

PENGARUH PENAMBAHAN TIMBAL PADA LIMBAH KACA DALAM KARYA SENI METAL ENAMELING

LAPORAN PENELITIAN DASAR



Ketua Peneliti:

Aji Wiyoko, S.Sn., M.Sn.

NIP. 198106202006041004/ NIDN. 0020068105

Anggota:

Nggolib	NIM. 221531007
Sahril Mubarok	NIM. 221531001
Yeniar Rahmawati	NIM. 201471004

Dibiayai DIPA ISI Surakarta Nomor SP DIPA-023.17.2.677542/2023

Tanggal 30 November 2022

Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi

Sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Dasar

Nomor: 1077/IT6.2/PT.01.03/2023

INSTITUT SENI INDONESIA (ISI) SURAKARTA

Oktober 2023

Disclaimer

Penelitian ini mengolah limbah kaca (beling) yang dicampur dengan logam timbal. Sebagaimana diketahui bahwa unsur timbal saat ini sudah tidak diperbolehkan digunakan untuk peralatan konsumsi. Sehingga hasil penelitian ini relevan diterapkan pada elemen perhiasan, dekorasi interior maupun eksterior yang tidak kontak secara langsung dengan makanan/minuman.



Kata Pengantar

Puji syukur ke hadirat Allah S.W.T yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulisan laporan penelitian dasar tahun 2023 ini dapat diselesaikan. Penelitian ini merupakan hal baru yang belum pernah penulis praktikkan sebelumnya, sehingga dibutuhkan studi literatur serta praktik sederhana guna didapat hasil yang bermanfaat. Melalui penelitian dasar ini, semoga dapat menambah khasanah ilmu terkait pengolahan limbah kaca, khususnya dalam pengembangan di bidang seni rupa, baik bagi penulis, mahasiswa, maupun masyarakat umum.

Penelitian ini masih banyak terdapat kekurangan, dan tentu penulis membuka diri atas saran maupun kritik guna peningkatan kualitas penelitian berikutnya. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung berkontribusi terhadap penelitian ini, yang tidak dapat penulis sebut satu per satu.

Surakarta, 28 Oktober 2023

Penulis,



Aji Wiyoko, S.Sn., M.Sn.

Daftar Isi

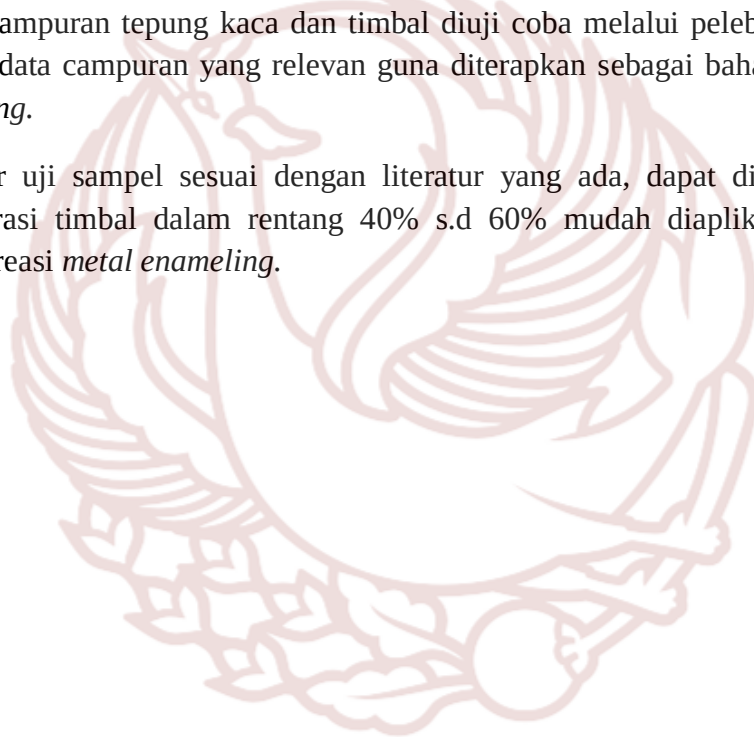
Halaman judul	i
Halaman pengesahan.....	ii
Disclaimer	iii
Kata Pengantar	iv
Abstrak	v
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar belakang penelitian.....	1
B. Rumusan masalah penelitian.....	4
C. Tujuan dan Manfaat	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
BAB III. METODE PENELITIAN.....	11
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	23
A. Capaian Data Penelitian	28
B. Analisis Hasil Penelitian	29
C. Pelaksanaan Kegiatan	30
BAB V. KESIMPULAN.....	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN	

Abstrak

Penelitian dasar ini berupaya mendapat metode sederhana dalam memanfaatkan limbah kaca *food grade* yang ditambahkan timbal agar lebih mudah diaplikasikan sebagai bahan kreasi seni *metal enameling*. Beberapa tingkat konsentrasi timbal sebagai campuran tepung kaca diuji cobakan dan hasilnya dapat digunakan sebagai pembanding. Penambahan konsentrasi timbal dalam persentase tertentu akan bermanfaat bagi tujuan aplikasi seni *metal enameling*.

Metode penelitian menerapkan studi pustaka, serta teknik *sampling*. Beberapa model campuran tepung kaca dan timbal diuji coba melalui peleburan, sehingga didapat data campuran yang relevan guna diterapkan sebagai bahan kreasi *metal enameling*.

Berdasar uji sampel sesuai dengan literatur yang ada, dapat diketahui bahwa konsentrasi timbal dalam rentang 40% s.d 60% mudah diaplikasikan sebagai bahan kreasi *metal enameling*.



BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Penelitian

Teknik pembuatan kaca telah dikenal sejak 1400 SM pada peradaban Mesopotamia dan Mesir kuno (Henderson, 2013:).¹ Penambahan timbal pada silika (Si) ditujukan agar titik leleh kaca menjadi lebih rendah dan bersifat lebih encer. Kaca dengan kandungan timbal dikenal dengan sebutan kaca timbal (*lead glass*) atau populer dengan sebutan kristal (berasal dari istilah kaca kristal/ kristal timbal (*lead crystal*)). Kaca kristal sangat terkenal sejak dahulu sebagai benda perabot rumah tangga yang digarap secara estetik, sehingga dianggap sebagai barang mewah. Saat ini, perabot yang terbuat dari kaca timbal lebih umum digunakan sebagai benda hias semata.

Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2022 menunjukkan sebanyak 2.232 ton sampah kaca (2,2% dari seluruh sampah nasional) dikumpulkan, dan kurang dari separuhnya yang sudah dikelola.² Saat ini, limbah kaca (beling) sangat mudah dijumpai di lingkungan sekitar kita. Di setiap rumah hampir dipastikan memiliki dan menggunakan perabot makan dan minum yang terbuat dari kaca. Setidaknya dalam setahun sekali pada perayaan hari raya keagamaan, hampir di setiap rumah mengkonsumsi minuman yang dikemas dalam botol kaca. Perabot maupun wadah yang terbuat dari kaca merupakan benda yang mudah pecah, dan pecahannya akan sangat sulit untuk diperbaiki/ disatukan kembali. Perabot rumah tangga yang digunakan sehari-hari (yang terbuat dari kaca) umumnya berharga murah (sangat terjangkau), bahkan seringkali menjadi sarana promosi sebagai hadiah pada pembelian produk lain, semisal: deterjen berhadiah piring kaca,

¹ Julian Henderson, *Ancient Glass An Interdisciplinary Exploration* (Cambridge University Press, 2013), hal. 127-157.

² <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/#parallax>

santan instan berhadiah mangkuk kaca, dsb. Jenis kaca yang digunakan sebagai alat makan dan minum merupakan jenis kaca *food grade* yang bebas timbal maupun boraks.

Persoalan limbah kaca bagi lingkungan hingga saat ini belum terlalu dianggap serius. Dampak yang ditimbulkan pecahan kaca umumnya membuat luka jika terkena pada anggota tubuh. Selebihnya, masyarakat umumnya menaruh pecahan kaca disudut belakang rumah atau di tempat-tempat yang kurang memungkinkan untuk dilalui orang. Limbah kaca tidak dapat diurai secara biologi. Untuk itu, perlu upaya mengumpulkan dan menyetorkan kepada pendaur ulang kaca untuk dijadikan produk baru lagi.

Limbah kaca dapat berupa botol bekas yang masih utuh, pecahan kaca jendela, pecahan perabot makan/minum, dsb. Limbah tersebut setelah sampai di tempat produsen kaca, akan dilebur/ dilelehkan kembali, kemudian dicetak sesuai dengan kebutuhan. Produksi daur ulang kaca merupakan usaha yang cukup terjamin keberlangsungannya, mengingat ketersediaan bahan baku, kapasitas produksi serta kebutuhan masyarakat yang akan selalu ada. Kerajinan dari pecahan gelas/ kaca, selain terkesan mewah, bentuknya yang unik akan menarik konsumen. Hal tersebut dapat dijadikan peluang bisnis yang menggiurkan.³

Pengolahan limbah kaca dengan penambahan timbal, tidak diperuntukkan untuk peralatan makan/ minum. Meskipun dalam sejarahnya pernah digunakan untuk wadah makan/ minum, penggunaan timbal pada kaca dapat berdampak buruk bagi kesehatan. Kandungan timbal dalam kaca tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Jika kandungan timbal dalam kaca, larut dan masuk ke dalam tubuh secara terus menerus, maka fungsi organ manusia akan terganggu.

