

ANALISA KEGAGALAN BINTIK HITAM PADA PERMUKAAN KERAMIK PERALATAN MAKAN

Oscar Haris

Magister Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti

Email: Scrharis78@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia memiliki sumber material alam yang cukup besar dalam bentuk SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan keramik, keramik merupakan salah satu *material* non logam yang memiliki karakteristik berbeda dan keunggulan tertentu dengan *material* lainnya, sehingga seringkali menimbulkan kegagalan kegagalan tersendiri terhadap produk akhir dari keramik, terutama pada keramik peralatan makan, dengan adanya cacat bintik hitam pada permukaannya. Kegagalan bintik hitam yang terjadi pada permukaan keramik peralatan makan dapat diketahui dari visual identifikasi cacat pada biscuit dan white body, Analisa kegagalan yang dilakukan menggunakan metode akar masalah *Fault Tree Analysis (FTA)*, dilengkapi dengan berbagai pengujian karakterisasi material *SEM* dan *XRD*. Dari hasil pengujian karakterisasi material menggunakan uji *SEM* dan uji *XRD* didapat hasil bahwa bintik hitam berasal dari adanya unsur Fe berdasar kan hasil uji *SEM /EDS* pada produk white body, sedangkan untuk bahan baku keramik setelah dilakukan uji *XRD* tidak didapat adanya senyawa-senyawa Fe pada bahan baku tersebut, akan tetapi didapat senyawa Alluminum Iron Carbida pada produk biskuit. Dengan demikian dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa analisa kegagalan bintik hitam pada permukaan keramik peralatan makan berasal dari proses produksi keramik itu sendiri.

Kata kunci : Bintik hitam, *SEM / XRD*, Analisa Kegagalan

Pendahuluan

Indonesia memiliki sumber material alam yang cukup besar dalam bentuk SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan keramik, Industri keramik awalnya hanya dianggap sebagai pelestarian kearifan budaya lokal, namun dalam perkembangannya industri keramik di Indonesia pun semakin meningkat, dan menjadi salah satu penggerak roda perekonomian nasional yang dapat diandalkan karena pasar yang dimiliki cukup luas, baik dalam tingkat domestik maupun internasional. Produk keramik yang dihasilkan pun bermacam-macam, ada

keramik tradisional ada juga keramik modern. Keramik tradisional menghasilkan produk-produk seperti peralatan makan, ubin, gerabah, genteng dan lain-lain, sedangkan keramik modern menghasilkan produk-produk seperti keramik isolator listrik, keramik sikring, keramik peralatan kedokteran dan lain-lain.

Keramik merupakan salah satu *material* non logam yang memiliki karakteristik berbeda dan keunggulan tertentu dengan *material* lainnya. Struktur kristal keramik terdiri dari berbagai ukuran atom yang berbeda atau minimal terdiri dari dua jenis unsur yang paling kompleks dari semua

struktur bahan. Ikatan antara atom-atom ini umumnya ikatan kovalen atau ion, sehingga ikatan ini kuat. Ikatan ini jauh lebih kuat daripada ikatan logam. Akibatnya, sifat-sifat seperti kekerasan dan ketahanan panas dan listrik secara signifikan lebih tinggi keramik dari pada logam. Keramik dapat berikatan kristal tunggal atau dalam bentuk polikristalin. Ukuran butir mempunyai pengaruh besar terhadap kekuatan dan sifat-sifat keramik.

Studi Pustaka

Bahan keramik terdiri dari fasa kompleks yang merupakan senyawa unsur metal dan non metal yang terikat secara ionic maupun kovalen. Keramik pada umumnya mempunyai struktur kristalin dan sedikit electron bebasnya. Susunan kimia keramik bermacam-macam yang terdiri dari senyawa yang sederhana hingga campuran beberapa fasa kompleks ^[1], adapun bahan dasar keramik terdiri dari:

A. Kaolin

Kaolin adalah bahan tambang alam yang merupakan salah satu jenis tanah lempung (*clay*) dimana tersusun dari mineral utamanya adalah kaolin. Tanah lempung jenis ini berwarna putih keabu-abuan. Di alam kaolin ini berasal dari dekomposisi feldspar. Sebagai bahan tambang kaolin bercampur dengan oksida-oksida lainnya seperti kalsium oksida, magnesium oksida, kalium oksida, natrium oksida, besi oksida, dan lain-lain ^[2]. Jenis kaolin yang umum dipakai dalam pembuatan keramik adalah AKS 18, AKS 88, AKS 90, AKS 96, LCK 60 dan LCK 70. Masing-masing kaolin memiliki karakter khas yang berbeda-beda seperti tingkat keplastisan, *green strenght*, dan nilai *whiteness* ^[3].

Fungsi utama kaolin pada pembentukan *body* keramik adalah untuk mengontrol rentang pembakaran dan distorsi selama pembakaran, kaolin akan

membentuk fasa cair pertama dalam system pada suhu sekitar 9000 °C, kemudian fasa kristalin utama dan berikutnya *mullite*^[4].

