karbon), dan B (Boron).

Intensitas radiasi gamma yang muncul dari unsur-unsur tersebut dideteksi dengan menggunakan detektor NaI(Tl) dan *photomultiplier tube* (PMT). Pulsa-pulsa listrik yang dihasilkan oleh PMT memiliki ketinggian yang berhubungan dengan jenis unsur yang ada. Pulsa listrik tersebut lalu diperkuat dengan preamplifier. Untuk menentukan intensitas radiasi γ yang muncul dari unsur tertentu, digunakan suatu filter energi baik yang berupa *single channel analyzer* (SCA) atau pun *multi channel analyzer* (MCA). Pada filter energi ini, lebar dan tinggi *window filter* untuk setiap unsur berbeda antara satu dengan yang lainnya.

Untuk membandingkan energi unsur-unsur, sebuah *multichannel analyzer* (MCA) Canberra digunakan sebagai acuan atau pembanding. MCA ini dilengkapi dengan *Digital Signal Processing* (DSP) yang memiliki tampilan berupa spektrum dengan intensitas dari berbagai energi sinar γ yang keluar dari setiap unsur yang terkandung di dalam batubara. Setelah lebar dan tinggi *window filter* setiap unsur diketahui, SCA lalu digunakan untuk mengidentifikasi intensitas radiasi gamma dari unsur-unsur di dalam batubara. Keluaran masing-masing SCA dari setiap unsur akan dikonversi menjadi arus listrik dengan standard industri 4-20 mA dan ditransmisikan melalui kabel signal ke panel kontrol yang berjarak sekitar 1200 meter ke komputer *data logger* melalui modul *Data Acquisition* (DAQ). Sinyal informasi yang berasal dari intensitas radiasi γ dari setiap unsur yang terkandung dalam batubara akan ditransfer oleh komputer *data logger* ke sistem *local*

controller yang berfungsi sebagai pengendali proses. Blok diagram rancangan *on-line analyzer* batubara pada *belt conveyor* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok sistem *on-line analyzer* untuk batubara

2. METODOLOGI

Berdasarkan dokumen *Coal Quality Manager* pada Ref. [7], perancangan perangkat prototipe *on-line analyzer* batubara pada *belt conveyor* menggunakan aktivasi neutron dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu:

- Penetapan persyaratan desain
Pada tahap ini ditetapkan persyaratan desain yang harus dipenuhi oleh perangkat *on-line analyzer* yang akan dibuat.
- Penetapan Persyaratan Fungsi
Pada tahap ini persyaratan fungsi perangkat *on-line analyzer* dengan teknik aktivasi neutron ditentukan.
- Penetapan persyaratan teknis
Pada tahap ini ditetapkan persyaratan teknis yang harus dipenuhi oleh perangkat *on-line analyzer* yang menggunakan aktivasi neutron ²⁵²Cf.
- Perancangan desain perangkat
Pada tahap ini dilakukan perancangan perangkat dengan memperhatikan persyaratan desain dan teknis dari perangkat *on-line analyzer* yang menggunakan aktivasi neutron ²⁵²Cf.
Perangkat ini terdiri atas:
 - o Subsistem deteksi yang meliputi pemancar neutron ²⁵²Cf, *preamplifier*, pengolah *signal* analog, *single channel analyzer*, processor penghitung pulsa dan transmitter *signal* analog;
 - o Subsistem *Data Aquisition* (DAQ) dan komunikasi data serial; dan
 - o Subsistem software tampilan komputer *operator console*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kegiatan yang diperoleh meliputi persyaratan desain, persyaratan fungsi, persyaratan teknis, spesifikasi teknis, desain subsistem deteksi, desain subsistem data akusisi, dan desain *software* tampilan perangkat prototipe *on-line analyzer* yang menggunakan aktivasi neutron ^{252}Cf .

3.1. Persyaratan Desain

Persyaratan desain perangkat *on-line analyzer* ditetapkan berdasarkan dokumen *Coal Quality Manager (CQM) Thermo Elektron Corporation*, yang terdapat di PLTU Suralaya [7]. Perangkat yang dibuat ini harus dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi unsur-unsur di dalam batubara yang berada di atas *belt conveyor* yang bergerak dengan kecepatan sekitar 4 meter per detik. Jenis unsur yang terkandung di dalam batubara yang biasa dianalisis antara lain meliputi Cl, S, Fe, Al, Ca, Ti, K, N, Na, C, dan B. Perhitungan kadar abu batubara dilakukan dengan mengukur dan menghitung konsentrasi SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , dan K_2O . Laporan kualitas batubara dapat dilakukan setiap 10 menit dan ditampilkan pada layar monitor komputer *operator console*. *Standard* dan acuan manual yang digunakan adalah.

