



U N T U K B A N G U N A N

Christina E. Mediastika

(dengan kontribusi Luciana Kristanto & Juliana Anggono)

*... dipersembahkan untuk keluarga yang telah sangat mendukung ...
... and to Prof. Mohd. Hamdan Bin Hj. Ahmad of Universiti Teknologi Malaysia (UTM)
for providing a peaceful and comfortable space for Christina to finish the book ...*

D A F T A R I S I

PRAKATA

BAB I Mengenal Kaca

Sejarah Kaca

BAB II Material Penyusun dan Jenis Kaca

2.1. Material Kaca

2.2. Pembuatan Kaca

2.3. Jenis Kaca

BAB III Industri Kaca

3.1. Industri Kaca di Dunia

3.2. Industri Kaca di Asia Tenggara dan Indonesia

3.3. Industri Kusen

BAB IV Standarisasi

4.1. Standar di Indonesia

4.2. Standar Internasional

BAB V Struktur, Sifat Kimiawi, Fisis, dan Mekanis

5.1. Struktur Kaca

5.2. Sifat Kaca

- Ketahanan Kimiawi
- Sifat Fisis – Mekanis Kaca

5.3. Evaluasi Kegagalan

BAB VI Sifat Termal Dan Optik

6.1. *Coefficient of Thermal Expansion*

6.2. *Thermal Conductivity*

6.3. *Thermal Shock Resistance*

6.4. *Heat Processing*

6.5. *Time Lag dan Decrement Factor*

6.6. Sifat Optik

BAB VII Sifat Akustik Kaca Dan Perangkatnya

- 7.1. Kemampuan Insulasi
- 7.2. Metode Pengujian
- 7.3. *Transmission Loss* (TL)
- 7.4. *Sound Transmission Class* (STC)
- 7.5. *Outdoor-Indoor Transmission Class* (OITC)
- 7.6. Pengaruh Kusen pada Kualitas Akustik

BAB VIII Kaca Dalam Arsitektur

- 8.1. Kaca sebagai Struktur Utama Bangunan
- 8.2. Kaca sebagai Material Selubung Bangunan
- 8.3. Kaca sebagai Ornamen
- 8.4. Kaca sebagai Bagian Utilitas Bangunan

BAB IX Pemasangan, Pemeliharaan dan Material Tambahan

- 9.1. Pemasangan Konvensional
- 9.2. Pemasangan Non-Konvensional
- 9.3. Pemeliharaan Kaca
- 9.4. Pemotongan Kaca
- 9.5. Material Tambahan pada Kaca

DAFTAR PUSTAKA

GLOSARIUM

INDEKS

D A F T A R G A M B A R

- Gambar 1.1.** “Apple store”
Gambar 1.2. Tren bangunan kaca
Gambar 1.3. Kaca mobil
Gambar 1.4. Batu obsidian dan batu tektite
Gambar 1.5. Rute perjalanan para pedagang Venesia di sepanjang tepi laut Mediterranean
Gambar 1.6. Gelas kaca Romawi dalam tipe yang disebut *diatret*
Gambar 1.7. Sejarah perkembangan penemuan kaca
Gambar 1.8. Ilustrasi industri kaca pada abad-abad awal
Gambar 1.9. Ilustrasi industri kaca pada abad yang lebih modern
Gambar 1.10. Barang pecah-belah dari kaca pada masa awal kaca ditemukan
Gambar 1.11. Cara manual pembuatan barang dari kaca yang berongga dengan cetakan dan sistem tiup
Gambar 1.12. Di tangan seniman, kaca juga bisa dibentuk menjadi benda-benda yang lebih rumit
Gambar 1.13. Crystal Palace (1854) di Inggris
Gambar 1.14. Dewasa ini pemanfaatan kaca telah berkembang sangat pesat
- Gambar 2.1.** Gundukan pasir kuarsa
Gambar 2.2. Natrium karbonat
Gambar 2.3. Bongkahan dolomit
Gambar 2.4. Dolomit serbuk
Gambar 2.5. Kapur tohor atau gamping
Gambar 2.6. Bongkahan feldspar dan feldspar serbuk
Gambar 2.7. Serbuk asam borat atau boraks
Gambar 2.8. *Cullet*
Gambar 2.9. Gelembung pada kaca
Gambar 2.10. Ikatan molekul pada kaca jenis-jenis tertentu
Gambar 2.11. *Pot furnace*
Gambar 2.12. *Tank furnace* yang berisi campuran serbuk bahan baku
Gambar 2.13. *Regenerative tank*
Gambar 2.14. Pembuatan kaca dengan proses tiup
Gambar 2.15. Proses pembuatan kaca datar dengan cara setengah mekanik
Gambar 2.16. Proses Fourcault
Gambar 2.17. Proses Colburn
Gambar 2.18. Proses *fussion* dan *down-draw*
Gambar 2.19. Proses apung
Gambar 2.20a. Skematik proses tiup mekanik
Gambar 2.20b. Industri botol yang menggunakan proses tiup mekanik
Gambar 2.21. Tepian kaca lembaran yang telah mengalami proses pemotongan lanjutan
Gambar 2.22. Kaca berpermukaan halus bening dan buram
Gambar 2.23. Contoh dua macam blok kaca
Gambar 2.24. Perbedaan warna pada kaca yang seolah-olah bening
Gambar 2.25. Hotel Hesperia di Bilbao
Gambar 2.26. Gelas ukur yang terbuat dari kaca pyrex
Gambar 2.27. Pemanggang roti yang menggunakan kaca *heat-resistant glass*
Gambar 2.28. Proses pembuatan *strengthened glass* dan *tempered glass*
Gambar 2.29. Ilustrasi perbedaan tekanan bagian dalam dan luar pada kaca *strengthened* dan *tempered*
Gambar 2.30. Perbedaan butiran pecahan kaca *strengthened* dan *tempered*
Gambar 2.31. *Laminated glass* dengan bermacam-macam jumlah lapisan/lembaran kaca
Gambar 2.32. Kaca *laminated* yang pecah akan membentuk pola sarang laba-laba yang tetap menempel
Gambar 2.33. Proses pembuatan kaca *laminated*

Gambar 2.34. Skematik perbandingan kaca biasa dan kaca *low-e*
Gambar 2.35. Prinsip kerja *smart glass* elektrokromik
Gambar 2.36. Tampilan *smart glass* saat diaktifkan (*on-mode*) dan dinon-aktifkan (*off-mode*)
Gambar 2.37. Bentuk kerai mikro yang berada di dalam kaca
Gambar 2.38. Berbagai bentuk blok kaca
Gambar 2.39. Toko pakaian di Shanghai yang dirancang menggunakan blok kaca sepenuhnya
Gambar 2.40. Detil penggunaan blok kaca secara masif pada area masuk toko pakaian di Shanghai.
Gambar 2.41. Kaca tahan peluru di toko perhiasan
Gambar 2.42. Proses pengetesan *secure glass* setebal 13 mm
Gambar 2.43. *Wired glass* untuk pengisi daun pintu
Gambar 2.44. Salah satu kaca yang diburamkan dengan *Hydrofluoric acid*
Gambar 2.45. Beberapa macam kaca lengkung
Gambar 2.46. Cara membuat kaca lengkung dengan cetakan
Gambar 2.47. Kaca yang diukir yang diletakkan sebagai pembatas ruangan
Gambar 2.48. Kaca *cast* tipe kiln
Gambar 2.49. Kaca keramik *frit*
Gambar 2.50. *Channel glass* dan penggunaannya pada dinding
Gambar 2.51. *Dichroic glass*
Gambar 2.52. *Etched glass*
Gambar 2.53. *Frosted glass*
Gambar 2.54. *Laser etched glass*
Gambar 2.55. *Non-slip surface glass*
Gambar 2.56. *Painted/back painted glass*
Gambar 2.57. Motif paling umum dijumpai dalam *patterned/rolled glass*
Gambar 2.58. Lembaran silikon berwarna untuk melapisi kaca
Gambar 2.59. Kaca yang mengalami pelapisan *nanoscopic* dan tidak

Gambar 3.1. Logo-logo industri besar kaca di dunia
Gambar 3.2. Kantor pusat Pittsburg Plate Glass Company di Pittsburgh
Gambar 3.3. Logo-logo industri kaca di di Asia Tenggara
Gambar 3.4. Logo-logo industri kaca di Indonesia
Gambar 3.5. Kunjungan ke PT. Tossa Shakti, PT. Muliaglass, dan PT. Magiglass
Gambar 3.6. Jenis kayu yang banyak digunakan untuk kusen jendela kaca
Gambar 3.7. Berbagai macam warna kusen aluminium
Gambar 3.8. Profil kusen uPVC dengan penguat besi kanal C pada bagian dalam
Gambar 3.9. Kunjungan penulis ke PT. Terryham Proplas Indonesia
Gambar 3.10. Dua contoh bangunan kuno dengan kusen besi untuk memegang jendela kaca mati
Gambar 3.11. Beberapa macam kusen untuk memegang jendela kaca

Gambar 4.1. Botol kaca yang dipenuhi *bloom* dan yang bening tanpa *bloom*
Gambar 4.2. Kaca jendela yang menggunakan *bullseye* di Gereja St. Michael the Archangel
Gambar 4.3. Gelas dengan tipe kaca *carnival*
Gambar 4.4. *Chain marks*
Gambar 4.5. *Corrugated glass*
Gambar 4.6. *Double glazing unit*
Gambar 4.7. *Slab glass*
Gambar 4.8. *Solarization pada kaca*
Gambar 4.9. *Spandrel glass* dan posisi penempatannya

Gambar 5.1. Hubungan antara volume dan suhu pada proses pembentukan material
Gambar 5.2. Skema dua dimensi susunan atom pada kristal (teratur) dan kaca (amorf)
Gambar 5.3. Hasil XRD tiga jenis kaca berbeda yang tersedia di pasaran

Gambar 5.4. Detil susunan ikatan atom-atom kaca antara Si, O, dan Na
Gambar 5.5. Cairan asam Hidrofluoric
Gambar 5.6. Percobaan bola lampu kaca yang direndam dalam asam Hidrofluoric
Gambar 5.7. Gaya yang bekerja pada kaca
Gambar 5.8. Skematik gaya yang bekerja pada kaca saat pengujian tegangan dan regangan
Gambar 5.9. Kaca jenis baru yang diproduksi Dinorex dari Nippon Electric Glass
Gambar 5.10. Uji tekuk tiga titik dan empat titik
Gambar 5.11. Peningkatan kekuatan kaca yang mengalami *quenching* dan temperasi
Gambar 5.12. Kaca yang mengalami *ion exchange* dengan KNO_3
Gambar 5.13. Kaca yang mengalami *surface crystalization* menggunakan Barium Oksida (BaO)
Gambar 5.14. Proses peningkatan kekuatan kaca dengan *fire polishing*
Gambar 5.15. Skematik peningkatan kekuatan kaca ketika mengalami pemanasan
Gambar 5.16. Peralatan untuk menguji kekuat material terhadap abrasi dengan metode Taber
Gambar 5.17. Perbandingan hasil uji abrasi metode Taber untuk polikarbonat dan kaca borosilikat
Gambar 5.18. Tipikal kegagalan kekuatan kaca
Gambar 5.19. Tampak kaca yang mengalami *low energy impact*
Gambar 5.20. Tampak kaca yang mengalami *high energy impact*
Gambar 5.21. Tampak karakteristik kaca temperasi yang mengalami *energy impact*
Gambar 5.22. Viskositas kaca terhadap perubahan suhu

Gambar 6.1. *Parameter U-factor, VT, SHGC, dan UV* pada kaca
Gambar 6.2. Warna-warna kaca yang dipakai sebagai referensi Tabel 6.1
Gambar 6.3. Prinsip terjadinya refraksi cahaya pada kaca
Gambar 6.4. Penguraian cahaya pada prisma kaca
Gambar 6.5. Skematik proses transmisi cahaya pada kaca

Gambar 7.1. Peristiwa pemantulan, penyerapan dan penerusan gelombang bunyi
Gambar 7.2. Spesifikasi ruang uji menurut ASTM E90-09
Gambar 7.3. Spesifikasi ruang uji di Puslitbangkim PU, Cileunyi
Gambar 7.4. Dimensi tampak depan jendela yang diuji
Gambar 7.5. Potongan vertikal dan horisontal dinding dan jendela yang diuji
Gambar 7.6. Munculnya *coincidence dip* pada frekuensi 125 Hz untuk kaca laminasi
Gambar 7.7. Potongan vertikal model jendela yang diuji untuk melihat OITC-nya.
Gambar 7.8. Skematik dan foto penempatan jendela yang diuji dengan posisi tegak lurus
Gambar 7.9. Skematik dan foto penempatan jendela yang diuji dengan posisi bersudut 60°
Gambar 7.10. Skematik dan foto penempatan jendela yang diuji dengan posisi bersudut 90°
Gambar 7.11. Grafik OITC untuk berbagai posisi jendela yang diuji dan spesifikasinya masing-masing
Gambar 7.12. Simulasi dengan COMSOL 5.0 yang menunjukkan penyebaran medan bunyi
Gambar 7.13. Detil potongan kusen kayu model jendela mati dan buka-tutup
Gambar 7.14. Detil potongan kusen aluminium model jendela mati dan buka-tutup
Gambar 7.15. Detil potongan kusen uPVC model jendela mati dan buka-tutup
Gambar 7.16. Kontur TL yang menunjukkan bahwa jendela kaca secara umum memiliki OITC rendah

Gambar 8.1. Penggunaan material kaca sebagai kolom
Gambar 8.2. Penggunaan material kaca sebagai balok
Gambar 8.3. Potongan/pecahan kaca jendela pada awal ditemukan
Gambar 8.4. Bayangan kaca jendela yang terkena sinar dan jatuh ke dinding di seberang jendela
Gambar 8.5. Kaca *bullseye* yang dihasilkan dari metode pembuatan *crowns* oleh Lamberts Glass (Germany)
Gambar 8.6. Bagian atap yang menjorok melebihi dinding adalah teritis yang akan melindungi kaca
Gambar 8.7. Pada bangunan tinggi, penggunaan teritis bisa jadi kurang sesuai
Gambar 8.8. *Double-glass-layer* pada dinding
Gambar 8.9. Dinding kaca penuh dengan modul kaca besar-besar per lantai

- Gambar 8.10.** Proses penyusunan dinding *glass-brick*
- Gambar 8.11.** Crystal house of Channel di Amsterdam dengan fasad *glass-brick*
- Gambar 8.12.** Icon Siam, pusat perbelanjaan baru di Bangkok
- Gambar 8.13.** Dinding kaca penuh sebagai *sound barrier* di Cologne, Germany
- Gambar 8.14.** Nampak pengguna lantai lebih memilih lantai konvensional dibanding lantai kaca
- Gambar 8.15.** Lalu-lalang pengguna lantai kaca dapat memecah konsentrasi pengguna di bawahnya
- Gambar 8.16.** Pengguna wanita harus lebih menjaga langkahnya ketika menapaki lantai kaca bening
- Gambar 8.17.** Modul balok penyangga kaca yang kecil-kecil
- Gambar 8.18.** Balok penyalur beban lantai kaca yang juga terbuat dari kaca
- Gambar 8.19.** Grafik yang menunjukkan kebutuhan ketebalan kaca untuk lantai sesuai bentang
- Gambar 8.20.** Grafik yang menunjukkan kebutuhan ketebalan kaca untuk lantai sesuai luas area
- Gambar 8.21.** Panel kaca lantai memerlukan pelapis sebelum bertemu balok penyangga
- Gambar 8.22.** Lantai kaca yang menggunakan *sandblasted* glass agar tidak licin
- Gambar 8.23.** Perlakuan *acid etched* pada kaca agar tidak licin saat digunakan sebagai lantai
- Gambar 8.24.** Tangga yang keseluruhan materialnya dari kaca
- Gambar 8.25.** Atap kaca semacam ini kurang sesuai untuk daerah tropis
- Gambar 8.26.** Museum Louvre di Perancis yang menggunakan atap kaca secara keseluruhan
- Gambar 8.27.** Bagian dalam Museum Louvre di Perancis yang menggunakan atap kaca secara keseluruhan
- Gambar 8.28.** Sebagai rangkaian dari atap kaca yang digunakan untuk meneruskan sinar matahari
- Gambar 8.29.** Lampu kristal kaca sebagai ornamen pada ruang tangga dan *lobby*
- Gambar 8.30.** Istana Golestan di Tehran, Iran, yang beberapa ruangnya dipenuhi dengan modul cermin
- Gambar 8.31.** *Elevator* berdinding kaca
- Gambar 8.32.** Kaca sebagai pipa plumbing, wastafel, kloset duduk, dan *bathtub*
-
- Gambar 9.1.** Arah pemuaian pada kayu
- Gambar 9.2.** *Coakan* kecil pada sisi dalam kayu untuk menempatkan kaca agar terkunci
- Gambar 9.3.** Kusen kayu yang memegang kaca memiliki kupingan dan angkur
- Gambar 9.4.** Untuk memenuhi estetika, sisi siku kusen biasanya diberi profil lekuk
- Gambar 9.5.** Contoh pemasangan kusen kayu yang dilakukan pada keadaan dinding bata setengah jadi
- Gambar 9.6.** Kusen kayu yang dipesan pada tukang kayu (pembuat kusen) telah siap untuk diangkut
- Gambar 9.7.** Kusen aluminium motif kayu yang tidak dilengkapi *kupingan*
- Gambar 9.8.** Macam-macam penampang atau profil kusen aluminium
- Gambar 9.9.** Pemasangan kusen aluminium pada bangunan dilakukan setelah pengerjaan dinding selesai
- Gambar 9.10.** Kusen dan jendela uPVC yang siap dipasang
- Gambar 9.11.** Profil kusen uPVC
- Gambar 9.12.** Kusen uPVC lebih kokoh
- Gambar 9.13.** Konstruksi buka tutup pada kusen uPVC yang sedikit rumit
- Gambar 9.14.** Pemasangan kusen baja ringan pada dinding setengah jadi
- Gambar 9.15.** Model kusen baja ringan yang dapat dipasang pada dinding yang sudah siap
- Gambar 9.16.** Pemasangan kusen beton pada dinding setengah jadi
- Gambar 9.17.** Lubang yang telah disiapkan pada kaca sebelum kaca dipasang dengan sistem tanpa *frame*
- Gambar 9.18.** Sistem pemasangan kanopi dengan tipe gantung dengan melubangi kaca
- Gambar 9.19.** Detil pemasangan *spider fittings*
- Gambar 9.20.** *Spider fitting* dengan penyalur beban *truss*
- Gambar 9.21.** *Spider fitting* dengan penyalur beban kabel
- Gambar 9.22.** Variasi dari *spider fitting* (model pemegang tidak seperti kaki laba-laba)
- Gambar 9.23.** Variasi *spider fitting* dengan penyalur beban sirip kaca (*glass fins*)
- Gambar 9.24.** Penyalur beban model sirip kaca yang disambung-sambung dengan pen besi
- Gambar 9.25.** Proses pemasangan kaca di Icon Siam Bangkok
- Gambar 9.26.** Kaca dimatikan dengan ditanam pada dinding dan lantai
- Gambar 9.27.** *Balustrade* kaca yang dipasang dengan cara ditanam pada lantai
- Gambar 9.28.** Dinding kaca yang dipasang dengan sistem sirip kaca, klem, lem, dan *sealant*
- Gambar 9.29.** Dinding kaca yang dipasang dengan sistem sirip kaca dan klem

- Gambar 9.30.** Dinding dan pintu kaca
- Gambar 9.31.** Dinding kaca pada bangunan tinggi
- Gambar 9.32.** Kaca ber-*frame* diangkat ke atas menggunakan gondola
- Gambar 9.33.** Nampak *frame* berada di belakang kaca pada suatu modul kaca yang siap diangkat ke atas
- Gambar 9.34.** Permukaan kaca di bawah mikroskop
- Gambar 9.35.** Kaca yang dialiri air untuk memberikan kesan alami dan keindahan
- Gambar 9.36.** Jamur kaca
- Gambar 9.37.** Kerak pada kaca
- Gambar 9.38.** Peralatan untuk membersihkan dan memoles kaca
- Gambar 9.39.** Penampakan kaca yang tidak mengalami *nano coating* dan yang diberi *nano coating*
- Gambar 9.40.** Pemberian *nano coating* akan membuat permukaan kaca benar-benar tertutup sempurna
- Gambar 9.41.** Pekerja pembersih kaca bangunan tinggi menggunakan tali penggantung saja
- Gambar 9.42.** Pekerja pembersih kaca bangunan tinggi menggunakan kereta gantung
- Gambar 9.43.** *Gondola* yang diletakkan pada atap bangunan tinggi untuk berbagai keperluan
- Gambar 9.44.** Proses penyambungan kaca lengkung dengan las kaca sistem laser
- Gambar 9.45.** Bagian kaca yang retak dan setelah dipanaskan dengan alat las
- Gambar 9.46.** Mesin pemotong kaca otomatis yang digunakan di pabrik kaca
- Gambar 9.47.** Alat pemotong kaca manual dan cara memotongnya
- Gambar 9.48.** Alat pemotong kaca untuk membentuk lingkaran
- Gambar 9.49.** Menghaluskan tepi kaca dengan kertas gosok atau dengan mesin
- Gambar 9.50.** Alat pembuat *bevel* kaca
- Gambar 9.51.** Berbagai ukuran mata bor khusus untuk membuat lubang di kaca
- Gambar 9.52.** Mengebor kaca dengan cara dibasahi manual atau menggunakan alat pengalir air
- Gambar 9.53.** Melubangi kaca dibantu plastisin untuk menampung air
- Gambar 9.54.** Karet penghisap kaca dan cara memindahkan kaca
- Gambar 9.55.** Persentase kaca film menurut kemampuan melewatkan cahaya/*view*
- Gambar 9.56.** Persentase kaca film menurut kemampuan menutup cahaya/*view*
- Gambar 9.57.** Kaca film dengan hiasan ilalang
- Gambar 9.58.** Kaca film warna hijau yang dilapiskan pada kanopi kaca agar sesuai warna dinding

