

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA KACA LEMBARAN JENIS *SODA-LIME GLASS*

Eko Julianto^{1*}, Doddy Irawan², Bagus Rahardian³

^{1,2}Jurusan Teknik Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak
Jl. Ahmad Yani 1, Kota Pontianak

³Magister Teknik Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Pabelan, Kartasura, Kota Surakarta

Email: eko.julianto@unmuhpnk.ac.id

ABSTRAK

Kaca adalah produk yang mengalami verifikasi sempurna, kaca juga merupakan gabungan oksida anorganik yang tidak mudah menguap, yang dihasilkan dari dekomposisi dan peleburan senyawa alkali dan pasir serta berbagai penyusutan lainnya sehingga menghasilkan produk yang menghasilkan struktur atom yang acak. Hasil analisa yang telah dilakukan pada proses pelengkungan kaca lembaran jenis soda lime glass menjadi kaca lengkung dengan ketebalan 5mm, didapat perubahan lengkungan kaca sebesar 11,2°, proses perubahan defleksi kaca dihitung setiap 5 menit dalam waktu 60 menit. Sedangkan nilai aliran konduksi senilai 309,6 joule dan konveksi 636,6 joule. Adapun suhu yang didapat dalam pelengkungan kaca di dalam dapur tinggi atau ruang pembakaran yaitu kurang lebih 500°-600°C untuk perubahan temperatur awal kaca yaitu suhu dalam ruang pembakaran 34°C atau di asumsikan 0°C menjadi 380,7°C pada waktu 60 menit kaca sudah mengalami perubahan defleksi Pada proses ini hasil analisa juga akan dibahas pada batas besaran temperatur konduksi dan konveksi untuk mempermudah pengolahan data dan perhitungan laju aliran panas yang didapat pada eksperimen untuk dicoba pada kendaraan minibus.

Kata kunci: Temperatur, Soda Lime Glass, Defleksi, Konduksi, Konveksi

PENDAHULUAN

Kaca merupakan materi bening dan transparan (tembus pandang) yang biasanya di hasilkan dari campuran silikon atau bahan silikon dioksida (SiO_2), yang secara kimia sama dengan kuarsa, dibuat dari pasir dengan Suhu lelehnya adalah 2000 Derajat Celsius. Penggunaan kaca dibatasi oleh kerapuhan dan kekuatannya yang tinggi, oleh karna itu penting untuk mengetahui studi tentang fraktur kaca di bawah beban statis dan dinamis.[1]

Variasi indeks bias di atas kaca *float* yang tidak dikeraskan dan kaca yang dikeraskan, lembaran kaca *float* di potong 150,5 cm x 50 cm kotak. Pemodelan statis dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kaca yang tidak dikeraskan kaca *float* meningkatkan *variabelitas* dengan faktor 1,29 – 1,58 dengan rata-rata 1,43 (dengan 95% kemungkinan) dan untuk kaca apung yang keras berkurang variabilitasnya dengan faktor 0,63 – 0,76 dengan rata-rata 0,69 (dengan probabilitas 95%).[2] Kaca adalah bahan organik non logam yang disiapkan oleh kristalisasi terkontrol dari kaca melalui metode pemrosesan yang berbeda, kaca setidaknya mengandung satu jenis fase kristal fungsional dan mengandung residu kaca. *Fraksi volume yang terkristalisasi* dapat bervariasi dari ppm hingga hampir 100%. [3]

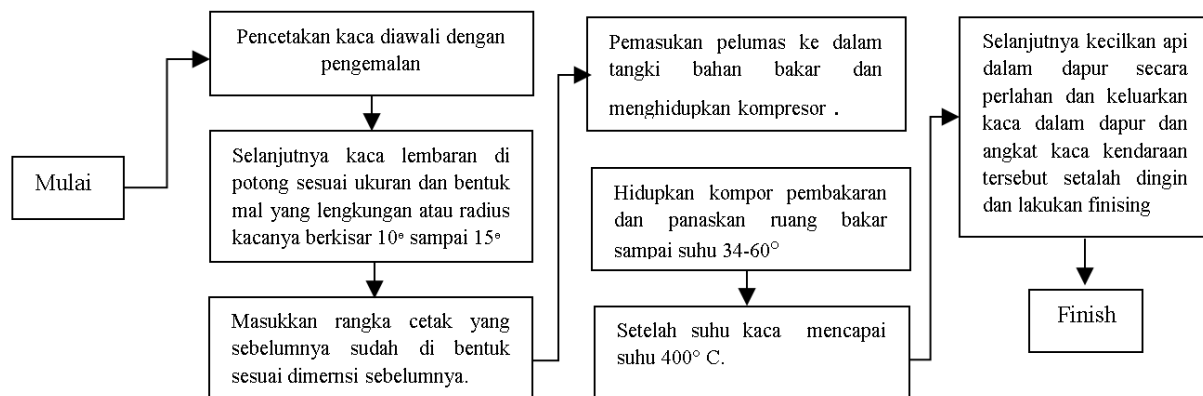
Peningkatan ketebalan antar lapisan dari 0,38 mm menjadi 0,76 mm meningkatkan *delaminasi* (DS) secara signifikan, sedangkan peningkatan lebih lanjut dalam ketebalan antara lapisan ke nilai yang lebih tinggi memiliki efek yang lebih rendah.[4]

