

Monitoring *Fixed Carbon* Menggunakan ECVT (*Electrical Capacitance Volume Tomography*)

Munthe, A.P., Haryono, D., Al-Huda, M., Nugraha, H., Sulaiman, R.I.

Center for Non-Destructive Testing & Process Imaging

CTECH LABS Edwar Technology

Tangerang, Indonesia

aditpahlawan@yahoo.com

Abstract

Menganalisa kandungan batu bara pada bidang industri saat ini memerlukan keterampilan teknis khusus dan membutuhkan waktu yang lama, sebagian besar kandungan batu bara dan kualitasnya dapat berubah karena lamanya proses analisa tersebut yang dapat merugikan hasil produksi. Diperlukan proses analisa yang cepat dan tidak memerlukan keterampilan khusus serta dapat mengetahui hasil analisanya secara real time. Dengan tujuan tersebut, ECVT digunakan untuk dapat menganalisa kandungan batu bara khususnya *fixed carbon* dan nilai kalori berdasarkan nilai kapasitansinya sehingga tidak terjadi perubahan kandungan batu bara karena lamanya proses analisa. Ekperimen dilakukan dengan memasukkan batu bara ke dalam sensor kapasitif. Alat yang digunakan antara lain *oscilloscope* dan *signal generator*, *capacitometer* dan sistem ECVT *12-Channel* dengan sensor kapasitif yang digunakan berupa sensor kapasitif *2-channel* dengan elektroda plat sejajar dan sensor kapasitif *12-channel* dengan elektroda persegi. Dari eksperimen didapat data berupa nilai kapasitansi batu bara serta model matematis hubungan antara nilai kapasitansi dengan kadar *fixed carbon* dan nilai kalori batu bara. Analisa data yang dilakukan menggunakan metode *cross correlation* dengan nilai korelasi sebesar 0.99996. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem ECVT dapat dijadikan alat ukur untuk dalam membedakan jenis batu bara berdasarkan kadar *fixed carbon* dan nilai kalorinya.

Keywords – Batu bara, ECVT, *Fixed carbon*, Nilai Kalori, Kapasitansi

I. INTRODUCTION

Batu bara banyak di gunakan pada industri pembangkit listrik dan besi baja. Diperlukan berbagai jenis analisa kimia untuk mengetahui kandungan batu bara yang memerlukan keterampilan teknis serta membutuhkan waktu yang lama. Sementara itu proses produksi harus selalu berjalan cepat. Akibatnya terjadi penumpukan batu bara pada *stockpile* atau *stockyard* yang mengakibatkan berubahnya kandungan dan kualitas batu bara [Kate, 2013]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh antara kandungan *fixed carbon* dan nilai kalori batu bara terhadap nilai kapasitansi yang terukur menggunakan sistem ECVT, mengetahui frekuensi optimal dan pengaruhnya terhadap nilai kapasitansi batu bara.

Penelitian ini merupakan langkah awal dari pengembangan sistem ECVT di bidang industri khususnya industri yang melibatkan batu bara, sehingga hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan lagi menjadi sebuah *prototype* sensor yang dapat diaplikasikan pada *belt conveyour* batu bara yang nantinya dapat menentukan kapasitas batu bara yang dibutuhkan dalam proses produksi melalui nilai kapasitansi yang terbaca dari sensor ECVT.

II. METHODS

A. Preparasi

Penelitian ini dilakukan di *Center of Non Destructive Test and Process Imaging* sedangkan untuk preparasi dilakukan di Laboratorium Teknik Metalurgi Fakultas Teknik UNTIRTA. Bahan yang digunakan berupa batu bara A dengan jenis *subbituminous* dan karbon aktif. Batu bara dipreparasi dengan menghaluskan ukuran batu bara menggunakan *ball mill* yang selanjutnya di *screening* menggunakan alat *screening* dengan screen ukuran 60#.



Gambar 1. Alat screen ukuran 60#.

Proses *screening* dilakukan untuk membuat ukuran sampel menjadi homogen. Batu bara berukuran -60# kemudian dipanaskan pada temperatur 110°C selama 1 jam didalam *furnace* untuk menghilangkan kadar air [ASTM D.3173].



Gambar 2. *Furnace* dengan temperatur 110°C selama 1 jam untuk menghilangkan kadar air batu bara.