B. Bentonite

Bentonit adalah istilah pada lempung yang mengandung monmorillonit dalam dunia perdagangan dan termasuk kelompok dioktoedral. Penamaan jenis lempung tergantung dari penemu atau peneliti, misal ahli geologi, mineralogi, mineral industri dan lain-lain. Bentonit dapat dibagi menjadi dua golongan berdasarkan kandungan aluminium silikat hydrous, yaitu *activated clay* dan *fuller's Earth*. *Activated clay* adalah lempung yang kurang memiliki daya pemucat, tetapi daya pemucatnya dapat ditingkatkan melalui pengolahan. Bentonite juga termasuk jenis tanah liat sekunder (sedimen) yang sangat plastis dan berbutir halus sehingga digunakan untuk menambah keplastisan badan keramik. Dalam glasir mineral ini berfungsi sebagai pengikat. Bentonite termasuk jenis tanah liat monmorilinit yang berasal dari pelapukan batu vulkanis. Untuk menambah plastisitas tanah liat. Adapun sifat-sifat bentonite sangat plastis, berbutir halus, titik lebur sampai 1200 °C.

C. Silika

Silikon dioksida juga dikenal sebagai silika (dari *silex* Latin), adalah oksida silicon dengan rumus kimia SiO₂ yang telah dikenal sejak zaman dahulu karena kekerasannya. Silika ini paling sering ditemukan di alam sebagai pasir atau kuarsa, serta di dinding sel diatom. Silika diproduksi dalam beberapa bentuk termasuk leburan kuarsa, kristal, silika kesal, silika koloid, gel silika, dan aerogel. Silika adalah senyawa kimia dengan rumus molekul SiO₂ (silicon dioksida) yang dapat diperoleh dari silika mineral, nabati dan sintesis kristal. Silika mineral adalah senyawa yang banyak ditemui dalam

bahan tambang/ galian yang berupa mineral seperti pasir kuarsa, granit, dan feldspar yang mengandung kristal-kristal silika (SiO_2)^[8].

D. Aluminum Oksida (Al_2O_3)

Aluminium oksida (alumina) adalah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia Al_2O_3 . Secara alami, alumina terdiri dari mineral korundum. Senyawa ini termasuk dalam kelompok material aplikasi karena memiliki sifat-sifat yang sangat mendukung pemanfaatannya dalam beragam peruntukan. Senyawa ini diketahui merupakan insulator listrik yang baik, sehingga digunakan secara luas sebagai bahan isolator suhu tinggi, karena memiliki kapasitas panas yang besar^[6], Sifat lain dari alumina yang sangat mendukung aplikasinya adalah daya tahan terhadap korosi^[15] dan titik lebur yang tinggi, yakni mencapai 2053 °C. Dalam glasir alumina berfungsi untuk mengontrol dan mengimbangi pelelehan serta memberikan kekuatan pada body keramik dan glasir, sedang dalam body keramik untuk meningkatkan viskositas, titik lebur, mencegah kristalisasi dan menstabilkan massa gelas. Dalam massa plastis keramik, unsur kaolin akan memberikan Al_2O_3 tidak plastis tetapi cukup murni sedangkan ball clay akan memberikan Al_2O_3 plastis tetapi tidak murni.

Alumina (Al_2O_3) merupakan material keramik non silikat yang paling penting, material ini meleleh pada suhu 2051 °C dan mempertahankan kekuatannya bahkan pada suhu 1500 °C sampai suhu 1700 °C. Alumina mempunyai ketahanan listrik yang tinggi dan tahan terhadap kejutan termal serta korosi. Alumina diperoleh dari pengolahan biji bauksit yang mengandung 50-60% Al_2O_3 ; 1-20% Fe_2O_3 ; 1-10% silica ; sedikit sekali titanium, zirconium, dan oksida logam

transisi lain dan sisanya 29-30% adalah air.

E. Feldspar

Feldspar dihasilkan dari pelapukan batuan granit dan lava, dimana tanah liat itu terbentuk, feldspar termasuk senyawa alumina silikat yang mengandung satu atau lebih unsur-unsur seperti: K, Na, Ca. Sebagai bahan yang tidak plastis, feldspar sangat penting dalam industri keramik karena dapat berfungsi untuk mengurangi penyusutan pada waktu proses pengeringan, juga berfungsi sebagai flux (peleleh) pada suhu diatas 1200 °C. Titik leburnya antara 1170 °C – 1290 °C. Feldspar sangat bermanfaat dalam pembuatan benda keramik pecah belah, stoneware, porselin, dan juga bahan untuk membuat glasir. Dilihat dari unsur-unsurnya maka feldspar mengandung bahan alumina (Al_2O_3), silica (SiO_2), dan flux (K_2O atau Na_2O), yang mengandung kalium (K_2O) biasanya dipakai untuk membuat body keramik halus karena sangat aktif melarutkan kwarsa, membentuk masa gelas yang sangat kental, dan sebagai pelebur yang baik dalam body keramik halus sehingga body keramik menjadi padat tanpa mengalami perubahan bentuk (deformasi), sedang yang banyak mengandung natrium (Na_2O) untuk membuat glasir.