Industri kaca mengonsumsi energi *substansial* dalam proses peleburan suhu tinggi yaitu 1500°C sampai 1600°C.[5]

Untuk itu pada kesempatan ini akan dicoba pengujian dan analisa tentang kaca yang berupa kaca kristal dan kaca bening atau dalam bahasa tekniknya kaca soda gamping (*soda-lime glass*), yaitu dengan menguji dan menganalisis pelengkungan kaca mobil dengan harga yang terjangkau dan terjangkau untuk masyarakat Indonesia yang mayoritas menggunakan kendaraan bermotor seperti mobil dan lain sebagainya. Oleh karena itu dengan pertumbuhan teknologi pada saat ini yang didominasi alat canggih dan modern, dibuatlah dapur tinggi pemanas untuk memanaskan kaca lembaran menjadi kaca lengkung seperti contohnya kaca mobil.

METODE PENELITIAN

Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Juni sampai Juli 2018 dan dilakukan di bengkel kaca mobil Java Motor dan bengkel Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak.



Gambar 1. Bagan Alir Prosedur Pelengkungan Kaca Lembaran.

Bahan baku dalam penelitian ini adalah kaca gamping (*soda lime glass*) yang di beli dalam bentuk lembaran di PT. Asahimas di Jawa Tengah dengan ukuran 2000 mm x 2000 mm x 5 mm. Bahan tambahan dalam pembuatan kaca *soda lime glass* antara lain pasir *zip*, pasir silika, pasir sungai, oli bekas dan solar[6],[7].

Sedangkan alat yang digunakan dalam pelengkungan kaca ini antara lain adalah dapur pembakaran, kompresor, tangki bahan bakar, kompor, cetakan kaca, *Termokopel*, busur derajat, gerinda tangan, bor tangan, penggaris baja, pisau pemotong kaca, tang, dan pengayak pasir

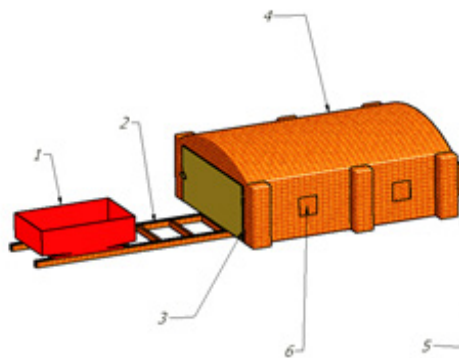
Rancangan Percobaan

Penelitian pelengkungan kaca minibus selanjutnya dilakukan analisis kelayakan teknis serta perhitungan analisis ragam data dengan rancangan percobaan. Dalam kelayakan teknis, dilakukan pengujian variasi temperatur proses pelengkungan kaca untuk mengetahui batas maksimal suhu pelengkungan dan lengkungan kaca yang telah ditentukan. Pada tahap ini dilakukan pemasukan bahan bakar ke dalam tangki bahan bakar serta menyalakan api dan mengatur udara pada tekanan kompresor dan nosel kompor pembakaran. Semburan bahan bakar diatur sesuai komposisi, termasuk oli dan campuran lain yang diperlukan seperti bensin atau zat-zat lain untuk menghasilkan api yang sempurna untuk produk kaca yang dikehendaki. Pembakaran campuran bahan bakar dalam suatu dapur pembakaran dilakukan agar api yang dihasilkan menjadi api yang bersuhu ideal sebelum dan sesudah pelengkungan.

