

# APLIKASI METODE SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM) DAN X-RAY DIFFRACTION (XRD) DALAM MENGANALISIS LIMBAH PABRIK GULA X

Hamriani<sup>1</sup>, Pariabti Palloan, Muhammad Arsyad

Laboratorium Mikrostruktur Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Negeri Makassar

Kampus UNM Parangtambung Makassar, 90223

Jln. Mallengkeri, Telp. 0411-840622

<sup>1</sup>email: hamriani92@gmail.com

**Abstract:** *Application of Scanning Electron Microscopy (SEM) and X-Ray Diffraction (XRD) to Analyze X Sugar Factory Waste.* This research is experimental research that aims to identify Morphological structure and composition of the waste element content of the plant and the effect on the environment around the plant. Morphological structure of plant waste samples examined using Vega Tescan 3SB Analytical Scanning Electron Microscopy (SEM), while to know the composition of the sample element content of plant waste used machine Mini Flex II Rigaku X-Ray Diffraction (XRD). SEM and XRD research results obtained compound of aluminum and silicon with pesentase higher than the other compounds. Aluminum is a heavy metal that is included in the category of hazardous and toxic waste, but aluminum and silicon is a compound that serves to make the cane stand strong and upright. To overcome the aluminum content of the waste is to be reacted with other compounds that can be pulled out. Other compounds found in sugar cane, namely potassium magnesium phosphate (K Mg (PO<sub>4</sub>)) and sulfur (IV) oxide (SO<sub>3</sub>) which is an ash that are harmful to the lungs when contaminated air. This means that complete combustion occurs in the production process so as to produce a compound in the form of soot.

**Key words:** *sugar factory waste, SEM, X-ray diffracton*

**Abstrak:** *Aplikasi Metode Scanning Electron Microscopy (SEM) dan X-Ray Difraction (XRD) dalam Menganalisis Limbah Pabrik Gula X.* Penelitian ini adalah penelitian eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui struktur morfologi dan komposisi kandungan unsur limbah pabrik serta pengaruhnya terhadap lingkungan sekitar pabrik. Struktur morfologi sampel limbah pabrik diteliti dengan menggunakan Tescan Vega 3SB Analitical Scanning Electron Microscopy (SEM) sedangkan untuk mengetahui komposisi kandungan unsur sampel limbah pabrik digunakan Mesin Rigaku Mini Flex II X Ray Diffraction (XRD). Hasil penelitian SEM maupun XRD diperoleh senyawa alumunium dan silikon dengan pesentase yang lebih tinggi dari senyawa lainnya. Alumunium merupakan logam berat yang termasuk dalam kategori Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, namun alumunium dan silikon ini merupakan senyawa yang berfungsi untuk membuat tebu berdiri kuat dan tegak. Untuk mengatasi kandungan alumunium pada limbah yaitu direaksikan dengan senyawa lain agar dapat ditarik keluar. Kandungan senyawa lain yang terdapat pada tebu yaitu potassium magnesium phosphate (K Mg(PO<sub>4</sub>)) dan sulfur(IV) oxide (SO<sub>3</sub>) yang merupakan abu yang berbahaya bagi paru-paru bila tercemar ke udara. Ini berarti tidak terjadi pembakaran yang sempurna pada proses produksi sehingga menghasilkan senyawa berupa jelaga.

**Kata Kunci:** limbah pabrik gula, SEM, difraksi sinar-X

## PENDAHULUAN

Tebu (*Saccharum officinarum*) adalah tumbuhan jenis rumput-rumputan yang tumbuh di daerah tropis dan dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan gula. Produksi gula memanfaatkan tebu sebagai bahan baku utama karena banyak mengandung gula pada batangnya. Tebu diolah dengan dikirim ke pabrik gula dan menghasilkan gula, tetes, ampas tebu, maupun

blotong. Pabrik Gula dalam mengolah tebu menjadi gula menghasilkan empat jenis limbah, yaitu limbah cair, padat, gas dan limbah berbahaya.