Saat ini, penggunaan kaca timbal cenderung digunakan untuk keperluan konstruksi arsitektur (kaca jendela, dsb) maupun benda-benda

³ Susila Kristianingrum. "Pengolahan Sampah Kaca/Gelas Menjadi Aneka Produk Kerajinan Tangan". (Makalah PPM UNY di desa Selomartani Sleman Yogyakarta, 10 Juni 2012), hal. 6.

dekoratif. Kaca dengan kandungan timbal sangat aplikatif dalam pemaduan pigmen warna, sehingga cocok sebagai perhiasan maupun dekorasi ruang.

Salah satu teknik pembuatan benda dekoratif adalah *metal enameling*, yaitu melapisi permukaan benda logam dengan kaca. Jenis logam yang dilapisi kaca harus memiliki titik leleh di atas 800°C. Tembaga, perak, dan besi telah umum diberi lapisan kaca sebagai efek dekoratif.

Permasalahan dalam seni *metal enameling* di Indonesia adalah kurangnya pasokan bahan baku bubuk enamel (bahan glasir khusus pada permukaan logam) untuk kebutuhan artistik. Umumnya, bubuk enamel/glasir yang tersedia di pasaran, diperuntukkan bagi produk tembikar/ keramik/ porselen yang memiliki titik leleh di atas 1000°C. Berdasarkan pengalaman praktisi seni keramik di perusahaan Burat Kriasta, Kasongan, Yogyakarta, bahwa kaca limbah yang umumnya dihasilkan rumah tangga berjenis bening maupun berwarna transparan (hijau, biru, coklat) dapat meleleh pada suhu sekitar 1050°C.⁴ Sedangkan untuk keperluan enamel, cenderung dibutuhkan bahan paduan kaca yang dapat meleleh pada suhu di bawah 900°C. Hal ini mengingat bahwa dalam seni *metal enameling* umumnya digunakan bahan logam perak (titik leleh 961°C), emas (titik leleh 1064°C) dan tembaga (titik leleh 1083°C). Sementara produk enamel yang ada di Indonesia, umumnya berorientasi pada *food grade*, seperti: teko, baskom, gelas, dsb yang berbahan dasar plat besi yang dilapisi kaca. Dengan demikian, seniman *metal enameling* di Indonesia dapat dikatakan sangat langka.

Keunggulan lapisan enamel/ kaca pada logam diantaranya: mudah dibersihkan, mencegah logam agar tidak teroksidasi/ berkarat, dapat diberi warna sehingga menambah nilai artistik, serta memperkuat struktur karena karakter kaca yang keras.

⁴ Arif Suherson, "Eksplorasi Limbah Kaca pada Proses Finishing Glasir Bodi Keramik" (*Corak: Jurnal Seni Kriya*, Vol. 6 No.1, Mei-Oktober 2017), hal. 58.

Jenis penggunaan campuran enamel lainnya adalah sebagai cat pelapis logam. Teknik pengecatan menggunakan bahan sintetis yang terdapat sedikit konsentrasi silika dan dikenal dengan istilah *powder coating*. Umumnya diaplikasikan pada pelapisan struktur/ *body*, dan velg kendaraan bermotor. Pemanasan *powder coating* sekitar 300°C guna menyempurnakan ikatan bahan sintetis dengan bubuk silika.



Gambar 1.
Contoh produk lokal yang menerapkan teknik *metal enameling*⁵.

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka penelitian ini bermaksud mendapatkan data terkait konsentrasi kandungan timbal yang dapat dicampurkan pada limbah kaca *food grade*, sehingga hasilnya dapat digunakan bagi pengembangan reka bahan guna keperluan seni *metal enameling*.

B. Rumusan Masalah Penelitian

Berdasar uraian latar belakang masalah di atas, maka dapat dirumuskan masalah: Bagaimana cara membuat campuran kaca timbal yang baik dengan teknik sederhana untuk kreasi seni *metal enameling*?

⁵ Produk tersebut merupakan adopsi teknologi dari era kolonial. Orang Eropa membawanya ke Indonesia untuk diproduksi di Indonesia. Saat ini, jenis produk di atas masih terus diproduksi (salah satunya di Tangerang, Banten), akan tetapi mengingat bahwa logam yang dilapis enamel adalah plat besi, dengan lapisan enamel yang tipis, sehingga tingkat korosi mudah dijumpai.

C. Tujuan dan Manfaat

Tujuan penelitian dasar ini adalah dapat mengolah limbah kaca dengan memberi tambahan timbal untuk diterapkan dalam karya seni *metal enameling*. Melalui eksperimen memadukan limbah kaca yang dicampur timbal, dapat membuka peluang ketersediaan bahan baku berupa kaca timbal yang cocok digunakan dalam seni *metal enameling*. Melalui penelitian dasar ini, tahapan-tahapan yang dikerjakan diupayakan untuk dapat ditiru oleh masyarakat, sehingga membuka peluang usaha terkait daur ulang kaca maupun pengembangan seni *metal enameling*.

Adapun manfaat penelitian ini dapat digunakan sebagai rujukan dalam mengolah limbah rumah tangga berupa kaca bekas untuk dijadikan sebagai bahan baku *metal enameling*. Dengan memanfaatkan limbah rumah tangga berupa kaca bekas, di satu sisi dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Hasil penelitian dapat dilanjutkan dan dikembangkan guna kebutuhan-kebutuhan yang relevan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Timbal atau dikenal sebagai timah hitam merupakan unsur kimia bernomor atom 82, ditulis dengan simbol *Pb* (dari kata *Plumbum*). Timbal meleleh pada suhu 327°C dan menguap pada suhu 1740°C.⁶ Timbal kurang reaktif terhadap zat asam maupun basa, sehingga dapat digunakan untuk berbagai keperluan sesuai dengan karakteristiknya. Salah satu fungsi penting timbal adalah sebagai bahan utama akumulator (baterai/ aki kendaraan bermotor).⁷ Timbal bersifat lunak, liat, berwarna metalik keabu-abuan, memiliki kepadatan atom yang tinggi sehingga merupakan jenis logam berat. Timbal bersifat toksik/ racun bagi organisme. Gangguan fungsi syaraf, disfungsi jaringan otak, dan kanker dapat diakibatkan oleh akumulasi timbal dalam tubuh manusia. Efek negatif paparan timbal pada anak-anak dapat menyebabkan menurunnya kecerdasan serta gangguan pendengaran.⁸ Timbal juga digunakan sebagai campuran dalam pembuatan kaca, yang menjadikan kualitas kaca menjadi lebih mudah dibentuk serta meningkatkan indeks bias cahaya.

Kaca didefinisikan sebagai: “*an amorphous solid completely lacking in long range, periodic atomic structure, and exhibiting a region of glass transformation behavior.*” Suatu padatan amorf yang sama sekali tidak memiliki rentang panjang, struktur/ susunan atom periodik, dan menunjukkan wilayah perilaku transformasi kaca. “*Any material organic, inorganic or metallic, formed by any technique, which exhibits glass transformation behavior is a glass.*” Setiap materi organik, anorganik ataupun logam yang dibentuk melalui teknik apapun yang menampilkan perilaku transformasi kaca, maka disebut kaca.⁹ Kaca mudah mengalami perubahan struktur fisik maupun kimia karena molekulnya bersifat amorf (acak/ tidak teratur/ tidak merata), apabila terkena perubahan tekanan, suhu,

⁶ Samuel Ruben, *Handbook of the Elements* (Open Court Publishing Company, La Salle, Illinois, 61301, 1998), hal. 47.

⁷ Per Enghag, *Encyclopedia of the Elements* (Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004), hal. 965.

⁸ Per Enghag, *Ibid*, hal. 950.

⁹ J.E. Shelby, *Introduction to Glass Science and Technology*, 2nd edition (The Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House, Science park, Milton Road, Cambridge CB4 0WF, United Kingdom, 2005), hal.3.

maupun reaksi kimia. Kaca mudah dikenali karena tampilan kilapnya yang khas (*vitreous*-dari bahasa Latin: *vitrum*, yang berarti kaca). Meskipun secara umum, masyarakat menganggap benda padat yang bening berkilau mampu merefleksikan berkas sinar disebut kristal, namun struktur atomik kaca bersifat amorf, sehingga kaca tidak dapat disebut sebagai kristal.