D A F T A R T A B E L

Tabel 5.1. Contoh kuat tekan beberapa jenis kaca

Tabel 5.2. Sifat mekanis kaca dan material lain

Tabel 5.3. Modulus Young dan modulus Shear beberapa jenis kaca

Tabel 5.4. Perlakuan yang dapat dilakukan untuk menambah kekuatan mekanis kaca

Tabel 5.5. Densitas beberapa material bangunan termasuk kaca

Tabel 6.1. *U-value* untuk kaca tunggal dan kaca ganda

Tabel 6.2. Perbandingan *thermal conductivity* beberapa material

Tabel 6.3. Nilai *U-factor* VT, SHGC, dan UV pada beberapa jenis kaca untuk *skylight*

Tabel 6.4. Properti optik beberapa jenis kaca terhadap radiasi matahari

Tabel 6.5. Indeks bias beberapa jenis kaca yang berbeda

Tabel 7.1. STC tiga jenis kaca pada dua keadaan suhu yang berbeda

Tabel 7.2. OITC tiga jenis kaca pada dua keadaan suhu yang berbeda

Tabel 7.3. OITC jendela kaca gantung atas, menurut posisi tertentu untuk jenis kaca flat monolitik

Tabel 7.4. Spesifikasi kusen jendela kaca yang diuji

Tabel 7.5. OITC jendela kaca dengan berbagai kusen dan spesifikasi

Tabel 9.1. Koefisien pemuaian panjang pada beberapa material

P R A K A T A

Buku mengenai kaca bangunan ini ditulis atas keprihatinan minimnya buku mengenai material modern „kaca” pada penggunaannya di dunia arsitektur. Padahal dengan semakin semaraknya penggunaan kaca untuk bangunan, yang kini nampaknya menjadi tren dikalangan arsitek, pengetahuan tentang kaca sangatlah penting. Mahasiswa arsitektur yang kelak menjadi arsitek menerima kuliah mengenai bahan bangunan, namun cenderung tidak spesifik dan mendalam, terutama yang terkait kaca. Pertimbangan dalam pemilihan penggunaan kaca akan menentukan penggunaan kaca yang tepat sesuai fungsi dan tetap aman dan nyaman bagi pengguna. Informasi mengenai hal ini masih sangat minim tersedia bagi dunia pendidikan arsitektur.

Buku ini memberikan informasi yang mendalam terkait kaca, mulai sejarahnya, jenisnya dan sifat-sifat fisik yang menyertainya. Tidak terlepas pula disajikan tentang pemanfaatan kaca pada bangunan, mulai pemasangan, pemeliharaan, sampai penambahan material tambahan pada kaca. Diharapkan buku ini dapat memperkaya wawasan para mahasiswa arsitektur, para arsitek, maupun mereka yang secara umum bergerak di dunia rancang bangun, serta awam yang ingin menambah wawasan mengenai kaca.

Fokus sajian buku ini sesungguhnya pada sifat akustika kaca dan perangkat yang menyertainya, mengingat penggunaan kaca di iklim tropis seperti Indonesia, sangat dimungkinkan menghasilkan karakteristik kaca yang berbeda dari kaca-kaca yang digunakan pada iklim empat musim. Sayangnya, buku-buku terkait material bangunan, termasuk kaca, yang selama ini digunakan sebagai referensi di Indonesia, adalah buku-buku terbitan negara-negara tersebut. Jika aspek termal, optikal, kimia, dan mekanis kaca cenderung tetap, sebaliknya sifat akustika kaca berbeda. Hal ini tentu sedikit banyak memengaruhi ketepatan informasi yang diperoleh pembaca akan isi buku tersebut. Informasi yang disampaikan oleh buku ini terkait akustika kaca, diharapkan sesuai dengan kebutuhan bangunan dengan keadaan iklim Indonesia.

Penulis mengucapkan terima kasih pada Ibu Luciana Kristanto yang berkontribusi pada bagian terkait standarisasi dan sifat optikal kaca dan Ibu Juliana Anggono yang berkontribusi pada bagian terkait sifat kimiawi, fisis dan mekanis kaca, serta semua pihak yang telah membantu penyusunan buku ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Penelitian akustika kaca yang kemudian dituliskan dan dilengkapi dengan material lain ke dalam buku ini, didanai oleh skema Penelitian Berbasis Kompetensi (PBK) tahun 2015-2016 dan dilanjutkan pendanaan *sabbatical leave* 2018 oleh Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia. Begitu banyaknya bahan yang dikumpulkan untuk disusun, membuat waktu penulisan berlangsung cukup lama. Akhirnya, Penulis mengucapkan selamat membaca buku ini, semoga memberikan manfaat.

Surabaya, Desember 2018

Christina E. Mediastika

BAB I

MENGENAL KACA

Bagi hampir semua orang, kaca adalah benda yang diasosiasikan dengan sifat bening-tembus pandang dan mudah pecah. Penilaian ini berlawanan dari “besi” atau “kayu”, yang diasosiasikan dengan sifat pampat dan kuat. Begitulah material dari kaca dikenal, namun seiring berjalannya waktu, kini dikenal pula kaca dengan kekuatan yang tangguh, hampir menyerupai material-material lain yang berbahan liat. Dalam dunia rancang bangun, sejak dekade 90-an hingga saat ini, penggunaan kaca sebagai selubung bangunan menjadi hal yang menarik dan semakin digemari. Sifat fisik kaca yang merupakan material transparan, membuat “keterbukaan” adalah salah satu pertimbangan ketika material ini akan digunakan. Kaca pada bangunan menghadirkan kesan modern dan mengesankan bangunan yang bersifat lebih terbuka. Isi atau kegiatan dalam bangunan dapat disaksikan orang yang melintas di dekatnya. Sebagai perbandingan lain, toples kaca transparan akan menarik hati bagi yang melihat untuk membuka tutup toples dan mengambil isinya atau justru sebaliknya, setelah menyaksikan isinya dari luar toples, menjadi tidak tertarik untuk membukanya.

Kaca pada kendaraan bermotor juga berfungsi untuk melindungi pengendara dari terpaan angin dan hujan dan sekaligus untuk memasukkan cahaya luar. Untuk alasan keamanan dan keselamatan, penggunaan kaca di kendaraan juga untuk menunjukkan identitas fisik pengendara dan penumpangnya. Oleh karenanya, penggunaan kaca kendaraan yang dilapisi dengan kaca film dengan tingkat kegelapan tertentu, dilarang di banyak negara, karena menyebabkan identitas fisik pengendara dan atau penumpangnya tidak dapat dikenali dari luar. Kehadiran material kaca sejak 5000 tahun sebelum masehi telah memberikan warna baru bagi kehidupan manusia.

Sejarah kaca

Beberapa cerita muncul terkait sejarah terjadinya kaca, namun tidak jelas benar, mana yang lebih tepat dan mana yang kurang tepat. Ada cerita yang menyampaikan bahwa kaca telah ada sejak jaman bumi ini ada, ketika batu-batuan dalam jenis tertentu meleleh akibat panas yang terjadi di alam, seperti letusan gunung berapi atau sambaran petir. Lelehan batu itu kemudian menjadi dingin dan berubah menjadi transparan. Manusia pra-sejarah juga dipercaya telah menggunakan alat potong yang terbuat dari batu obsidian dan tektite. Batu obsidian adalah batu yang berasal dari muntahan atau letusan gunung berapi dan tektite adalah batu yang berasal dari meteor jatuh (disebut juga *meteoric silica glass*).



Gambar 1.1. “Apple store”, di manapun berada, selalu mengusung konsep transparan, dengan menggunakan bidang kaca yang lebar-lebar, sebagai salah satu trik untuk mengundang calon pembeli dan mengesankan modern seperti halnya merek Apple. Salah satu Apple store di Bahnhofstrasse 77, Zürich. (Sumber [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apple_Store_Bahnhofstrasse_77,_Z%C3%BCrich_\(2009\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apple_Store_Bahnhofstrasse_77,_Z%C3%BCrich_(2009).jpg))



Gambar 1.2. Tren bangunan kaca tidak hanya untuk toko, lobi hotel atau pusat perbelanjaan, namun perkantoran di Berlin ini-pun sudah menggunakan kaca. Privasi visual karyawan tidak lagi terjadi, yang konon justru mendukung karyawan untuk bekerja lebih giat, bukan bermalas-malasan.



Gambar 1.3. Kaca mobil untuk melindungi pengendara, memasukkan cahaya luar dan menunjukkan identitas fisik pengendara.

(Sumber <http://matthewhelm2011.blogspot.com/2012/01/modern-vs-old.html>)



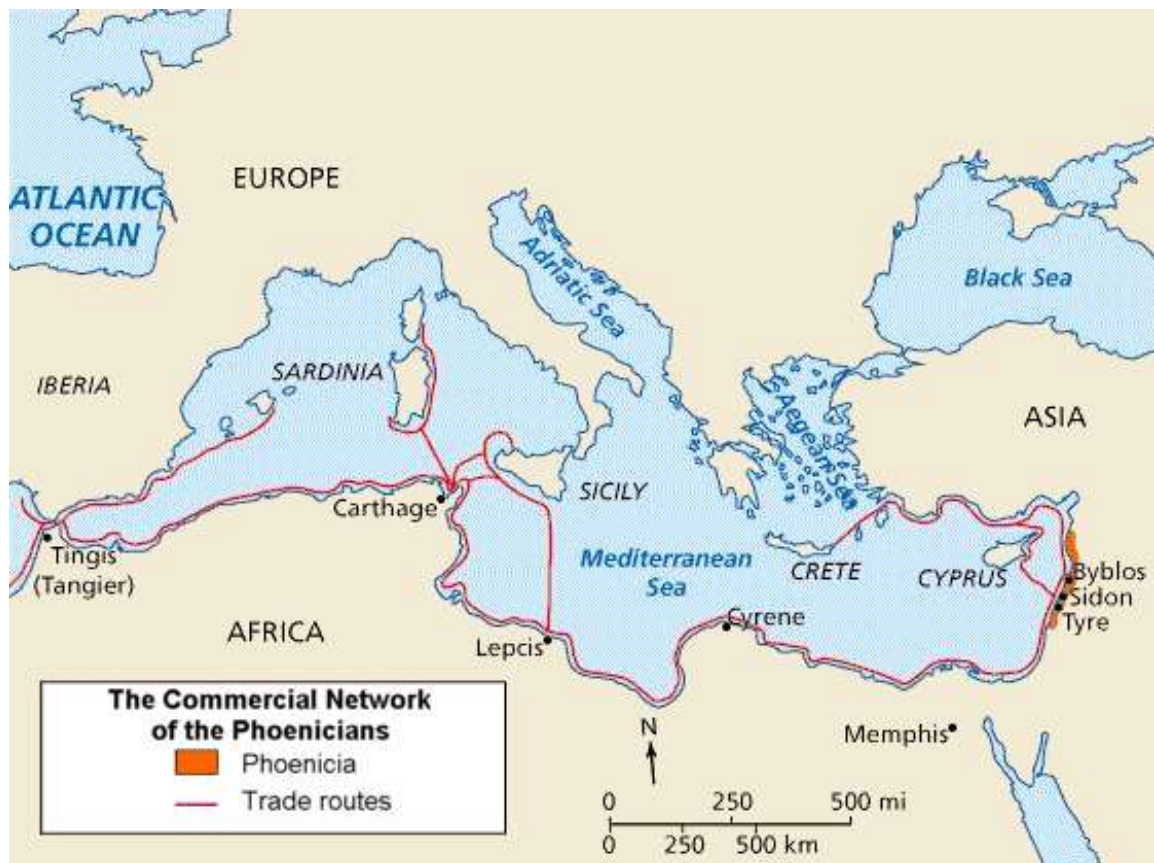
Gambar 1.4. Batu obsidian (a) dan batu tektite (b).

(Sumber <https://www.thinglink.com/scene/500022468560289793> dan <http://www.galleries.com/tektites>)

Sementara itu menurut ahli sejarah Romawi kuno, Pliny, yang hidup pada tahun 23-79 M, kaca ditemukan secara tidak sengaja di daerah sekitar Syria (Ind: Suriah) ketika sekumpulan pedagang dari Venesia yang tengah beristirahat di tepi pantai, memasak makanannya dalam periuk. Ketika selesai memasak dan periuk menjadi dingin, ternyata periuk telah berubah menjadi transparan, seperti halnya yang sekarang kita kenal sebagai kaca. Kejadian ini terjadi pada 5000 tahun sebelum masehi (SM). Periuk yang pampat berubah menjadi transparan, kemungkinan karena periuk tersebut terbuat dari tanah dan

bercampur dengan pasir pantai yang mengandung silika, serta proses memasak yang menggunakan api sangat panas.

Pada 3500 SM, konon mulai dilakukan pembuatan produk kaca secara sengaja di Mesir dan Mesopotamia Timur (Mesopotamia sekarang disebut Irak). Namun demikian, pada abad ini masih belum bisa menghasilkan kaca transparan, tetapi hanya berupa manik-manik yang tidak transparan. Baru pada abad 3000, di Mesopotamia Tengah, ditemukan produk-produk kaca untuk benda-benda yang lebih besar, seperti mangkuk besar (semacam panci) dan vas bunga. Selanjutnya setelah temuan ini, para pedagang Venesia dan para pelaut-lah yang menyebarkan seni membuat kaca di sepanjang pantai laut Mediterrania.



Gambar 1.5. Rute perjalanan para pedagang Venesia di sepanjang tepi laut Mediterrania.
(Sumber <https://en.wikipedia.org/wiki/Phoenicia#/media/File:PhoenicianTrade.png>)

Produk-produk berbahan kaca yang dibuat berongga serta lebih tipis mulai dikenal di Mesopotamia, Yunani, China, dan Tyrol Utara (daerah Austria Barat), pada abad 1600 SM. Setelah 1500 SM, pengrajin Mesir telah mulai mengembangkan metode untuk memproduksi mangkuk kaca dengan mencelupkan cetakan ke dalam bahan kaca cair

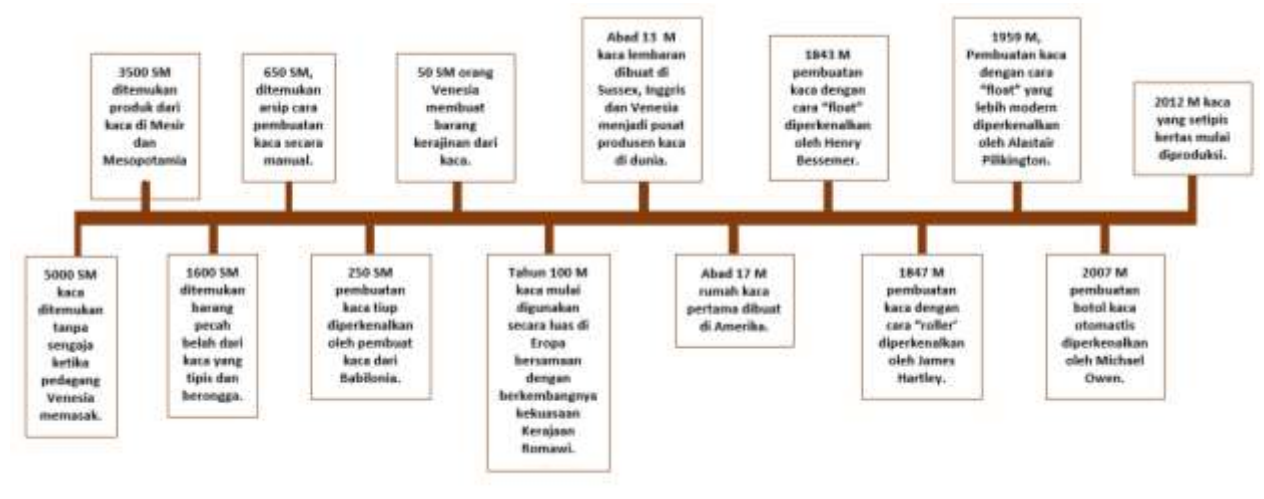
sehingga cairan kaca menempel pada cetakan itu. Ketika material kaca masih dalam keadaan lunak, cetakan kemudian digulungkan/ digelindingkan di atas lempengan batu untuk memperoleh tekstur hiasan. Produsen kaca besar dan terkenal di dunia dijumpai di Mesopotamia dan Alexandria.



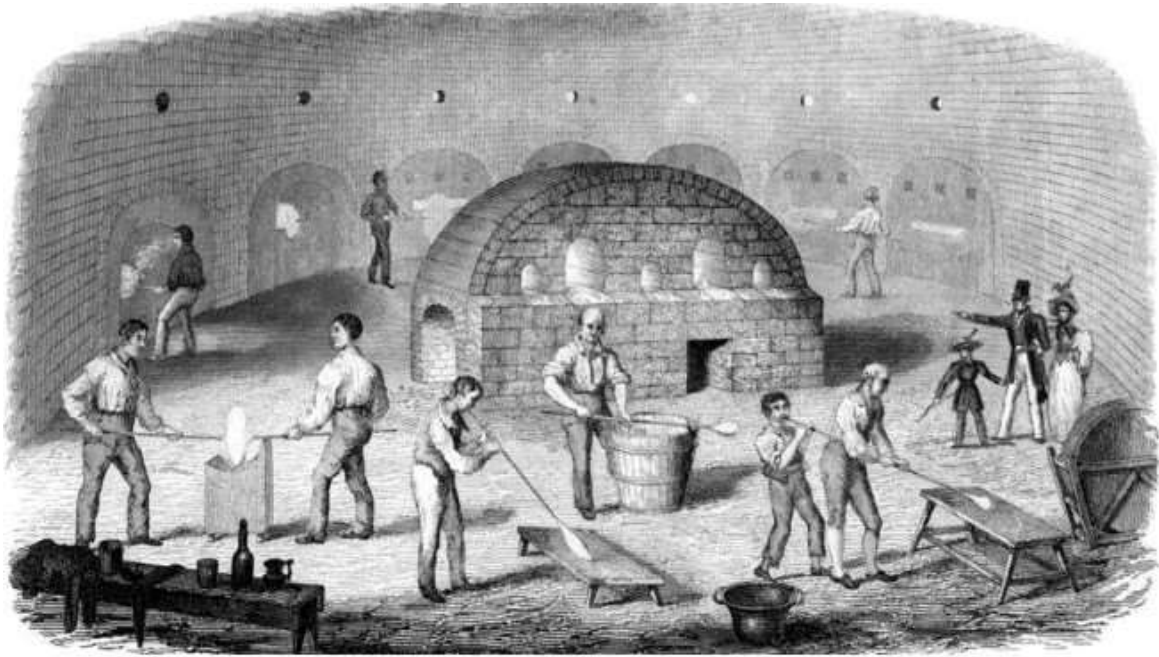
Gambar 1.6. Gelas kaca Romawi dalam tipe yang disebut *diatret*, buatan abad ke 4 M yang ditemukan di Cologne, Germany. Kini disimpan di the Staatliche Antikensammlung Munich, Gemany. Tulisan di bagian atas gelas berbunyi "Bibe multis annis" kependekan dari "Bibe vivas multis annis" atau "*drink and you will live for many years*".