Proses pengolahan gula tersebut menghasilkan limbah padat yakni ampas tebu (*bagasse*) yang mengandung serat sebanyak 35-40% dari berat tebu. Ampas tebu dapat diolah lebih lanjut dan akan mempunyai nilai ekonomis yang tinggi, misalnya jika dimanfaatkan sebagai bahan dasar

pembuatan produk kulit kapal, furfural dan papan partikel (Kristiani dan Yahya, 2014).

Ampas tebu merupakan sumber energi yang terbarukan dan tersedia cukup besar. Pabrik gula yang efisien, yaitu dengan instalasi yang seimbang, menggunakan peralatan yang efisien, dengan kapasitas dan kualitas tebu giling yang memadai, maka kebutuhan energi untuk produksi gula kristal dapat dipenuhi dengan sebagian ampas dari gilingan akhir dan diperoleh kelebihan ampas yang dapat dijual sebagai bahan baku industri kertas, jamur, kompos atau dijual dalam bentuk tenaga listrik (Saechu, 2009).

Selain limbah padat pabrik yang dapat dimanfaatkan tersebut di atas, juga terdapat limbah cair pabrik gula. Limbah cair merupakan air pembuangan hasil pencucian mesin pabrik. Buangan limbah pabrik gula mengakibatkan timbulnya pencemaran air sungai yang dapat merugikan masyarakat yang tinggal di sepanjang aliran sungai, seperti berkurangnya pemanfaatan air sungai oleh penduduk.

Limbah cair pabrik gula dapat menimbulkan dampak terhadap lingkungan jika tidak ditangani secara tepat karena mengandung sejumlah besar karbohidrat, protein, lemak dan sisa-sisa bahan kimia yang digunakan baik dalam pengolahan maupun pembersihan. Masalah yang mungkin timbul dalam operasi pabrik gula akibat limbah cair diantaranya polusi air karena kontaminasi, deoksigenisasi oleh *fluen* limbah cair serta bau menyengat akibat biodegradasi limbah dalam bentuk gas *hydrogen sulfide* (Saechu, 2009).

Meningkatnya jumlah industri akan disertai dengan meningkatnya jumlah limbah yang dihasilkan sehingga resiko terhadap kerusakan lingkungan juga akan semakin meningkat. Hal ini akan berdampak pada kualitas air tanah menjadi menurun apabila limbah tersebut dibuang ke sungai.

Berdasarkan hasil survei diketahui bahwa lebih dari seratus pedagang minuman tebu di

Kota Pontianak dengan rata-rata ampas tebu yang dihasilkan sebanyak 2,5 kg/hari/penjual, sehingga lebih dari 250 kg/hari ampas tebu dibuang begitu saja sebagai sampah oleh pedagang minuman air tebu tersebut. Oleh karena itu, ampas tebu perlu dimanfaatkan sebagai adsorben yang diharapkan dapat menjadi nilai tambah serta meningkatkan daya dukungnya terhadap lingkungan (Asbahani, 2013).

Berdasarkan beberapa penelitian tentang pemanfaatan limbah pabrik gula sebagai sumber energi, adsorben maupun bahan dasar pembuatan beberapa produk, peneliti tergugah untuk mengetahui dan menyelidiki struktur kristal serta komposisi limbah tebu dengan menggunakan difraksi sinar-X (*XRD*) dan *scanning electron microscop (SEM)* serta pengaruhnya terhadap lingkungan. Dari hasil penyelidikan ini, selanjutnya akan ditentukan apakah limbah yang dihasilkan termasuk ke dalam kriteria limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3).

## METODE

Dalam penelitian ini, kandungan sampel limbah pabrik gula akan dianalisis dengan menggunakan teknik difraksi sinar-X dan SEM dan hasil analisisnya akan dibandingkan dengan kriteria limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3).