Kaca yang umum dipahami masyarakat adalah jenis kaca silikat (kaca yang dibuat dari bahan utama silika). Kaca silikat dibagi ke dalam 4 kategori berdasarkan bahan paduan pembentuknya, yaitu:

- a. Kaca soda kapur (*soda lime glass*), merupakan jenis kaca yang paling sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Paduan silika (SiO_2) dengan natrium (Na_2SO_4) serta kapur (Ca(OH)_2) menjadikan jenis kaca ini mudah dibentuk, cocok digunakan sebagai peralatan makan/ minum, kaca jendela, cermin, dsb., serta tahan terhadap zat asam maupun basa. Jenis kaca ini memiliki titik leleh sekitar 700°C . Kekurangan jenis kaca ini adalah mudah pecah jika terkena tekanan atau benturan.
- b. Kaca borosilikat (*borosilicate glass*), merupakan jenis kaca yang dibuat dari paduan silika (SiO_2) dengan boron (III) oksida (B_2O_3). Jenis kaca ini memiliki daya tahan terhadap temperatur tinggi karena memiliki titik leleh $1550^\circ\text{C} - 1600^\circ\text{C}$.¹⁰ Umumnya digunakan sebagai alat ukur cairan di laboratorium, ataupun wadah yang penggunaannya melibatkan temperatur tinggi. Selain tahan pada suhu tinggi, kaca jenis ini juga tahan terhadap kejutan suhu, artinya setelah dipakai pada suhu tinggi kemudian didinginkan mendadak tidak mudah pecah.
- c. Kaca timbal (*lead glass*), juga disebut kaca kristal timbal, adalah paduan silika (SiO_2) dengan oksida timbal. Jenis oksida timbal yang dapat dipadukan sebagai bahan kaca timbal diantaranya: timbal monoksida (PbO) atau sering disebut *litharge*, timbal dioksida (PbO_2).¹¹ Kaca timbal memiliki indeks bias tinggi sehingga menarik dipakai sebagai dekorasi. Kaca timbal memiliki kerapatan partikel yang padat, dan bersifat lembut

¹⁰ Arun K. Varshneya, *Fundamentals of Inorganic Glasses* (San Diego: Academic Press, Inc., 1994), hal 4.

¹¹ Benjamin F. Biser, *Elements of Glass and Glass Making* (Pittsburgh: Glass and pottery Publishing Company), hal. 38.

serta lebih lunak sehingga mudah dikerjakan melalui pengukiran/ penggerindaan. Kaca timbal dapat meleleh pada suhu kisaran 600°C s.d 900 °C, tergantung dari jenis unsur-unsur paduannya. Kaca timbal dapat dijumpai pada dinding partisi ruang radiografi di rumah sakit karena kemampuannya menahan sinar *X-Ray*.¹²

- d. Kaca leburan (*fused glass*), merupakan jenis kaca yang didominasi dari silika (SiO_2), sehingga memiliki titik leleh sekitar 1700°C. Kaca leburan sangat tahan terhadap zat asam maupun basa, serta kejutan perubahan suhu.

Salah satu teknik dalam membuat karya seni adalah melalui teknik *metal enameling*, yaitu teknik melapisi permukaan logam dengan kaca yang berwarna warni (glasir pada permukaan logam). *Enameling is the process of applying a thin coat of finely ground glass to a metal. When heated to a high temperature, the glass melts and fuses to the metal.*¹³ Teknik *metal enameling* membutuhkan peralatan pemanas yang mampu mencairkan kaca, baik dengan menggunakan obor pembakar maupun oven listrik.



Gambar 2. Proses melapisi bahan kaca pada permukaan logam.

(Sumber: https://www.goldsmiths-centre.org/media/filer_public_thumbnails/filer_public/9f/4b/9f4beecb-ff9e-4b86-ad53-31a61af8d15a/aboutus_enamelling_thegoldsmithscentre.jpg__1150x700_q85_crop-smart_subsampling-2_upscale.jpg)

¹² J.E. Shelby, *Introduction to Glass Science and Technology*, 2nd edition (The Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House, Science park, Milton Road, Cambridge CB4 0WF, United Kingdom, 2005), hal.270.

¹³ Arts and Communication, *Metal Enameling* (Wisconsin 4-H Publication, No. 4H158), hal.1.

Teknik pengolahan limbah kaca seringkali dijumpai melalui teknik pemanasan/ pelelehan. Teknik tersebut dikenal dengan istilah *flame working*, yakni pembakaran kaca menggunakan semburan api hingga kaca meleleh dan mudah dibentuk. Seni pembuatan benda-benda dengan menggunakan teknik pelelehan kaca dikenal sebagai *glass art*. Di Indonesia, teknik *flame working* masih belum banyak diketahui dan dilakukan masyarakat.¹⁴

Teknik *flame working* memiliki perbedaan dengan teknik *metal enameling*, terutama penerapan pada pelapisan kaca di permukaan logam. Jenis kaca yang digunakan untuk *metal enameling* pun lebih cenderung menggunakan jenis kaca timbal yang memiliki titik leleh lebih rendah (600°C - 900°C). Karya-karya *metal enameling* umumnya dibuat mengandalkan komposisi dan kecerahan warna, sehingga daya tariknya lebih memukau. Teknik *metal enameling* juga umumnya menggunakan alat pemanas listrik yang mampu melelehkan kaca dalam ruang tertutup. Jenis tungku listrik (*furnace/ kiln*) tertutup membantu mencegah proses oksidasi, sehingga ketajaman dan kepekatan warna dapat optimal sesuai dengan bahan yang digunakan.



Gambar 3.
Proses pembakaran/ pemanasan untuk mencairkan kaca pada permukaan logam di dalam tungku listrik tertutup.

¹⁴ Nukke Sylvia dan Nur Lailiyah Mahmudah. "Tinjauan Proses dan Teknik *Flameworking* pada Limbah Kaca" (dalam *NARADA: jurnal Desain & Seni*, FDSK –Universitas Mercu Buana Vol.5 Edisi 2, 2018), hal. 28.

Bahan utama *glass art* maupun *metal enameling* adalah pasir atau silika (Si) yang diolah dari bahan silika dioksida (SiO_2) yang sangat mudah dijumpai di alam. Untuk didapatkan silika yang mendekati murni, maka diperlukan pemanasan hingga suhu $1700^{\circ}C$ agar menjadi kaca. Mengerjakan kaca pada suhu tersebut tentu cukup sulit, sehingga perlu ditambahkan oksida logam lain maupun fluks guna menurunkan titik leleh kaca.¹⁵ Semakin tinggi prosentase silika, maka tingkat kekerasan dan daya tahan kaca semakin tinggi. Semakin tinggi prosentase timbal maupun potas (kalium) maka tingkat kekerasan dan daya tahan kaca semakin rendah.¹⁶



Gambar 4.

Salah satu contoh hasil karya seni *metal enameling* dalam bentuk liontin
(Sumber: <https://www.thecrucible.org/wp-content/uploads/2020/01/The-Crucible-3-Hour-Taster-Enameling-2019-2-500x500.jpg>)

¹⁵ Julian Henderson *Ancient Glass An Interdisciplinary Exploration* (Cambridge University Press, 2013), hal.2.

¹⁶ Alexander Fisher, *The Art of Enameling Upon Metal* (London: Offices of "The Studio" 44 Leicester, SQ, 1905), hal.14.

BAB III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian menerapkan studi pustaka serta eksperimen sampel dengan mencampur kaca yang telah dibuat menjadi tepung dipadu dengan serbuk logam timbal. Prosentase kandungan timbal dijadikan indikator kualitas warna serta titik leleh kaca. Untuk itu diperlukan alat dan bahan sbb:

A. Alat:

1. Lumpang dan alu
2. Saringan *silk screen* ukuran T60
3. Seperangkat gas *torch*
4. Pinset
5. Kikir
6. Gunting plat
7. Kuas no. 1
8. Pipet
9. Mistar
10. Termometer digital
11. Mikroskop digital
12. Timbangan digital
13. Laptop

B. Bahan:

1. Kaca/ beling
2. Timbal
3. Boraks
4. Plat tembaga 0,5 mm, 0,8 mm dan 1mm
5. Gas LPG
6. Larutan CuSO_4
7. Deterjen

Adapun tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan sbb:

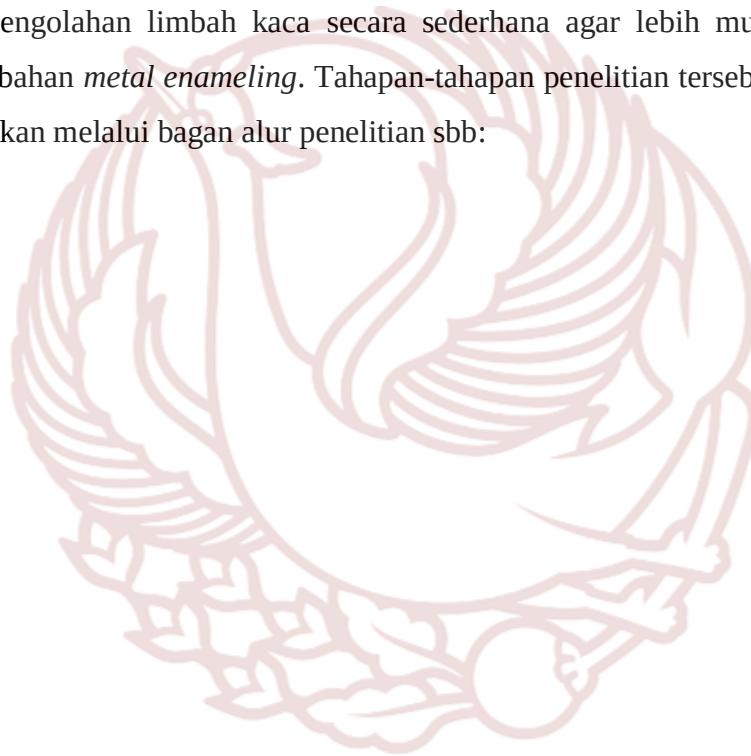
1. Pecahan-pecahan kaca yang dikumpulkan dari tempat sampah, dibersihkan dengan cara dicuci menggunakan deterjen hingga bersih dari kotoran dan kandungan minyak.
2. Pecahan kaca ditumbuk menggunakan alu dan lumpang yang terbuat dari kuningan. Selama proses penumbukan, kaca dicampurkan sedikit air agar serpihan-serpihan kaca tidak meloncat dari dalam lumpang.
3. Setelah dirasa cukup lembut, larutan kaca ditempatkan pada gelas plastik untuk diendapkan. Setelah tepung kaca mengendap, air dibuang menggunakan pipet. Kaca yang masih basah dengan sedikit kandungan air kemudian dijemur hingga benar-benar kering.
4. Tepung kaca yang telah kering kemudian disaring menggunakan *screen* bernomor T60.
5. Tepung kaca yang telah disaring siap digunakan sebagai bahan enamel.
6. Plat tembaga dibersihkan dari kotoran dan kandungan minyak menggunakan larutan copper sulfate ($CuSO_4$), kemudian dicuci menggunakan deterjen hingga bersih.
7. Plat tembaga dibubuhi tepung kaca secara merata pada permukaannya, setelah jumlah tepung tembaga merata menutupi permukaan plat, kemudian ditimbang beratnya.
8. Tepung kaca kemudian ditambahkan bubuk timbal sesuai prosentase uji.
9. Plat tembaga yang telah diolesi larutan boraks sebagai pencegah oksidasi, selanjutnya dibubuhi tepung kaca dan timbal, kemudian dibakar menggunakan semburan api hingga tepung kaca meleleh sempurna.
10. Hasil lelehan kaca diamati dan dicatat warnanya serta tingkat kemudahan melelehnya.