3.2. Persyaratan Fungsi

Persyaratan fungsi perangkat *on-line analyzer* ditetapkan berdasarkan dokumen *Coal Quality Manager (CQM) Thermo Electron Corporation*, yang terdapat di PLTU Suralaya [7]. Persyaratan fungsi perangkat ini adalah sebagai berikut:

- Dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi setiap unsur yang ada dalam batubara yang berada pada *belt conveyor* yang bergerak dengan kecepatan sekitar 4 meter per detik;
- Dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur-unsur Cl, S, Fe, Al, Ca, Ti, K, N, Na, C, dan B yang terkandung dalam batubara secara *on-line*, dengan waktu proses maksimal 10 menit;
- Dapat digunakan untuk menentukan kadar abu batubara dengan mengukur dan menghitung konsentrasi SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , dan K_2O sedemikian sehingga laporan kualitasnya dapat dilakukan setiap 10 menit dan ditampilkan pada layar monitor komputer *operator console*.

3.3. Persyaratan Teknis

Menurut manual *Coal Quality Manager (CQM) Thermo Electron Corporation*, karakteristik pemancar neutron yang digunakan pada perangkat *on-line analyzer* batubara pada *belt conveyor* adalah sebagai berikut:

- energi radiasi neutron harus besar, minimal 2 MeV;
- waktu paruh harus panjang, minimal 6 tahun; dan
- partikel neutron yang keluar dari pemancar neutron minimal harus 2760 juta per menit.

Berdasarkan pada karakteristik pemancar neutron tersebut, pemancar neutron jenis ^{252}Cf sebagian dapat memenuhi karakteristik tersebut. Karakteristik pemancar neutron ^{252}Cf adalah sebagai berikut:

- energi radiasi rata-rata 2,3 MeV
- waktu paruh 2,64 tahun
- jumlah partikel neutron yang dipancarkan untuk setiap 1 μgr menghasilkan 170 juta partikel neutron per menit
- aktivitas sumber pemancar neutron minimal 16 μgr .

Sementara itu, sistem deteksi menggunakan detektor NaI(Tl) karena lokasi perangkat *on-line analyzer* batubara pada *belt conveyor* yang berdebu, korosif, serta terkadang tergujur air, sehingga penggunaan detektor germanium yang lebih sensitif tidak memungkinkan, karena perlu persyaratan khusus yang berstandar laboratorium.