Sampel limbah pabrik yang akan digunakan berasal dari limbah cair pabrik yang di tempatkan di bak penampungan. Limbah cair yang mengendapkan ampas-ampas tebu tersebut kemudian dikeringkan atau dioven pada suhu 80°C. Selanjutnya, struktur morfologi dan komposisi kandungan unsur limbah yang telah dikeringkan ini dianalisis dalam laboratorium dengan langkah-langkah sebagai berikut. (1) Penyiapan bahan dasar sampel, yaitu melakukan preparasi sampel untuk keperluan karakterisasi SEM dan XRD, (2) menghaluskan bahan dengan *mall milling* agar diperoleh sampel dengan ukuran butiran hingga nanometer. (3) melakukan

karakterisasi dengan teknik difraksi sinar-x untuk mengetahui komposisi yang terkandung di dalam sampel, dan karakterisasi SEM untuk mengetahui morfologi sampel. Difraksi sinar-X dilakukan dengan menggunakan alat XRD merek Rigaku Miniflex II dan SEM dilakukan dengan menggunakan alat karakterisasi SEM merek Vega3 Tesca. Dengan memanfaatkan fasilitas EDS maka kandungan komposisi kimia dalam sampel dapat diketahui.

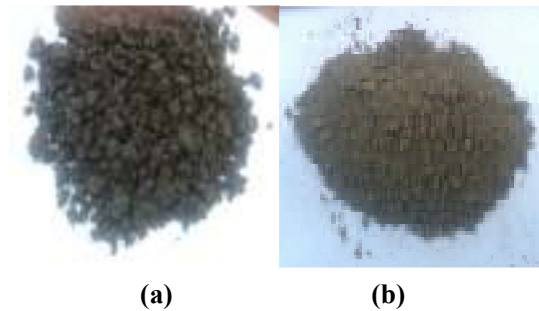
Data grafik yang dihasilkan oleh SEM dan XRD kemudian dibandingkan dengan data jenis unsur-unsur yang terkandung dalam kriteria Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3).

## HASIL DAN DISKUSI

Salah satu tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur morfologi dengan menggunakan SEM dan komposisi kandungan limbah pabrik yang telah dinetralisir dengan menggunakan XRD. Analisis morfologi dan komposisi kandungan sampel telah dilakukan di Laboratorium Mikrostruktur UNM dengan hasil sebagai berikut.

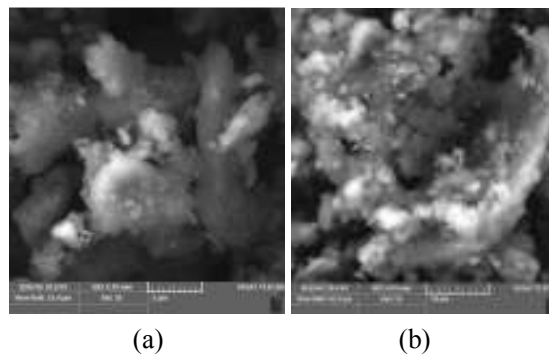
### a. Karakterisasi Scanning Electron Microscopy (SEM)

Gambar 1 berikut menunjukkan gambar limbah pabrik sebelum dan sesudah penggerusan. Sebelum penggerusan, sampel limbah berwarna hitam pekat dan agak lembab. Untuk memudahkan penggerusan, sampel tersebut terlebih dahulu dipanaskan dalam oven dengan temperatur pemanasan sebesar  $80^{\circ}$  C. Penggerusan dilakukan agar diperoleh sampel yang halus untuk dapat dikarakterisasi SEM.

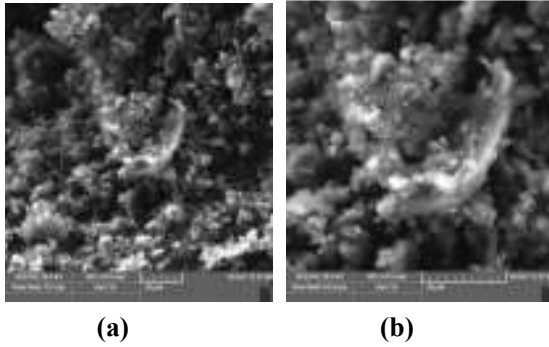


**Gambar 1.** Sampel limbah pabrik (a) sebelum digerus (b) setelah digerus.

Hasil karakterisasi SEM sampel limbah yang telah dinetralisir ditunjukkan dalam gambar 2 dan gambar 3. Analisis menggunakan SEM dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi dan topografi limbah pabrik gula. Pada gambar 2, hasil SEM disajikan dengan *scale bar* yang berbeda yaitu pada *scale bar*  $5\ \mu\text{m}$ , *scale bar*  $10\ \mu\text{m}$ , dan pada gambar 3 hasil SEM disajikan dengan *scale bar*  $20\ \mu\text{m}$  dengan *view field*  $127\ \mu\text{m}$  dan  $63.5\ \mu\text{m}$ .