Pelengkungan

Pada tahap ini dilakukan pemasukan bahan bakar ke dalam tangki bahan bakar serta menyalakan api dan mengatur udara pada tekanan kompresor dan nosel kompor pembakaran. Semburan bahan bakar diatur sesuai komposisi, termasuk oli dan campuran lain yang diperlukan seperti bensin atau zat-zat lain untuk menghasilkan api yang sempurna untuk produk kaca yang dikehendaki. Pembakaran campuran bahan bakar dalam suatu dapur pembakaran dilakukan agar api yang dihasilkan menjadi api yang bersuhu ideal sebelum dan sesudah pelengkungan.

Bahan bakar yang sudah sempurna pada sistim pembakaran bahan bakar disaring dahulu sebelum dimasukkan ke dalam tangki dan tungku (*furnace*) bersuhu sekitar 600°C sehingga kaca akan melengkung[8]. Selama proses pelengkungan, masing-masing bahan bakar dan kaca yang terbakar akan saling berinteraksi membentuk reaksi-reaksi kimia.

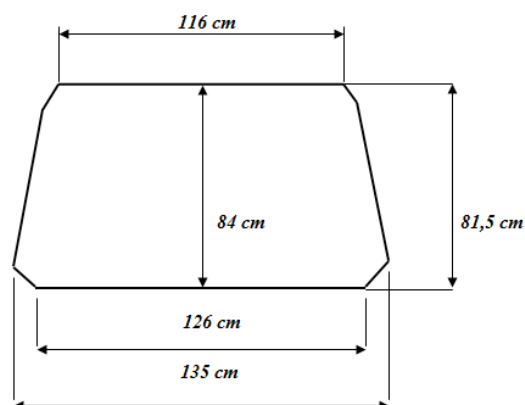


Gambar 2. Dapur Pemanas Kaca

Annealing

Fungsi tahapan ini adalah untuk mencegah timbulnya tegangan-tegangan antar molekul pada kaca yang tidak merata sehingga dapat menimbulkan kepecahan. Proses *annealing* kaca terdiri dari 2 aktivitas, yaitu :

1. Menahan kaca dengan waktu yang cukup di atas temperatur kritik tertentu untuk menurunkan regangan internal.
2. Mendinginkan kaca sampai temperatur ruang secara perlahan-lahan untuk menahan regangan sampai titik maksimumnya. Proses ini berlangsung di dalam "*annealing lehr*". Untuk jenis kaca lembaran, *annealing lehr* ini dilewati oleh kaca-kaca yang bergerak di atas roda berjalan.



Gambar 3. Dimensi kaca

Laju Perpindahan Kalor

Proses perpindahan kalor dapat di gambarkan dengan jaringan tahanan . Perpindahan kalor gabungan dihitung dengan jalan membagi beda suhu menyeluruh dengan jumlah tahanan termal :

$$q = U . A . \Delta T \quad (1)$$

Di mana A adalah luas bidang aliran kalor, *Koefisien* perpindahan kalor menyeluruh. Rumus perpindahan panas yang dibaca pada kaca adalah di bawah ini:

$$\Delta T = T_1 - T_2 \quad (2)$$

ΔT mendeskripsikan perbedaan suhu antara pusat dari sisi yang memaparkan api dan daerah naungan ambiens.

Kualitas Lengkungan Kaca

Kualitas lengkung dari hasil analisa dan pengujian dapat disimpulkan bahwa jenis kaca gamping atau *soda lime glass* lebih dominan kuat dari radiasi panas matahari dan benturan atau getaran yang ditimbulkan akibat kendaraan berjalan di jalan raya yang rusak, kaca *soda lime glass* dapat menahan radiasi panas matahari lebih kurang 40° sampai 50 °C bahkan mungkin lebih[9],[6],[7] . kekurangan kaca ini dari kaca lengkung *Tempered* dan *laminated* adalah kaca ini apabila pecah akan retak menjalar dan tidak pecah berderai atau yang kita sebut pecah seribu, dibandingkan kaca *laminated* dan *Tempered* yang apabila pecah akan berbentuk biji kecil seperti pasir atau batu kasar . kaca lengkung *soda lime glass* harus dilapisi dengan kaca film agar kaca ini lebih baik menahan getaran dan radiasi panas matahari, apabila kaca lengkung ini pecah akan tidak membahayakan pengendara mobil yang menggunakan kaca ini, karna retakkan kaca tersebut ditahan oleh kaca film atau laminating.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari metode penelitian dilanjutkan dengan analisis dan penelitian secara benar yaitu dengan melakukan uji coba terhadap kaca yang akan di uji lengkung , kaca yang akan di uji lengkung dengan variabel panas dari suhu normal sampai kaca bisa berubah menjadi kaca lengkung dan menguji perubahan waktu awal sampai akhir proses pelengkungan. Setelah itu menguji jumlah bahan bakar yang digunakan pada saat proses pembakaran kaca dan menganalisis kualitas kaca yang telah di buat sampai kaca di pasang.