Sampel kemudia diuji kandungannya yaitu dengan analisa proksimat, analisa nilai kalori dan analisa kandungan pirit. Analisa ini dilakukan agar diketahui pengaruh kandungan dalam batu bara terhadap nilai kapasitansi yang terbaca oleh sistem ECVT.

Tabel 1. Hasil analisa proksimat dan pirit sampel batu bara

Tanda Contoh	Air Lembab	Zat Terbang	Karbon Padat	Belerang Pirit
<i>Sample Marks</i>	<i>Moisture in air dried sample</i>	<i>Volatile Matter</i>	<i>Fixed carbon</i>	<i>Pyritic Sulphur</i>
	%, adb	%, adb	%, adb	%,adb
Baramata	2,32	40,84	36,50	0,29
Standar Methods :	ASTM D.3173	ISO 562	ASTM D.3172	ISO 157

Dari hasil uji kandungan dapat dilihat bahwa kandungan air pada batu bara belum sepenuhnya hilang. Hal ini dapat mengganggu nilai kapasitansi *fixed carbon* dalam batu bara yang akan di ukur. Oleh karena itu dilakukan pemanasan kembali pada temperatur 110°C selama 1 jam untuk menghilangkan seluruh *moisture* dalam batu bara. Setelah pemanasan, dilakukan variasi kadar *fixed carbon* pada batu bara menggunakan karbon murni (kandungan karbon 100%) dalam eksperimen ini digunakan karbon aktif. Variasi kadar *fixed carbon* yang dilakukan dibagi menjadi 8 jenis sampel yaitu 36,5%; 40%; 50%; 60%; 70%; 80%; 90%; dan 100%.

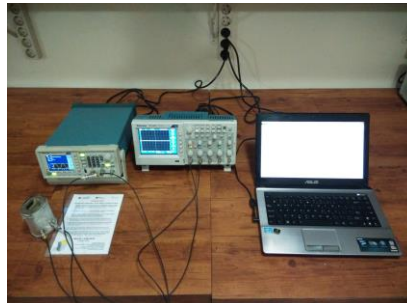
Kedelapan jenis sampel kemudian di uji nilai kalorinya untuk melihat variasi nilai kalori yang dihasilkan dari variasi *fixed carbon*.

Tabel 2. Hasil analisa nilai kalori batu bara

No. Lab <i>Lab No.</i>	Tanda Contoh <i>Sampel Marks</i>	Nilai Kalori <i>Gross Calorific Value</i> Cal/g, adb
2120/15	FC 36,5%	5.549
2121/15	FC 40%	5.600
2122/15	FC 50%	5.929
2123/15	FC 60%	6.125
2124/15	FC 70%	6.314
2125/15	FC 80%	6.393
2126/15	FC 90%	6.502
2127/15	FC 100%	7.261

B. Karakterisasi Sinyal Batu bara Menggunakan Osiloskop dan *Signal Generator*

Eksperimen ini dilakukan menggunakan sensor kapasitif *rectangular 2-Channel* berbentuk balok dengan ukuran 4x2x6 cm dengan elektroda berupa pelat sejajar, *oscilloscope* Tektronix TBS1064 dan *signal generator* Tektronix AFG 2021.



Gambar 3. Sensor, *oscilloscope* dan *signal generator* yang digunakan untuk mengukur tegangan output dari batu bara

Tahap eksperimen:

1. Memasang rangkaian sistem yang terdiri dari sensor, *oscilloscope* dan *signal generator*.
2. Mensetting nilai tegangan input sebesar 16.8 V dan frekuensi sebesar 2.5 MHz pada *signal generator*.
3. Memasukkan batu bara dengan variasi *fixed carbon* dan melakukan pengukuran nilai tegangan output batu bara.

C. Pengukuran Kapasitansi Menggunakan *CV Circuit*

Pengukuran ini dilakukan untuk memperoleh nilai kapasitansi sampel pada frekuensi yang berbeda-beda. Data yang ingin didapatkan dari pengukuran ini adalah frekuensi pengukuran kapasitansi optimal batu bara yang nantinya akan dijadikan acuan pada eksperimen menggunakan *capacitometer*. Eksperimen ini dilakukan menggunakan sensor kapasitif *2-Channel* yang dirangkai dengan *oscilloscop*, *signal generator* serta *CV circuit* yang berfungsi untuk mengkonversi nilai tegangan output ke dalam nilai kapasitansi.