**Gambar 2.** (a) Struktur morfologi dan topografi limbah pabrik gula pada *scale bar*  $5\ \mu\text{m}$ , dan (b) limbah pabrik pada *scale bar*  $10\ \mu\text{m}$ .

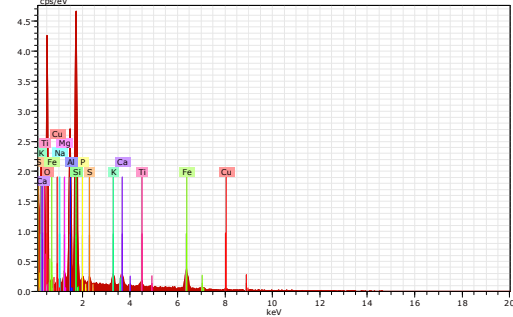


**Gambar-3.** (a) limbah pabrik pada *scale bar* 20  $\mu\text{m}$ , *view field* 127  $\mu\text{m}$  (b) limbah pabrik pada *scalebar* 20  $\mu\text{m}$ , *view field* 63.5  $\mu\text{m}$  dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*.

Pada gambar 2 dan gambar 3 di atas pengukuran citra SEM dari sampel limbah dilakukan pada potensial pemercepat (HV) sebesar 20.0 kV dengan *detector* SE (*Secondary Electron*) meskipun dengan *view field* dan *scale bar* yang berbeda. Terlihat keadaan morfologi sampel menunjukkan butiran yang tidak teratur dengan ukuran yang bervariasi. Warna cerah yang tampak lebih dominan pada sampel merupakan elemen penyusun yang memiliki nomor atom tinggi, sedangkan warna gelap yang tampak pada permukaan sampel merupakan elemen penyusun yang memiliki nomor atom rendah.

Spektrum hasil uji EDS sampel diperlihatkan dalam gambar 4. Berdasarkan gambar tersebut, tampak bahwa unsur yang memiliki nilai atom yang tinggi adalah Silikon. Ini berarti bahwa butiran-butiran kecil yang ada dalam sampel seperti yang diperlihatkan dalam

gambar 3 merupakan oksida silikon ( $\text{SiO}_2$ ), yang berdasarkan spektrum hasil uji EDS memiliki atomik molar 17.81 wt% dan molar oksida 49.29 wt%.



**Gambar 4.** Spektrum hasil uji EDS sampel limbah pabrik gula.

Observasi dengan SEM dilakukan untuk menyelidiki struktur mikro permukaan material (geopolimer) termasuk porositas dan pembentukan retakan, dan antar-muka (*interface*) antara agregat-matriks. SEM Tescan Vega3 SB yang digunakan pada laboratorium mikrostruktur dilengkapi dengan *Oxford Instrument energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS)* untuk analisis elemental. Gambar 4 memperlihatkan spectrum EDS dengan puncak yang paling tinggi adalah unsur Silicon (Si), selanjutnya berturut-turut Aluminium (Al), Iron (Fe), Calcium (Ca), Phosphorus (P), Titanium (Ti), Sulfur (S), Potassium (K), Magnesium (Mg), Sodium (Na). Berikut ini disajikan hasil analisis spektrum EDS dari sampel, dimana unsur-unsur yang terkandung pada limbah diuraikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Komposisi unsur kandungan sampel limbah berdasarkan hasil analisis EDS

Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [wt.%]	Compound norm.	Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	24.70	45.97	62.38		0.00	11.10
Silicon	12.38	23.04	17.81	$\text{SiO}_2$	49.29	1.75
Aluminium	7.35	13.68	11.01	$\text{Al}_2\text{O}_3$	25.85	1.23
Sodium	0.43	0.79	0.75	$\text{Na}_2\text{O}$	1.07	0.24