Kaca timbal yang dihasilkan meskipun bisa langsung digunakan untuk *metal enameling*, namun masih perlu dilanjutkan melalui teknik-teknik *metal enameling* untuk didapatkan kualitas *enamel* yang lebih baik. Tepung kaca atau sering disebut dengan istilah *frit* merupakan metode memperluas permukaan partikel

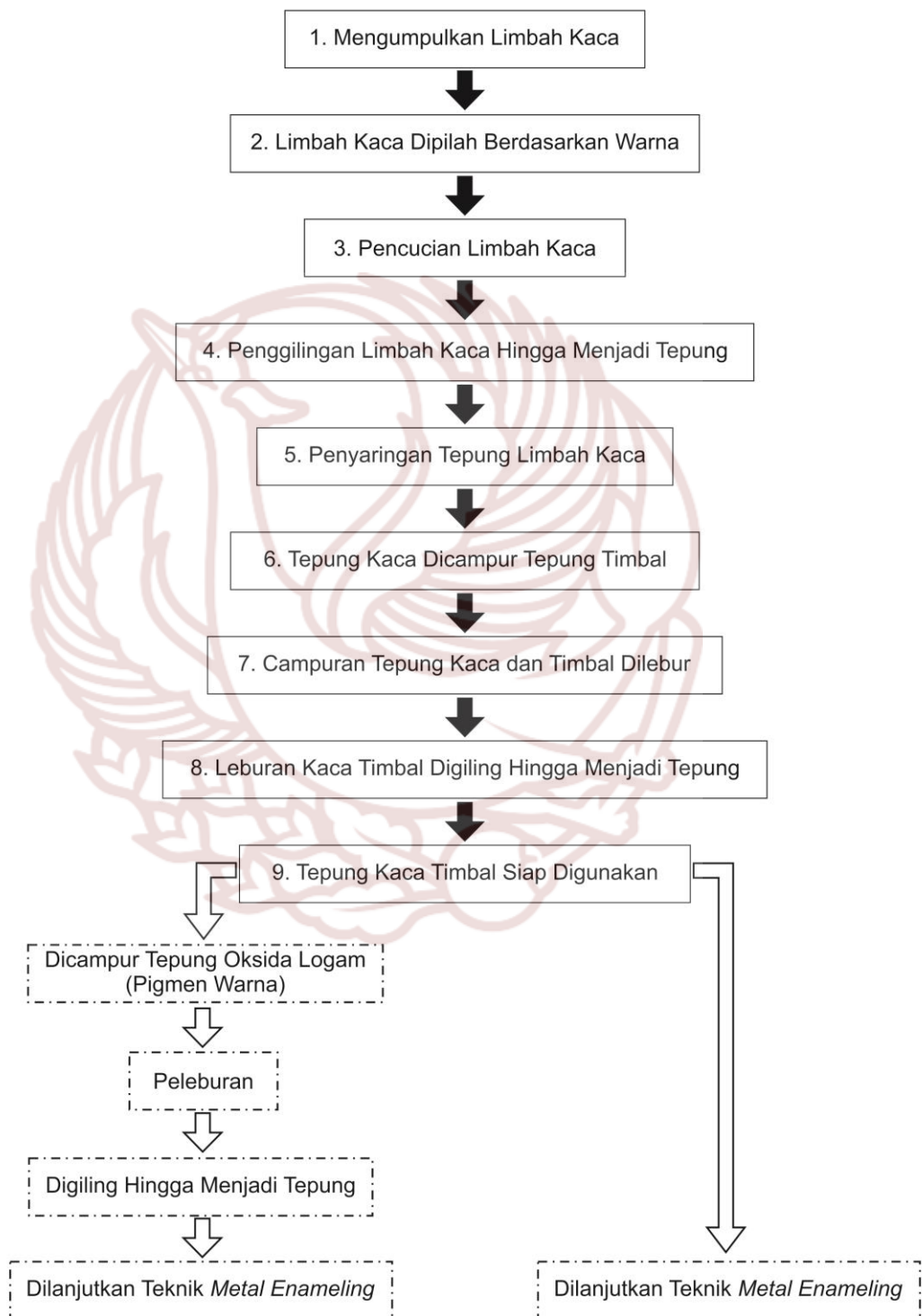
kaca, sehingga lebih cepat dan mudah menerima panas yang menyebabkan kaca lebih mudah meleleh.

Penambahan oksida logam pembentuk pigmen warna merupakan salah satu proses yang dapat dilakukan pada tepung kaca timbal. Pelapisan bertumpuk (*layering*) meliputi lapisan dasar, tengah dan atas dengan menggunakan warna kaca yang berbeda-beda juga dapat memperindah hasil *enamel*.

Bahasan terkait teknik-teknik *metal enameling* yang kompleks tidak dijabarkan dalam penelitian ini, mengingat batasan penelitian berfokus pada upaya pengolahan limbah kaca secara sederhana agar lebih mudah digunakan sebagai bahan *metal enameling*. Tahapan-tahapan penelitian tersebut di atas dapat ditampilkan melalui bagan alur penelitian sbb:



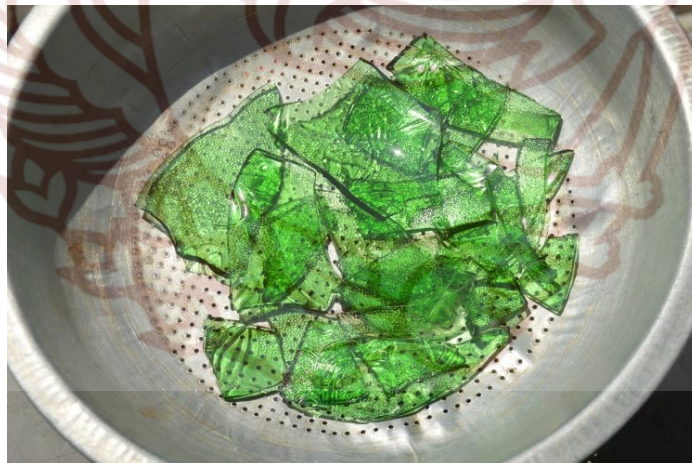
Bagan Alur Penelitian



Bahan baku yang digunakan untuk penelitian adalah limbah kaca/ beling yang dikumpulkan dari tempat sampah rumah tangga. Berikut beberapa sampel beling yang telah diseleksi dan dicuci:



Gambar 5.
Beling bening/ transparan yang telah dicuci

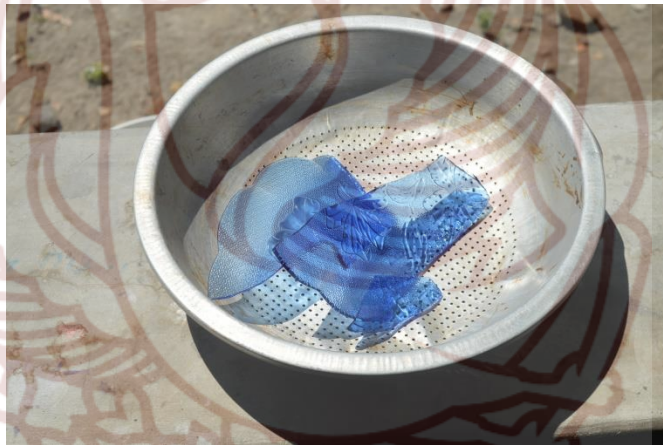


Gambar 6.
Beling warna hijau yang telah dicuci
Adanya pengotor berupa ion oksida besi (FeO) ataupun oksida kromium (Cr_2O_3) pada kaca, sehingga memunculkan warna hijau.¹⁷

¹⁷ Swapna Mukherjee, *The Science of Clays: Application in Industry, Engineering, and Environment* (Springer Science & Business Media, 2013), hal.142.