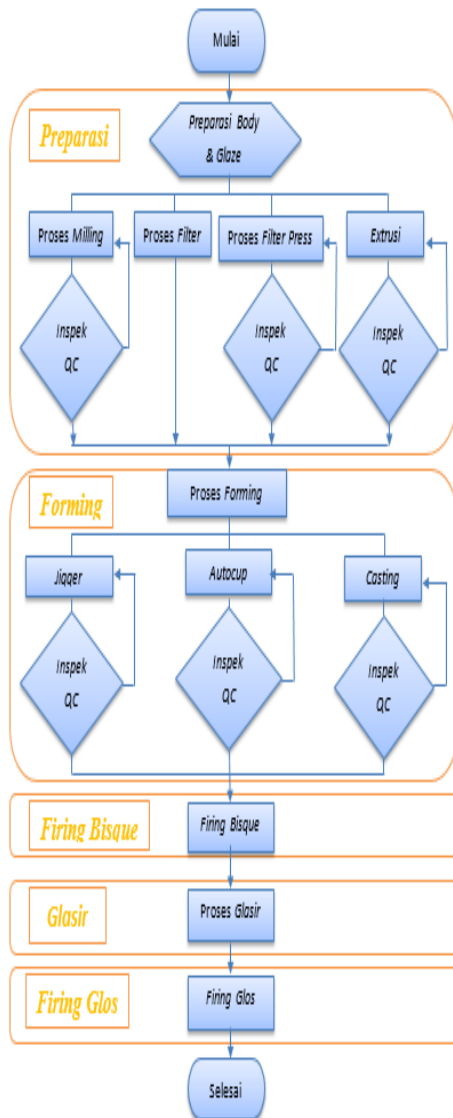
Dari komposisinya dapat dilihat bahwa struktur feldspar tidak berbeda dengan struktur tanah liat, merupakan silikat alamiah, berwarna merah jambu atau kecoklat-coklatan dan merupakan mineral keramik dengan salah satu komposisinya adalah $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$. Feldspar juga merupakan jaringan silikat dan satu diantara empat atom silicon digantikan oleh atom aluminium. Diatas temperature 900 °C feldspar umumnya masih dalam keadaan stabil dan tidak mengalami perubahan fasa^[18].

Feldspar mengandung semua bahan-bahan penting untuk membentuk glasir sehingga biasa disebut glasir

alami, namun dalam glasir agar lebih memuaskan perlu ditambahkan bahan lain seperti: flint, whiting atau kaolin.

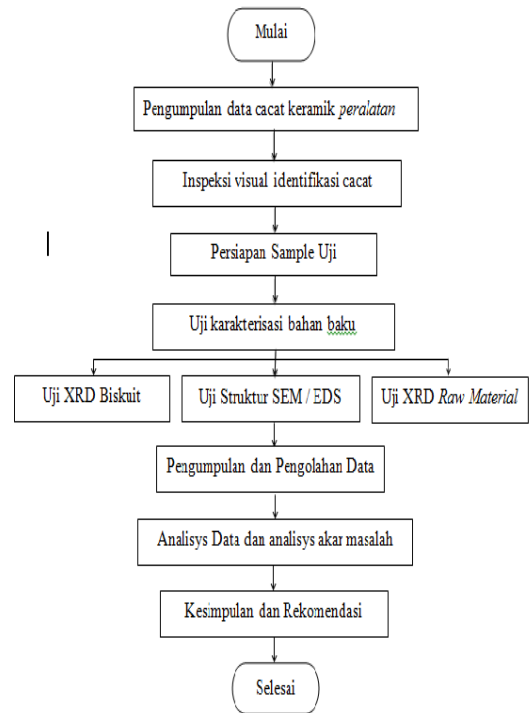
Feldspar merupakan kelompok mineral batuan beku yang terutama terdiri dari senyawa alumina silikat dari K, Na, dan Ca yang pada umumnya satu kation basa merupakan kation utama.

F. Alur Proses Fabrikasi Keramik Peralatan Makan



Gambar 2.2 Alur Proses Fabrikasi Keramik Peralatan Makan

Metodelogi Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

A. pengumpulan data cacat

Tahapan pengumpulan data dilakukan sebagai acuan dalam menentukan persentase cacat-cacat hasil akhir produksi keramik peralatan makan. Dari data ini akan disimpulkan cacat mana saja yang paling berpengaruh dalam pencapaian *grade quality* yang berhubungan langsung dengan *profit* dari industri keramik peralatan makan, sehingga cacat yang paling dominan yang akan menjadi sasaran untuk dilakukan penelitian.