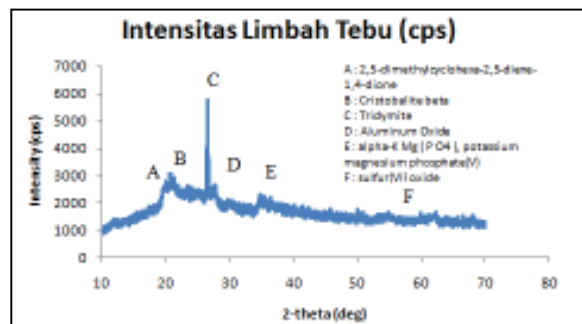
Element	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [wt.%]	Compound norm.	Comp. C [wt.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Magnesium	0.58	1.09	0.97	MgO	1.80	0.24
Phosphorus	0.47	0.88	0.62	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.01	0.19
Sulfur	0.41	0.75	0.51	SO <sub>3</sub>	1.88	0.17
Potassium	0.81	1.51	0.84	K <sub>2</sub> O	1.81	0.22
Calcium	1.08	2.00	1.08	CaO	2.80	0.26
Titanium	0.65	1.20	0.55	TiO <sub>2</sub>	2.01	0.22
Iron	4.48	8.34	3.24	Fe	10.72	0.65
Copper	0.40	0.75	0.26		0.75	0.25
<b>Total</b>	<b>53.73</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>			

Dari hasil karakterisasi diketahui bahwa unsur yang terkandung pada sampel limbah dengan komposisi kimia yang paling tinggi adalah SiO<sub>2</sub> sebesar 49.29 wt%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 25.85 wt%. Selain senyawa kimia tersebut terdapat pula senyawa FeO sebesar 8.31 wt%, dan Fe sebesar 10.72 wt%. Beberapa senyawa-senyawa kimia lain dalam jumlah tidak lebih dari 2.80 wt% yakni Na<sub>2</sub>O, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, dan TiO<sub>2</sub> merupakan ikatan-ikatan senyawa oksigen sedangkan Copper tidak termasuk kedalam ikatan senyawa oksigen.

#### b. Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD)

Analisis ini digunakan untuk mengetahui kandungan dan persentase mineral dari setiap sampel menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* merek Rigaku Mini Flex II. Analisis ini menggunakan metode serbuk, yaitu menggerus sampel yang telah dikeringkan pada oven dengan suhu 80<sup>0</sup> C hingga bentuk partikelnya berukuran mikrometer.

Gambar 5 memperlihatkan pola difraktogram XRD untuk sampel limbah.