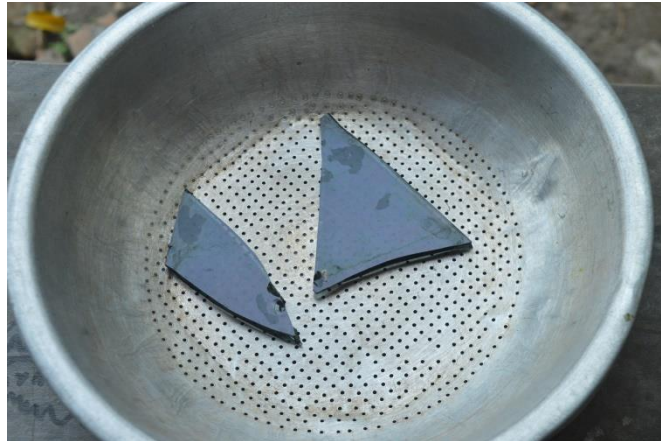
Gambar 7.
Beling warna coklat yang telah dicuci
Warna coklat pada kaca disebabkan adanya perpaduan besi (III) oksida, sulfur ataupun karbon.¹⁸



Gambar 8.
Beling warna biru yang telah dicuci
Warna biru pada kaca dapat dihasilkan oleh adanya paduan oksida tembaga (CuO maupun Cu_2O) ataupun oksida kobalt (CoO).¹⁹

¹⁸ Antonin Langhamer, *The Legend of Bohemian Glass: A Thousand Years of Glassmaking in the Heart of Europe* (Tigris, 2003), hal. 273.

¹⁹ Paul T. Nicholson dan Ian Shaw, *Ancient Egyptian Materials and Technology* (Cambridge University Press), hal.208.



Gambar 9.
Beling warna hitam yang telah dicuci
Warna hitam pada kaca dapat muncul oleh adanya kandungan mangaan, oksida besi, nikel maupun kobalt.²⁰



Gambar 10.
Botol kaca warna merah dari bekas parfum.

²⁰ John D. Sullivan dan Chester R. Austin, *Black Glass and Method of Making The Same* (US Patent no. 2.309.071, 19 Januari 1943).



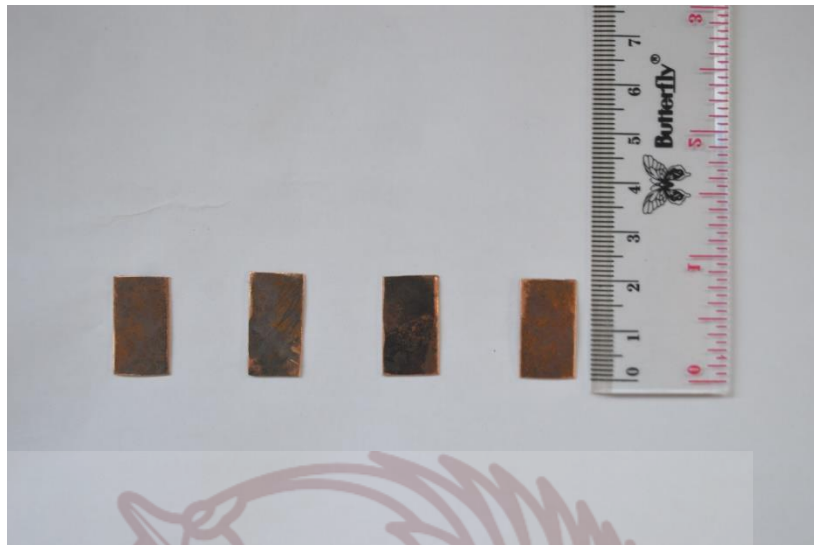
Gambar 11.

Lumpang dan alu kuning sebagai alat membuat tepung kaca/ beling. Pada saat proses menumbuk, beling ditambahkan air agar serpihan tidak mencepat keluar dari lumpang.

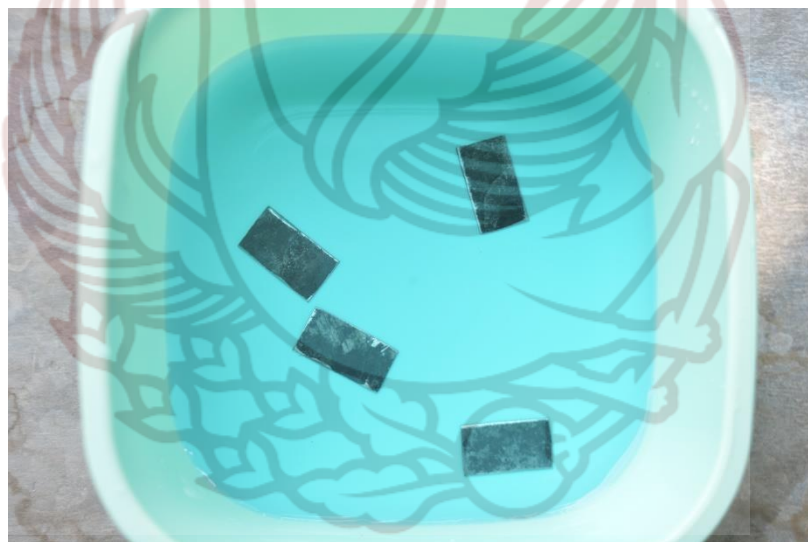


Gambar 12

Limbah kaca bening maupun berwarna coklat, hijau, biru dan hitam transparan yang sudah dijadikan tepung (*frit*), masing-masing disimpan pada wadah yang sudah diberi label.



Gambar 13.
Potongan plat tembaga berukuran 1cm x 2cm x 0,5mm sebagai media eksperimen.



Gambar 14.
Plat tembaga direndam dalam larutan *copper sulfate* (CuSO_4) selama ± 10 menit untuk membersihkan permukaan plat dari kotoran dan lemak.



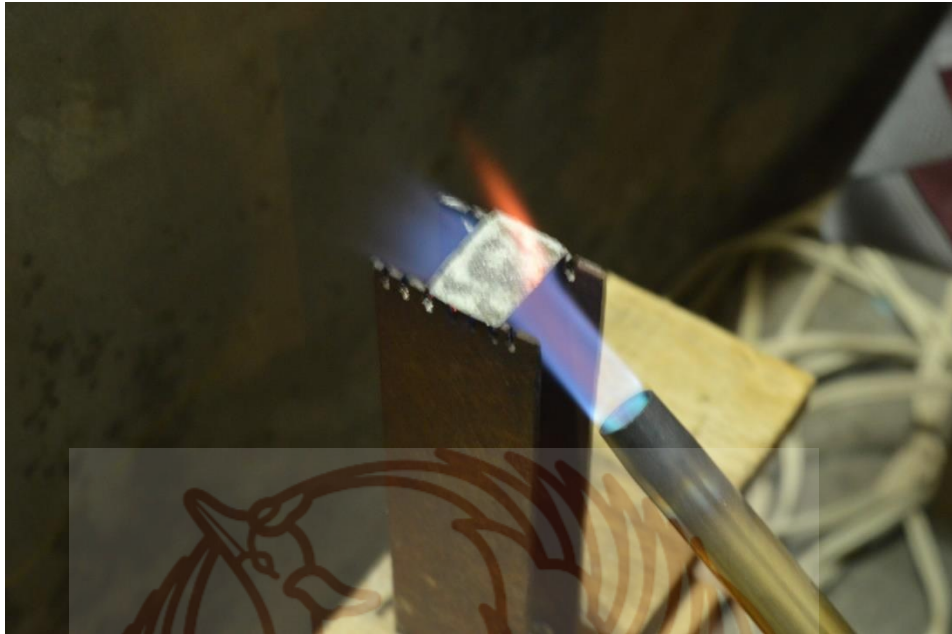
Gambar 15.

Permukaan plat tembaga ditaburi tepung kaca hingga menutupi seluruh permukaan. Ketebalan taburan tepung kaca $\pm 1\text{mm}$. Tepung kaca kemudian ditimbang menggunakan timbangan digital.

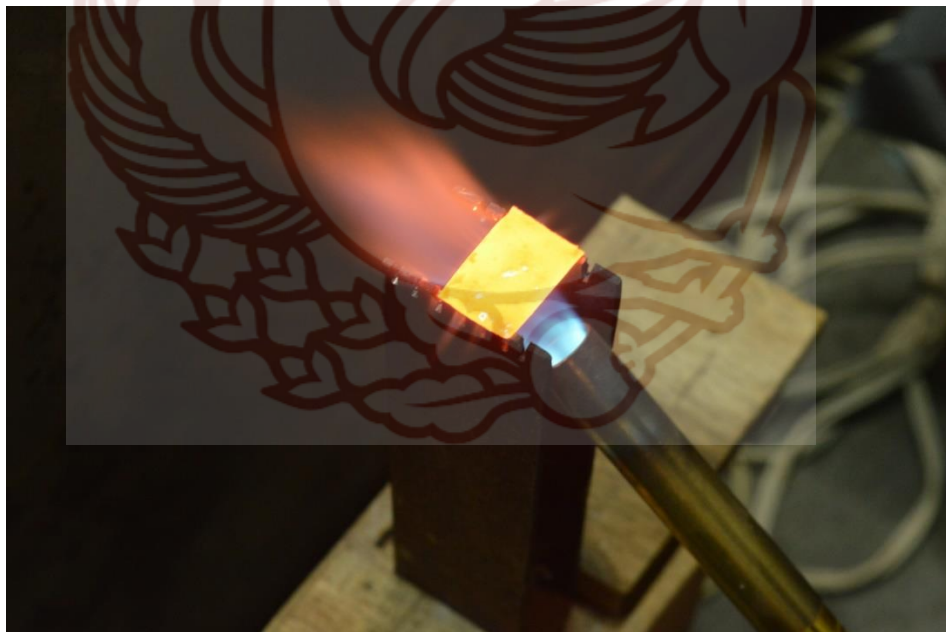


Gambar 16.