(Sumber https://en.wikipedia.org/wiki/File:Roman_diatretglas.jpg)

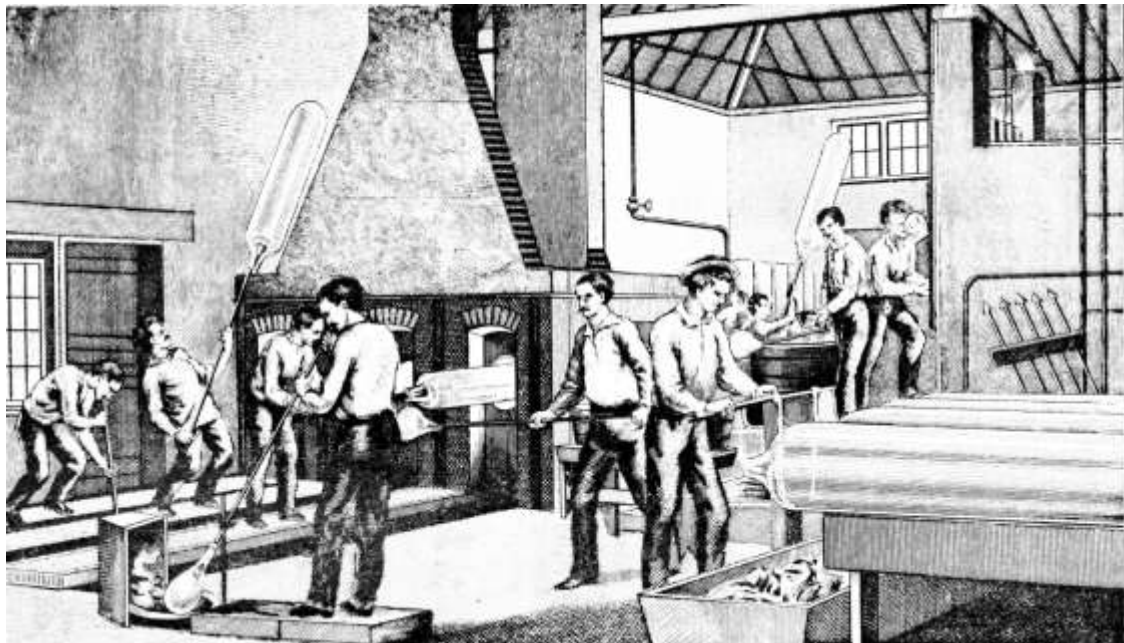
Sejarah singkat penemuan dan perkembangan kaca, dapat dirangkum sebagaimana Gambar 1.7.



Gambar 1.7. Sejarah perkembangan penemuan kaca.
(direproduksi dari Sumber <http://www.kingfisherwindows.co.uk>)



Gambar 1.8. Ilustrasi industri kaca pada abad-abad awal, semua tahapan masih dikerjakan secara manual.
(Sumber <https://www.bioglass.org/news/>)



Gambar 1.9. Ilustrasi industri kaca pada abad yang lebih modern, telah mulai ada bantuan mesin, sehingga dapat memproduksi kaca dalam ukuran yang lebih besar.
(Sumber <http://www.cbdglass.com/the-evolution-of-glass>)



Gambar 1.10. Barang pecah-belah dari kaca pada masa awal kaca ditemukan, masih kurang rapi dan cenderung buram.

(Sumber <http://ounodesign.com/2008/10/30/ancient-glass/> dan <http://gizmodo.com/the-first-brand-name-was-a-1st-century-roman-glassblowe-1693509526>)



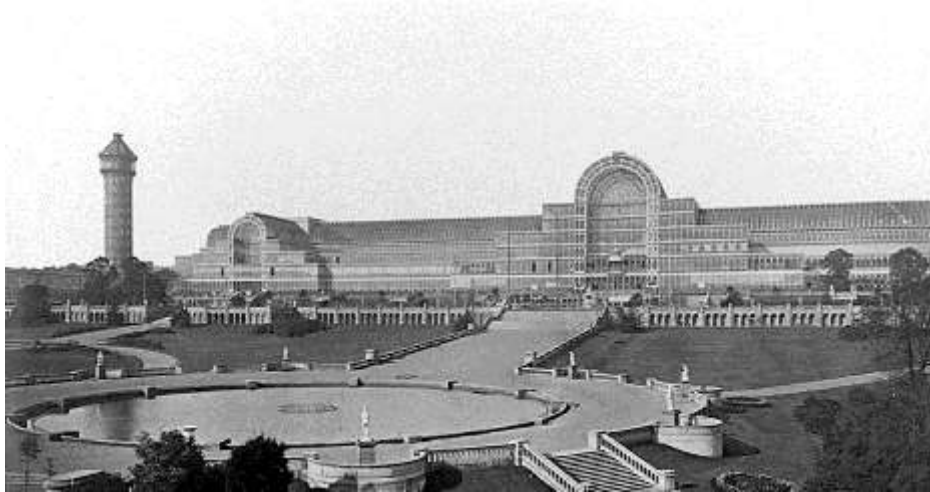
Gambar 1.11. Cara manual pembuatan barang dari kaca yang berongga dengan cetakan dan sistem tiup. Sebelum ditiup, bahan kaca dimasukkan cetakan (a), dan setelah ditiup dikeluarkan dari cetakan (b).

(Sumber <http://gizmodo.com/the-first-brand-name-was-a-1st-century-roman-glassblowe-1693509526>)



Gambar 1.12. Di tangan seniman, kaca juga bisa dibentuk menjadi benda-benda yang lebih rumit, seperti patung kuda kaca.

(Sumber [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Making_a_Glass_Horse_\(7251890544\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Making_a_Glass_Horse_(7251890544).jpg))



Gambar 1.13. Crystal Palace (1854) di Inggris, adalah sebuah bangunan yang berfungsi untuk menyelenggarakan pameran. Bangunan ini dikenal sebagai bangunan yang pertama kali secara keseluruhan menggunakan kaca untuk fasadnya. Bangunan ini kini tidak lagi tersisa bekasnya setelah mengalami kebakaran hebat pada 1936. (Sumber https://en.wikipedia.org/wiki/The_Crystal_Palace)



Gambar 1.14. Dewasa ini pemanfaatan kaca telah berkembang sangat pesat, dari atas ke bawah, kiri ke kanan: bohlam lampu, *shower* mandi, kompor, kursi, *solar panel* dan bahkan lantai jembatan di China. (kumpulan dari berbagai sumber).

BAB II
MATERIAL PENYUSUN dan
JENIS KACA

Sesungguhnya ada berbagai macam jenis kaca, meskipun ketika sudah berbentuk sebuah kaca bening, semua kaca sekilas terlihat sama. Perbedaan jenis kaca dapat disebabkan karena komposisi bahan penyusunnya yang sedikit berbeda. Disebut demikian karena bahan dasar utama pembuatan kaca adalah pasir silika. Ini adalah bahan baku paling dominan pada setiap pembuatan kaca jenis apapun, sementara material lain yang ditambahkan yang akan membuat karakter kaca berbeda satu dengan yang lain, selalu dalam proporsi kecil terhadap pasir silika. Perbedaan jenis kaca selain dari komposisi bahan penyusunnya juga dapat terjadi akibat cara pembuatan yang berbeda. Baik dalam pembuatan proses dasar atau perlakuan setelahnya.

Secara keilmuan fisika, kaca disebut sebagai zat cair yang sangat dingin. Disebut demikian karena partikel-partikel penyusun kaca berada saling berjauhan seperti halnya partikel zat cair, namun berada dalam keadaan padat. Posisi partikel yang berjauhan ini terjadi karena zat penyusun kaca yang semula cair kemudian mengalami pendinginan yang sangat cepat, sehingga partikel-partikel material penyusunnya (terutama silika), tidak sempat menyusun diri secara teratur.

2.1. Material Kaca

Bahan baku kaca dibedakan menjadi bahan utama dan bahan tambahan. Bahan utama adalah bahan yang selalu ada pada setiap pembuatan kaca jenis apapun, sedangkan bahan tambahan dapat ditambahkan ataupun tidak, bergantung pada jenis kaca yang hendak dihasilkan. Adapun bahan utama kaca adalah:

a. Pasir kuarsa atau pasir silika (SiO_2)

Meski disebut pasir, namun pasir untuk membuat kaca berbeda dari pasir yang biasa dipergunakan untuk bahan bangunan. Pasir untuk pembuatan kaca adalah jenis kuarsa murni yang memiliki kemurnian SiO_2 sebesar 99,1 – 99,7%. Untuk pembuatan kaca berupa barang pecah belah, kandungan besi dalam pasir kuarsa tidak diperkenankan >0,45 %. Sementara untuk kaca optik tidak diperkenankan >0,015 %. Aturan pembatasan kandungan besi pada kuarsa perlu dilakukan, karena besi bersifat memberi warna pada kaca. Pasir kuarsa banyak ditemukan pada daerah pesisir sungai, danau, pantai dan sebagian pada lautan yang dangkal. Daerah penghasil pasir kuarsa di Indonesia adalah Bangka, Lampung, Tuban, dan beberapa daerah di Kalimantan.



Gambar 2.1. Gundukan pasir kuarsa berwarna coklat muda.
(Sumber <http://www.bbk.go.id/index.php/berita/view/41/POTENSI-PASIR-KUARSA>)

b. Natrium oksida (Na_2O)

Sodium oksida yang digunakan untuk pembuatan kaca umumnya diperoleh dari soda abu padat (Na_2CO_3) atau Natrium bikarbonat (NaHCO_3) atau Natrium nitrat (NaNO_3). Natrium nitrat berguna untuk mengoksidasi kandungan besi dan mempercepat pelelehan material mentah kaca.



Gambar 2.2. Natrium karbonat.
(Sumber <http://indonesian.alibaba.com/product-gs-img/natrium-karbonat-459981542.html>)

c. Kalsium oksida (CaO)

Kalsium oksida atau dalam bahasa sehari-hari dikenal sebagai kapur tohor atau gamping diperoleh dari Dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$).

d. Dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)

Dolomit adalah batu gamping yang mengandung <50% karbonat. Serbuk Dolomit pada umumnya berwarna putih keabu-abuan atau kebiru-biruan atau putih kecoklatan. Dolomit memiliki tingkat kekerasan 3,5 – 4 skala Mosh, dengan berat jenis 2,8 – 2,9, memiliki butiran yang bersifat antara halus-kasar (sedang) dan mudah menyerap air. Butiran Dolomit ini mudah dihancurkan. Di Indonesia Dolomit dapat diperoleh di area utara Propinsi Jawa Timur, seperti Tuban, Lamongan dan Gresik. Dalam pembuatan kaca, Dolomit berfungsi untuk memperkuat kaca agar lebih tahan terhadap zat-zat kimia dan untuk mengurangi terjadinya *devitrifikasi* (pembentukan kristal).



Gambar 2.3. Bongkahan dolomit.
(Sumber <https://manfaat.co.id/manfaat-dolomit>)



Gambar 2.4. Dolomit serbuk.

(Sumber <https://www.indiamart.com/proddetail/dolomite-powder-11124539230.html>)

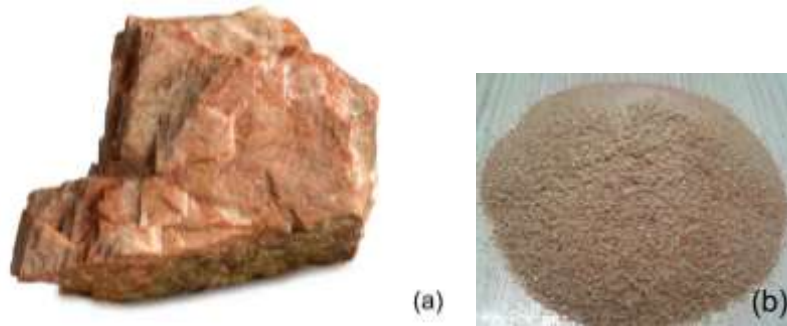


Gambar 2.5. Kapur tohor atau gamping.

(Sumber www.indonetwork.co.id)

e. Feldspar

Feldspar adalah nama jual untuk kelompok mineral yang terdiri atas Potasium, Sodium dan Kalsium alumino silikat. Feldspar dijumpai pada batuan beku, batuan erupsi dan batuan metamorfosa. Feldspar memiliki tingkat kekerasan 6 – 6,5 skala Mosh dan berat jenis 2,4 – 2,8. Feldspar umumnya berwarna putih keabu-abuan, atau merah jambu, atau coklat kekuningan dan kehijauan.



Gambar 2.6. Bongkahan feldspar (a) dan feldspar serbuk (b).
(Sumber <https://mineralseducationcoalition.org/minerals-database/feldspar/>
dan <https://beeothers.wordpress.com/2014/10/>)

Selain bahan utama yang telah dibahas sebelumnya, dalam pembuatan kaca juga dapat ditambahkan bahan-bahan non-utama untuk memberikan nilai lebih, baik meningkatkan kualitas maupun memperlancar proses. Bahan non-utama tersebut diantaranya adalah sbb.:

a. Asam borat atau borax

Asam borat disebut juga borax atau Natrium tetraborate. Walaupun tidak sering dipakai dalam kaca jendela atau kaca lembaran, Natrium tetraborate sekarang banyak digunakan dalam berbagai jenis kaca pengemas. Kaca yang menggunakan tambahan asam borat disebut kaca borat. Kaca borat mempunyai nilai dispersi lebih rendah dan indeks pembiasan atau refraksi yang lebih tinggi dari kaca umumnya. Kaca borat biasa digunakan untuk kaca optik, karena daya fluksnya yang kuat. Flux adalah kemampuan mencegah pembentukan lapisan oksidasi sehingga meningkatkan ketahanan terhadap reaksi kimia.



Gambar 2.7. Serbuk asam borat atau boraks.
(Sumber <https://menumakansehat.wordpress.com/author/webngadmin/page/4/>)

b. Cullet

Cullet adalah pecahan-pecahan kaca atau kaca yang berasal dari produk kaca yang tidak lolos uji kualitas. *Cullet* berfungsi untuk menurunkan temperatur leleh dari bahan baku utama. *Cullet* yang ditambahkan dalam bahan mentah kaca sebaiknya maksimal sebanyak 25% dari total bahan baku. Jika penggunaan *cullet* terlalu banyak, misalnya sampai >65 %, akan berakibat meningkatnya viskositas dan retardasi yang akan menimbulkan cacat pada kaca. Cacat kaca semacam ini dikenal dengan istilah *bubbles atau gelembung*. *Cullet* untuk campuran bahan mentah pembuatan kaca, biasanya diperoleh dari (1) sisa-sisa pemotongan kaca di pabrik sesuai ukuran yang dibutuhkan, (2) kaca-kaca yang dianggap cacat (misal ada gelembungnya), (3) sisa pemotongan lembaran kaca bagian samping setelah keluar dari cetakan, (4) sisa-sisa kaca dari proses pembuatan kaca saat ada perbaikan mesin, atau (5) bagian kaca yang dipotong atau dibuang saat pergantian perubahan warna atau jenis kaca pada saat proses produksi.

Adapun kaca bekas yang dikumpulkan oleh para pemulung, sangat jarang dipergunakan kembali sebagai *cullet* dalam proses pembuatan kaca lembaran di pabrik besar. Hal ini karena resiko kebersihan atau kualitas rendah yang akhirnya justru mengakibatkan proses produksi menjadi lebih panjang untuk mendapatkan kaca berkualitas. Kaca bekas yang dikumpulkan pemulung dapat digunakan kembali dalam proses pembuatan kaca non-lembaran, seperti misalnya kaca kerajinan atau objek hiasan yang tidak membutuhkan kualitas kaca bening tanpa cacat tingkat tinggi.



Gambar 2.8. *Cullet* dari pengepul atau pemulung yang tidak disarankan untuk proses pembuatan kaca lembaran (a) dan sisa industri yang dipergunakan dalam proses selanjutnya (b).
(Sumber <https://all.biz/the-cullet-is-colourless-g1562982RU> dan <https://spanish.alibaba.com/product-detail/scrap-glass-cullets-105965092.html>)



Gambar 2.9. Gelembung pada kaca, yang mengurangi kualitas kaca.

(Sumber <https://sha.org/bottle/body.htm>)

Selain bahan yang telah disebutkan, ada juga bahan-bahan lain yang bersifat *stabilizer* atau penyeimbang yang dapat ditambahkan dalam pembuatan kaca. Bahan penyeimbang adalah bahan yang mampu menurunkan kelarutan di dalam air dan tahan terhadap serangan bahan kimia, termasuk materi-materi lain yang terdapat di atmosfer. Bahan penyeimbang yaitu:

- Kalsium karbonat (CaCO_3) atau *limestone* yang berguna untuk membuat produk akhir menjadi tidak larut di dalam air.
- Barium karbonat (BaCO_3) yang berguna untuk meningkatkan berat spesifik dan indeks bias.
- Timbel oksida PbO yang berguna untuk membuat produk menjadi transparan, mengkilat, dan memiliki indeks bias yang tinggi.
- Seng oksida ZnO yang berguna untuk membuat kaca tahan terhadap panas yang mendadak, memperbaiki sifat-sifat fisik dan mekanik, dan meningkatkan indeks bias.
- Aluminium oksida Al_2O_3 , yaitu sebuah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia dan nama mineralnya adalah alumina. Dalam pembuatan kaca, Aluminium oksida berfungsi untuk meningkatkan viskositas kaca, meningkatkan kekuatan fisik dan ketahanan terhadap bahan kimia.

Selain bahan penyeimbang, ada juga yang disebut komponen sekunder, diantaranya adalah:

- *Refining agent* yang berguna untuk menghilangkan gelembung-gelembung gas pada saat pelelehan bahan baku. Bahan yang biasa digunakan sebagai *refining agent* pada industri kaca adalah Sodium nitrat dan Sodium sulfat atau Arsen oksida (As_2O_3).
- Penghilang warna (*decolorant*) yang berguna untuk menghilangkan warna yang biasanya diakibatkan oleh kehadiran senyawa Besi oksida yang masuk bersama bahan baku. Bahan penghilang warna yang digunakan adalah Mangan dioksida (MnO_2), logam Selenium (Se), atau Nikel oksida (NiO).
- Pewarna (*colorant*) kadangkala sengaja digunakan untuk membuat kaca khusus sesuai warna yang dikehendaki.
- *Opacifiers* yang berguna untuk membuat kaca bersifat buram sehingga tidak dapat ditembus gelombang elektromagnetik, walaupun fisiknya terlihat transparan. *Opacifier* yang biasa digunakan adalah Fluorite (CaF_2), Kriolit (Na_3AlF_6), Sodium fluorosilika (Na_2SiF_6), Timah fosfat, Seng fosfat ($\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$), dan Kalsium fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$).

Adapun secara umum komposisi material untuk pembuatan kaca mengandung sekitar 73% Pasir silika (SiO_2), Sodium oksida (Na_2O) sekitar 14%, Kalsium oksida (CaO) sekitar 8% dan bahan-bahan lain sebagaimana dipaparkan sebelumnya hingga mencapai 100%. Komposisi ini tidak persis sama untuk setiap industri kaca, namun berkisar pada angka tersebut.

2.2. Pembuatan kaca

Pembuatan kaca dapat dipilah ke dalam langkah-langkah proses sebagai berikut:

a. Persiapan bahan baku (*batching*)

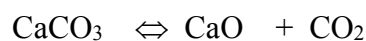
Tahap persiapan dimulai dengan penggilingan (untuk bahan-bahan yang masih menyisakan bentuk gumpalan) dan pengayakan (untuk memisahkan dari kotoran-kotoran yang ada di dalam setiap bahan). Selanjutnya secara mekanik, setiap bahan akan ditimbang sesuai komposisi yang telah ditetapkan oleh tiap pabrik atau industri, sesuai kekhasan produksi masing-masing pabrik.

Tahap selanjutnya adalah pengadukan campuran bahan baku dalam suatu *mixer*, agar semua bahan tercampur secara homogen sebelum dilelehkan.

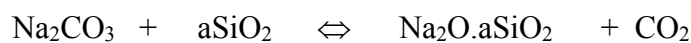
b. Pencairan (*melting/fusing*)

Sebelum masuk ke dalam tungku pencair, campuran bahan yang telah homogen diayak terlebih dahulu, agar hanya bahan dengan butiran yang benar-benar sangat halus yang masuk ke dalam tungku. Proses pencairan atau pelelehan bahan-bahan ini menggunakan pemanas bersuhu sekitar 1600°C. Pencampuran berbagai bahan baku secara merata sebelum proses pencairan akan menurunkan suhu yang dibutuhkan untuk mencairkan. Sebagai contoh, jika hanya mencairkan Pasir silika saja, dibutuhkan suhu 2000°C. Namun dengan bercampurnya berbagai senyawa kimia lain bersama Pasir silika secara homogen, campuran bahan mentah kaca hanya memerlukan suhu 1600°C untuk mencair. *Cullet* yang ditambahkan kedalam campuran ini juga berperan besar dalam menurunkan suhu leleh. Selama proses pencairan, masing-masing bahan baku akan saling berinteraksi membentuk reaksi-reaksi kimia berikut :

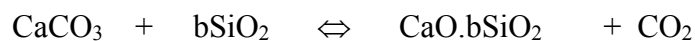
Reaksi-reaksi penguraian sbb.:



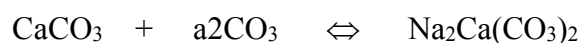
Reaksi antara SiO_2 dengan Na_2CO_3 pada suhu 630°C – 780°C sbb.:



Reaksi antara SiO_2 dengan CaCO_3 pada suhu 600°C sbb.:



Reaksi antara CaCO_3 dengan Na_2CO_3 pada suhu di bawah 600°C sbb.:



Reaksi antara Na_2SO_4 dengan SiO_2 pada suhu 884°C sbb.:



Reaksi utama sbb.:





Gambar 2.10. Ikatan molekul pada kaca jenis-jenis tertentu.