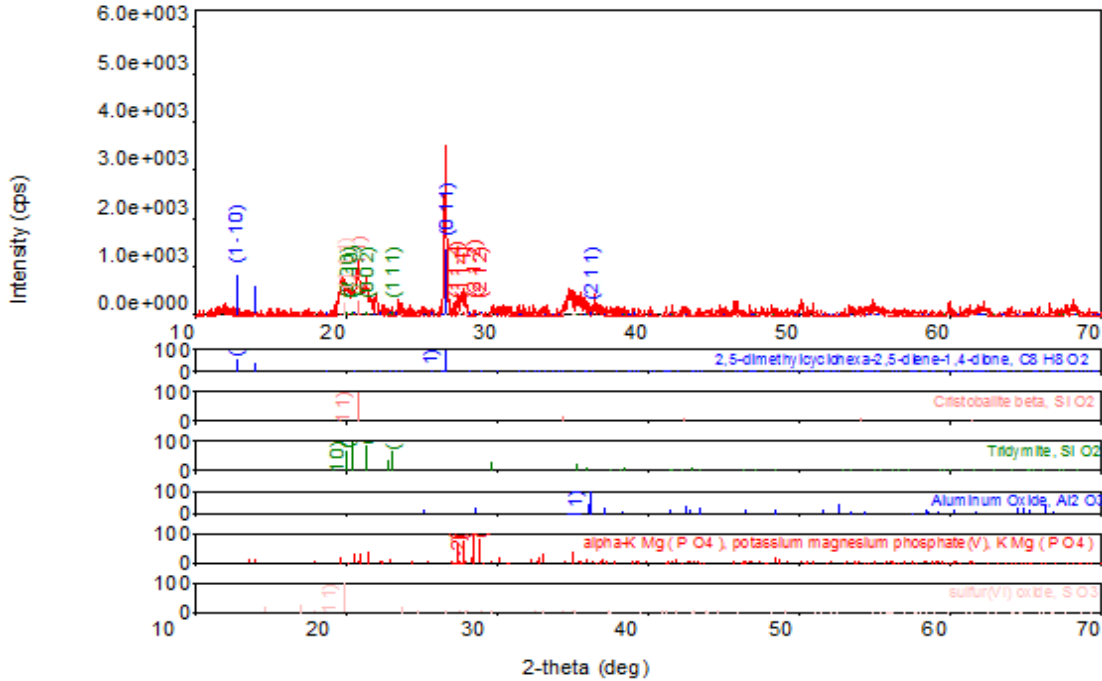


**Gambar 5.** Pola difraktogram XRD sampel limbah pabrik gula.

Berdasarkan hasil difraktogram XRD umumnya sampel limbah yang digunakan mengandung unsur-unsur seperti yang terlihat dalam Gambar 5. Pola difraktogram yang dihasilkan menunjukkan bahwa mineral-mineral yang terdapat pada sampel limbah tersebut masih dalam fase kristal. Hal ini ditandai dengan puncak difraksi yang tajam.


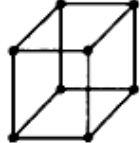
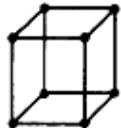
Gambar 6, yang diperoleh melalui teknik *search* dan *match* XRD, menunjukkan jenis kandungan mineral yang terdapat pada sampel. Pengambilan data sudut 2 $\theta$  yang dimulai dari sudut 0<sup>0</sup> -70<sup>0</sup> memperlihatkan bahwa kristal yang terbentuk adalah 2,5-dimethylcyclohexa-2,5-diene-1,4-dione (C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>) yang membentuk bidang sudut 2 $\theta$  sebesar 19,8<sup>0</sup>, kemudian Cristobalite beta (SiO<sub>2</sub>) membentuk bidang sudut 2 $\theta$  sebesar 20,8<sup>0</sup>, Tridymite (SiO<sub>2</sub>) membentuk

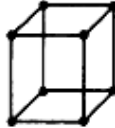
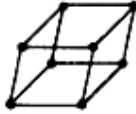
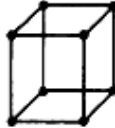
bidang sudut  $2\theta$  sebesar  $26,6^\circ$ , Aluminum Oxide ( $Al_2O_3$ ) membentuk bidang sudut  $2\theta$  sebesar  $27,8^\circ$ , alpha-K  $Mg(PO_4)$ , potassium membentuk bidang sudut  $2\theta$  sebesar  $34,7^\circ$ , serta sulfur(VI) oxide ( $SO_3$ ) membentuk bidang sudut  $2\theta$  sebesar  $54,9^\circ$ , dengan fase dominannya berada pada kristal Tridymite ( $SiO_2$ ).



Gambar 6. Hasil Search dan Match sampel pabrik gula.

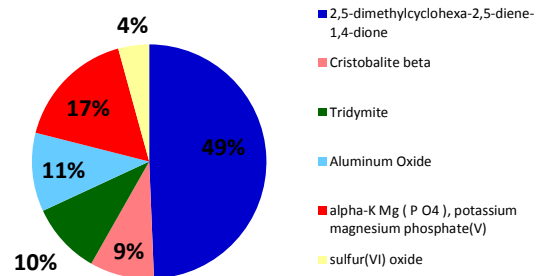
Tabel 2. Komposisi unsur mineral penyusun sampel limbah pabrik gula berdasarkan analisis kuantitatif XRD.