Cacat-cacat yang dihasilkan dalam proses produksi keramik peralatan makan sangat banyak sekali jenisnya, masing-masing cacat tersebut dapat diklasifikasikan berdasarkan proses, *material*, *firing* dan *environment*.

Data-data cacat yang terangkum merupakan data yang diambil selama satu tahun belakang ini, yang menjadi acuan untuk langkah penelitian ini.

B. Inspeksi visual identifikasi cacat

Setelah dilakukan pengumpulan data cacat-cacat pada industri keramik peralatan makan, langkah selanjutnya adalah dilakukan indentifikasi cacat-cacat bintik hitam secara visual. Cacat-cacat bintik hitam terjadi pada permukaan keramik peralatan makan di tempat yang tidak pernah terduga, artinya posisi terjadinya cacat bintik hitam dapat dimana saja, bisa satu titik, dua titik, tiga titik bahkan lebih di seluruh permukaan keramik peralatan makan, inspeksi visual ini juga meliputi seberapa besar dan seberapa dalam terjadinya cacat bintik hitam pada permukaan keramik peralatan makan.

C. Analysis akar masalah (Fault Tree Analysis)

Pada tahapan ini akan dilakukan pencarian akar masalah dengan menggunakan metode FTA untuk mencari kemungkinan-kemungkinan penyebab terjadinya bintik hitam pada peralatan makan, sehingga nantinya bisa melakukan tindakan pencegahan yang tepat untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya bintik hitam, sehingga kerugian yang sama tidak akan terulang kembali.

Analisis akar masalah dari hasil FTA nantinya dapat digunakan sebagai acuan dalam membuat usulan perbaikan yang lebih baik dan efisien sehingga dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas keramik peralatan makan.

Metode FTA menggambarkan proses (*sequence*) penyebab kegagalan (*fault*) yang terlibat dalam kejadian-kejadian, berdasarkan mekanisme proses produksi yang terjadi, sehingga

faktor penyebab terjadinya bintik hitam dapat dianalisa dan diidentifikasi. Penelitian menggunakan metode FTA harus memahami simbol-simbol yang digunakan terlebih dahulu. FTA dimulai dari kerugian *loss* atau konsekuensi yang tidak diinginkan sebagai *top event* atau *head event* kemudian mengidentifikasi semua faktor dan tahapan kejadian yang mungkin berkontribusi terhadap *top event*.

D. Uji struktur mikro SEM /EDS

Metode pengujian ini dilakukan terhadap bintik hitam yang ada di permukaan *white body* untuk dapat mengetahui struktur mikro, topografi permukaan yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan sebagainya), morfologi yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun object, serta untuk mengetahui komposisi data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam object, senyawa apa saja yang menyebabkan terjadinya bintik hitam. Dengan pengujian SEM ini nantinya juga didapat informasi kristalografi yaitu informasi mengenai susunan dari butir-butir di dalam object yang diamati (konduktivitas, sifat elektrik, kekuatan, dan sebagainya). SEM memiliki pembesaran sampai 300.000 kali. Pengujian ini akan dilakukan di pusat Sentra Teknologi Polymer di kawasan Puspipstek Serpong Tangerang, pengujian ini dilakukan pada permukaan / dinding *white body* yang terdapat bintik hitam setelah terlebih dahulu dipecahkan.

Prinsip kerja SEM yaitu bermula dari *electron beam* yang dihasilkan oleh sebuah filamen pada *electron gun*. Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah *tungsten hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan *tungsten* yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan diberikan kepada lilitan yang mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya

yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda.

E. Uji struktur mikro XRD

Karakterisasi struktur kristal merupakan salah satu karakterisasi penunjang dari penelitian ini, untuk dapat mengetahui struktur kristal dan fasa-fasa senyawa yang terbentuk pada *raw material*, biskuit dan *white body*. Proses ini dilakukan dengan menggunakan Difragtometer sinar-X (XRD). Pada sampel uji *raw material*, biskuit dan *white body* yang telah jadi dipotong menggunakan alat pemotong keramik. Kemudian sampel tersebut diletakkan pada holder, ditekan menggunakan kaca dengan tekanan secukupnya agar sampel tidak bergeser ataupun jatuh pada saat proses berlangsung, lalu dimasukkan kedalam box XRD dan siap dikarakterisasi.

Karakterisasi ini dilakukan dalam rangka mengetahui struktur kristal yang terbentuk, mengetahui parameter kisi, dan mengetahui pembentukan lapisan keramik. Proses karakterisasi ini dilakukan di Departemen Material dan Metallurgy Universitas Indonesia.