3.4. Spesifikasi Teknis

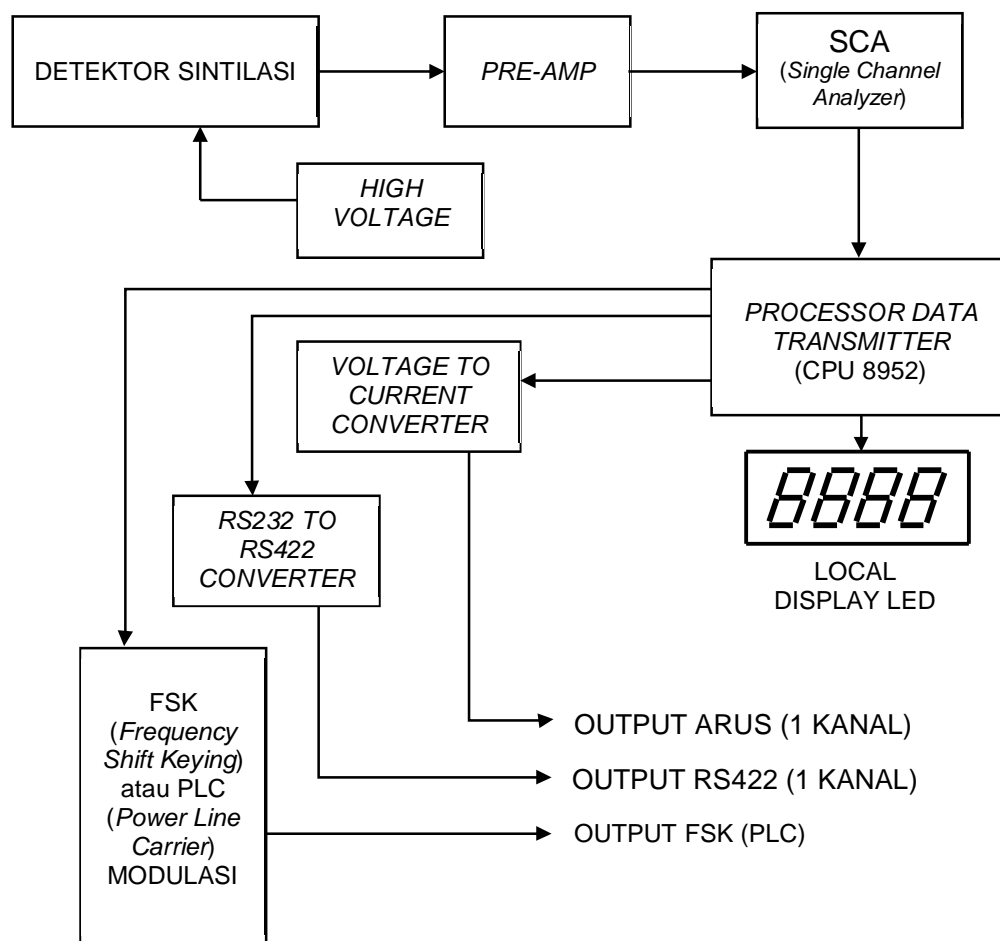
Spesifikasi teknis yang telah dibuat untuk perangkat prototype *on-line analyzer* batubara pada *belt conveyor* dengan teknik aktivasi neutron ini ditunjukkan pada Tabel 1. Spesifikasi teknis yang telah disiapkan untuk aktivitas sumber neutron, jenis detektor, digital signal processing untuk akuisisi data, *real time data acquisition* dan *signal transmitter*, *electronic data logger* dan *computer data logger*, tampilan *computer console operator*, waktu laporan hasil pengukuran, dan unsur yang diukur.

3.5. Subsistem Deteksi

Subsistem deteksi untuk *on-line analyzer* batubara ini meliputi detektor sintilasi, catu daya tegangan tinggi, *pre-amplifier*, *Single Channel Analyzer (SCA)*, *processor data transmitter*, modulasi *Frequency Shift Keying (FSK)/Power Line Carrier (PLC)*, *converter RS232 ke RS422*, *Converter* tegangan ke arus, dan *local display*. Subsistem deteksi ini ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis *On-line Analyzer* Batubara

Komponen	Spesifikasi
Aktivitas sumber neutron	^{252}Cf , 16 μgram – 2 mgram
Detektor	NaI(Tl) (minimal diameter 5 cm)
Akuisisi data (DSP) kalibrator <i>standard</i>	Osprey MCA Canberra 256-4096 Kanal
<i>Real time data acquisition</i> dan <i>signal transmitter</i>	SCA, <i>processor transmitter</i> 4-20 mA untuk masing masing unsur Cl, S, Fe, Al, Ca, Ti, K, N, Na, C, B, Si
<i>Electronic data logger</i> dan <i>computer data logger</i>	16 kanal <i>analog input range</i> 0-10 V atau 4-20 mA <i>Isolated</i> , Komunikasi RS232, USB, <i>operating sistem</i> DOS, Windows XP, <i>display square</i> LCD 17"
Tampilan <i>computer console operator</i>	Tabular digital dan trend untuk pengukuran unsur dan Kadar Kalor
Kalkulasi	Kadar kalor
Waktu laporan hasil pengukuran	Minimal 10 menit
Unsur yang diukur	Cl, S, Fe, Al, Ca, Ti, K, N, Na, C, B, Si