Nama Sampel	Fase	Formula	Konten (%)	Sistem Kristal	Geometri Sel Satuan
Limbah Pabrik Gula	2,5-dimethylcyclohexa-2,5-diene-1,4-dione	$C_8H_8O_2$	50 (13)	Triclinic	
	Cristobalite beta	$SiO_2$	9 (4)	Orthorombic	
	Tridymite	$SiO_2$	10 (4)	Tetragonal	

Nama Sampel	Fase	Formula	Konten (%)	Sistem Kristal	Geometri Sel Satuan
	Aluminum Oxide	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11 (7)	Tetragonal	
	alpha-K	Mg(PO <sub>4</sub> )	17 (3)	Monoclinic	
	sulfur(VI) oxide	SO <sub>3</sub>	4.3 (7)	Tetragonal	

Setiap ruang kisi dapat digambarkan melalui posisi atom di dalam sel satuan yang berulang. Panjang dan bentuk sel satuan dinyatakan dengan vector kisi a, b, c. Panjang vektor a, b dan c serta sudut perpotongan  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  merupakan konstanta kisi dari sel satuan tersebut. Dari 14 sel satuan standar yang dapat digunakan untuk mendeskripsikan seluruh jaringan kisi dimana terdapat 4 jenis sel satuan dasar yakni (i) *simple*, (ii) *body-centered*, (iii) *face-centered*, dan (iv) *base-centered*. Persentase komposisi mineral yang terdapat pada sampel Pabrik Gula X berdasarkan analisis kuantitatif XRD dapat dilihat pada Tabel 2.

Pada Gambar 7 berikut ditunjukkan bahwa komposisi dominan mineral sampel limbah pabrik gula adalah 2,5-dimethylcyclohexa-2,5-diene-1,4-dione (C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>) sebesar 49 %, alpha-K Mg(PO<sub>4</sub>), potassium sebesar 17%, dan Aluminum Oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sebesar 11%, Tridymite (SiO<sub>2</sub>) sebesar 10 % dan Cristobalite beta (SiO<sub>2</sub>) sebesar 9 % dan mineral dalam jumlah kecil yakni sulfur(VI) oxide (SO<sub>3</sub>) sebesar 4 %.



**Gambar 7.** Persentase kandungan mineral sampel limbah pabrik gula dengan XRD.

Hasil karakterisasi SEM pada sampel limbah pabrik gula ditemukan kandungan unsur yang didominasi oleh Silicon (SiO<sub>2</sub>) yang berwarna putih terang. Hal ini diperkuat oleh hasil karakterisasi XRD dengan fase kristal sebesar 19 % (SiO<sub>2</sub>) yaitu Tridymite dan Cristobalite beta. Ditemukan pula morfologi dan fase kristal lainnya seperti Aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) pada sampel sebesar 11 % dan pada hasil SEM sebesar 25.85 %.

Alumunium dan Silikon merupakan senyawa penyusun yang terkandung pada kulit tebu, berfungsi sebagai penahan kadar air tebu agar tebu dapat berdiri kuat dan tegak sama fungsinya pada tanaman bambu. Hasil uji memperlihatkan bahwa kandungan unsur terbesar yaitu Silikon yang merupakan unsur yang

menguntungkan salah satunya mengurangi aktifitas Alumunium sebagai salah satu logam berat beracun. Sehingga terdapatnya unsur Alumunium pada sampel dapat dinetralisir dengan lebih besarnya jumlah Silikon yang ada pada limbah pabrik tersebut.

Alumunium termasuk dalam Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Berdasarkan literatur yang diperoleh bahwa jenis limbah yang berbahaya antara lain yang mengandung logam berat berupa Alumunium (Al). Dimana alumunium ini persentase keberadaannya mencapai 25.85 %. Sedangkan dari literatur hasil penelitian sebelumnya persentase kandungan Alumunium hanya sebesar 1,9 %. Hal ini berarti ketika limbah diolah di bak netralisir belum terlokalisir dengan baik.