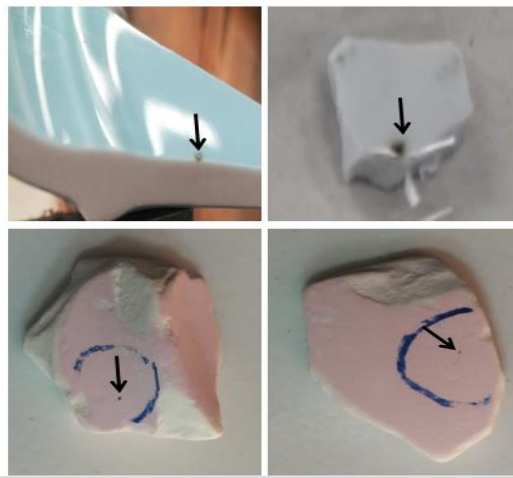
Hasil Dan Pembahasan

A. Pengumpulan data cacat keramik peralatan makan.

Tabel 4.1. Data top three defect produksi keramik peralatan makan PT. X tahun 2016

No	Bulan	Target			Nilai Pcs			Nilai %		
		Bintik Hitam	Bengkok	Lubang Jaran	Bintik Hitam	Bengkok	Lubang Jaran	Bintik Hitam	Bengkok	Lubang Jaran
1	Januari	4.00%	2.00%	1.70%	13.050	5.697	939	7.31	3.19	0.54
2	Februari	4.00%	2.00%	1.70%	12.578	3.894	706	8.63	2.73	0.48
3	Maret	4.00%	2.00%	1.70%	15.890	4.475	1.176	10.09	2.84	0.75
4	April	4.00%	2.00%	1.70%	17.144	4.940	2.206	9.59	2.71	1.23
5	Mei	4.00%	2.00%	1.70%	21.146	4.911	3.251	12.51	2.91	1.92
6	Juni	4.00%	2.00%	1.70%	19.354	4.822	3.693	9.48	2.36	1.81
7	Juli	4.00%	2.00%	1.70%	15.598	4.068	2.642	9.71	2.91	1.89
8	Agustus	4.00%	2.00%	1.70%	16.224	4.203	2.911	10.10	2.62	1.81
9	September	4.00%	2.00%	1.70%	14.634	4.030	2.509	8.95	2.47	1.53
Average					14,361.80	4,103.00	2,005.30	8.64	2.47	1.20

B. Inspeksi visual identifikasi cacat.



Gambar 4.1 Bintik Hitam pada permukaan White Body dan Biskuit

Dari hasil pengamatan secara visual, maka dapat diperoleh beberapa identifikasi cacat terkait adanya bintik hitam, yaitu:

1. Munculnya bintik hitam terjadi di permukaan biskuit dan *white body* keramik.
2. Bintik hitam yang muncul di permukaan terletak pada lapisan glazur, serta lapisan antara glazur dan body.
3. Struktur morfologi bintik hitam tidak memiliki pola-pola tertentu.
4. Tingkat kepekatan warna bintik hitam yang terbentuk tidak selalu sama antara satu dan yang lainnya.
5. Bintik hitam yang terbentuk selalu rata dengan permukaan keramik itu sendiri.
6. Dalam satu permukaan keramik terkadang bisa lebih dari satu titik bintik hitam yang terbentuk.
7. Bintik hitam yang terbentuk begitu bersenyawa dengan permukaan keramik, sehingga sangat sulit untuk bisa dihilangkan dengan apapun.

D. Persiapan sampel uji

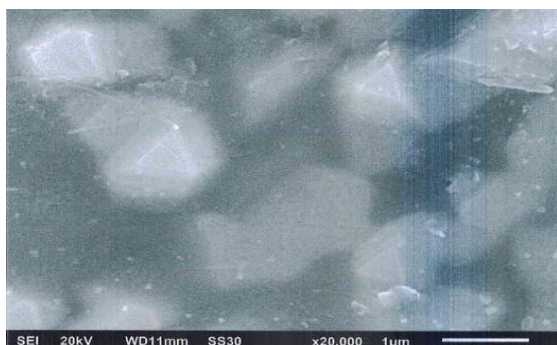
Pengujian yang dilakukan sebagai data pendukung untuk bisa mengetahui kegagalan bintik hitam pada keramik peralatan makan adalah dengan menggunakan pengujian struktur mikro, pengujian struktur mikro yang dilakukan adalah pengujian *SEM / EDS*.

Sample yang diuji berupa *white body* yang diambil pada bagian permukaan yang terdapat bintik hitam. Proses pengambilannya dilakukan dengan cara *white body* tersebut dipecahkan pada bagian yang terdapat bintik hitamnya, sample tersebut akan menjadi acuan pengujian *SEM / EDS*, untuk menentukan komposisi unsur-unsur permukaan yang terbentuk pada bintik hitam dan pembentukan *morfologi* permukaan.



Gambar 4.3 Sampel uji bintik hitam pada keramik peralatan makan.