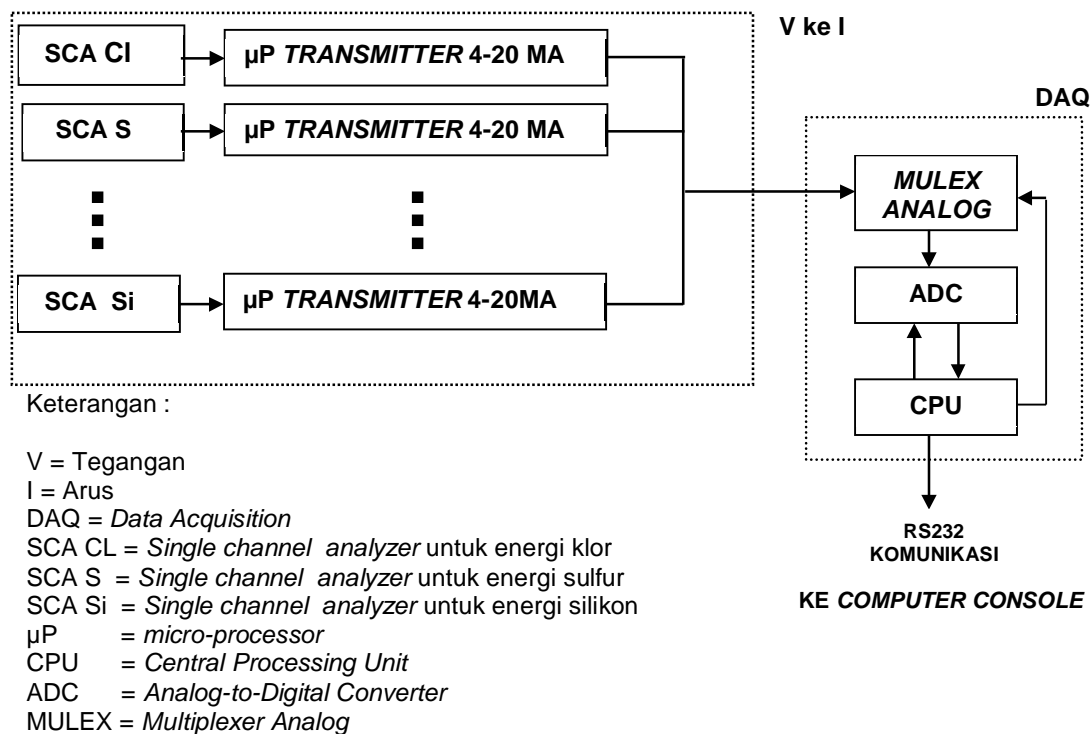


Gambar 3. Blok elektronik subsistem deteksi *on-line analyzer*

Radiasi sinar γ yang dipancarkan oleh unsur-unsur yang ada dalam batubara akibat aktivasi neutron dideteksi oleh detektor sintilasi NaI(Tl). Setelah diperkuat oleh pre-amplifier, sinyal hasil pengukuran diolah oleh mikroprocessor sistem deteksi dengan interval pengambilan sampel 100 mSec, difilter dengan lebar *window* energi untuk unsur-unsur Cl, S, Fe, Al, Ca, Ti, K, N, Na, C, B, dan Si oleh SCA (*Single Channel Analyzer*). Sinyal luaran dari SCA selanjutnya dicacah oleh pencacah 16 bit dan ditampilkan pada *local display*. Selain itu, transmitter juga meneruskan sinyal tegangan ke sebuah converter yang mengubahnya secara linier menjadi tegangan DC dengan *range* 0-10 V serta ditransmisikan ke komputer akuisisi data (*DAQ computer console*) menggunakan *standard signal* 4-20 mA dan *signal* frekuensi modulasi (FSK). Data pengukuran dari detektor yang diterima oleh DAQ kemudian dikomunikasikan ke sistem komputer *data logger* di *Control Room* menggunakan *standard* komunikasi RS422.

3.6. Subsistem Akuisisi Data

Diagram blok elektronika untuk subsistem akuisisi data (*Data Acquisition*) perangkat *on-line analyzer* untuk batubara dengan teknik aktivasi neutron ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Blok Elektronika Subsistem Akuisisi Data *On-line Analyzer*

Keluaran signal listrik dari sistem deteksi (kristal NaI(Tl)+PMT)+*preamp* akan dimasukan ke sistem SCA dengan lebar *window filter* energi sesuai dengan unsur terkait. Jumlah pulsa listrik dari masing-masing radiasi gamma setiap unsur akan dihitung oleh modul *processor transmitter* 4-20 mA dan dikonversi menjadi signal arus listrik dengan *range* 4-20 mA. Setelah signal hasil pengukuran radiasi gamma untuk masing-masing unsur berbentuk arus listrik, signal ini dikirim ke masukan sistem *analog-to-digital converter* (ADC) untuk dikonversi menjadi besaran digital yang kemudian ditransmisikan ke komputer *operator console data logger* melalui sarana komunikasi RS232.

3.7. Computer Console Operator

Komputer konsul operator terletak di ruang terpisah yang berjarak sekitar 500 meter dari subsistem deteksi agar operator tidak terpapar oleh radiasi neutron dan perangkat komputer terhindar dari lingkungan berdebu serta korosif. Melalui konsul ini, operator dapat memonitor kualitas batubara yang diukur serta dapat melaporkan hasil pengukuran ke tingkat manajemen untuk tindakan lebih lanjut jika diperlukan. Contoh tabel data *output* yang ditampilkan pada komputer konsul ditunjukkan Gambar 5.