Alumunium merupakan logam yang reaktif sehingga sulit untuk mengekstrak dari bijinya yaitu alumunium oksida ( $Al_2O_3$ ). Alumunium dapat terakumulasi dalam tanaman dan menyebabkan masalah kesehatan bagi hewan yang memakan tanaman tersebut. Dampak lingkungan negatifnya adalah bahwa ion alumunium dapat bereaksi dengan fosfat, membuat kadar fosfat air yang diperlukan organisme air menjadi turun. Sehingga perlu penurunan konsentrasi alumunium yang terkandung pada tebu, mengingat bahwa limbah yang telah dinetralisir akan dibuang ke sungai sekitar pabrik gula tersebut.

Melihat jumlah silikon yang sangat besar pada limbah dan sifatnya sebagai efisiensi transpor oksigen sehingga mampu mengeluarkan unsur-unsur alumunium yang terkandung pada limbah dengan cara mengurangi aktifitas Al dan menurunkan kadar racun alumunium pada limbah tersebut. Cara lain untuk mengurangi atau menghilangkan senyawa alumunium pada limbah perlu direaksikan dengan senyawa lain.

Hal yang perlu diperhatikan pada hasil SEM bahwa terdapat Magnesium phosphate (Mg

( $PO_4$ )) dan sulfur(IV) oxide ( $SO_3$ ). Ini berarti pada proses pembakaran tidak sempurna sehingga menghasilkan jelaga. Jika abu jelaga ini terbang akan mengakibatkan polusi yang berbahaya bagi paru-paru. Pada literatur hasil penelitian sebelumnya bahwa besar MgO pada ampas tebu hanya sebesar 0,48% dan 3,82 %  $P_2O_5$  sedangkan pada sampel yang diteliti di Pabrik Gula Camming mencapai 17% (Mg ( $PO_4$ )). Hal ini berarti tidak sempurnanya proses pembakaran atau memungkinkan adanya campuran lain yang menyebabkan adanya senyawa tersebut.

## SIMPULAN

Adapun simpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Limbah pabrik gula ditemukan kandungan unsur yang didominasi oleh Silicon ( $SiO_2$ ), hasil karakterisasi XRD dengan fase kristal sebesar adalah 19 % ( $SiO_2$ ) yaitu Tridymite dan Cristobalite beta, Aluminium ( $Al_2O_3$ ) 25.85 % dengan fase kristal sebesar 11 %.
- b. Salah satu unsur logam berat yang termasuk dalam Limbah Bahan Beracun dan Berbahaya adalah alumunium, magnesium fosfat dan sulfur oksida, berdasarkan hasil penelitian menunjukkan masih terdapatnya unsur tersebut pada limbah pabrik.

## DAFTAR RUJUKAN

- Asbahani. (2013). Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu Sebagai Karbon Aktif Untuk Menurunkan Kadar Besi Pada Air Sumur. *Jurnal Teknik Sipil Untan*,1.
- Edo, Y., & Yuwono, N. W. (2007). Peran Silikon sebagai Unsur Bermanfaat pada Tanaman Tebu. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan Vol. 7 No.2* , 103-116.
- Hatmoko, J. T., & Yohanes, L. (2007). USC Tanah Lempung Ekspansif yang Disabilisasi dengan Abu Ampas Tebu dan Kapur. *Teknik Sipil* , 8, 64-77.
- Jan, A., & Aziza, A. M. (2014). Karakteristik Mikroskopik Keramik Batako Terhadap



Variasi Penambahan Sekam Tebu. *Jurnal Ilmiah Sains* , 1-2.

Kadafi, M. P. (2011). *Usahatani Tebu (Sacharum Officinarum) Antara Sistem Bongkar Ratoon Dengan Sistem Rawat Ratoon Di Wilayah Kecamatan Prambon. Surabaya.* Surabaya: Fakultas Pertanian Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.

Kristiani, R., & Yahya, I. d. (2014). Kinerja Serapan Bunyi Komposit Ampas Tebu Berdasarkan Variasi Ketebalan Dan Jumlah Quarter Wavelength Resonator Terhadap Kinerja Bunyi. *Jurusan Fisika FMIPA ITS*, 1.

Kusumawati, I. (2012). *Sintesis Bioaspal dari Ampas Tebu dengan Metode Pirolisis.* Depok: Fakultaas Teknik, Universitas Indonesia.