Tabel 1. Keadaan Awal dan Akhir Pembakaran Kaca

Bahan	Temperatur °C	
	Awal	akhir
Alat pembakaran	34,9	127,5
Kaca	30,6	42,5
Solar	30,5	36,2

Berdasarkan data yang telah didapat dari pengujian menjelaskan bahwa terjadi perbedaan yang sangat jelas antara waktu pemanasan awal sampai akhir kaca melengkung dengan cara pemanasan ruang pembakaran dapur tinggi dengan menggunakan bahan bakar solar. berdasarkan perbandingan suhu, untuk pembakaran kaca secara kontinu terus mengalami

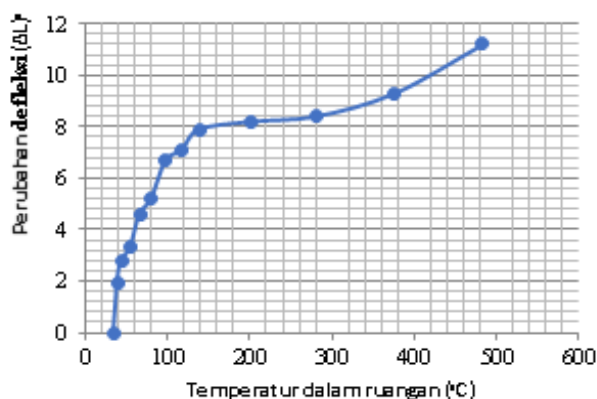
peningkatan dan didapat nilai rata – rata temperatur selama proses yaitu 482,5 °C . Keadaan tersebut membuktikan peranan dapur dan bahan bakar sebagai penghasil panas serta tempat pencetakan kaca lengkung untuk jenis kaca *soda lime glass*. Dengan temperatur ruang yang lebih tinggi maka akan berpengaruh terhadap laju aliran panas yang dihasilkan dari pembakaran dan terbukti dalam proses penelitian yang dibuktikan dengan data pada tabel bahwa laju panas pada dapur tinggi dan cetakan dalam dapur pemanas lebih tinggi dibandingkan panas di bawah dapur.

Tabel 2. Hasil Penelitian Dengan Alat Ukur Temperatur dan Perhitungan

Waktu	Temperatur (°C)			Perubahan defleksi (ΔL) °	Δ A (m ²)	Δ T (°C)	Δ t (menit)	Q Konv (J)	Q Kond (J)	Bahan Bakar (ℓ)	Jumlah bahan bakar (%)
	Masuk kaca	Dalam ruangan	Keluar kaca								
14.05	32,3	34,9	-	0	1,0228	0,0	0	0,00	0,000	50	100
14.10	-	39,3	-	1,9	1,0234	278,4	5	45586,13	222,232	46,15	92,3
14.15	-	44	-	2,8	1,0240	278,7	10	45664,33	222,614	42,3	84,6
14.20	-	55	-	3,3	1,0245	285,0	15	46715,15	227,736	38,45	76,9
14.25	-	66,3	-	4,6	1,0262	285,3	20	46842,45	228,357	34,6	69,2
14.30	-	80,7	-	5,2	1,0271	288,4	25	47392,80	231,040	30,75	61,5
14.35	-	98,2	-	6,7	1,0298	291,5	30	48031,46	234,153	26,9	53,8
14.40	-	117,8	-	7,1	1,0307	293,6	35	48419,60	236,046	23,05	46,1
14.45	-	138,5	-	7,9	1,0327	294,7	40	48693,23	237,380	19,2	38,4
14.50	-	200,3	-	8,2	1,0334	335,8	45	55523,59	270,678	15,35	30,7
14.55	-	280,2	-	8,4	1,0339	353,9	50	58544,06	285,402	11,5	23
15.00	-	375,8	-	9,3	1,0364	369,6	55	61290,65	298,792	7,65	15,3
15.05	-	482,5	42,7	11,2	1,0427	380,7	60	63513,61	309,629	3,8	7,6

Dengan keadaan awal kaca yaitu sama – sama menggunakan kaca *soda lime glass* 5 mm , setelah dilakukan pengujian proses lengkung selama 60 menit yaitu dari pukul 14.05 sampai dengan pukul 15.05 kaca lengkung terakhir pengujian telah didapat.