(Sumber <http://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Structure/solidstate.htm>)

Semua bahan baku yang telah tercampur homogen dicairkan di dalam tungku. Adapun tungku dalam industri kaca, terbagi menjadi tiga jenis, yaitu :

- Tungku pot (*pot furnace*)

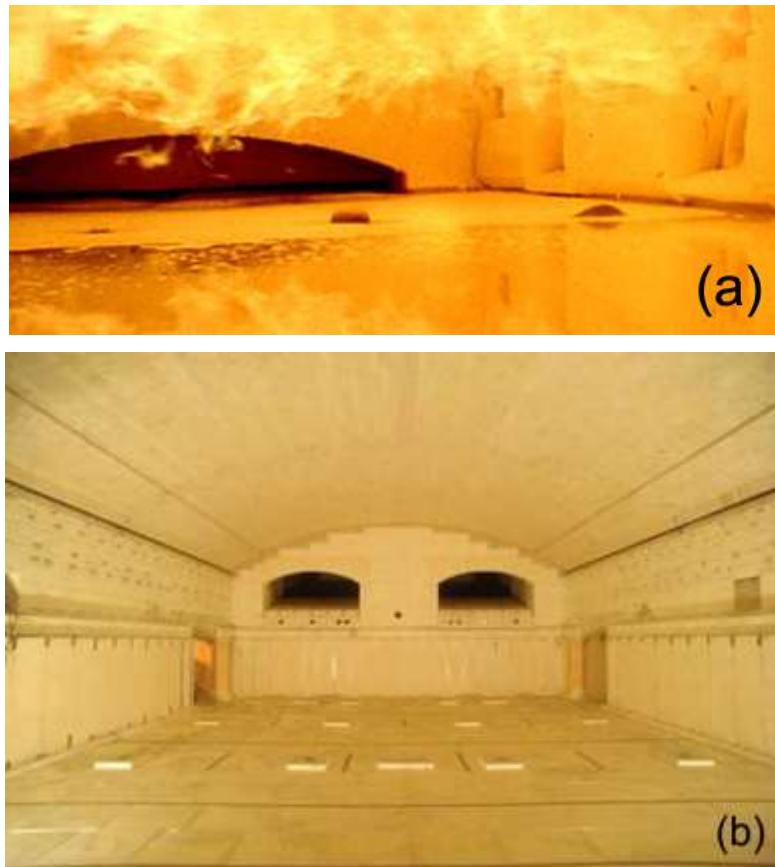
Biasanya dipakai untuk menghasilkan kaca-kaca khusus (*special glass*) seperti kaca seni atau kaca optik dengan skala produksi yang kecil <2 ton. Tungku pot terbuat dari bata Silica-alumina (lempung) khusus atau platina. Pada tungku pot berbahan lempung, akan cukup sulit untuk melelehkan bahan mentah kaca tanpa terkontaminasi oleh material tungku pot yang ikut meleleh. Pada tungku pot berbahan platina, kemungkinan ikut melelehnya bahan tungku lebih kecil karena platina bersifat lebih tahan panas.



Gambar 2.11. *Pot furnace*. (Sumber http://sameeksha.org/newsletter/newsletter_march18.pdf)

- Tungku tanki (*tank furnace*)

Tungku tanki lebih digunakan pada industri kaca skala besar. Tungku ini terbuat dari bata tahan panas dan mampu menampung sekitar 1350 ton cairan kaca. Cairan bahan mentah kaca ini akan berwujud seperti kolam di dalam tungku.

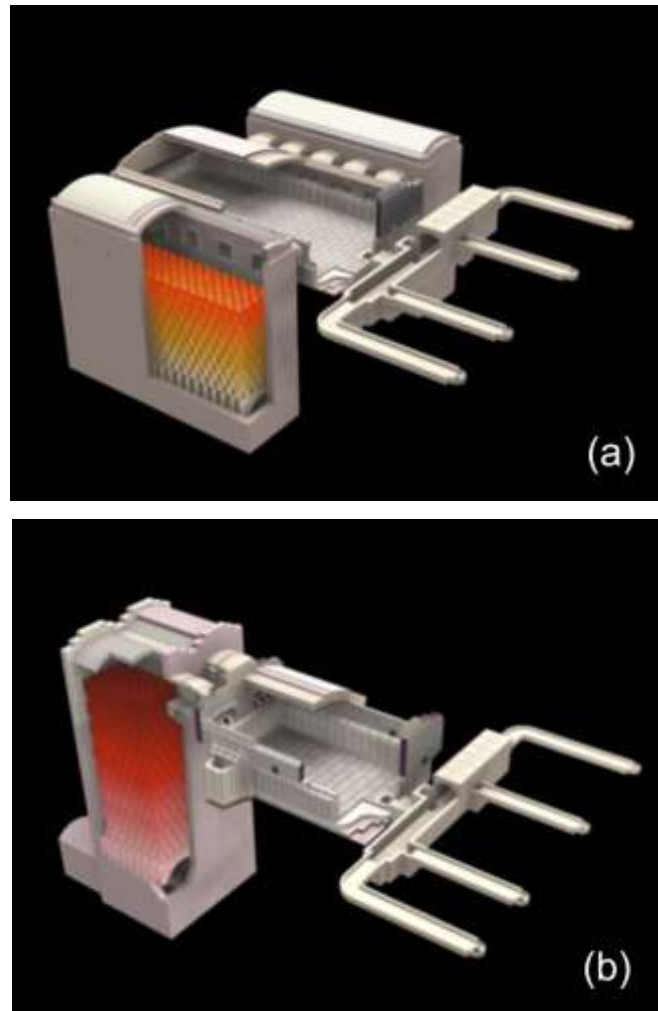


Gambar 2.12. *Tank furnace* yang berisi campuran serbuk bahan baku kaca yang telah meleleh (a) dan tungku dalam keadaan kosong (b).

(Sumber <http://www.hvg-dgg.de/en/home.html> dan <http://www.directindustry.com/prod/horn-glass-industries/product-25134-1356791.html>)

- Tungku regeneratif (*regenerative furnace*)

Tungku regeneratif adalah jenis tungku terbaru yang memanfaatkan panas dari gas buang untuk diputar kembali guna memanaskan tungku. Prinsip kerja tungku ini ditemukan pertama kali oleh Charles William Siemens. Tungku ini memiliki dua bagian ruang, salah satunya disebut tungku pemeriksa. Kedua tungku ini beroperasi dalam dua siklus, dan setiap 20 menit sekali, aliran di dalam tungku berbalik sehingga udara pembakaran baru dapat dipanaskan oleh tungku pemeriksa. Industri kaca dewasa ini umumnya menggunakan tungku regeneratif.



Gambar 2.13. *Regenerative tank* dengan model tungku periksa samping (a) dan tungku periksa akhir (b).

(Sumber <http://www.tecoglas.com/regenfurn-sideport.html> dan <http://www.tecoglas.com/regenfurn-endport.html>)

c. Pembentukan (*forming/shaping*)

Setelah semua bahan mencair, maka langkah lanjutan adalah pengaliran bahan yang berbentuk cair ke dalam alat pencetak/pembentuk. Ada beberapa jenis proses pembentuk kaca, diantaranya adalah proses setengah mekanik dan mekanik.

1. Proses setengah mekanik (campuran antara proses mekanik dan manual)

– Proses kaca datar

Pada proses ini, bahan kaca cair diambil dari tungku menggunakan gayung besi tahan panas oleh para pekerja, kemudian diletakkan pada sebuah nampan, dan setelah diaduk lebih merata oleh petugas yang lain, kemudian dimasukkan ke

dalam *roller*, sehingga cairan kaca seolah terjepit di antara dua *roller* dan selanjutnya tercetak dalam ketebalan yang sama menuju naman selanjutnya. Setelah kaca berada pada bentuk lembaran yang utuh dan dingin, kaca kemudian dipotong sepanjang bagian tepinya untuk membuang bagian yang kurang rapi. Pembuatan kaca dengan cara ini hanya dapat menghasilkan kaca dalam ukuran tertentu yang sangat terbatas. Berbeda dengan proses mekanik dengan sistem yang lebih maju yang akan dibahas selanjutnya. Sistem mekanik memungkinkan kaca lembaran dengan panjang mencapai 11 m. Bila salah satu permukaan *roller* dibuat bertekstur atau berpola timbul, maka kaca yang dihasilkan akan pula memiliki pola pada salah satu sisinya, sesuai pola yang ada pada permukaan *roller*.

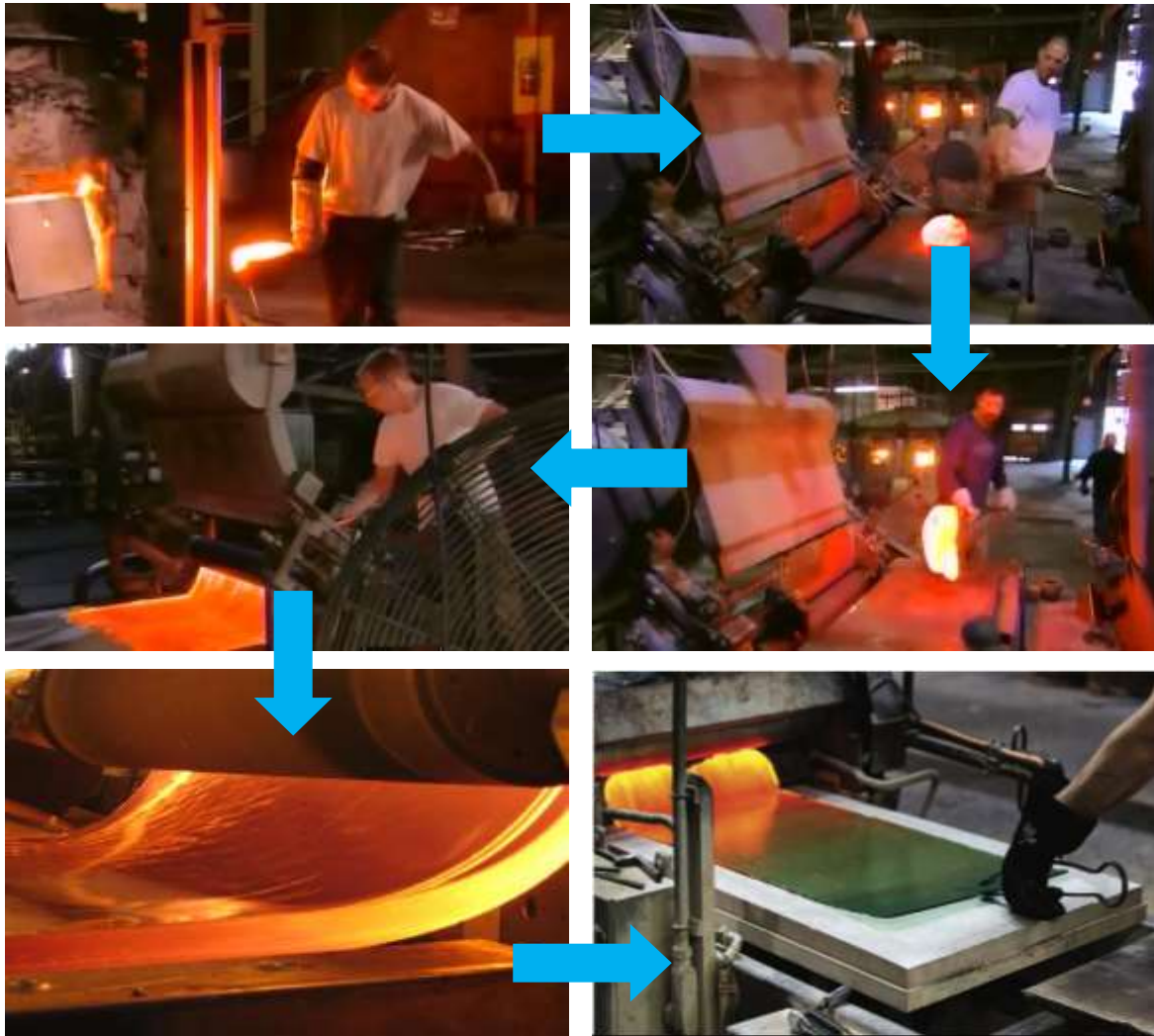
- Proses tiup (*blow*)

Pada proses ini cairan kaca diambil dengan menggunakan batang peniup yang diputar-putar di dalam tungku. Proses ini akan membuat cairan kaca menempel pada batang, dan pada ujung batang yang lain, pekerja telah siap meniupnya sehingga cairan kaca terbentuk menyerupai balon. Proses ini digunakan untuk membuat botol kaca, gelas, kemasan, atau aneka bentuk kaca seni lainnya.



Gambar 2.14. Pembuatan kaca dengan proses tiup.

(Sumber <http://sims-soul.blogspot.com/2014/01/pistas-de-la-nueva-avenida-de-los-sims.html>)



Gambar 2.15. Proses pembuatan kaca datar dengan cara setengah mekanik, sesuai arah anak panah. Dimulai dengan pengambilan cairan dari tungku dengan gayung panjang, meletakkan dan mengaduk di atas nampan, memasukkan ke dalam *roller* dan mengambil hasil kaca lembaran setelah keluar dari *roller*. Pembuatan kaca lembaran semacam ini hanya mampu menghasilkan kaca dengan ukuran yang sangat terbatas, ketebalan yang kurang merata dan permukaan kaca yang tidak benar-benar halus.

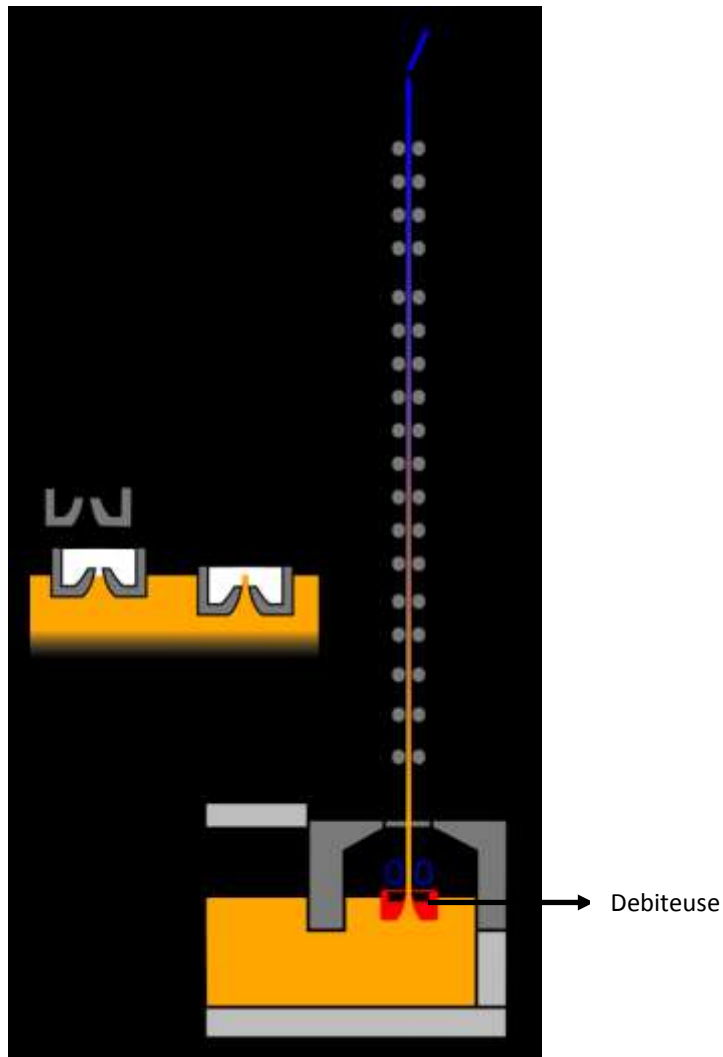
(Sumber <http://www.schott.com/supremax/german/> dan <http://www.cookingglass.com.au/node/75>)

2. Proses mekanik:

- Proses Fourcault

Proses ini ditemukan oleh Emile Fourcault. Campuran bahan mentah kaca dalam keadaan cair yang berada dalam suatu bejana dialirkan secara vertikal ke atas melalui sebuah bagian yang dinamakan “*debiteuse*” (Gambar 2.16). Bagian ini terapung di permukaan kaca cair dengan celah yang disesuaikan dengan ketebalan kaca yang diinginkan. Di atas *debiteuse* terdapat bagian sirkulasi air pendingin yang akan mendinginkan kaca hingga 650 – 670°C, dari yang semula 1600°C.

Pada suhu tersebut kaca berubah menjadi pelat padat dan akan bergerak dengan didukung oleh roda pemutar (*roller*) yang menarik kaca tersebut ke atas.

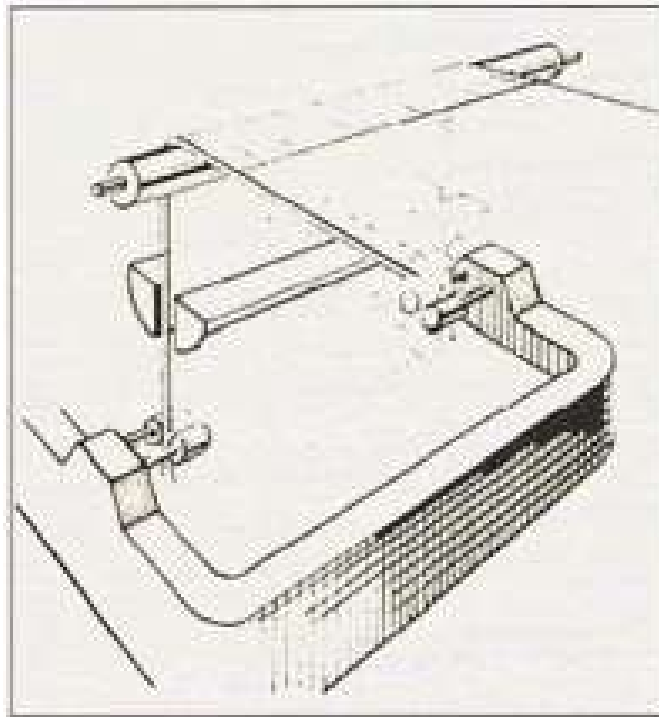


Gambar 2.16. Proses Fourcault. (Sumber https://en.wikipedia.org/wiki/Fourcault_process)

Pengembangan dari sistem Fourcault adalah sistem Pittsburgh yang digunakan oleh Pittsburgh Plate Glass Company atau disebut juga Pennvernon process. Prinsip Pittsburgh sama dengan Fourcault, tetapi penggunaan *debiteuse* digantikan oleh lempeng tahan api yang disebut *drawbar*.

- Proses Colburn (atau proses Libbey-Owens)

Proses ini diperkenalkan oleh Irving W. Colburn dan akhirnya digunakan oleh Libbey-Owens Sheet Glass Company. Jika pada proses Fourcault, gerakan kaca terjadi secara vertikal saja, maka pada proses Colburn kaca akan bergerak secara vertikal, dan setelah melewati roda-roda penjepit vertikal kemudian diikuti gerakan horisontal yang membentuk lembaran kaca pada posisi horisontal dan siap dipotong.



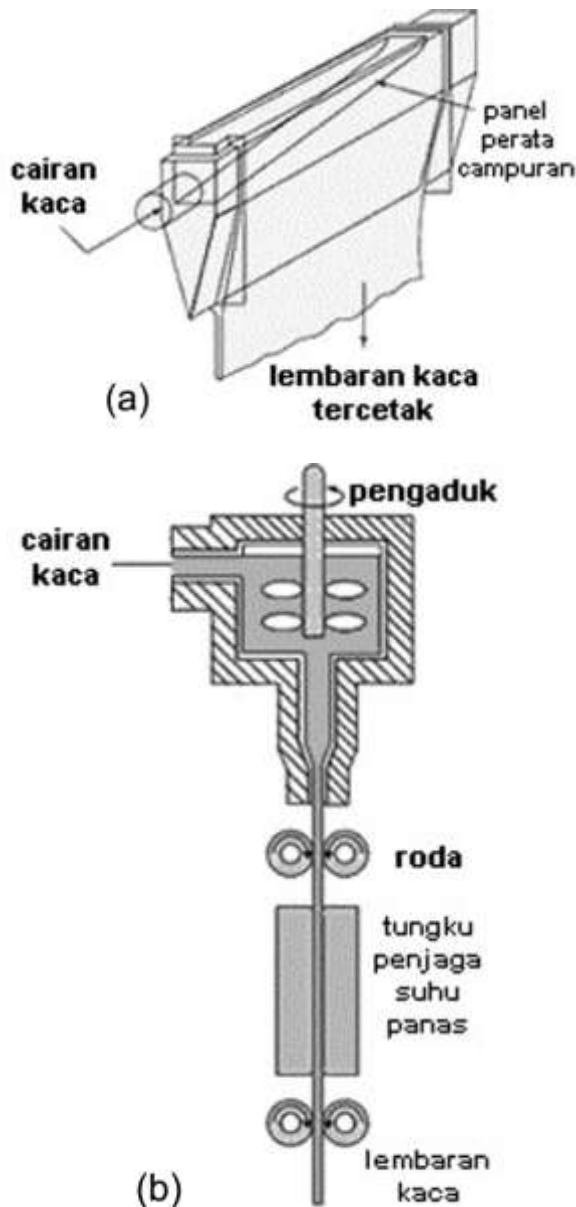
Gambar 2.17. Proses Colburn. (Sumber <http://www.schildersbedrijf.com/glasproductie3.htm>)

Pengembangan dari proses Fourcault dan Colburn adalah proses *down-draw* dan proses *fusion*. Pada *down-draw*, cairan kaca dialirkan vertikal dari atas ke bawah, demikian pula pada proses *fusion*. Namun pada *fusion*, aliran datang dari kiri dan kanan kemudian menyatu di tengah. Aliran kiri dan kanan berasal dari bejana yang tumpah cairan kacanya.