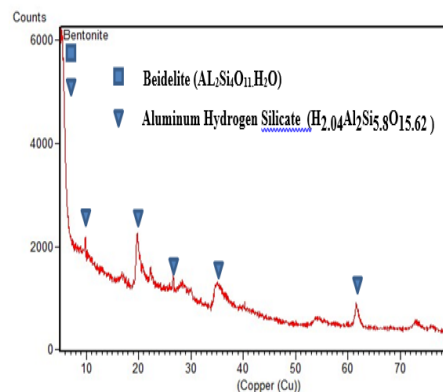
E. Data hasil Pengujian *SEM / EDS*



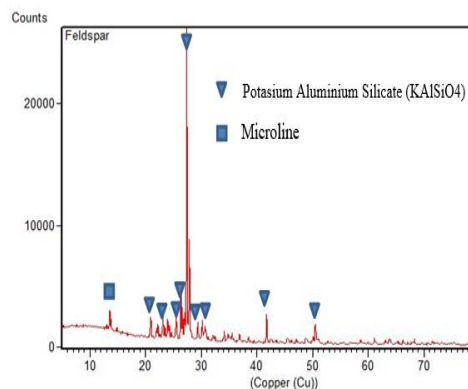
Gambar 4.4 Foto Scanning Electron Microscope dengan perbesaran 20.000

x menunjukkan terjadinya bintik hitam di tiga area

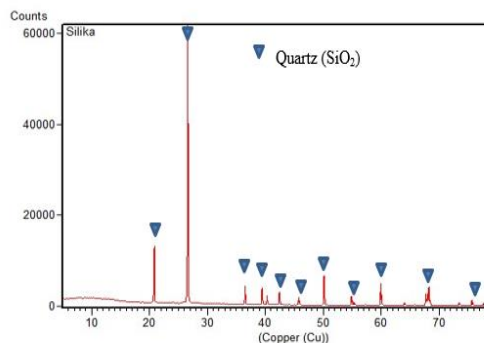
F. Data Hasil pengujian XRD



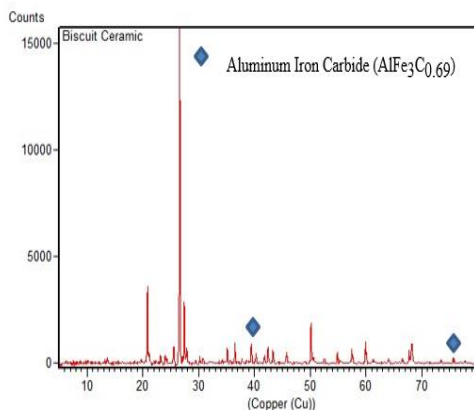
Gambar 4.5 Hasil XRD Bentonite



Gambar 4.6 Hasil XRD Feldspar



Gambar 4.7 Hasil XRD Silica



Gambar 4.8 Hasil XRD Biskuit keramik

G. Pembahasan hasil analisis data pengujian

Berdasarkan data-data yang didapat dari pengujian *SEM / EDS* terhadap adanya bintik hitam pada permukaan keramik peralatan makan, maka analisis dari data-data pengujian tersebut adalah potongan keramik bintik hitam pada hasil *Scanning Electron Microscope (SEM)* di bagian permukaan yang terdapat bintik hitam terlihat pada gambar 4.9 Foto *SEM* menunjukkan dengan jelas tiga titik area bintik hitam, dari ketiga titik area secara keseluruhan bentuk inti permukaannya berbentuk segitiga pada area pertama inti dari morfologi permukaannya berbentuk segitiga, bentuk topografi permukaannya rata dengan bahan keramik itu sendiri, posisi terbentuknya pada lapisan *glazur* dengan warna yang begitu pekat dan berkilau, bentuk warna yang pekat dipengaruhi komposisi unsur pembentuknya, sedangkan untuk area kedua inti dari morfologi permukaannya berbentuk segitiga juga dengan dimensi yang relative lebih kecil dari area pertama. Sama halnya dengan area pertama, letak dari topografi permukaannya pun rata dengan bahan keramik itu sendiri, terletak pada lapisan *glazur*, dengan warna yang

tidak begitu pekat, sedang untuk area ketiga bentuk dari inti permukaannya berbentuk segitiga dengan ukuran yang relative lebih kecil dari area pertama dan kedua begitupun dengan kepekatan warnanya begitu pekat, tidak jauh beda seperti area pertama, letak topografi permukaannya pun rata dengan bahan keramik itu sendiri, terletak pada lapisan *glazur*

Hasil data analisis pengujian EDS

Unsur	Kandungan Unsur (% Massa)				Standar Deviasi
	Area 1	Area 2	Area 3	Rata-Rata	
C	4.83	0.00	2.89	2.57	2.431
O	34.27	39.97	32.21	35.48	4.020
Na	0.61	0.70	0.00	0.44	0.381
Mg	1.13	1.72	1.22	1.36	0.318
Al	7.17	8.44	5.47	7.03	1.490
Si	21.82	28.50	10.29	20.20	9.212
K	1.58	1.84	0.00	1.14	0.996
Ca	6.30	9.42	4.35	6.69	2.557
Fe	22.29	9.41	43.57	25.09	17.251

Tabel 4.2. Tabel kandungan unsur pembentuk bintik hitam di tiga titik area pada permukaan keramik peralatan makan

Pengujian dilakukan dengan cara menembakan sinar x ke tiga titik area yang terdapat bintik hitam, pada tiga titik area yang ditembakkan tersebut muncul unsur-unsur pembentuk bintik hitam. Secara umum berdasarkan hasil uji EDS ada sembilan unsur pembentuk bintik hitam pada keramik peralatan makan, dengan presentasi yang berbeda. Unsur-unsur tersebut adalah carbon, oksigen, natrium, magnesium, aluminium, silicon, kalium, kalsium, dan unsur besi dengan persentase masing-masing terdapat pada tabel 4.1.