Gambar 4. Rangkaian pengukuran kapasitansi menggunakan sensor kapasitif 2-Channel yang dirangkai bersama *oscilloscope*, *signal generator*, *CV circuit* serta komputer.

Tahap eksperimen :

1. Memasang rangkaian yang terdiri dari sensor kapasitif 2 Channel yang dirangkai bersama *oscilloscope*, *signal generator*, *CV circuit* serta komputer
2. Mensetting parameter berupa tegangan input 10 volt dan frekuensi dengan rentang 0,1 – 20 MHz di 22 titik
3. Memasukkan sampel batu bara ke dalam sensor kapasitif
4. Melakukan pengukuran dan mengulangi langkah diatas untuk semua variasi kadar *fixed carbon*.

D. Karakterisasi Sinyal Batu bara Menggunakan *Capacitometer*

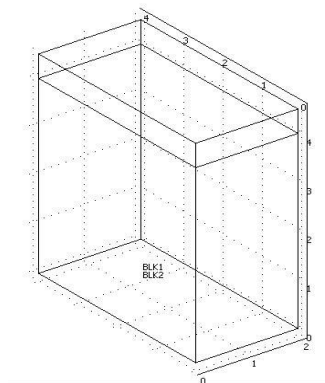
Penelitian ini menggunakan seperangkat sistem ECVT yang terdiri dari sensor kapasitif *rectangular 2-Channel* berbentuk balok dengan ukuran 4x2x6 cm dengan elektroda berupa pelat sejajar, *Capacitometer* yang memiliki frekuensi pengukuran 2.5 MHz dan tegangan 16.8 V dan seperangkat komputer.



Gambar 5. Sensor kapasitif 2-Channel dan *Capacitometer* versi 3 *fixed carbon* batu bara.

Tahap eksperimen:

1. Memasang rangkaian sistem ECVT yang terdiri dari sensor kapasitif *rectangular 2-Channel* dan *Capacitometer*.



Gambar 6. Desain geometri sensor kapasitif *rectangular 2-Channel* dengan dimensi 4x2x6 cm

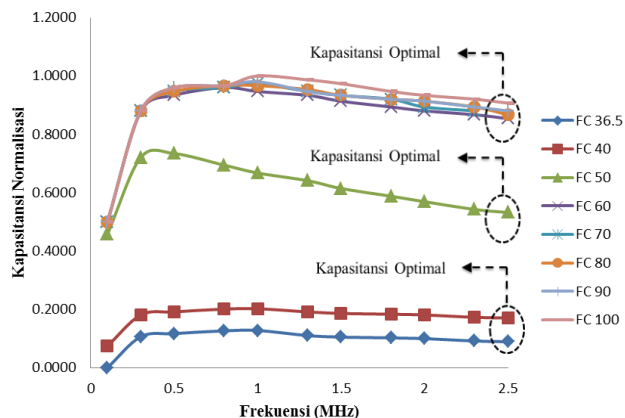
2. Mensetting parameter pada *Capacitometer* dengan variasi nilai CF = 5; gain = 1 dan offset = 0

3. Memasukkan batu bara ke dalam sensor kapasitif 2-Channel dan memulai pengukuran kapasitansi yang terbaca (Cx)
4. Mengulangi pengukuran untuk semua variasi kadar *fixed carbon*

III. RESULT AND DISCUSSIONS

A. Hasil Pengukuran Kapasitansi Batu bara Menggunakan CV Circuit

Dari percobaan menggunakan *oscilloscope*, *signal generator*, *CV circuit* dan sensor kapasitif 2-Channel didapatkan grafik pengukuran sebagai berikut :



Gambar 7. Grafik hubungan variasi frekuensi terhadap kapasitansi normalisasi pada pengukuran menggunakan rangkaian *oscilloscope*, *signal generator*, *CV circuit* dan sensor kapasitif 2-Channel.