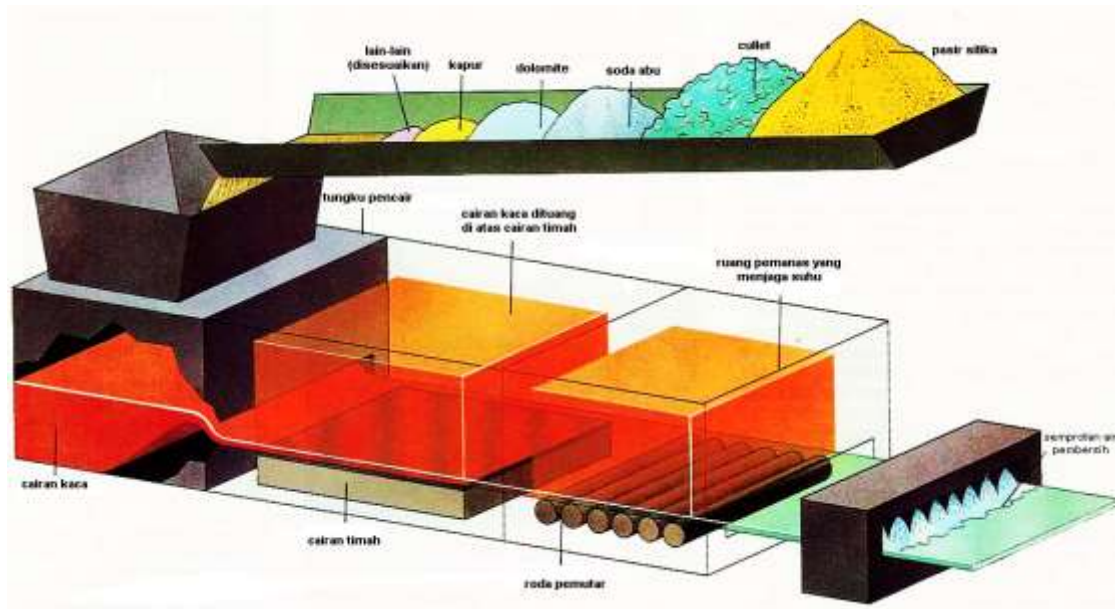
- Proses apung atau proses Pilkington (*float process*)

Proses apung adalah proses yang ditemukan pertama kali oleh Sir Alastair Pilkington. Bahan cair dialirkan ke dalam sebuah kolam berisi cairan timah (Sn) panas. Tebal tipisnya kaca lembaran yang akan dihasilkan ditentukan oleh kecepatan aliran bahan cair. Kaca akan mengapung di atas cairan timah dan karena perbedaan densitas di antara keduanya, maka bahan kaca tidak akan menempel pada cairan timah. Selama berada di atas timah, kaca ini tetap cair yang dijaga kecairannya dengan semburan panas yang berasal dari pembakar di bagian atas kolam cetakan timah. Pengendalian suhu di dalam kolam cetakan dilakukan sedemikian rupa, agar kaca tetap rata di kedua sisinya (atas dan bawah) serta paralel. Semburan panas untuk menjaga suhu dalam kolam cetakan biasanya menggunakan gas nitrogen murni. Dari kolam cetakan timah, cairan kaca selanjutnya melewati area pendinginan, yang masih berada di dalam kolam juga,

dan keluar dalam bentuk kaca lembaran bersuhu $\pm 600^{\circ}\text{C}$. Sampai saat ini, proses apung masih dianggap yang terbaik untuk pembuatan kaca lembaran. Dengan sistem apung, dapat dihasilkan kaca yang tipis merata, lebih tipis dibandingkan jika dihasilkan dengan proses lain. Kaca apung lembaran paling tipis adalah 3 mm, dan dapat mencapai tebal sampai 30 mm atau 3 cm. Jika dibutuhkan ketebalan melebihi 3 cm, biasanya dibuat dengan sistem kaca lapis atau laminasi.



Gambar 2.18. Proses *fusion* (a) dan *down-draw* (b).
(Sumber http://www.ctiec.net/english/glass/glass_method4.jsp)

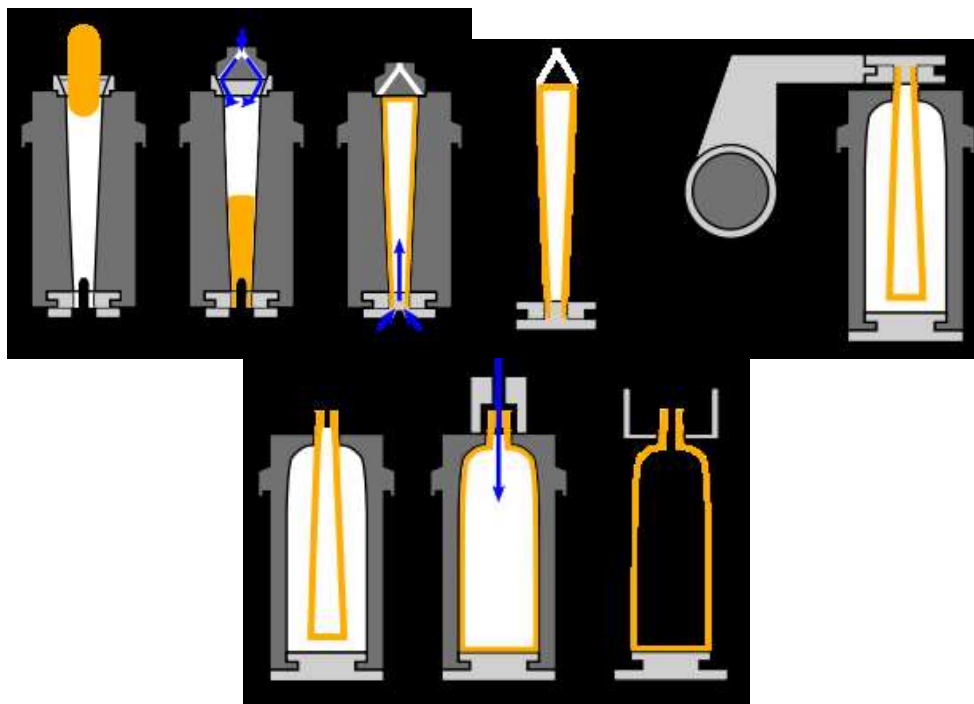


Gambar 2.19. Proses apung.

(Sumber <http://www.indmin.com/events/download.ashx/document/speaker/8915/a0ID000000Zwx8KMAR/Presentation>)

- Proses tiup (*blow*)

Selain proses tiup secara manual, seiring berkembangnya dunia industri, dikenal pula proses tiup yang dilakukan secara mekanikal penuh. Proses ini digunakan untuk membuat botol kaca, gelas, kemasan, atau aneka bentuk kaca seni lainnya.



Gambar 2.20a. Skematik proses tiup mekanik.

(Sumber https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Glass_Forming_Process_Blow-Blow.svg)



Gambar 2.20b. Industri botol yang menggunakan proses tiup mekanik.
(Sumber <https://ceramicninja.com/glass-bottle-manufacturing-process/>)

d. *Annealing*

Fungsi tahapan ini adalah untuk mencegah timbulnya tegangan-tegangan antar molekul pada kaca yang tidak merata sehingga dapat menimbulkan pecahnya kaca. Proses *annealing* hanya dilakukan pada pembuatan kaca datar atau kaca lembaran. Proses *annealing* kaca terdiri dari 2 jenis, yaitu:

- Menahan kaca dengan waktu yang cukup di atas suhu kritis tertentu untuk menurunkan regangan internal.
- Mendinginkan kaca sampai suhu ruang secara perlahan-lahan untuk menahan regangan sampai titik maksimumnya.

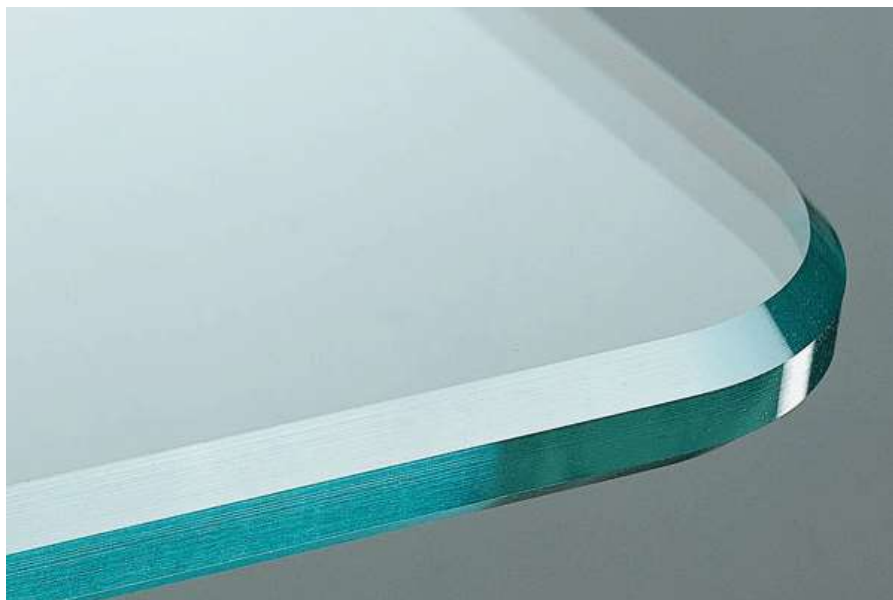
Proses ini berlangsung di dalam “*annealing lehr*”. Untuk jenis kaca lembaran, *annealing lehr* ini berupa kaca-kaca yang bergerak di atas roda berjalan.

e. *Finishing* dan pengendalian kualitas (*quality control*)

Beberapa proses penyelesaian akhir pada industri kaca adalah *cutting*, *cleaning and polishing*, *enameling*, dan *coating*.

Setelah lembaran kaca dicetak dan mengalami proses pendinginan, proses lanjutan adalah *cutting*. *Cutting* ini dilakukan secara memanjang dan melintang. *Cutting* memanjang untuk membuang sisi tepi hasil cetakan yang tidak rata, sehingga diperoleh sisi kaca memanjang yang rata, dengan lebar sekitar 4 m. Sisa potongan tepi ini umumnya akan dimanfaatkan menjadi *cullet* sebagai campuran bahan

utama pembuat kaca dalam proses produksi kaca. Sementara potongan melintang adalah memotong kaca lembaran untuk memperoleh panjang tertentu untuk proses pengepakan, pengangkutan, dan pemasaran. Umumnya kaca dipotong melintang sehingga memiliki panjang 6 m dengan lebar sekitar 4 m. Namun demikian, PT Asahimas pernah memotong dan mengemas kaca dengan panjang 11 m, karena adanya pesanan dengan ukuran khusus. Potongan kaca dengan dimensi yang lebih kecil dari potongan pertama, biasanya dilakukan kemudian oleh industri lanjutan, atau penjual kaca, sesuai pesanan pembeli, termasuk penghalusan tepi potongan, sampai membentuk tepi potongan menjadi miring atau oval (proses *beveling*).



Gambar 2.21. Tepian kaca lembaran yang telah mengalami proses pemotongan lanjutan dan diikuti proses *beveling*, menghasilkan tepi yang berbentuk khusus sesuai selera dan tidak tajam. (Sumber <http://sertascam.com/?sf=urunlerdetay&katid=88&id=489>)

Proses *cleaning* kaca pada akhir proses produksi sangatlah penting. Hal ini bertujuan untuk membersihkan kaca dari sisa-sisa material hasil pencetakan atau material lain yang menempel selama proses produksi di dalam industri. Elemen terpenting dalam proses *cleaning* adalah air, sabun (detergen) dan cara pencucian. Air sebagai elemen utama pencucian juga memiliki syarat-syarat tertentu, terutama harus memenuhi ketentuan *turbidity* (jumlah kandungan zat padat) dan tingkat kekerasan. Yang dimaksud dengan tingkat kekerasan air adalah kandungan Kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg) di dalam air. Ca dan Mg dapat bereaksi membentuk Kalsium karbonat (CaCO_3) dan justru menimbulkan kerak pada kaca.

Berdasarkan tingkat kandungan Kalsium karbonat di dalam air, maka tingkat kekerasan air dapat dibedakan menjadi:

- Lunak : mengandung CaCO_3 sebanyak 0 - 60 mg/L (milligram per liter)
- Sedang : mengandung CaCO_3 sebanyak 61 - 120 mg/L
- Keras : mengandung CaCO_3 sebanyak 121 - 180 mg/L
- Sangat keras: mengandung CaCO_3 sebanyak Lebih dari 180 mg/L

Untuk keperluan membersihkan permukaan kaca diperlukan tingkat kekerasan air lunak sampai dengan maksimum sedang.

Ketika digunakan cara pencucian dengan sistem air bertekanan cukup keras (disemprotkan ke permukaan lembaran kaca), maka air saja sudah mampu membersihkan permukaan kaca dari debu atau sisa material yang menempel. Model penyemprotan dengan tekanan keras dapat digunakan untuk membersihkan kaca lembaran biasa yang tidak memiliki lapisan khusus pada permukaannya. Sedangkan untuk kaca dengan permukaan yang memiliki lapisan khusus, sistem tekanan sedang lebih dianjurkan agar lapisan khusus yang ada di permukaan tidak terkikis. Untuk cara pembersihan yang menggunakan tekanan sedang, perlu ditambahkan detergen ke dalam air yang digunakan. Pembersihan dengan air yang dicampur detergen membutuhkan tingkat keras air yang paling rendah, agar detergen dapat larut atau tercampur dengan baik ke dalam air dan pada saat pengeringan tidak justru meninggalkan bekas atau kerak di permukaan kaca.

Selain tingkat kekerasan air, untuk keperluan pencucian permukaan kaca, tingkat keasaman air juga perlu dijaga pada level tertentu. Penambahan detergen ke dalam air dapat merubah tingkat keasaman semula air. Beberapa industri lebih menyarankan penggunaan detergen yang dapat mengubah tingkat keasaman air cenderung menjadi lebih asam (PH dibawah 7), karena dapat membersihkan kaca secara lebih baik. Detergen yang membuat air menjadi basa, memerlukan perhatian khusus saat proses pembersihan, karena dapat meninggalkan kerak pada alat pembersih dan permukaan kaca. Suhu air pembersih juga menentukan proses pembersihan kaca. Air hangat dapat membersihkan lebih baik daripada air dingin. Hal ini karena detergen lebih mudah larut pada air hangat. Suhu air yang disarankan adalah 38°C sampai 60°C .

Proses *polishing* ditempuh untuk membersihkan permukaan kaca lebih detil dan menyeluruh, termasuk menghilangkan goresan-goresan kecil pada kaca. Selain *polishing*, dapat juga dilakukan proses *grinding*, yaitu proses untuk menghaluskan

permukaan kaca agar menjadi lebih halus. Pada proses *polishing* digunakan peralatan penggosok yang halus. Sementara pada proses *grinding*, digunakan permukaan yang lebih kasar, bahkan dapat berupa batuan gosok. Setelah proses *grinding*, permukaan kaca dapat menjadi lebih tipis akibat penggosokan dengan material kasar tersebut.

Selanjutnya jika diperlukan, dapat ditempuh proses *enameling*. *Enameling* adalah proses penambahan lapisan keramik tipis, baik berwarna maupun tidak ke permukaan kaca jika diperlukan. Proses ini dilakukan pada suhu tertentu setelah kaca kering dan bersih. Lapisan *enamel* yang diaplikasikan umumnya memiliki ketebalan 10-100 μm . Makin tipis lapisan *enamel* yang ditempelkan, maka keadaan kaca akan tetap bening. Dan sebaliknya, makin tebal lapisan *enamel*, maka kaca akan semakin buram. Pada jenis-jenis kaca modern, proses semacam *enameling* ini juga ditempuh untuk melapiskan material-material lain pada permukaan kaca sesuai keperluan. *Enameling* khusus ini disebut *coating*, yaitu penambahan lapisan pada permukaan kaca untuk tujuan memberikan manfaat tambahan pada kaca, contohnya seperti anti sinar *ultra violet* (UV) *coating*. Anti UV *coating* ditambahkan agar kaca mampu menangkal radiasi sinar *ultra violet* matahari. Setelah proses *enameling* atau *coating*, kaca akan mengalami *tempering* (proses pemanasan lanjut) agar lapisan yang telah menempel dapat bertahan lama terhadap goresan dan perubahan cuaca. Pembuatan kaca cermin juga menggunakan prinsip *coating* menggunakan beberapa material pelapis, diantaranya emas, perak, aluminium, atau krom. Dahulu yang paling banyak digunakan adalah Perak nitrat (Silver nitrate). Sebelum disemprot (pada proses produksi di industri besar) atau dialiri (pada proses industri rumahan) dengan Perak nitrat, permukaan kaca perlu mendapat perlakuan khusus, diantaranya dibersihkan dengan seksama menggunakan cairan pembersih khusus, agar Perak nitrat dapat menempel dengan baik. Selanjutnya ketika lapisan Perak nitrat telah terbentuk, permukaan berlapis perak ini perlu ditambah dengan lapisan lain (biasanya cat pelapis yang disemprotkan) untuk mengunci lapisan perak agar lebih tahan lama. Penggunaan lapisan perak kini banyak digantikan dengan lapisan aluminium, sehingga harga cermin menjadi lebih murah. Tingkat ketajaman dan kejelasan cermin, berbeda-beda, sesuai pelapis yang digunakan. Adapun yang dikenal sebagai pelapis terbaik untuk menghasilkan cermin yang berpermukaan halus, bersifat memantulkan

dengan jelas suatu objek dengan warna alami yang akurat, dan masih mampu meneruskan cahaya ke sebaliknya, adalah *low aluminium glass mirror*.

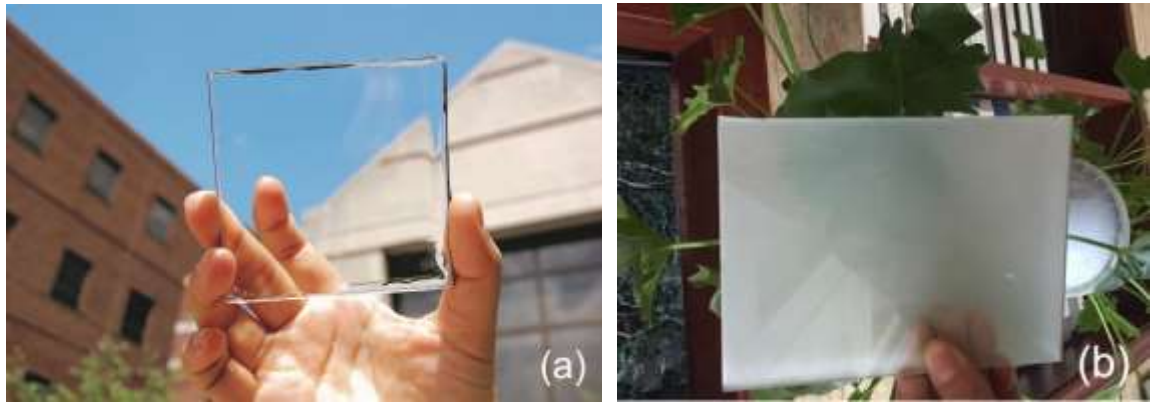
2.3. Jenis kaca

Sejak mulai awal ditemukan, sampai perkembangan dunia modern saat ini, ada berbagai macam jenis kaca dan objek-objek yang terbuat dari bahan kaca. Salah satu kriteria pembedaan jenis kaca adalah berdasarkan bentuknya. Bentuk kaca umumnya disesuaikan dengan fungsinya. Sebagai contoh kaca datar untuk bangunan, kaca lengkung untuk kendaraan dan kaca bulat yang berfungsi sebagai wadah (untuk makanan atau minuman). Selain jenis-jenis tersebut, dijumpai pula kaca untuk kaca fiber, kaca lensa, dll.

Kaca datar atau kaca lembaran merupakan produk yang paling banyak dijumpai. Kaca ini adalah produk setengah jadi yang kemudian diolah menjadi berbagai produk yakni kaca bening (*clear float glass*), kaca berwarna (*tinted float glass*), *reflective glass*, *low emissivity glass*, *patterned glass*, cermin, dll.