Dari ketiga titik area bintik hitam yang telah diuji EDS, terdapat kandungan-kandungan unsur yang juga sebagai unsur dasar pembentuk keramik itu sendiri, yaitu unsur silicon, oksigen, Aluminium, kalium, dan natrium, dengan persentasi yang tidak jauh berbeda satu sama lain dari ketiga titik area.

Secara keseluruhan unsur terbesar dari pembentuk bintik hitam di tiga titik area tersebut adalah unsur Fe dan unsur O, karena unsur O sebagai unsur pembentuk keramik maka unsur O dianggap unsur yang memang harus ada dari pembentuk keramik, sehingga unsur Fe merupakan unsur dominan yang menyebabkan munculnya bintik hitam, hal ini disebabkan oleh fasa titik didih besi berada pada wilayah temperature 1535 °C.

Suhu bakar keramik berkaitan langsung dengan suhu kematangan, yaitu keadaan dimana benda keramik yang telah mencapai kematangan secara tepat tanpa mengalami perubahan bentuk. Agar *clay* berubah menjadi keramik, maka *clay* yang telah dibentuk tersebut harus melalui proses pembakaran dengan suhu melebihi 600 °C. Setelah melalui suhu tersebut, *clay* akan mengalami perubahan menjadi suatu mineral yang padat, keras, dan permanen, perubahan ini disebut perubahan keramik.

Clay yang dibakar kurang dari 600 °C belum memiliki kematangan yang tepat walaupun sudah mengalami perubahan keramik, suhu kematangan *clay* atau *vitrifikasi* adalah kondisi keramik yang telah mencapai suhu kematangan secara tepat tanpa mengalami perubahan bentuk. Untuk itu sebelum melaksanakan proses pembakaran, perlu diketahui terlebih dahulu jenis *clay* yang digunakan untuk membentuk benda keramik, suhu kematangan *clay* mempunyai rentang yang cukup lebar, yaitu antara 600 °C - 2000 °C. Apabila tanah liat yang dibakar pada temperatur rendah sudah mengkaca, berarti *vitrifikasi clay* tersebut tercapai.

Dari data temperatur titik didih Fe dan titik pembentukan kekuatan keramik, maka pada fasa temperature melting Fe, unsur Fe yang telah mencapai kesempurnaan *melting* pada saat proses *vitrifikasi* akan terjebak dan tidak bisa bersenyawa / melebur dengan pembentukan keramik pada proses tersebut, sehingga meninggalkan satu titik lelehan Fe yang berwarna hitam, karena

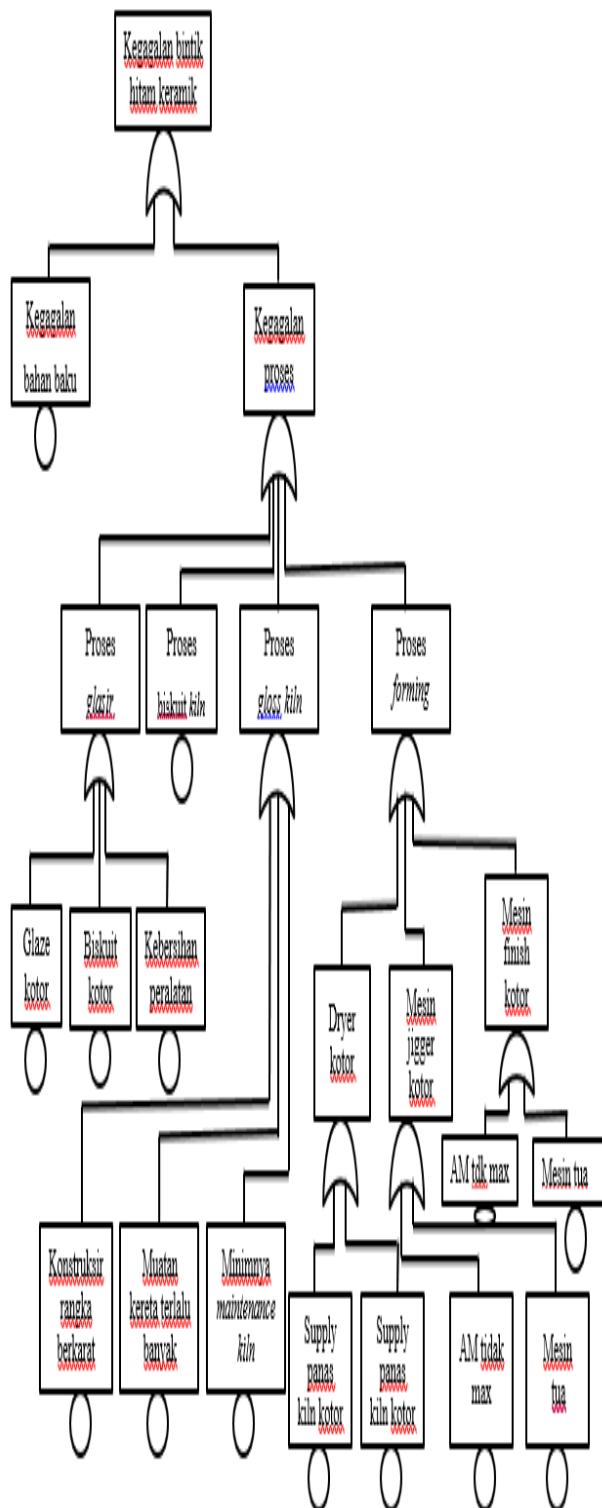
adanya unsur carbon yang dibawa oleh Fe. Besar kecilnya bentuk lelehan Fe tersebut tergantung seberapa banyak unsur Fe yang terjebak pada proses *vitrifikasi*.