Tepung timbal ditimbang dengan timbangan digital. Jumlah tepung timbal diukur untuk didapatkan prosentase penambahan timbal sebagai campuran kaca. Sebagai contoh: diperlukan 0,4 gram timbal dan 0,6 gram tepung kaca untuk didapatkan 1 gram campuran kaca timbal 40%.



Gambar 17.
Proses pelelehan campuran timbal dan tepung kaca menggunakan penyembur api.



Gambar 18.
Penampakan campuran timbal dan tepung kaca yang sedang meleleh pada permukaan plat tembaga.



Gambar 19.
Hasil lelehan campuran timbal dan tepung kaca pada suhu kamar.

Proses melelehkan paduan kaca pada permukaan logam disebut sebagai *enameling*. Kualitas enamel yang ideal adalah melekat secara adhesi, artinya pada batas dua jenis (atau lebih) bahan yang berbeda terdapat ikatan yang menyatu antar partikel dari bahan yang berbeda tersebut. Secara kimiawi, ikatan adhesi bersifat ikatan kovalen (*covalent bonding*) yaitu elektron masing-masing atom yang berbeda saling berbagi.²¹ Sebaliknya, jika dua jenis (atau lebih) bahan yang berbeda melekat, akan tetapi terdapat jarak antar partikel, sehingga kerapatan molekulnya kurang, maka disebut ikatan kohesi. Contoh ikatan kohesi adalah lem karet pada permukaan logam. Lem karet akan terlepas dari permukaan logam jika terkena cairan yang dapat melarutkan lem tersebut. Namun, jika lem karet digunakan untuk mengelem berbahan karet, maka ikatan keduanya termasuk adhesi sehingga tidak dapat dengan mudah dipisahkan.

Ikatan adhesi menjadi indikator dalam pengamatan fisik hasil proses *enameling*. Jika bahan paduan kaca dan timbal yang dilelehkan pada permukaan plat tembaga berhasil terikat sempurna dan tidak retak/ pecah atau bahkan mudah terlepas, maka paduan kaca timbal dianggap cocok untuk kebutuhan *enameling*.

²¹ Douglas J Gardner, "Theories and Mechanisms of Adhesion in the Pharmaceutical, Biomedical and Dental Fields", ed. K.L Mittal dan F.M Etzler (Beverly MA: Scrivener Publishing; Hoboken, NJ: John Wiley & Son, 2017), hal. 13.

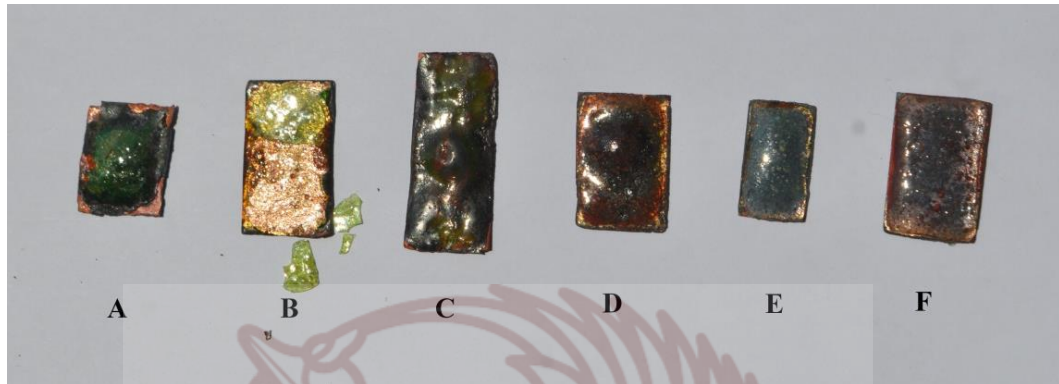
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah kaca merupakan objek yang masih berpeluang untuk dapat diolah kembali menjadi produk baru (didaur ulang/ *recycle*). Potensi ekonomi mendaur ulang limbah kaca masih belum banyak dieksplorasi dan dilakukan oleh masyarakat. Kurang dari separuh dari jumlah limbah kaca nasional yang telah diolah kembali setiap tahunnya. Itu pun sebagian besar dilakukan oleh produsen aneka produk kaca berskala industri besar. Selain aturan penggunaan produk daur ulang dilarang untuk digunakan sebagai produk kemasan makanan dan minuman, kreativitas mengolah limbah kaca belum banyak dikembangkan. Padahal peluang berkreasi dengan memanfaatkan limbah kaca untuk produk-produk eksterior maupun interior masih terbuka lebar.

Pengolahan limbah kaca membutuhkan pengetahuan ilmu kimia dan fisika, karena sangat terkait dengan karakteristik unsur. Akan lebih baik jika sarana peralatan yang digunakan memiliki tingkat presisi yang tinggi. Namun demikian, pengolahan limbah kaca secara sederhana pun sebenarnya masih banyak peluang yang dapat dikerjakan. Limbah kaca dapat dibuat manik-manik hanya dengan menggunakan teknik potong dan poles. Limbah kaca dapat dipecah-pecah dan dapat digunakan sebagai hiasan berupa mosaik, yang dapat ditempel pada dinding ataupun lantai menggunakan semen. Pecahan-pecahan kaca dapat disusun sedemikian rupa dengan dilem untuk dibentuk menjadi benda-benda yang diinginkan. Tepung kaca dapat dicampurkan dengan resin ataupun epoksi untuk dijadikan elemen perabot, dan masih banyak lagi peluang-peluang lainnya.

Penelitian ini berupaya mengolah limbah kaca melalui metode sederhana untuk dapat digunakan sebagai bahan seni enamel. Limbah kaca yang telah dijadikan tepung, kemudian ditambahkan timbal agar diperoleh titik cair yang lebih rendah. Kaca timbal yang dihasilkan kemudian dibuat tepung kembali untuk digunakan sebagai lapisan sekaligus dekorasi pada permukaan logam: perak, tembaga, emas, maupun besi.

Hasil eksperimen pencampuran timbal dan tepung kaca yang dilelehkan di atas permukaan plat tembaga dapat ditunjukkan pada gambar berikut:

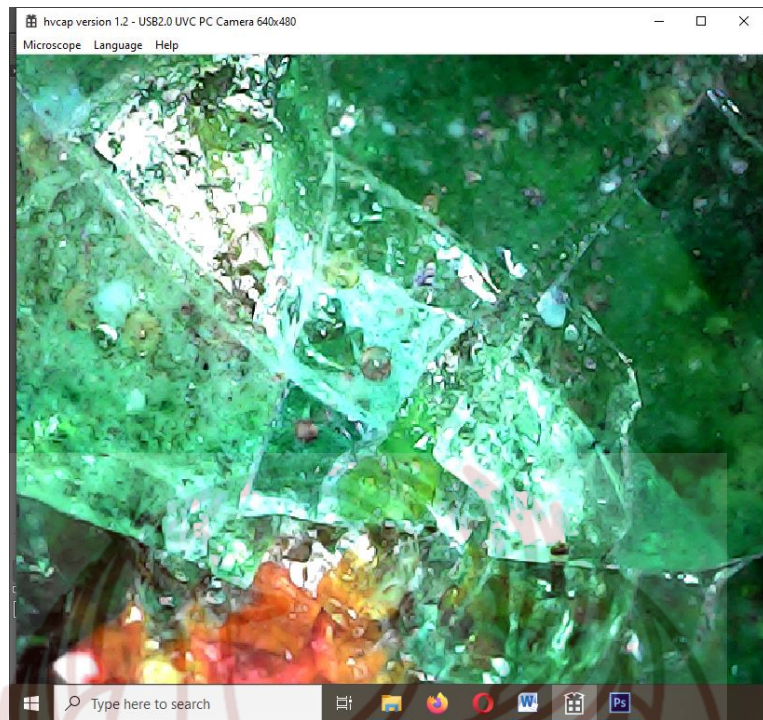


Gambar 20.
Hasil sampel pelelehan campuran timbal dan tepung kaca pada permukaan plat tembaga.