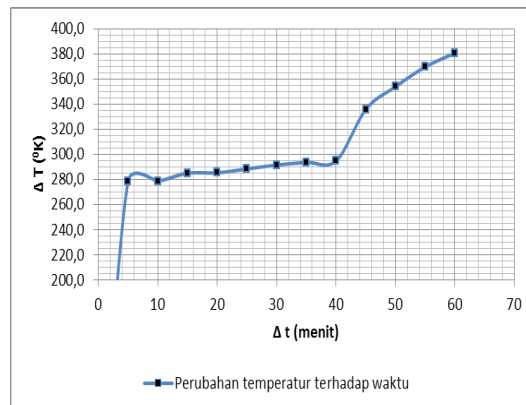
Perubahan variabel suhu diruang pemanasan atau dapur tinggi meningkat dengan cepat, terlihat dari alat pengukuran suhu atau panas (*thermocople*) mengalami perubahan selama 5 menit. Kelembaban udara ruang dapur tinggi menunjukkan 20% dan saat temperatur mencapai 32,3 °C panas ruang mengalami perubahan menjadi 482,5 °C. Hal ini disebabkan oleh lajunya penguapan panas yang terjadi diruang pembakaran kaca.



Gambar 4. Temperatur dan perubahan defleksi

Dari keterangan grafik di atas diterangkan bahwa perubahan variabel temperatur ruangan terhadap perubahan *defleksi* kaca setelah terkena panas sampai mencapai temperatur yang ideal

adalah $482,5^{\circ}\text{C}$ sehingga kaca mengalami perubahan *defleksi* yang awalnya $1,9^{\circ}\text{C}$ menjadi $11,2^{\circ}\text{C}$ adalah perubahan kaca lembaran yang datar menjadi melengkung sesuai cetakan yang telah di ukur sebelumnya.

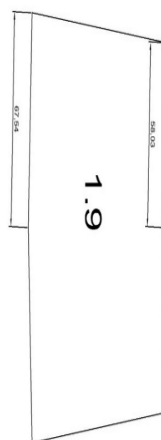


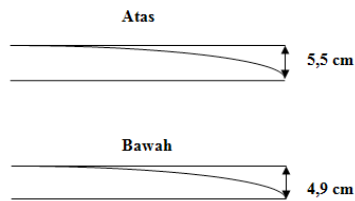
Gambar 5. Perubahan Temperatur Terhadap Waktu

Untuk perubahan temperatur sampai ke temperatur ideal kaca (ΔT) antar dinding dalam ruangan dan kaca , untuk bagian dinding akan terdapat perbedaan panas dalam dan luar, tetapi panas pada kaca lebih tinggi temperaturnya dibandingkan udara sekitar dinding dalam.

Besarnya temperatur bisa dilihat dari awal kaca masuk dengan menggunakan alat pengukur panas (*thermocouple*) yaitu $34,9^{\circ}\text{C}$ sampai kaca berubah menjadi kaca lengkung yaitu $482,5^{\circ}\text{C}$.

Kaca dipanaskan dengan menggunakan metode pemanasan konveksi terhadap waktu dapat diasumsikan dari jam 14.05 per 5 menit dapat dilihat dari grafik di atas suhu berubah di 5 menit pertama yaitu 45586,13 Joule sampai pada 1 jam atau waktu 15.05 yaitu 63513,61 Joule. metode pemanasan konduksi terhadap waktu dapat diasumsikan dari jam 14.05 per 5 menit dapat dilihat dari grafik di atas suhu berubah di 5 menit pertama yaitu 0,094 Joule sampai pada 1 jam atau waktu 15.05 yaitu 0,130 Joule. Bisa di asumsikan bahwa perpindahan panas konveksi terhadap kaca per 5 menit mengalami perubahan suhu yang sangat besar dikarenakan laju aliran panas menyerap kaca sangat baik sehingga dalam waktu 1 jam kaca sudah melengkung.