Dari gambar 7 nilai kapasitansi batu bara optimal didapat pada frekuensi 2,5 MHz, karena pada frekuensi tersebut batu bara dapat terbedakan dengan jelas. Dari ke 8 jenis sampel batu bara, 6 sampel diantaranya

Frekuensi 2,5 MHz merupakan frekuensi rendah dimana nilai kapasitansi batu bara yang didapat paling tinggi. Hal ini terjadi karena proses penyearahan dipol suatu bahan dielektrik tidak terlalu terpengaruh oleh frekuensi rendah. Pada frekuensi tinggi, nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik bernilai rendah karena dipol-dipol tidak dapat mempertahankan penyearahan pada arus bolak balik [Rajib et al, 2014].

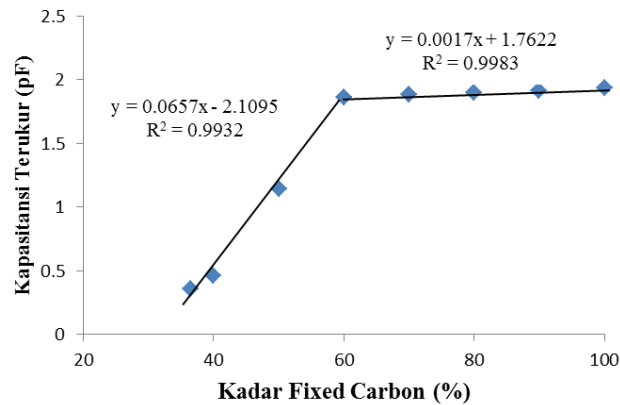
B. Hasil Pengukuran Kapasitansi Batu bara Menggunakan Capacitometer

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan menggunakan *Capacitometer* dan sensor kapasitif berukuran 4x2x6 cm³ dengan dua pelat sejajar berukuran 4x4 cm², berikut adalah nilai kapasitansi dari hasil pengukuran yang diperoleh:

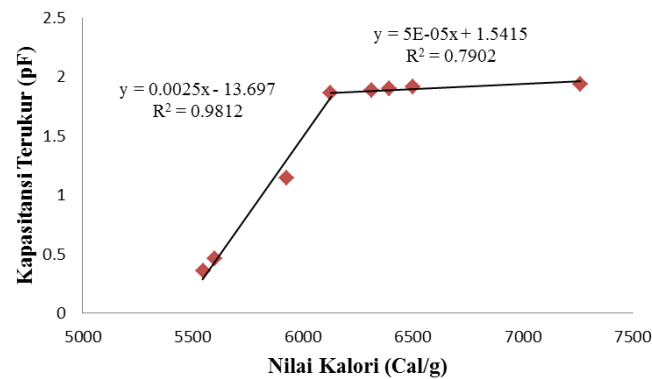
Tabel 3. Hasil pengukuran kapasitansi *Capacitometer*

Sampel (% <i>Fixed carbon</i>)	Nilai Kalori (Cal/g, adb)	Kapasitansi Terukur <i>Capacitometer</i> (pF)
36.5	5549	0,3560
40	5600	0,4590
50	5929	1,1440
60	6125	1,8630
70	6314	1,8830
80	6393	1,8980
90	6502	1,9150
100	7261	1,9320

Dari hasil pengukuran kapasitansi yang dilakukan didapatkan grafik sebagai berikut :

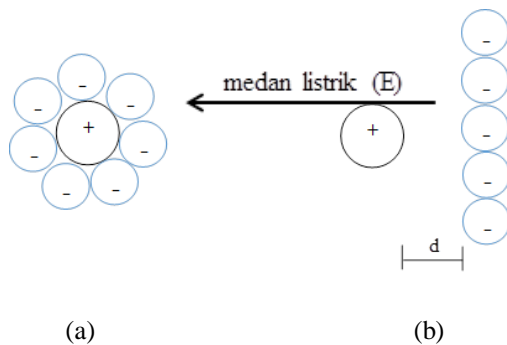


Gambar 8. Grafik hubungan variasi kadar *fixed carbon* terhadap nilai kapasitansi



Gambar 9. Grafik hubungan variasi kadar nilai kalori terhadap nilai kapasitansi

Pada gambar 8, semakin besar kandungan *fixed carbon* pada batu bara akan meningkatkan nilai kapasitansi terukur. Kenaikan nilai kapasitansi pada batu bara dipengaruhi oleh mekanisme polarisasinya. Atom *carbon* dalam batu bara mengalami polarisasi elektronik. Pergeseran elektron yang bernilai negatif terhadap inti atom yang bernilai positif menimbulkan jarak antara keduanya. Jarak antara inti atom dan elektron mengakibatkan terbentuknya momen dipol. Momen dipol adalah hasil kali muatan dan jarak antara kedua atom yang berikatan [Rudi Setiabudi, 2007].