2.3.1. Kaca berdasarkan bentuk permukaan dan warna

Klasifikasi kaca berdasarkan bentuk adalah klasifikasi yang dapat dilihat dan dibedakan dengan mudah secara kasat mata. Klasifikasi atas bentuk dibedakan menjadi kaca lembaran (*flat glass*), dan non lembaran (kaca lengkung, botol, wadah, dll). Bentuk kaca juga dapat dibedakan atas jenis permukaannya dan warnanya. Berdasarkan permukaannya, kaca dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu: kaca berpermukaan halus dan kasar (bertekstur atau *patterned glass*). Dalam kelompok kaca berpermukaan halus, termasuk juga berbagai jenis kaca, baik dengan komposisi bahan penyusun sama atau berbeda atau cara pembuatan sama atau berbeda, misal kaca *monolithic* dan kaca *tempered*, dua-duanya tergolong sebagai kaca berpermukaan halus namun dibuat dengan cara yang berbeda. Kaca berpermukaan halus ini dapat berupa kaca bening (tembus pandang) ataupun kaca buram (kaca es). Sementara kaca berpermukaan kasar atau bertekstur, umumnya tidak dapat sepenuhnya bening dikarenakan keberadaan tekstur pada permukaannya. Kaca halus dapat bening atau buram, demikian pula kaca bertekstur dapat bening atau buram, meskipun pada kaca tekstur, beningnya tidak dapat sepenuhnya bening dan tembus pandang.



Gambar 2.22. Kaca berpermukaan halus bening (a) dan buram (b). Dari penampilannya, tidak terlihat secara jelas apakah ini jenis biasa (*monolithic*) atau *tempered* atau *laminated*. Kaca *laminated* hanya akan terlihat jelas dari bagian tepinya, dimana umumnya lem laminasi menyembul.
(Sumber <http://www.indmin.com/events/download.ashx/document/speaker/8915/a0ID000000Zwx8KMAR/Presentation> dan blog.innovatebuildingsolutions.com)



Gambar 2.23. Contoh dua macam blok kaca yang bagian atas halus sehingga cukup tembus pandang, yang bagian bawah bertekstur sehingga kurang tembus pandang.
(Sumber <http://gratuitxblcodes.com/glass-cubes-for-windows.html>)

Berdasarkan warnanya, kaca dapat diklasifikasikan menjadi pewarnaan terang atau bening yang membuat kaca masih tembus pandang dan pewarnaan gelap yang cenderung tidak tembus pandang. Warna yang muncul di kaca bisa disebabkan oleh:

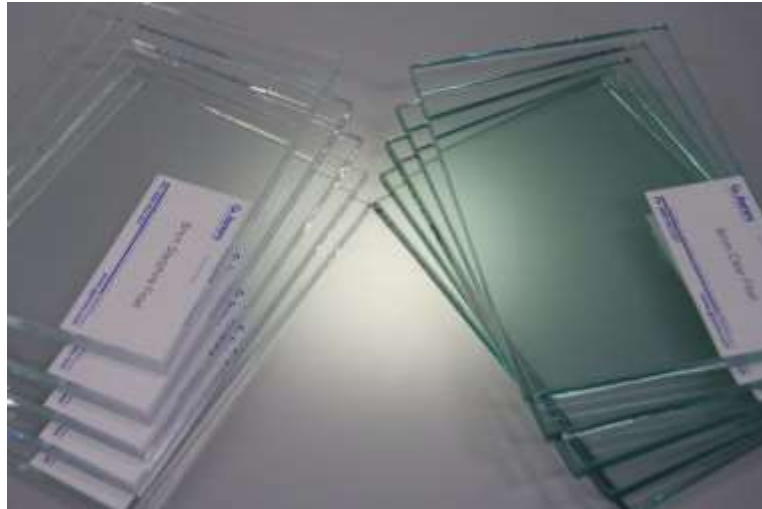
- Penambahan ion pewarna.
- Hamburan cahaya (kaca seolah memiliki warna tertentu karena hanya mampu memendarkan spektrum cahaya tertentu ke mata pengamatnya).
- Lapisan berwarna atau kaca film atau stiker ataupun warna pada lembaran lem pada kaca *laminated*. Stiker kaca akan dibahas pada bagian selanjutnya.

Kaca-kaca warna ini terkenal dengan sebutan *tinted glass*.

Pada penambahan ion pewarna, dapat dipilih ion-ion sebagai berikut:

- 1) Untuk memperoleh warna biru kehijauan, perlu ditambahkan Besi oksida (Fe_2O) ke dalam bahan mentah kaca. Sesungguhnya kaca datar biasa juga mengandung warna ini, namun hanya akan terlihat ketika kaca cukup tebal, yaitu terlihat dari bagian pinggirnya yang tebal. Jika diperlukan warna hijau yang lebih pekat, seperti untuk pembuatan botol berwarna hijau, dalam bahan mentah perlu ditambahkan Chromium (krom).
- 2) Pada kaca yang terbuat dari kapur (*soda lime glass*), untuk menghasilkan warna kuning perlu ditambahkan Sulfur atau Belerang. Sementara untuk mendapatkan warna kuning tua perlu ditambahkan Kalsium. Namun pada kaca yang mengandung Boron (Borosilikat), penambahan Sulfur akan menghasilkan warna biru.
- 3) Untuk memperoleh warna kaca yang benar-benar bening tanpa warna lain (agar kaca tidak kehijauan atau kebiruan), maka perlu ditambahkan sedikit Mangan pada bahan mentahnya. Mangan mampu menghilangkan warna kehijauan pada kaca. Namun jika penambahan Mangan cukup banyak, justru akan menghasilkan kaca berwarna ungu atau violet.
- 4) Untuk menghasilkan kaca berwarna biru, perlu ditambahkan sedikit Cobalt antara 0.025% sampai maksimal 1%.
- 5) Untuk menghasilkan kaca berwarna hijau terang ketika disinari ultra violet, maka pada bahan mentah kaca perlu ditambahkan Uranium.
- 6) Untuk menghasilkan kaca berwarna merah, perlu ditambahkan Selenium pada bahan mentah. Sementara untuk memperoleh warna merah yang lebih tua atau pekat, dapat ditambahkan Copper (tembaga).

- 7) Untuk memperoleh kaca berwarna putih susu, perlu ditambahkan Timah oksida (SnO) dengan Antimoni dan Arsenik oksida. Kaca berwarna susu banyak digunakan untuk barang pecah-belah (seperti piring, cangkir, dll.) dan hiasan rumah tangga.



Gambar 2.24. Perbedaan warna pada kaca yang seolah-olah bening, namun ketika dijajarkan terlihat memiliki warna yang berbeda. Kaca yang bahan mentahnya mengandung cukup Besi oksida akan berwarna semburat kehijauan (kanan) dan yang tanpa kandungan Besi oksida akan terlihat sungguh-sungguh bening (kiri). (Sumber <http://blog.gjames.com/tag/monolithic-glass/>)



Gambar 2.25. Hotel Hesperia di Bilbao, Spanyol yang menggunakan berbagai warna *tinted glass* untuk mendapatkan tampilan yang menarik. (Sumber <https://id.pinterest.com/pin/174584923027826685/>)

2.3.2. Kaca berdasarkan bahan utama penyusun

Selain klasifikasi jenis kaca sebagaimana telah dipaparkan, klasifikasi lain yang digunakan untuk memilah jenis kaca adalah berdasarkan bahan utama penyusunnya. Klasifikasi kaca menurut bahan penyusunnya, adalah klasifikasi yang perbedaannya pada kaca, tidak mudah dikenali secara fisik, karena tidak kasat mata. Lain halnya dengan klasifikasi berdasarkan bentuknya, yang lebih mudah terlihat perbedaannya. Berdasarkan bahan penyusunnya, kaca dibedakan menjadi:

- Kaca soda (*soda lime glass*)

Kaca soda adalah kaca yang mengandung banyak bahan kapur. Kaca jenis ini lebih mudah dicetak atau dibentuk, tahan terhadap bahan-bahan kimia, dan secara umum lebih murah biaya produksinya. Kaca soda umumnya digunakan untuk pembuatan kaca lembaran, botol, dll.

- Kaca Borosilikat (*borosilicate glass*)

Kaca Borosilikat adalah kaca yang mengandung boron atau borak B_2O_3 . Kandungan borak membuat kaca memiliki daya tahan kuat terhadap perubahan suhu, sehingga banyak digunakan untuk benda-benda kaca yang akan terpapar panas atau akan dipanasi, misalnya penutup lampu atau rumah lampu dan panci-panci kaca. Jenis kaca Borosilikat ini bahkan digunakan Thomas Alva Edison untuk menciptakan lampu pijar.

- Kaca Pyrex

Kaca Pyrex adalah kaca yang disusun dari bahan baku terdiri atas Boron, Sodium, Aluminium, Oksigen, Silicon, dan Potasium. Bahan penyusun ini menghasilkan kaca yang bersifat isolator. Komposisi ini memiliki sifat mengeras pada suhu ruangan, dan dapat berubah melentur ketika berada pada suhu tinggi. Kaca jenis ini juga tahan terhadap cairan-cairan kimia. Sifat inilah yang membuat kaca Pyrex sesuai untuk diolah sebagai barang kerajinan tiruan kristal dan dipakai untuk membuat gelas ukur dan tabung-tabung laboratorium. Jenis Pyrex pertama kali dikembangkan oleh Corning Glass Works, namun kerajinan Pyrex yang paling terkenal kualitasnya di dunia berasal dari Italia.



Gambar 2.26. Gelas ukur yang terbuat dari kaca Pyrex.

(Sumber <http://bisakimia.com/2013/12/30/macam-macam-peralatan-kaca-laboratorium/>)

- Kaca Vycor

Awalnya kaca Pyrex dianggap sebagai kaca yang paling kuat, namun kemudian ditemukan pula jenis kaca lain yang lebih tahan panas yang disebut Vycor. Vycor adalah kaca yang terbuat dari pasir Silika (SiO_2) sampai 96%. Seperti halnya Pyrex, kaca Vycor juga banyak digunakan untuk kaca-kaca yang terkait penggunaan panas, atau bahan-bahan kimia, seperti di laboratorium atau yang mendapat perlakuan fisik. Vycor glass disebut juga *heat-resistant glass*.



Gambar 2.27. Pemanggang roti yang menggunakan kaca *heat-resistant glass*.

(Sumber <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-1238493/Hi-tech-toaster-best-thing-sliced-bread.html/>)

- Kaca Timbel (Pb)

Kaca Timbel adalah kaca yang mengandung Timbel oksida (PbO). Kaca dengan kandungan PbO mampu membiaskan cahaya dengan baik. Kaca Timbel terbagi dalam beberapa jenis, yaitu kaca kristal (mengandung lebih dari 24% Timbel dari total bahan mentahnya), kaca optikal atau kaca lensa, kaca pelindung X-ray, dan kaca untuk keperluan elektronik.

- Selain yang telah dipaparkan, juga ada beberapa jenis kaca lain yang lebih dikhususkan untuk keperluan kimia, elektronik dan militer. Kaca-kaca ini memiliki kandungan bahan-bahan mentah khusus agar mampu berfungsi sesuai kebutuhan.

2.3.3. Kaca berdasarkan kekuatan dan manfaat yang diperoleh

Pengklasifikasian kaca berdasarkan kekuatan dan manfaat yang diperoleh, sesungguhnya adalah pengklasifikasian yang kurang tepat, namun tidak ditemukan terminologi lain yang lebih tepat dan sesuai. Lebih tepat jika diklasifikasikan berdasarkan kekuatan saja, namun kenyataannya, sesuai kekuatan yang berbeda-beda, maka pemanfaatan kaca juga berbeda-beda agar diperoleh manfaat yang tepat. Dalam klasifikasi ini, kaca dibedakan menjadi.

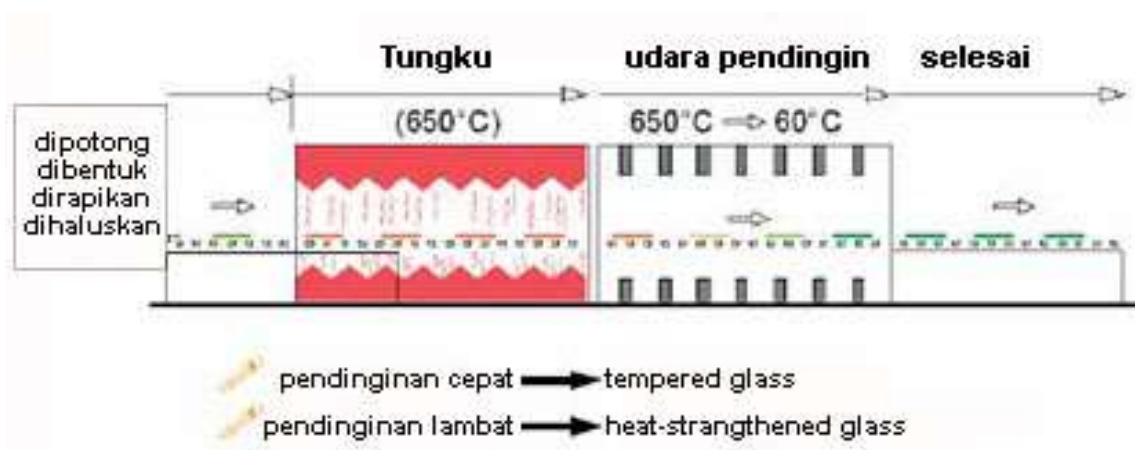
1) *Flat glass*

Flat glass atau disebut juga kaca datar lembaran adalah jenis kaca yang paling banyak beredar. Umumnya merupakan *soda lime glass*. Selain disebut *flat glass*, jenis kaca ini juga seringkali disebut *annealed glass*, yang merujuk pada proses yang dilewati ketika membuat *flat glass* secara *float* (mengambang). Penggunaan istilah ini tergantung pada kehendak produsen. Ada yang menyebut sebagai *flat glass*, ada yang lebih senang menggunakan istilah *annealed*, ada juga yang menyebut sebagai *float glass*. Meski demikian pada *annealed glass* dapat juga ditemukan kaca lengkung, yaitu kaca yang sengaja dicetak lengkung (baki cetakan berbentuk lengkung) sebelum mengalami proses *annealed*. Oleh karenanya, agar tidak rancu, penggunaan istilah kaca *flat* dirasa lebih tepat. Penggunaan kaca ini pada bangunan memiliki fungsi yang sederhana, yaitu untuk pembatas ruang (baik antara ruang dalam dan luar, maupun antar ruang dalam) dengan kemampuan menghalangi angin, hujan dan keadaan lain di luar ruang, agar tidak masuk ke dalam ruangan. Kaca ini bening sehingga memiliki daya tembus pandang yang paling maksimal dan mampu meneruskan cahaya matahari (berserta panas yang datang bersama cahaya matahari). *Flat glass* adalah kaca paling dasar untuk

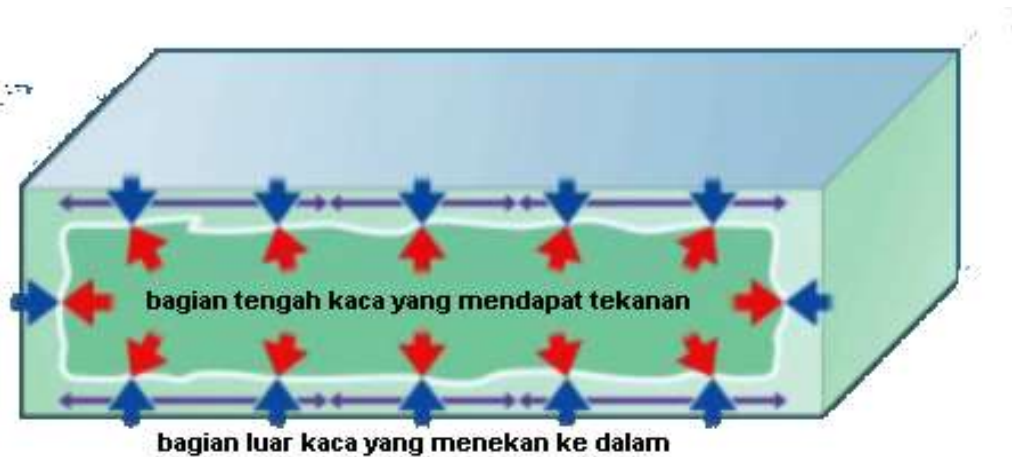
digunakan sebagaimana adanya, atau dapat juga mengalami proses lanjutan menjadi jenis kaca lain, misalnya menjadi *laminated glass*, *tempered glass*, *double-glazed* atau *insulated glass*. Pada penggunaan sebagai kaca tunggal atau satu panel saja, maka jenis *flat glass* ini juga biasa disebut *monolithic glass*.

2) Heat treated glass

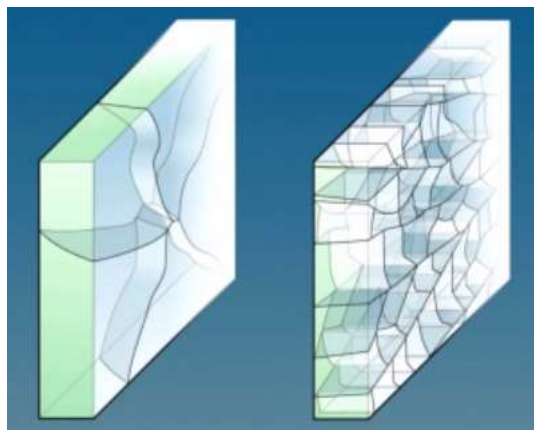
Dalam klasifikasi kaca yang dipanaskan, ada dua jenis kaca, yaitu *heat-strengthened glass* dan *tempered glass*. Pada beberapa produsen, *tempered glass* juga disebut dengan *toughened glass* atau *hardened glass*. Baik *heat-strengthened glass* dan *tempered glass* diproses dengan tata cara yang sama dan pemanasan ulang yang sama (yaitu pada angka 600°C – 650°C), namun berbeda tingkat kecepatan saat mendinginkan. *Tempered glass* langsung didinginkan dengan sangat cepat setelah dipanaskan, sementara *heat-strengthened glass* didinginkan lebih lambat. Hasil akhir menunjukkan adanya perbedaan antara dua jenis ini, yaitu pada: kekuatan kaca, jenis butiran kaca ketika pecah, dan tingkat distorsi yang diderita kaca. Pada kaca *tempered* kekuatan permukaan kaca mencapai 10000 Psi, sementara pada kaca *heat-strengthened* kekuatan permukaan hanya 3500 sampai sebesar-besarnya 7500 Psi. Hal ini menyebabkan kaca *tempered* memiliki kekuatan empat sampai lima kali kaca *flat* biasa. Sementara kaca *heat-strengthened* hanya memiliki kekuatan dua kali lipat kaca *flat* biasa. Kaca *tempered* memiliki butiran pecahan lebih halus daripada kaca *heat-strengthened*. Ketebalan minimum untuk kaca *flat* untuk dapat mengalami perkuatan secara *tempered* ataupun *heat-strengthened* adalah 6 mm. Kaca dengan ketebalan dibawah 6 mm akan pecah saat proses pemanasan.



Gambar 2.28. Proses pembuatan *strengthened glass* dan *tempered glass*.
(Sumber <http://www.architecturaltemperglass.com/2016/01/glass-tempering.html>)



Gambar 2.29. Ilustrasi perbedaan tekanan bagian dalam dan luar pada kaca *strengthened* dan *tempered*.
 (Sumber http://www.educationcenter.ppg.com/glassttopics/heated_glass.aspx)



Gambar 2.30. Perbedaan butiran pecahan kaca *strengthened* (kiri) dan *tempered* (kanan).
 (Sumber http://www.educationcenter.ppg.com/glassttopics/heated_glass.aspx)

Pada saat digunakan sebagai konstruksi bangunan, kaca yang diperkuat ini tentu memberikan manfaat lebih dari sekadar kaca *flat*. Kaca *tempered* digunakan pada bagian-bagian bangunan yang membutuhkan kekuatan terhadap tekanan/hantaman. Misal dinding pada bagian bawah bangunan (pada lantai dasar), dapat menggunakan kaca *tempered* agar lebih aman dari *vandalism*. Pun seandainya pecah, pecahannya tidak melukai pengguna bangunan yang ada di sekitarnya. Kaca *tempered* juga digunakan untuk pintu kaca, pegangan tangan pada tangga, atau fungsi-fungsi lain yang sering mendapat pembebanan. Sebagaimana Gambar 2.29, terlihat bahwa bagian terkuat dari kaca *tempered* adalah bagian permukaan lembaran kaca yang lebar (bukan pada sisi samping/ketebalannya). Hal ini membuat kaca *tempered* lebih mudah pecah/dipecahkan oleh hantaman yang terjadi pada sisi ketebalan (sisi samping). Oleh karenanya, pemakaian untuk fungsi-fungsi yang memiliki pembebanan, sebaiknya juga

memerhatikan kemungkinan adanya hantaman dari sisi samping yang akan memecahkan kaca.