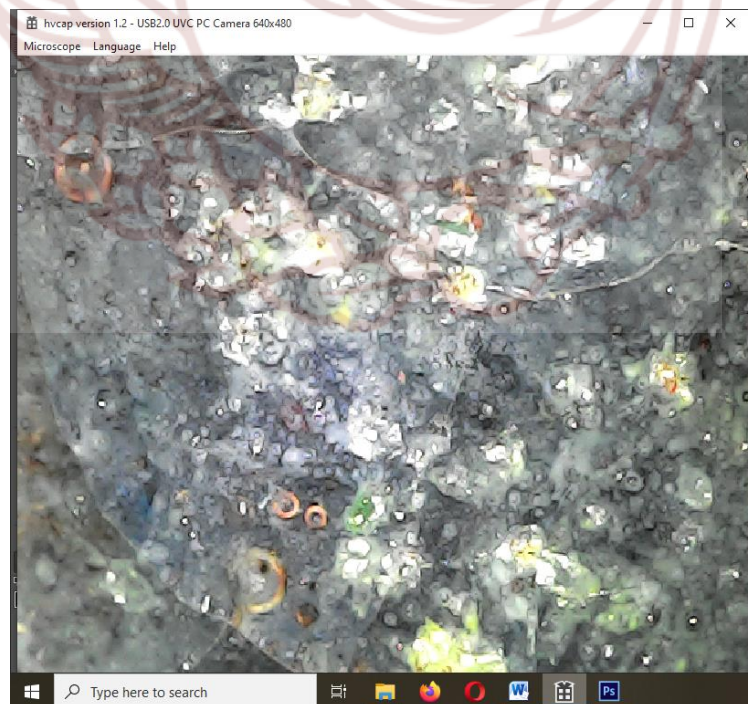
Keterangan gambar:

- A. Bahan hanya tepung kaca saja tanpa campuran timbal
- B. Bahan tepung kaca dan 10% timbal
- C. Bahan tepung kaca dan 90% timbal
- D. Bahan tepung kaca dan 80% timbal
- E. Bahan tepung kaca dan 60% timbal
- F. Bahan tepung kaca dan 40% timbal

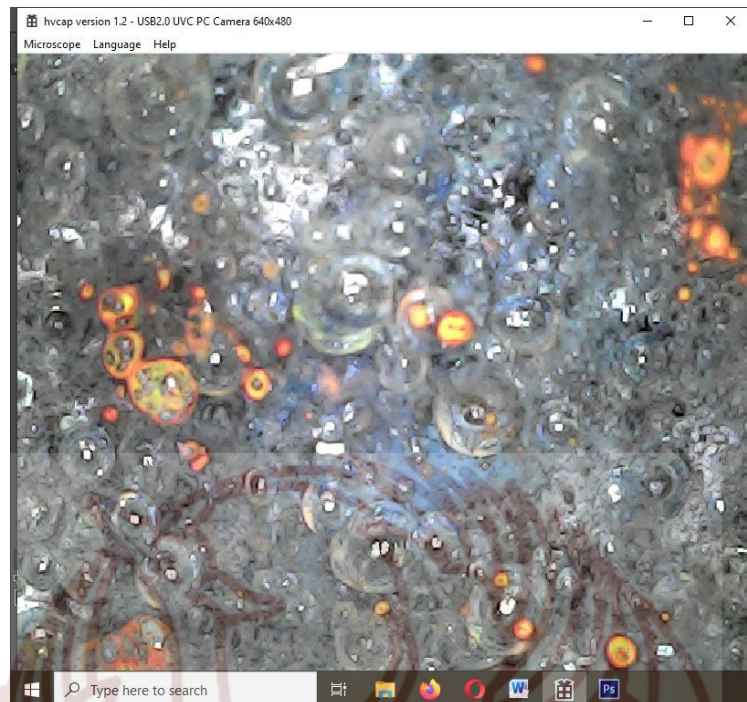
Sampel pada gambar 20. di atas kemudian masing-masing dicermati menggunakan mikroskop digital yang dapat dilihat melalui laptop. Hal ini untuk mempermudah menganalisis hasil lelehan kaca pada permukaan plat tembaga. Fungsi mikroskop digital perbesaran 800x ini adalah untuk melihat apakah terdapat retakan atau hal lain yang menyebabkan lelehan kaca tidak cocok digunakan sebagai bahan enamel. Mikroskop digital perbesaran 800x sangat membantu, karena mata telanjang sangat sukar untuk mampu mencermati fenomena yang sangat kecil ini. Analisis yang mungkin dilakukan pun masih sederhana karena bukan analisis struktur atomik (yang perlu menggunakan peralatan lebih canggih). Adapun hasil foto pengamatan dapat disampaikan sbb:



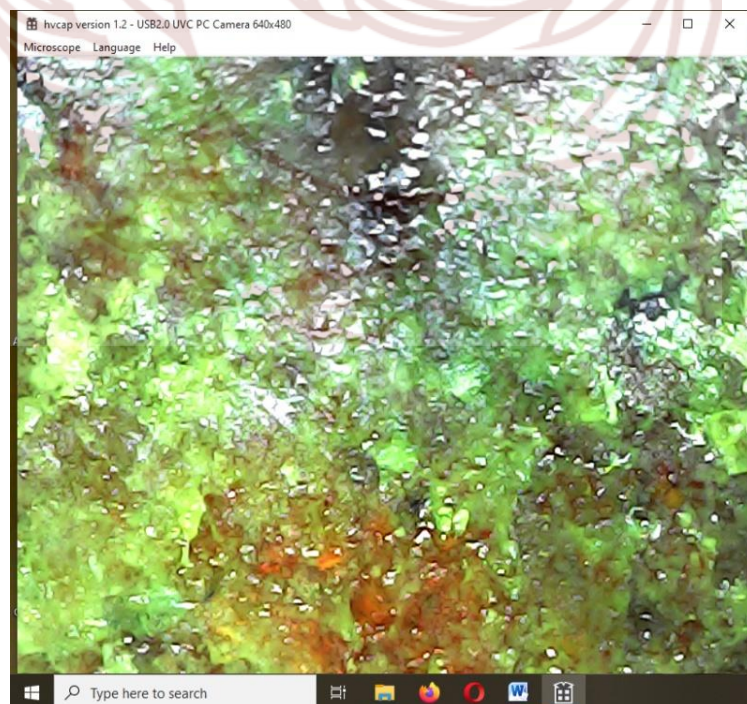
Gambar 21.
Hasil pengamatan menggunakan mikroskop digital perbesaran 800x pada permukaan lelehan campuran kaca timbal 10%.



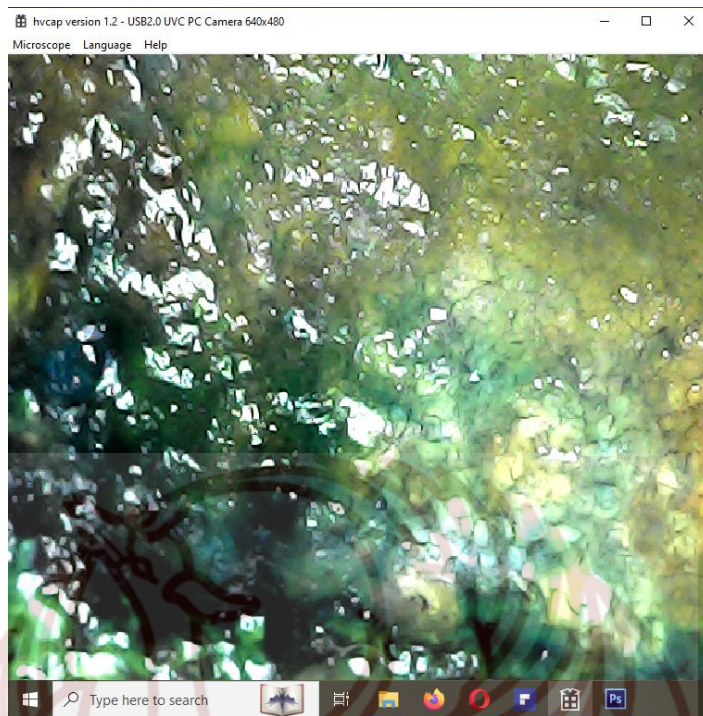
Gambar 22.
Hasil pengamatan menggunakan mikroskop digital perbesaran 800x pada permukaan lelehan campuran kaca timbal 90%.



Gambar 23.
Hasil pengamatan menggunakan mikroskop digital perbesaran 800x pada permukaan lelehan campuran kaca timbal 40%.



Gambar 24.
Hasil pengamatan menggunakan mikroskop digital perbesaran 800x pada permukaan lelehan campuran kaca timbal 60%.

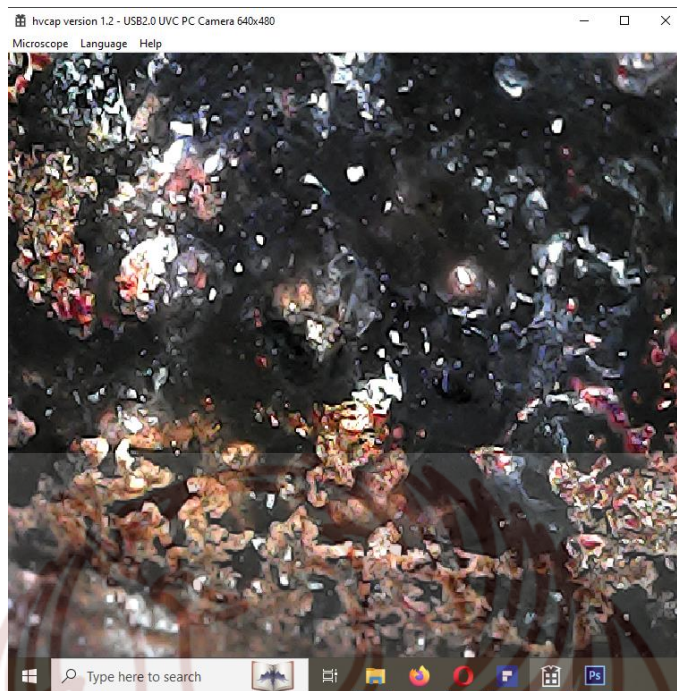


Gambar 25.