Hasil analysis data XRD

Pola difraksi *XRD* terdiri dari beberapa peak di plot pada sumbu y, dan sudut difraksi yang terukur di plot pada sumbu x. Setiap peak atau *reflection* dalam pola difraksi terjadi akibat sinar x yang terdifraksi dari bidang dalam specimen uji *XRD*. Setiap peak memiliki tinggi intensitas yang berbeda, posisi peak-peak yang terjadi pada uji *XRD* tergantung pada struktur kristalnya.

Hasil uji *XRD* pada sampel *raw material* dan biskuit keramik yang dianggap memungkinkan terjadinya bintik hitam dapat diketahui bahwa matrik fasa Si O dengan senyawa-senyawa keramik yang terbentuk adalah cristobalit, trydimite, quart, silicon oxide, dan ditentukan juga unsur Fe yang tergabung dalam senyawa Aluminum Iron Carbide (AlFe3C0.69). Dari hasil *XRD* tersebut dapat diindikasikan bahwa unsur Fe dalam bentuk senyawa Aluminum Iron Carbide (AlFe3C0.69) dihipotesakan merupakan penyebab utama terbentuknya bintik hitam pada keramik peralatan makan. Hal ini dapat dikonfirmasi dengan hasil pengujian *EDS*, yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.2, hasil pengujian *EDS* dapat diketahui bahwa impurity unsur Fe mempunyai komposisi yang cukup tinggi mencapai persentasi angka 43,57 % beserta unsur-unsur penyusun matrik keramik yang lainnya Si, O, Al.

H. Analysis akar masalah (*FTA*)



Gambar 4.9 Pohon kegagalan bintik hitam

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dalam penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penyebab terjadinya cacat bintik hitam yang terjadi pada permukaan keramik peralatan makan disebabkan karena faktor proses produksi.
2. Dari hasil pengujian SEM, maka dapat diketahui bahwa bintik hitam terjadi karena adanya unsur Fe yang tidak bisa terurai dalam proses pembakaran.
3. Proses produksi yang paling besar dalam menyumbang terjadinya bintik hitam ada pada proses *forming*.
4. Proses produksi *forming* yang menyebabkan bintik hitam terjadi di area dryer yang kotor dan mesin jigger.
5. Bahan baku utama tidak terindikasi mengandung senyawa-senyawa Fe, tetapi dalam hasil akhir biskuit sudah ditemukan adanya senyawa Fe.
6. Semakin banyak kandungan Fe yang membentuk bintik hitam, maka semakin pekat warna dari bintik hitam tersebut.
7. Bintik hitam yang terbentuk terjadi pada lapisan *glaze*.

Saran

1. Kedepannya diperlukan adanya penelitian untuk bisa menurunkan bahkan mungkin menghilangkan unsur Fe dalam proses-proses produksi dari mulai material maupun proses.

2. Hendaknya harus dilakukan proses pembersihan seluruh sarana produksi secara berkala.
3. Harus dilakukan penelitian kembali tentang kemungkinan adanya penambahan zat-zat tertentu untuk bisa menghilangkan bintik hitam tersebut.

Daftar Pustaka

1. *Faculty of Technical Science*
University of Navi Said, 2014,
Structure and Properties of Ceramic.
2. Norton, 1970, Triaxial Ceramic.
3. Kirk Othmer, 1993. *Enchiclopedia of Chemical Technology.*
4. *Faculty of Technical Science*
University of Navi Said, 2014,
Structure and Properties of Ceramic.