Waktu Sampling	Konsentrasi											
	Cl	S	Fe	Al	Ca	Ti	K	N	Na	C	B	
08.00												
08.10												
08.20												
08.30												
08.40												
08.50												
09.00												
08.10												
09.20												
09.30												
09.40												
09.50												

Waktu Sampling	Konsentrasi Unsur & Kalor						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Kalor
08.00							
08.10							
08.20							
08.30							
08.40							
08.50							

Gambar 5. Contoh tabel data output pada komputer konsul

Konsentrasi setiap unsur yang terkandung di dalam sampel batubara diperoleh melalui penggunaan suatu pembanding atau standar. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut ^[8]:

$$m_s = m_c \frac{C_s D_c M_c}{C_c D_s M_s} \dots\dots\dots(1)$$

dimana

- Subskrip s = sampel
- Subskrip c = standar
- m = konsentrasi
- C = jumlah cacah yang berbanding lurus dengan intensitas sinar gamma
- D = faktor peluruhan
- M = faktor waktu pengukuran

4. KESIMPULAN

Kegiatan perancangan ini menghasilkan suatu desain dasar perangkat *on-line analyzer* batubara pada *belt conveyor* dengan teknik aktivasi neutron dari unsur ^{252}Cf . Pembuatan desain dasar perangkat ini diawali dengan penentuan persyaratan desain, persyaratan teknis, dan persyaratan fungsi yang mengacu pada *Standard Coal Quality Manager (CQM) Thermo Electron Corporation* yang telah digunakan oleh suatu pembangkit tenaga uap. Spesifikasi teknis, desain subsistem deteksi, desain subsistem data akuisisi, dan desain *computer console operator* juga telah dibuat. Kegiatan desain yang selanjutnya perlu dikerjakan adalah pembuatan desain rinci, konstruksi, dan pengujian lapangan dari perangkat *on-line analyzer* batubara pada *belt conveyor* dengan teknik aktivasi neutron ini.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Atas terlaksananya kegiatan perancangan *on-line analyzer* batubara ini, kami menyampaikan terima kasih kepada pihak Manajemen PRFN BATAN yang telah mengizinkan kami untuk melakukan peninjauan lapangan, Manajemen PLTU Suralaya, terutama Bapak Trisno, yang telah memberi kesempatan untuk peninjauan Unit *Coal Handling* untuk memperoleh informasi teknis, dan Manajemen PT. Grammatech sebagai mitra dari PT. Indonesia Power yang telah memfasilitasi komunikasi dengan pihak teknisi Unit *Coal Handling*.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. B. SOESWANTO, *Pengaruh Parameter Proses pada Pemungutan Kembali Silika dari Abu Batubara*, Tesis, Program Magister Teknik Kimia, Universitas Diponegoro, 2011.
- [2]. IAEA-TECDOC-459, *Nuclear Analytical Techniques for On-line Elemental Analysis in Industry*, hal. 18, IAEA, Wina, 1988.
- [3]. B.D. SOWERY, *On-line Nuclear Techniques in the Coal Industry*, Division of Mineral and Process Engineering, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, NSW 2234, Australia, 27 Februari 1991.
- [4]. APRIL ANDERSON dan SCOTT STALLARD, *1+1=3: More from Your Online Coal Analyzer*, www.thermo.com/eThermo/CMA/PDFs/Product/productPDF_1663.pdf, Black & Veatch, ThermoFisher Scientific, unduh 15 Februari 2014.
- [5]. LYLIA HAMIDATOU dkk., *Concepts, Instrumentation and Techniques of Neutron Activation Analysis, Imaging and Radioanalytical Techniques in Interdisciplinary Research – Fundamentals and Cutting Edge Applications*, hal. 141 – 175, Intech, 2013.
- [6]. DAVID TIN WIN, *Neutron Activation Analysis*, www.journal.au.edu/au techno/2004/jul04/vol8num1_art02.pdf, Assumption University, Bangkok, unduh 20 Februari 2014.
- [7]. COAL QUALITY MANAGER (CQM), *Analyzer Manual, Thermo Electron Corporate*, 10010 Mesa Rim Rd., San Diego, CA 92121, AS, 2007.
- [8]. ZEEV B. ALFASSI, *Instrumental Neutron Activation Analysis*, *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2000.