Hasil pengamatan menggunakan mikroskop digital perbesaran 800x pada permukaan lelehan campuran kaca timbal 60% ditambah 25% sodium karbonat (NaCO_3). Sodium karbonat memberi efek warna hijau pada kaca.

Gambar 25. di atas menunjukkan bahwa penambahan timbal pada tepung kaca dapat menimbulkan efek warna kekuningan. Tepung kaca timbal yang ditambahkan sodium karbonat pada permukaan tembaga, setelah dilelehkan menimbulkan warna hijau. Hasil pelelehan kaca timbal yang ditambahkan sodium karbonat 25% dapat melekat secara baik dan tidak menimbulkan gelembung ataupun retakan. Secara teori, ion natrium (Na) yang terkandung dalam sodium karbonat berfungsi sebagai modifikator (*modifier*).²²

²² Julian Henderson *Ancient Glass An Interdisciplinary Exploration* (Cambridge University Press, 2013), hal.2-3.



Gambar 26.

Hasil pengamatan menggunakan mikroskop digital perbesaran 800x pada permukaan lelehan campuran kaca timbal 60%. Permukaan tembaga yang dilapisi oksida tembaga memberi efek warna hitam.

A. Capaian Data Penelitian

Setelah dilakukan praktik eksperimen melelehkan paduan kaca timbal dengan persentasi yang beragam, diperoleh data sbb:

Konsentrasi Timbal	Bubuk Kaca	Pigmen	Hasil	Keterangan tambahan
< 10%	90%	bening	kurang	Sulit meleleh pada 700°C/ retak
20%	80%	bening	kurang	Sulit meleleh pada 700°C/ retak
30%	70%	bening	kurang/cukup	Retak ketika dingin
40%	60%	lebih gelap	kurang/baik	Terdapat gelembung
50%	50%	lebih gelap	baik	Meleleh pada 600°C, tidak retak
60%	40%	lebih gelap	baik	Meleleh pada 600°C, tidak retak
90%	10%	gelap	kurang	Meleleh pada 600°C Tampilan timbal terlalu dominan, Terdapat gelembung dan retakan

Pelelehan tepung kaca tanpa campuran timbal dapat meleleh, namun dibutuhkan panas yang tinggi $\pm 1200^{\circ}\text{C}$ serta hasil pelelehan setelah pendinginan mencapai suhu kamar menjadi retak dan terlepas dari plat. Campuran tepung kaca dan timbal 10% juga demikian, mudah retak dan tidak lekat pada plat tembaga. Campuran timbal 90%, menghasilkan lapisan yang cukup kuat, namun berkesan terlalu nampak didominasi oleh timbalnya, sehingga kesan kacanya kurang.

Campuran yang pas diperoleh pada perpaduan antara 40% s.d.60% timbal (gambar E dan F). Komposisi campuran tersebut menghasilkan lapisan kaca pada permukaan plat tembaga dengan cukup lekat, serta warna kaca yang lebih baik.

B. Analisis Hasil Penelitian

Berdasarkan pengamatan melalui mikroskop digital perbesaran 800x, maka tahapan proses *enameling* (pelelehan kaca) pada permukaan plat tembaga perlu dipersiapkan secara matang. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap hasil enamel antara lain:

1. Kebersihan permukaan plat tembaga, merupakan faktor yang mempengaruhi lekat atau tidaknya lapisan kaca. Adanya kotoran atau minyak dapat menghambat daya adhesif kaca,
2. Tekstur permukaan plat tembaga. Semakin halus permukaan, maka lapisan kaca mudah retak atau kurang adhesif,
3. Tahap pemanasan perlu dilakukan secara gradual untuk mencegah tepung kaca tertiuap gas,
4. Waktu pemanasan ketika kaca telah mencair perlu dipertahankan beberapa saat disesuaikan dengan luasan bidang kerja (luas plat tembaga),
5. Ketika pemanasan telah dianggap cukup, segera dilakukan *annealing* (dicelupkan ke dalam air dingin)

6. Tepung kaca yang telah dicampur timbal dan telah dilebur bersama, hendaknya dibuat tepung kembali, baru siap digunakan.

C. PELAKSANAAN KEGIATAN

KEGIATAN	JUNI				JULI				AGUSTUS				SEPTEMBER				OKTOBER			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Menyusun proposal																				
Studi Literatur																				
Persiapan Alat dan Bahan																				
Proses penelitian																				
Penyusunan laporan																				

Lokasi kegiatan penelitian ini dilakukan di kampus ISI Surakarta Fakultas Seni Rupa dan Desain, gedung Jurusan Kriya. Hal ini dilakukan agar kegiatan penelitian dapat disaksikan mahasiswa yang tertarik untuk mempelajari dan mengembangkannya, sehingga menambah peluang lahirnya gagasan dalam penciptaan seni. Sebagaimana diketahui bahwa sering dijumpai mahasiswa yang terkendala dalam pencarian ide penciptaan maupun terkendala biaya untuk mewujudkan karya. Melalui penelitian ini, diharapkan mahasiswa dapat memanfaatkan barang-barang/ limbah untuk dapat diolah secara kreatif menjadi karya seni yang bernilai tinggi. Limbah kaca sangat mudah didapatkan di sekitar tempat tinggal, sehingga dapat meringankan beban biaya. Di sisi lain, bagi mahasiswa dapat lebih mendalami ilmu kimia yang pernah disampaikan melalui mata kuliah, yang selanjutnya dihadapkan pada kenyataan objek berupa limbah kaca.

BAB V. KESIMPULAN

Penelitian ini berupaya untuk mendapat data terkait perlunya penambahan timbal pada tepung kaca *food grade* agar mudah diterapkan sebagai bahan *metal enameling*. Berdasar analisis fisis, kaca *food grade* merupakan kategori kaca soda kapur (*soda lime glass*) yang meleleh pada suhu kisaran 700°C. Efek penambahan timbal 40% s.d 60% pada kaca soda kapur dapat menurunkan titik leleh hingga kisaran 500°C, sifat lelehan lebih encer serta lebih mudah berpadu dengan oksida logam lain sebagai pigmen warna.

Berdasarkan hasil penelitian ini, diperoleh data komposisi campuran timbal 40% s.d 60% baik secara daya lekat maupun kualitas warna kaca yang dihasilkan. Hal ini membuktikan teori-teori sebelumnya dalam mengungkap prosentase timbal dalam proses pembuatan/ produksi kaca timbal. Kaca timbal ini relevan untuk dijadikan bahan enamel dekoratif, namun demikian masih diperlukan eksperimen lebih lanjut terkait perpaduan oksida logam yang digunakan sebagai pigmen warna.

Ketersediaan bahan enamel, sangat berguna bagi perkembangan seni *metal enameling* di Indonesia yang hingga saat ini masih sangat jarang dijumpai.

DAFTAR PUSTAKA

- Arts and Communication. *Metal Enameling*. Wisconsin 4-H Publication, No. 4H158.
- Biser, Benjamin F. *Elements of Glass and Glass Making*. Pittsburgh: Glass and Pottery Publishing Company, 1899.
- Enghag, Per. *Encyclopedia of the Elements*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004.
- Fisher, Alexander. *The Art of Enameling Upon Metal*. London: Offices of "The Studio" 44 Leicester, SQ, 1905.
- Gardner, Douglas J. "Theories and Mechanisms of Adhesion in the Pharmaceutical, Biomedical and Dental Fields", ed. K.L Mittal dan F.M Etzler. Beverly MA: Scrivener Publishing; Hoboken, NJ: John Wiley & Son, 2017.
- Henderson, Julian. *Ancient Glass An Interdisciplinary Exploration*. Cambridge University Press, 2013.
- Kristianingrum, Susila. "Pengolahan Sampah Kaca/Gelas Menjadi Aneka Produk Kerajinan Tangan". *Makalah PPM UNY* di desa Selomartani Sleman Yogyakarta, 10 Juni 2012.
- Langhamer, Antonin. *The Legend of Bohemian Glass: A Thousand Years of Glassmaking in the Heart of Europe*. Tigris, 2003.
- Mukherjee, Swapna. *The Science of Clays: Application in Industry, Engineering, and Environment*. Springer Science & Business Media, 2013.
- Ruben, Samuel. *Handbook of the Elements*. Open Court Publishing Company, La Salle, Illinois, 61301, 1998.
- Shelby, J.E. *Introduction to Glass Science and Technology, 2nd edition*. The Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House, Science park, Milton Road, Cambridge CB4 0WF, United Kingdom, 2005.
- Suherson, Arif . "Eksplorasi Limbah Kaca pada Proses Finishing Gelasir Bodi Keramik". dalam *Corak: Jurnal Seni Kriya*, Institut Seni Indonesia Yogyakarta, Vol. 6 No.1, Mei-Oktober 2017.
- Sullivan, John D. dan Chester R. Austin. *Black Glass and Method of Making The Same* . US Patent no. 2.309.071, 19 Januari 1943.

Sylvia, Nukke, dan Nur Lailiyah Mahmudah. “Tinjauan Proses dan Teknik Flameworking pada Limbah Kaca”, dalam *NARADA: jurnal Desain & Seni*, FDSK –Universitas Mercu Buana Vol.5 Edisi 2, 2018.

Varshneya, Arun K. *Fundamentals of Inorganic Glasses*. San Diego: Academic Press, Inc., 1994.

Internet:

<https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/#parallax>

<https://www.thecrucible.org>