Gambar 6. Perubahan Dimensi Kaca

Berdasarkan data yang telah didapatkan dari pengujian menjelaskan bahwa terjadi perubahan setiap temperatur yang sangat jelas pada saat kaca melengkung. Pembakaran kaca *soda lime glass* diukur dengan menggunakan *thermocouple* sampai kaca itu terbentuk. Berdasarkan perbandingan suhu, untuk pembakaran kaca *soda lime glass* secara kontinu terus mengalami peningkatan dan didapatkan nilai rata-rata *temperatur* selama proses yaitu sebesar $482,5^{\circ}\text{C}$. Keadaan tersebut membuktikan peran kompor pembakaran sebagai penyerap panas yang terbuat dari bata tahan api dan batu serta lapisan semen yang tahan terhadap panas. Adapun temperatur pada saat pengujian yaitu dirata-ratakan dengan nilai $146,7^{\circ}\text{C}$. Dengan temperatur ruang yang lebih tinggi maka akan berpengaruh terhadap laju pembakaran pelengkungan kaca. Dan terbukti dalam proses penelitian yang dibuktikan dengan data pada tabel bahwa laju penyerapan panas pada pembakaran kaca *soda lime glass* lebih tinggi temperaturnya. Dilihat dari tabel di atas bahwa perubahan *defleksi* pada setiap waktu sehingga kaca itu melengkung di pengaruhi oleh temperatur luar dan dalam dapur pembakaran. Setelah dilakukan pengujian, selama 1 jam yaitu dari pukul 14.05 sampai dengan pukul 15.05 jumlah bahan bakar yang dikeluarkan semakin berkurang setiap 5 menit sampai kaca berubah bentuk. Untuk hasil pendinginan kaca menggunakan pendinginan secara alami menunjukkan nilai $42,7^{\circ}\text{C}$.

KESIMPULAN

Dari hasil analisa yang telah dilaksanakan tentang analisa pelengkungan kaca lembaran jenis *soda lime glass*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada proses pelengkungan kaca lembaran jenis *soda lime glass* menjadi kaca lengkung yang ketebalannya berukuran 5 mm, didapat perubahan lengkung kaca jadi sebesar $11,2^{\circ}$. Proses perubahan ideal defleksi kaca dihitung setiap 5 menit dalam waktu 60 menit selama proses pelengkungan.
2. Di dalam proses pelengkungan kaca di dapat nilai akhir aliran konduksi senilai 309,629 Joule dan konveksi senilai 63513,61 Joule selama akhir waktu 1 jam atau 60 menit.
3. Adapun suhu yang didapat selama proses pelengkungan di dapat suhu awal ruangan pembakaran $34,9^{\circ}\text{C}$ dan suhu sampai kaca terbentuk yaitu $482,5^{\circ}\text{C}$.
4. Perubahan temperatur awal kaca 0°C menjadi $380,7^{\circ}\text{C}$ pada waktu 60 menit kaca sudah jadi terbentuk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Nyonguè, S. Bouzid, E. Dossou, and Z. Azari, "Journal of Asian Ceramic Societies Fracture characterisation of float glass under static and dynamic loading," *Integr. Med. Res.*, vol. 4, no. 4, pp. 371–380, 2016.
- [2] K. P. Rushton, S. A. Coulson, A. W. N. Newton, and J. M. Curran, "The effect of annealing on the variation of glass refractive index," *Forensic Sci. Int.*, vol. 209, no. 1–3, pp. 102–107, 2011.

- [3] J. Deubener *et al.*, “Updated definition of glass-ceramics,” *J. Non. Cryst. Solids*, no. January, pp. 1–8, 2018.
- [4] A. Vedralnam, “Experimental and simulation studies on delamination strength of laminated glass composites having polyvinyl butyral and ethyl vinyl acetate inter-layers of different critical thicknesses,” *Def. Technol.*, pp. 1–5, 2018.
- [5] K. Tapasa and T. Jitwatcharakomol, “Thermodynamic calculation of exploited heat used in glass melting furnace,” *Procedia Eng.*, vol. 32, pp. 969–975, 2012.
- [6] Asahimas Flat Glass tbk, “Modified Float Process.” Jakarta Tank Furnace 3, Januari 1983.
- [7] Standar Nasional Indonesia and Badan Standar Nasional, “Flat glass,” SNI 15-0047-2005; SNI 15-0130-1999, 2005.
- [8] Y. Zhang, Q. S. Wang, X. Bin Zhu, X. J. Huang, and J. H. Sun, “Experimental study on crack of float glass with different thicknesses exposed to radiant heating,” *Procedia Eng.*, vol. 11, pp. 710–718, 2011.
- [9] C. Zheng, P. Wu, V. Costanzo, Y. Wang, and X. Yang, “ScienceDirect ScienceDirect Establishment and Verification of Solar Radiation Calculation Model of Glass Daylighting Roof in Hot Summer and Warm Winter Zone in China,” *Procedia Eng.*, vol. 205, pp. 2903–2909, 2017.