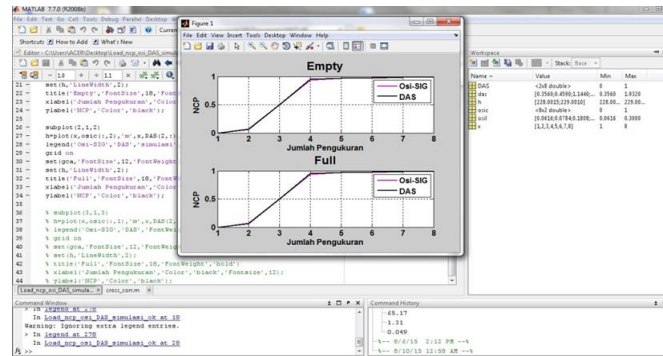
Gambar 10. Mekanisme polarisasi elektronik yang terjadi pada atom karbon dalam batu bara; (a) atom karbon sebelum diberi medan listrik dari luar; (b) atom karbon mengalami polarisasi setelah mendapatkan medan listrik dari luar

C. Analisa Cross Correlation

Analisa *cross correlation* merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menghitung kesamaan antara dua sinyal. Metode analisa ini dapat dilakukan menggunakan 2 (dua) cara yaitu secara manual ataupun menggunakan *software* seperti matlab. Secara manual, rumus *cross correlation* dapat dituliskan sebagai berikut :

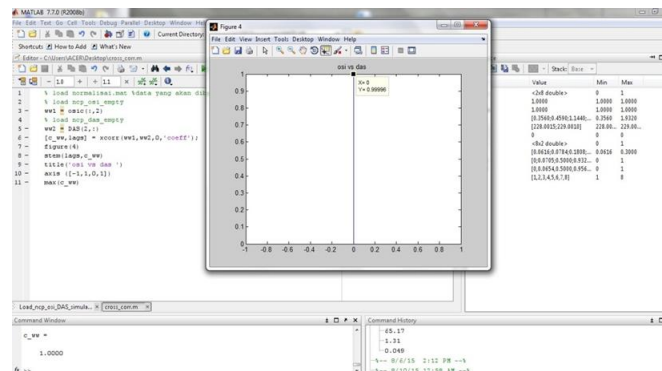
$$R_{xy}(t_1, t_2) = E[X(t_1)Y(t_2)]$$

Dalam penelitian ini, analisa *cross correlation* dilakukan menggunakan software MATLAB R2008b. Analisa *cross correlation* dilakukan untuk melihat seberapa besar korelasi antara data eksperimen pengukuran kapasitansi batu bara menggunakan *Capacitometer* dan hasil eksperimen menggunakan *oscilloscope* dan *signal generator*. Data yang digunakan dalam analisa ini adalah data pengukuran kapasitansi menggunakan *CV circuit* pada frekuensi optimal yaitu 2,5 MHz dan data hasil pengukuran kapasitansi menggunakan *Capacitometer*.



Gambar 11. Normalisasi data eksperimen menggunakan *Capacitometer* dan data *oscilloscope-signal generator*

Gambar 11 merupakan langkah normalisasi yang dilakukan didalam software MATLAB R2008b. Hal ini dilakukan karena untuk membandingkan dua buah alat ukur yang berbeda, dibutuhkan batas bawah dan batas atas yang sama. Dari hasil normalisasi data tersebut akan dihasilkan grafik normalisasi kedua grafik tersebut dan dari grafik tersebut dapat dilihat *trend* kurva dari masing-masing hasil pengukuran.