3) *Chemically treated glass*

Chemically treated glass adalah kaca yang diperkuat secara kimia, yaitu dengan merendam kaca *flat* dalam larutan garam Kalium (*Potassium salt*) pada suhu 300°C atau dalam larutan Natrium nitrat bersuhu 450°C. Perendaman dalam cairan kimia khusus ini membuat permukaan kaca dilapisi oleh ion-ion larutan tersebut sehingga memiliki kekuatan tegangan yang lebih besar dari kaca biasa. Namun demikian, pecahan kaca yang diperkuat secara kimia tetap runcing/lancip seperti kaca lembaran biasa, sehingga tidak dapat digolongkan ke dalam *safety glass*. Untuk menjadi *safety glass*, kaca ini perlu dilaminasi sehingga menjadi *laminated glass*. Kaca yang diperkuat secara kimia, masih dapat dipotong setelah diberikan perkuatan, hal ini berbeda dengan kaca *tempered* yang tidak dapat dipotong setelah mengalami temperasi. Meski dapat dipotong, kekuatan kaca yang direndam bahan kimiawi akan hilang pada jarak/radius sekitar 2 cm dari garis potong. Kekuatan kaca hasil rendaman kimia juga akan hilang jika permukaan kaca tergores.

4) *Laminated glass*

Kaca *laminated* adalah beberapa lembar kaca *flat* yang disatukan dengan lapisan perekat. Biasanya yang direkatkan adalah dua buah panel kaca lembaran. Meski demikian tidak menutup kemungkinan, lembaran kaca ini dapat direkatkan lebih dari dua lembar kaca menjadi satu kaca *laminated*. Untuk menghasilkan kaca tahan peluru/tembakan, diperlukan laminasi beberapa lembar kaca. Proses laminasi kaca dapat dilakukan dengan lem yang berbentuk lembaran yang diletakkan antar lapisan kaca kemudian dipanaskan, ataupun dengan lem yang berbentuk cairan yang disuntikkan diantara lembaran kaca yang bagian tepinya telah ditutup, sehingga cairan lem tidak mengalir keluar. Adapun bahan yang biasa digunakan untuk perekat kaca laminasi adalah Polyvinyl butyral (PVB), Ethylene-vinyl acetate (EVA) dan Thermoplastic polyurethanes (TPUs). PVB adalah bahan bersifat resin (cairan yang bersifat lengket) yang terbuat dari reaksi antara Polyvinyl alcohol dan Butyraldehyde. PVB lebih banyak digunakan untuk membuat kaca laminasi dibandingkan TPUs. Merk PVB yang terkenal di dunia misalnya: Saflex, Butacite, Trosifol, dan Winlite. Untuk mendapatkan tampilan yang lebih bervariasi, kini PVB juga telah dibuat dalam berbagai warna dan motif. Ketebalan lapisan PVB biasanya berbeda-beda sesuai industri yang membuatnya. Saflex misalnya, membuat dalam ketebalan 0,38 mm, 0,76

mm, dan 1,52 mm untuk PVB bening, dan 0,38 dan 0,76 mm saja untuk yang berwarna atau bermotif. Sementara itu Butacite dari DuPont memproduksi PVB dengan ketebalan 0,89mm; 1,14mm; 1,52mm; 1,78mm; 2,28mm; dan 3,04mm. Seiring berkembangnya isu tentang penyelamatan lingkungan, maka produsen PVB kini juga memproduksi PVB dari bahan mentah baru ataupun PVB dari 100% material daur ulang. Lem perekat dalam bentuk lembaran ini juga ada yang dibuat dari bahan khusus sehingga kaca laminasi yang dihasilkan mampu memberikan insulasi bunyi yang memadai, ataupun dibuat bergambar sehingga menghasilkan kaca laminasi yang bermotif atau bergambar.

Kaca lembaran yang dapat dibuat *laminated*, harus memiliki ketebalan minimal 3 mm dan ketebalan lapisan perekat maksimal 60 mm. Untuk menghindari ketidaksetimbangan beban yang menyebabkan kaca tidak dalam keadaan benar-benar datar, lembaran kaca yang akan dilaminasi umumnya memiliki ketebalan yang sama, misalnya 3-0,36-3. Artinya dua kaca setebal 3 mm dilapis perekat setebal 0,36 mm. Laminasi lembaran kaca dengan ketebalan yang berbeda dapat menyebabkan kaca hasil laminasi melengkung ke salah satu sisi.



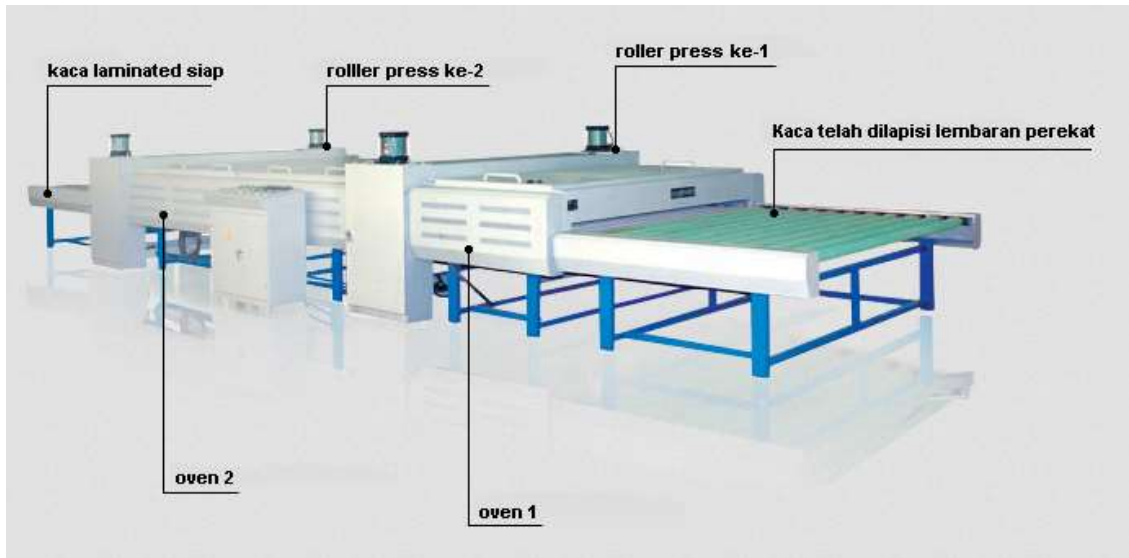
Gambar 2.31. *Laminated glass* dengan bermacam-macam jumlah lapisan/lembaran kaca.

(Sumber <http://www.glass-window.com/glass/laminated-glass/laminated-glass-price-6-38mm-8-38mm-8-76mm.html>)



Gambar 2.32. Kaca *laminated* yang pecah akan membentuk pola sarang laba-laba yang tetap menempel.
(Sumber <https://www.saflex.com>)

Proses produksi kaca *laminated* tidak memerlukan suhu tinggi seperti halnya ketika membuat *tempered glass*, namun memerlukan kehati-hatian, karena suhu dan tekanan harus benar-benar dijaga untuk memperoleh daya rekat yang baik, tiada gelembung udara dan warna PVB yang bening. Adapun proses laminasi hanya memerlukan suhu berkisar 80°C sampai maksimal 160°C, dengan tekanan 1,2-1,4 MPa. Apabila suhu lebih rendah dari ketentuan, maka perekat tidak menempel dengan baik, sebaliknya bila suhu terlalu tinggi perekat berubah warna menjadi kekuningan. Bila tekanan kurang atau berlebih, maka gelembung udara dapat terbentuk diantara lapisan kaca dan perekat.



Gambar 2.33. Proses pembuatan kaca *laminated*.

(Sumber http://www.smemachine.com/uploads/allimg/110404/1_110404105430_1.png)

Kaca *laminated* digunakan untuk jendela bangunan, etalase toko, *skylight*, kanopi, dan fungsi-fungsi lain yang rawan pecah karena menerima benturan atau hempasan, sehingga kemungkinan bisa retak/pecah.

5) *Tempered-laminated glass*

Kaca *tempered-laminated* adalah kaca lembaran yang mengalami dua kali perlakuan pasca produksi. Hal ini dilakukan untuk memperoleh kaca dengan kekuatan yang jauh lebih besar dan lebih aman dari sekadar kaca *tempered* saja atau *laminated* saja. Proses didahului dengan *tempering* sebagaimana umumnya membuat kaca *tempered*. Sebelum di-*tempering* semua pekerjaan terkait ukuran dan penyelesaian sudut kaca telah dilakukan (misalnya bagian ujung sedikit dimiringkan dan dihaluskan, atau istilahnya *baveling*), mengingat setelah mengalami *tempering*, kaca tidak dapat dipotong atau dihaluskan lagi). Setelah di-*tempered*, barulah dua lembar kaca akan melalui proses laminasi sebagaimana umumnya proses laminasi. Kaca *tempered-laminated* digunakan sebagai lantai atau fungsi lain yang menerima beban cukup berat.

6) *Low emissivity glass (low-e glass)*

Low e-glass adalah kaca yang sengaja dirancang untuk memasukkan cahaya matahari ke dalam bangunan, namun menahan radiasi panasnya. Kaca ini akan menghemat penggunaan energi untuk pendinginan ruangan, karena panas matahari tidak memanaskan ruangan. Kaca *low-e* dibuat dengan dua cara:

- Menembakkan dengan keras partikel Timah oksida ke permukaan lembaran kaca yang sudah mengeras sehingga membentuk lapisan keperakan. Lapisan ini sangat

lembut sehingga disebut *soft coat low-e*. Lapisan lembut ini mudah rusak sehingga harus dilindungi dengan lapisan kaca tambahan sehingga menjadi *laminated glass*.

- Menembakkan dengan keras partikel Timah oksida ketika kaca masih dalam tahap cair dan baru mulai mengeras menghasilkan kaca yang disebut *pyrolytic low-e*.

Selain dibuat dengan sistem fabrikasi, kaca *low-e* juga dapat dibuat secara manual dengan menggunakan kaca film yang dilapiskan. Dalam hal ini dipilih kaca film yang mampu menahan radiasi sinar. Berbagai merk kaca film menawarkan kemampuan menahan radiasi matahari, dengan harga jual yang lebih mahal dari kaca film biasa.

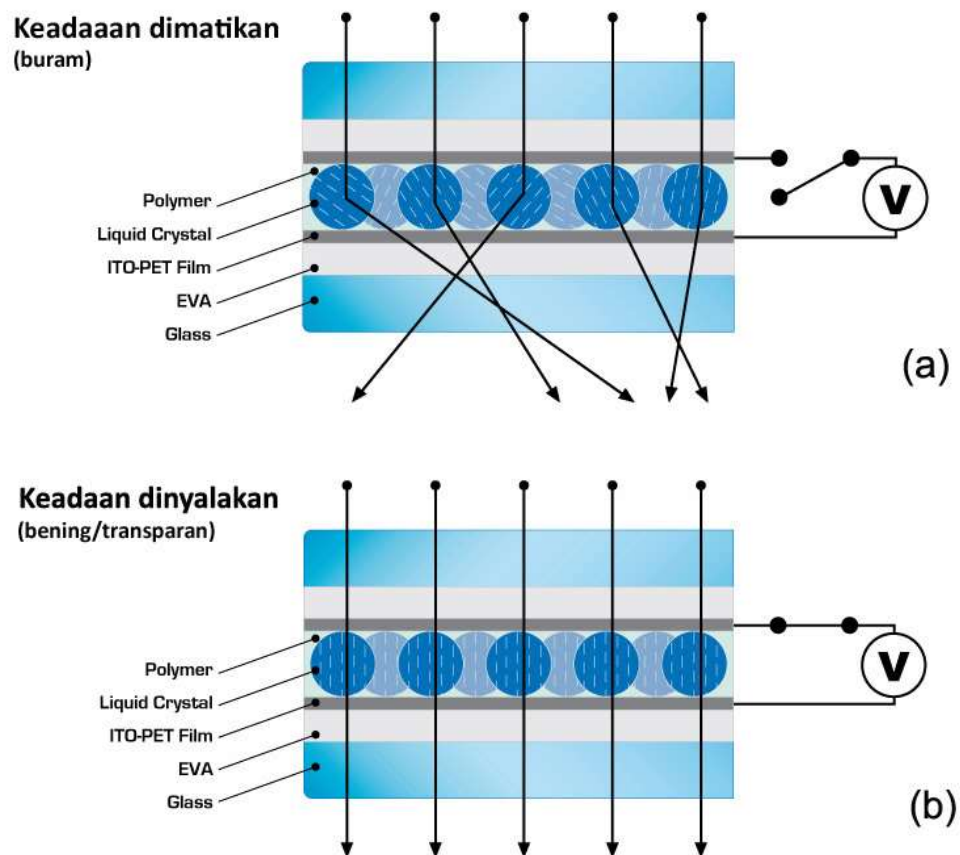


Gambar 2.34. Skematik perbandingan kaca biasa (a) dan kaca *low-e* (b).
 (Sumber <http://www.firstwindows.co.nz/glass-options/product/33/clear-glass-and-low-e-glass>)

7) *Smart glass*

Smart glass disebut juga *switchable glass*, yaitu kaca yang dapat berubah dari bening ke buram dan sebaliknya. Hal ini terjadi ketika kemampuan kaca dalam meneruskan cahaya berubah dikarenakan aliran listrik atau panas yang mengalir di kaca juga berubah. Teknik pembuatan *smart glass* yang umum dipakai adalah *electrochromic*, *photochromic*, *thermochromic*, *suspended particle*, *micro-blind* dan *polymer dispersed liquid crystal*. Elektrokromik adalah fenomena perubahan warna bahan dengan menggunakan semburan muatan listrik sehingga menyebabkan reaksi elektrokimia. Fotokromik adalah transformasi *reversibel* dari dua bentuk bahan kimia oleh penyerapan radiasi elektromagnetik, di mana kedua bentuk tersebut memiliki spektrum penyerapan yang berbeda. Sementara, termokromik adalah perubahan warna zat karena adanya perubahan suhu. Prinsip *micro-blind* atau kerai mikro adalah mengendalikan jumlah cahaya yang lewat sebagai tanggapan terhadap tegangan yang diberikan. Kerai mikro terdiri dari kerai logam tipis yang digulung pada kaca. Mereka sangat kecil dan

tipis sehingga praktis tidak terlihat oleh mata. Lapisan logam diendapkan oleh *magnetron sputtering* dan berpola dengan proses laser atau litografi. *Substrat* kaca mencakup lapisan tipis oksida konduktif transparan (*Transparent Conductive Oxide/TCO*) dan sebuah isolator tipis diendapkan di antara lapisan logam gulung dan lapisan TCO untuk pemutusan listrik. Dengan tidak menggunakan tegangan, kerai mikro tergulung dan membiarkan cahaya melewatinya. Bila ada perbedaan potensial antara lapisan logam gulung dan lapisan konduktif transparan, medan listrik yang terbentuk di antara dua elektroda menyebabkan kerai mikro yang semula tergulung menjadi meregang atau membuka, sehingga akan menghalangi cahaya. Kerai mikro memiliki beberapa kelebihan, termasuk kecepatan *switching* atau berubah posisi (dalam milidetik), memiliki daya tahan terhadap sinar UV, serta tampilan dan transmisi yang dapat disesuaikan.

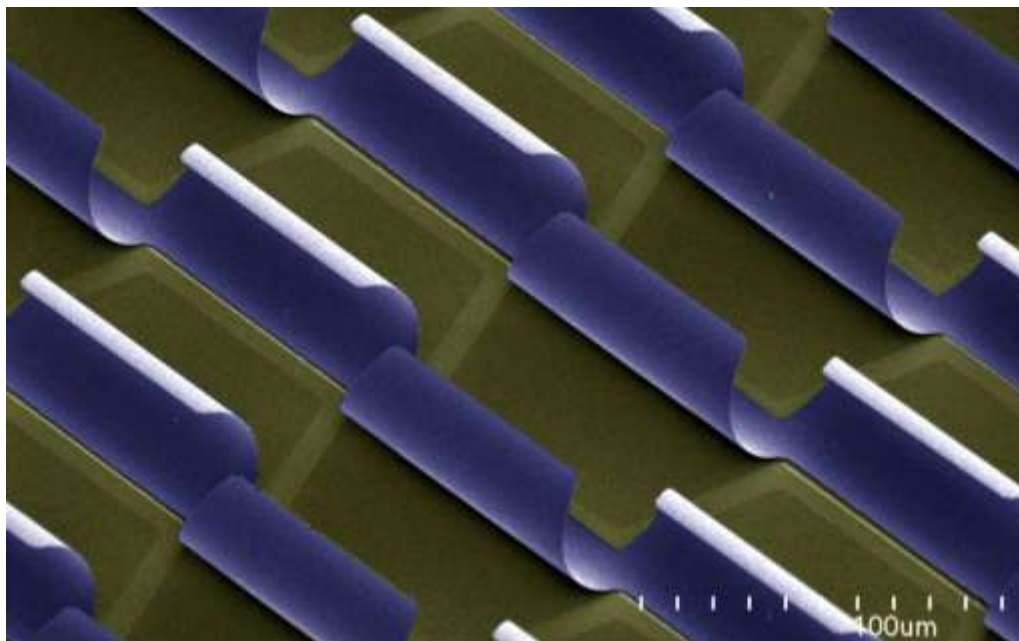


Gambar 2.35. Prinsip kerja *smart glass* elektrokromik, saat listrik dinon-aktifkan (a) dan saat listrik diaktifkan (b).

(Sumber <http://www.dreamglassgroup.com/privacy-glass/#>)



Gambar 2.36. Tampilan *smart glass* saat diaktifkan (*on-mode*) dan dinon-aktifkan (*off-mode*).
 (Sumber <https://www.sgglassmanufacturer.com/products/Smart-Glass.htm>)



Gambar 2.37. Bentuk kerai mikro yang berada di dalam kaca dengan skala 100µm di bawah Scanning Electron Microscope (SEM).
 (Sumber https://ipfs.io/ipfs/QmXoyvizjW3WknFiJnKLwHCnL72vedxjQkDDP1mXWo6uco/wiki/Smart_glass.html)

8) *Glass blocks*

Glass block atau blok kaca adalah kaca yang berbentuk sebagai blok, dibuat dengan ketebalan kaca masing-masing sekitar 0,5 cm yang disekat rongga udara setebal 8 cm dengan berbagai jenis motif dan tekstur permukaan. Blok kaca kotak adalah blok kaca yang paling umum dijumpai dan digunakan. Blok kaca kotak memiliki dimensi sekitar 20 cm x 20 cm x 9 cm. Pada beberapa merek (tergantung produsennya), ukuran blok kaca dapat sedikit lebih kecil atau lebih besar dari yang telah disebutkan. Kini bahkan blok kaca tidak hanya berbentuk kotak, namun juga dalam berbagai variasi bentuk dan warna (Gambar 2.38). Ketersediaan berbagai bentuk dan warna ini tentu makin memudahkan pelaku dunia rancang bangun dalam berkreasi.

Blok kaca dapat digunakan sebagai konstruksi yang berdiri sendiri, karena modelnya yang tebal berupa kaca ganda sehingga menyerupai batu bata atau digunakan sebagai tambahan (dikombinasikan dengan dinding bata atau beton). Penggunaan blok kaca akan menghasilkan dinding sekuat bata namun dengan nilai tambah diperoleh berkas pencahayaan alami dan *view* (pada penggunaan blok kaca bening).



Gambar 2.38. Berbagai bentuk blok kaca.

(Sumber <https://www.houstonglassblock.com/corner-block-shapes-for-glass-blocks/>)



Gambar 2.39. Toko pakaian di Shanghai yang dirancang menggunakan blok kaca sepenuhnya.

(Sumber <https://archpaper.com/2015/09/uufie-transforms-flagship-store-with-icy-cool-glass-block/>)



Gambar 2.40. Detil penggunaan blok kaca secara masif pada area masuk toko pakaian di Shanghai.
(Sumber <https://archpaper.com/2015/09/uufie-transforms-flagship-store-with-icy-cool-glass-block/>)

9) *Safety glass*

Safety glass atau disebut juga kaca aman, adalah kaca yang sengaja diciptakan agar tidak mudah pecah dan ketika pecah tidak terlampau melukai pengguna bangunan. Beberapa produsen kaca menyebutnya sebagai *secure glass*. Dewasa ini yang disebut kaca aman adalah kaca temperasi, kaca laminasi, dan kaca tahan peluru. Kaca tahan peluru dibuat dari beberapa lapis kaca, biasanya kombinasi dari kaca keras dan agak lunak. Kaca yang lunak bersifat elastis sehingga mencegah pecah. Kaca tahan peluru memiliki ketebalan mulai 19 mm sampai 89 mm.