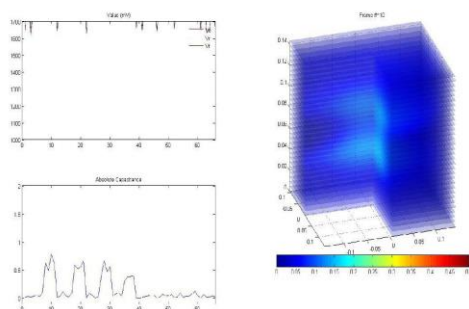
Gambar 12. Analisa *cross correlation* data eksperimen menggunakan *Capacitometer* dan data *oscilloscope-signal generator*

Langkah selanjutnya adalah melakukan analisa *cross correlation* menggunakan script yang telah dibuat. Dari hasil *cross correlation* antara data pengukuran kapasitansi menggunakan *Capacitometer* dan data hasil pengukuran menggunakan *oscilloscope-signal generator*, didapatkan nilai korelasi sebesar 0.99996. Hal tersebut membuktikan bahwa data hasil eksperimen menggunakan *Capacitometer* dan sensor kapasitif 2-Channel berkorelasi penuh dengan data hasil pengukuran menggunakan *oscilloscope* dan *signal generator*, maka *Capacitometer* ini dapat membedakan kualitas batu bara berdasarkan kadar *fixed carbon* dan nilai kalorinya.

D. Pencitraan Menggunakan Sistem ECVT 12-Channel

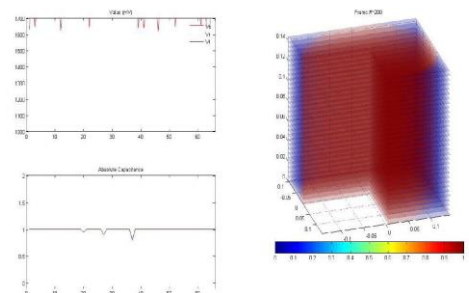
Langkah pertama yang dilakukan setelah pengambilan data sensitivitas matriks adalah mengkalibrasi DAS 32-Channel dengan keadaan empty yaitu udara dan keadaan full berisi batu bara B.. Karena nilai permitivitas batu bara berada pada range 3.5-5 [Speight, 2005] sementara nilai permitivitas air sebesar 81.

Setelah terkalibrasi, proses pengambilan citra dilakukan menggunakan software MATLAB R2008b. Citra pertama yang diambil adalah objek berupa udara dengan hasil sebagai berikut :



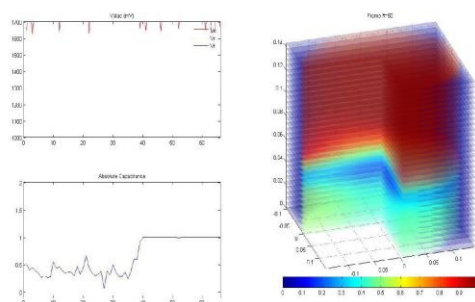
Gambar 13. Hasil pencitraan dalam keadaan *empty* (udara) menggunakan sistem ECVT 12-Channel

Dari gambar hasil imaging udara yang didapat terlihat berwarna biru tua. Hal ini menunjukkan udara berada pada nilai nol pada interval warna *image*. *Image* kedua yang diambil berupa batu bara B dengan *fixed carbon* 70,83% dengan hasil sebagai berikut :



Gambar 14. Hasil pencitraan dalam keadaan *full* (batu bara B) menggunakan sistem ECVT 12-Channel

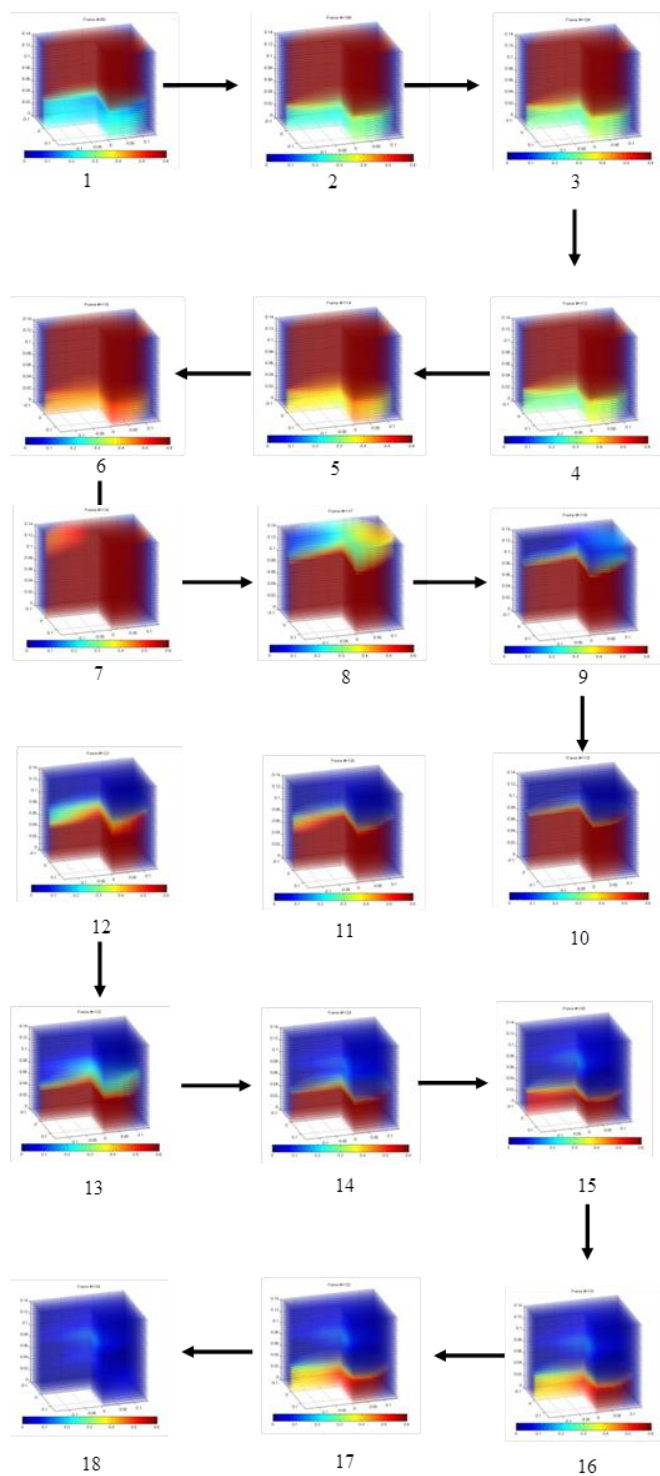
Setelah *image full* dan *empty* didapat, dilakukan percobaan dengan menumpuk dua jenis batu bara dengan kadar *fixed carbon* yang berbeda. Dasar sensor diisi dengan batu bara A dengan kandungan *fixed carbon* 36,5%. Pengisian dilakukan hingga mencapai setengah dari volum sensor. Kemudian di atasnya ditumpuk dengan batu bara B dengan kandungan *fixed carbon* 70,83%. Pengisian dilakukan dari setengah volum sensor hingga penuh atau mencapai permukaan sensor. Hasil *image* batu bara yang ditumpuk sebagai berikut:



Gambar 15. Hasil pencitraan batu bara dalam keadaan ditumpuk menggunakan sistem ECVT 12-Channel

Gambar 15 menunjukkan citra batu bara dengan perbedaan kadar *fixed carbon* ketika ditumpuk. Terlihat perbedaan warna pada *image* yang didapat. Batu bara A dengan kadar *fixed carbon* rendah (36,5%) ditunjukkan dengan area berwarna hijau muda kebiruan sedangkan batu bara B dengan kadar *fixed carbon* tinggi (70,83%) ditunjukkan dengan area berwarna merah tua. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem ECVT 12-Channel mampu membedakan jenis batu bara berdasarkan perbedaan kandungan *fixed carbon*nya.

Eksperimen selanjutnya yang dilakukan adalah menggerakkan batu bara yang telah ditumpuk dengan menumpahkannya dari dalam sensor sedikit demi sedikit melalui lubang di bawah sensor. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah sistem ECVT dapat membedakan kedua jenis batu bara dalam keadaan dinamis. Hasil *image* batu bara dalam keadaan dinamis adalah sebagai berikut :



Gambar 16. Hasil pencitraan batu bara dalam keadaan ditumpuk kemudian dikosongkan dari sensor kapasitif 12-Channel perlahan.

Dari gambar 16 dapat dilihat citra batu bara dengan kadar *fixed carbon* yang berbeda. Batu bara dengan kadar *fixed carbon* rendah berada dilapisan bawah dan berwarna hijau muda kebiruan. Sedangkan batu bara dengan kadar *fixed carbon* tinggi berada di lapisan atas dan berwarna merah tua.

Pada saat lubang dibawah sensor dibuka, batu bara mengalir secara perlahan melewati lubang. Batu bara dengan kadar *fixed carbon* rendah perlahan mengalir keluar melewati lubang, hal ini ditandai dengan perubahan dari area berwarna hijau muda kebiruan menjadi kuning kemerahan. Saat hampir semua batu bara berkadar rendah habis keluar melewati lubang, batu bara berkadar tinggi turun ke bagian bawah sensor, hal ini ditandai dengan perubahan warna dari kuning kemerahan menjadi merah tua seluruhnya. Sementara itu bagian permukaan batu bara berkadar tinggi juga ikut turun dan berganti menjadi udara sehingga berubah warna dari merah menjadi kuning kehijauan dan kemudian menjadi biru. Saat semua batu bara habis melewati lubang dan tidak tersisa lagi di sensor, area berwarna merah dan kuning berubah menjadi biru tua. Hal ini menunjukkan bahwa sistem ECVT 12-Channel dapat membedakan jenis batu bara dengan kadar *fixed carbon* dan nilai kalori yang berbeda pada saat bergerak.

IV. CONCLUSIONS

Pengukuran kapasitansi maksimal batu bara menggunakan sensor kapasitif 2-Channel terdapat pada frekuensi 2,5 MHz. Penambahan kadar *fixed carbon* mempengaruhi nilai kapasitansi batu bara. Semakin tinggi kadar *fixed carbon* dan nilai kalori pada batu bara maka semakin tinggi pula nilai kapasitansi yang terukur. Hubungan matematis antara kadar *fixed carbon* dan kapasitansi yaitu $y = 0.0657x - 2.1095$ dengan nilai $R^2 = 0.9932$ untuk batu bara dengan *fixed carbon* 36.5%-60%, dan $y = 0.0017x + 1.7622$ dengan nilai $R^2 = 0.9983$ untuk batu bara dengan *fixed carbon* 60%-100% dan hubungan matematis antar nilai kalori batu bara terhadap nilai kapasitansi yaitu $y = 0.0025x - 13.697$ dengan nilai $R^2 = 0.9812$ untuk batu bara dengan nilai kalori 5549-6125 cal/g, dan $y = 5E-05x + 1.5415$ dengan nilai $R^2 = 0.7912$ untuk batu bara dengan nilai kalori 6125-7261 cal/g. Korelasi antara pengukuran menggunakan *oscilloscope*, *signal generator* dan *CV circuit* dengan pengukuran menggunakan *Capacitometer* sebesar 0.99996 dan dapat dikatakan bahwa *Capacitometer* cukup sensitif dan dapat dijadikan alat ukur dalam membedakan jenis batu bara dengan kadar *fixed carbon* dan nilai kalori yang berbeda.

V. REFERENCES

- Budiraharjo, Imam. 2011. *Industri Batu Bara Indonesia*. Translate by Oleh: Masafumi Uehara (*JCOAL Resources Development Division*).
- Cassidy, Nigel J. Electrical and Magnetic Properties of Rocks, Soil, and Fluids.
- Chatterjee, Indira dan Misra, Manoranjan. 1990. *Dielectric Properties of Various Ranks of Coal*. University of Nevada : Nevada
- Clendenin, J.D, Barclay, K. M, Donald, H. J, Gillmore, G. W, and Wright, C. C. 1949. *Thermal and Electrical Properties of Anthracite and Bituminous Coals*. Conference of Lehigh University. Bethlehem, Pa.
- Donthi, Sarath Subash. 2004. *Capacitance Based Tomography for Industrial Application*. Electronic System Group EE Dept. IIT Bombay
- Joseph, dkk. 1998. *The Dielectric Constant of Mineral Powder*. New York: Rensselaer Polytechnic Institute.
- Marland S., A. Merchant, N.Rowson. 2001. *Dielectric Properties of Coal*. Elsevier.
- Smallman R.E, dan Bishop, R.J. 2000. *Judul Terjemahan : Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material Edisi Keenam*. Jakarta: Erlangga.
- Speight, James G. 1994. *The Chemistry and Technology of Coal, 2nd ed*. New York : Marcel Dekker.
- Speight, James. 2005. *Handbook of Coal Analysis*. Amerika: CRC Press.