Gambar 2.41. Kaca tahan peluru di toko perhiasan, tidak pecah setelah adanya usaha perampokan. (Sumber https://en.wikipedia.org/wiki/Bulletproof_glass#/media/File:Bulletproof_glass_window_after_a_burglary_attempt.jpg)



Gambar 2.42. Proses pengetesan *secure glass* setebal 13 mm (diproduksi oleh ESG) setelah hampir 1 menit 27 detik memperoleh perlakuan vandalisme dengan palu dan kampak yang tajam, namun tetap bertahan tidak pecah. (Sumber www.youtube.co.id/watch?v=F2wdTd8PWk8)

10) *Wired glass*

Kaca *wired* adalah kaca yang ditengahnya terdapat kawat anyaman. Kaca ini dibuat dengan menambahkan kawat anyaman pada kaca lembaran yang masih berbentuk cair dengan sistem *roller*. Hasilnya adalah kawat anyaman yang terjepit di tengah-tengah kaca lembaran. Ketebalan *wired glass* umumnya 5 mm sampai 8 mm. Kaca *wired* sesungguhnya termasuk dalam kategori *safety glass*, karena ketika kaca pecah, kawat anyaman masih pada posisinya untuk menghalangi akses yang tidak diinginkan dari

luar ke dalam bangunan. Namun kemudian disadari bahwa *safety glass* jenis *wired glass* ini menjadi tidak *safe* atau tidak aman ketika kasusnya dibalik, yaitu kaca dipecahkan untuk keperluan akses dari dalam ruangan ke luar ruangan. Hal ini dapat terjadi pada saat darurat, ketika penghuni bangunan perlu segera menuju luar bangunan saat kebakaran, gempa bumi, dll. Pada keadaan darurat, *wired glass* justru dapat menjebak penghuni di dalam bangunan.

Ketika kemudian dikembangkan *wired glass* yang akhirnya dapat dilubangi, tetaplah dirasa tidak aman, karena dapat melukai pengguna bangunan. Oleh karenanya, di beberapa negara maju, diantaranya USA dan menyusul Canada, penggunaan *wired glass* kini justru dilarang. Dahulu, jenis kaca ini juga digunakan untuk memberikan keamanan pada pengguna bangunan ketika kaca pecah, karena sebagian besar bagian kaca masih menempel pada kawat anyaman, namun kini kemampuan ini telah digantikan oleh kaca laminasi yang dianggap lebih aman.



Gambar 2.43. *Wired glass* untuk pengisi daun pintu (a) dan keadaannya ketika pecah (b).
(Sumber <http://idighardware.com/2013/01/addressing-the-hazards-of-traditional-wired-glass/> dan <https://www.constructioncanada.net/rethinking-wired-glass/>)

2.3.4. Jenis kaca turunan

Jenis kaca turunan adalah kaca yang secara umum mengalami proses lanjutan yang tidak terlalu signifikan terkait fungsi sesudahnya. Proses lanjutan ini dilakukan setelah selesainya proses utama yang menghasilkan kaca datar.

1) Kaca berpermukaan khusus

Kaca berpermukaan khusus mengalami proses lanjutan dari kaca datar dengan bantuan bahan kimia. Yang paling umum dijumpai adalah kaca asam dan kaca satin. Kedua jenis kaca ini permukaannya digosok menggunakan cairan kimia sehingga menghasilkan permukaan tertentu.

Kaca asam adalah kaca yang telah diolah secara kimiawi dengan bahan asam, seperti *Hexafluorosilicic acid* (H_2SiF_6), untuk menghasilkan permukaan akhir kaca yang mampu menyebarkan atau membuat difus cahaya yang ditransmisikan, mengurangi silau dan memiliki tampilan "buram". Kaca ini biasa digunakan untuk interior dan eksterior. Perlakuan pengasaman dapat diterapkan untuk memberikan tingkat tembus yang sama (seragam) atau berbeda, misalnya hanya pada titik-titik yang dipilih untuk menciptakan pola dekoratif.

Untuk memperoleh kaca buram, permukaan kaca juga dapat diberi zat asam yang berbeda seperti *Hydrofluoric acid*. Dengan bahan ini akan dihasilkan kaca yang disebut *satin etch glass* atau kaca satin. Selain dengan cara kimia, proses pemburaman kaca juga dapat dilakukan dengan berbagai cara lain yang kini terus berkembang. Salah satu yang paling terkenal adalah *sandblasting glass*. Kaca ini dibuat dengan menembakkan pasir halus ke permukaan kaca menggunakan semprotan bertekanan sangat tinggi. *Sandblasting* sendiri masuk dalam kategori perlakuan permukaan kaca dengan sistem abrasif. Pengerjaan kaca secara abrasif ini dapat dilakukan dengan pasir (*sandblasting*), manik-manik metal (*shot blasting*), manik-manik plastik, baking soda (*soda blasting*), butiran es (*ice blasting*).



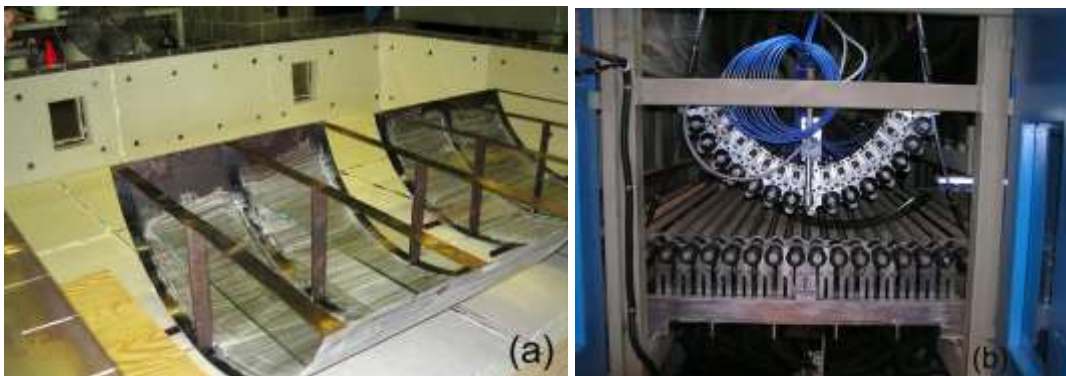
Gambar 2.44. Salah satu kaca yang diburamkan dengan *Hydrofluoric acid* menjadi kaca satin yang difungsikan untuk memendarkan cahaya.

2) Kaca lengkung

Kaca lengkung berasal dari kaca datar yang telah dibentuk menjadi bentuk melengkung atau diprofil menggunakan panas yang ekstrim dengan bantuan cetakan atau bingkai. Kaca lengkung dapat berupa satu lapis kaca atau beberapa lapis, dan dapat ditambahkan juga efek dekoratis di permukaannya.



Gambar 2.45. Beberapa macam kaca lengkung.
(Sumber <http://allteammglass.com/bent-glass/products.html>)



Gambar 2.46. Cara membuat kaca lengkung dengan cetakan yang memiliki tingkat kelengkungan tertentu (a) atau tanpa cetakan tetapi dengan mesin pelengkung yang dapat berubah-ubah radiusnya, sehingga lebih praktis daripada cetakan (b).

(Sumber http://www.cassosolartechnologies.com/architectural-glass_bending.cfm dan <http://www.glassmachinerychina.com/1-7-glass-tempering-furnace.html>)

3) *Carved glass*

Carved glass adalah kaca yang diberi dekorasi gambar pada permukaannya sehingga seolah-olah menyerupai patung tiga dimensi. *Carved glass* dapat dibuat dengan sistem *sandblasting* atau metode *blasting* dengan material lain.



Gambar 2.47. Kaca yang diukir yang diletakkan sebagai pembatas ruangan.
(Sumber <http://www.uniqueartglassstudio.com/etchedglass/Etched%20Glass.html>)

4) *Cast glass*

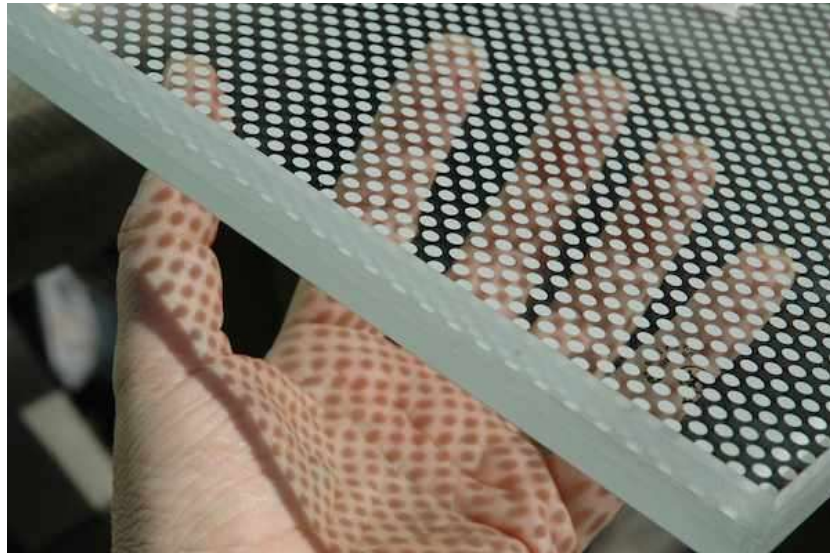
Cast glass adalah kaca dengan permukaan "*hot cast*" bertekstur yang dihasilkan dengan menuang dan menekan zat cair tertentu ke kaca atau ke suatu cetakan.



Gambar 2.48. Kaca *cast* tipe kiln.
(Sumber <http://flyinganvilstudio.com/cast-glass/>)

5) Kaca keramik *frit*

Kaca keramik *frit* adalah kaca yang diberi lapisan cat berpola yang dibuat dengan sistem *printing* ke permukaan kaca pada suhu di atas 650°C dan secara permanen menyatu ke permukaan kaca. Kaca dekoratif jenis ini tersedia dalam berbagai warna, pola, dan derajat ketembuspandangan dan digunakan untuk aplikasi eksterior dan interior.



Gambar 2.49. Kaca keramik *frit*.

(Sumber <http://ceramics.org/ceramic-tech-today/biomaterials/glass-embedded-with-ceramic-frit-or-uv-patterns-is-for-the-birds>).

6) *Channel glass*

Channel glass adalah sistem kaca struktural berpola yang membiaskan objek-objek di baliknya. Disebut channel karena kaca tidak dicetak mendatar tetapi berbentuk kanal C atau U. Kekuatan kaca ini secara struktural diperoleh dari sisi kanal yang dilipat tersebut.

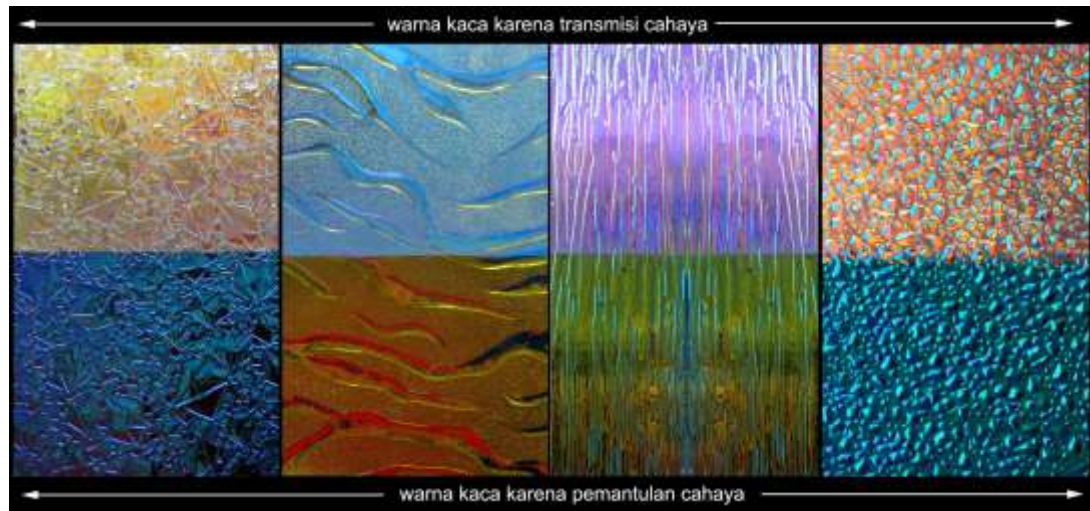


Gambar 2.50. *Channel glass* dan penggunaannya pada dinding.

(Sumber https://bendheim.com/glass_type/channel-glass/)

7) *Dichroic glass*

Dichroic glass adalah kaca yang dibuat dengan menggabungkan beberapa lapisan mikro oksida logam ke permukaan kaca untuk mentransmisikan atau mencerminkan panjang gelombang cahaya yang tersembunyi sehingga menghasilkan beragam warna. Lapisan tipis oksida memiliki ketebalan total 3 sampai 5 sepersejuta inci dan diberi *kiln* untuk disuplai ke permukaan kaca.



Gambar 2.51. *Dichroic glass* yang seolah berbeda warna, hanya karena mengalami proses penyinaran berbeda, karena adanya lapisan mikro oksida logam di permukaan.
(Sumber <http://www.atriumsculpture.com/#/lighting-dichroic-glass/4561031277>)

8) *Etched glass*

Etched glass adalah istilah lain untuk kaca yang mendapat perlakuan khusus permukaan seperti telah dibahas pada poin 1). Ini adalah istilah umum yang digunakan untuk kaca yang telah dimodifikasi sedemikian rupa sehingga memberikan permukaan yang akan menyebarkan cahaya yang ditransmisikan, mengurangi silau dan memiliki tampilan buram atau untuk menciptakan pola dekoratif.



Gambar 2.52. *Etched glass.*

(Sumber <http://petalglassindustries.com/etchedglass.aspx>)

9) *Frosted glass*

Frosted glass adalah istilah generik yang digunakan untuk menggambarkan kaca yang permukaannya cenderung menyebarkan cahaya dan memiliki tampilan "buram". Kaca *frosted* diproduksi dengan berbagai cara termasuk dengan sistem *etch* dengan bahan kimia, sistem abrasif, ukiran, aplikasi tinta atau stiker keramik dan dengan menempelkan atau menggabungkan film tembus pandang.



Gambar 2.53. *Frosted glass.*

10) *Laser etched glass*

Laser etched glass adalah kaca hias yang memiliki gambar terukir di permukaan atau di dalam kaca menggunakan teknologi laser. *Laser etched* bisa memberikan detail yang tinggi, gambar ukiran yang tajam, bahkan bisa berupa foto (Gambar 2.54).



Gambar 2.54. *Laser etched glass.*

11) *Non slip surface glass*

Non slip surface glass adalah kaca yang mendapat perlakuan permukaan yang menghasilkan koefisien gesek statik yang besar. Kaca ini biasanya digunakan untuk sistem lantai kaca, ubin lantai dan tapak tangga. Permukaan kaca digores secara merata di seluruh permukaan atau dalam pola dekoratif untuk memberi peningkatan keamanan dan menambahkan elemen kreatif pada desain lantai.



Gambar 2.55. *Non-slip surface glass.*

(Sumber https://www.spec-net.com.au/press/1213/ben_041213/Glass-Stair-Treads-for-Frameless-Staircase-Bent-amp-Curved-Glass)

12) *Painted/ back painted glass*

Painted/ back painted glass adalah kaca yang mendapat pelapisan yang diaplikasikan pada kaca yang benar-benar menutupi permukaan seluruh kaca dan tersedia dalam berbagai warna solid dan metalik.



Gambar 2.56. *Painted/back painted glass.*

13) *Patterned glass/ Rolled glass*

Patterned glass/ Rolled glass adalah kaca yang permukaannya memiliki tekstur atau pola yang dibentuk pada suhu tinggi saat masih dalam keadaan agak cair. Tekstur ini dapat terbentuk pada satu atau kedua sisi. Tekstur diperoleh dengan melewati kaca, sambil tetap dalam keadaan lunak atau mudah dibentuk, diantara *roller* atau penggulung yang memiliki pola pada permukaannya dengan desain yang diinginkan.



Gambar 2.57. Motif paling umum dijumpai dalam *patterned/rolled glass.*

14) *Silicon coated glass*

Silicon coated glass adalah lapisan kaca berpigmen yang diperoleh dengan proses *tempering* yang terikat secara kimia ke permukaan kaca. Lapisan silikon dapat diaplikasikan ke kaca dengan sistem: *silkscreening*, *roller*, atau *spray*. Kaca dekoratif jenis ini tersedia dalam berbagai warna dan corak.



Gambar 2.58. Lembaran silikon berwarna untuk melapisi kaca.

Selain jenis-jenis kaca turunan yang telah dibahas, sesungguhnya masih banyak jenis-jenis kaca lain yang dijumpai di pasar material bangunan, namun tidak semuanya dapat dipaparkan dalam buku ini. Seringkali perbedaan jenis atau nama kaca hanya dikarenakan penamaan yang berbeda oleh produsen yang berbeda. Jenis-jenis atau nama-nama kaca yang belum dibahas cenderung kurang signifikan perbedaannya dengan yang telah dipaparkan sebelumnya.

11) *Water repellent glass*

Water repellent glass adalah kaca yang permukaannya mengalami suatu perlakuan khusus sehingga mampu menahan air agar tidak menempel sedikitpun di permukaannya. Kaca jenis *water repellent* ini pertama kali diciptakan oleh perusahaan mobil Volvo untuk digunakan sebagai kaca mobil. Kaca biasa dapat dibuat menjadi *water repellent* menggunakan *superhydrophobic coating*, yaitu suatu lapisan *nanoscopic* yang diaplikasikan di permukaan kaca dengan cara dipanaskan dan akhirnya menyatu dengan permukaan kaca. *Superhydrophobic coating* dibuat dari berbagai macam material diantaranya Mangan, Seng, dll. Dalam keadaan digunakan, lapisan ini dapat bertahan sampai sekitar 6 tahun, dan perlu mendapatkan pelapisan ulang agar memiliki kemampuan seperti sedia kala.

Pengaplikasian *water repellent* di permukaan kaca kini telah mengalami perkembangan, dan dapat dilakukan dengan menggosokkan atau menyemprotkan bahan kimia yang *nanoscopic* ke permukaan kaca (Gambar 2.59).



Gambar 2.59. Kaca yang mengalami pelapisan *nanoscopic* (kanan) dan tidak (kiri).
(Sumber <https://thomann-hanry.co.uk/metal-cleaning/glass-restoration/>)

BAB III

INDUSTRI KACA

Sejak ditemukan tanpa sengaja oleh para pedagang yang memasak menggunakan periuk dan setelah dingin dasar periuk berubah menjadi transparan, maka kaca mulai dibuat secara sengaja untuk memenuhi kebutuhan akan material transparan. Pada awalnya memang lebih mengarah pada pembuatan barang-barang pecah belah. Kemudian konon, pada tahun 290 M, penggunaan kaca untuk jendela bangunan sudah mulai dikenal. Sementara itu, jauh pada abad sebelumnya, yaitu abad ke-12 M, pembuatan kaca dengan sistem tiup telah diperkenalkan oleh para pendeta.

Pada abad ke-13 M, Venesia di Italia dikenal sebagai pemegang monopoli industri kaca, yang kemudian berkembang ke Jerman dan Inggris pada abad ke-16 M. Keberadaan kaca sebagai material bangunan, tidak terlepas dari keberadaan industri kaca yang kini terus mengembangkan ide-ide baru untuk memproduksi berbagai macam kaca. Selain tampilan dan warna yang beragam, industri juga mengembangkan kaca yang makin kuat, aman, mampu menahan panas, dan lain-lain. Dengan berbagai pilihan ini, dunia rancang bangun makin diuntungkan, karena dapat memilih jenis kaca yang sesuai dengan tujuan perancangan dan dana yang tersedia.

Selain mengenai industri kaca, pada bagian ini dipaparkan pula secuplik mengenai industri kusen atau bingkai (*frame*) kaca. Hal ini mengingatkan umumnya pada penggunaan sebagai elemen bangunan, terutama pada posisi penempatan di dinding, kaca akan dipegang/dilingkupi oleh *frame*.

3.1. Industri Kaca di Dunia

Saat ini, industri kaca di dunia didominasi oleh negara-negara maju seperti Pilkington (Inggris; saat ini telah berkolaborasi dengan perusahaan di beberapa negara lain, dengan nama perusahaan yang berbeda atau dengan nama perusahaan yang masih membawa nama Pilkington), Saint Gobain (Perancis), Asahi (Jepang; saat ini juga sudah berkolaborasi dengan perusahaan di negara lain, termasuk Indonesia dengan nama Asahimas Flatglass Tbk.), Schott Glass (Jerman-Amerika), dan Corning (Amerika). Di Eropa terdapat asosiasi industri kaca, yang diantaranya beranggotakan 4 industri besar yaitu Asahi Glass Co., Saint Gobain Glass, NSG-Pilkington, dan Sisecamp Glass. Asahi Glass Co. Ltd adalah produsen kaca terkemuka di dunia yang berasal dari Jepang didirikan oleh Mr. Iwasaki Toshiya pada awal 1900, dan kemudian menyebar ke negara-negara lain dengan cara bekerja sama dengan industri lokal, seperti halnya di Indonesia. Satu lagi industri kaca Jepang yang mendunia adalah Nippon Sheet Glass (NSG). NSG menyebar ke Eropa setelah menggandeng Pilkington Glass, sebuah pioneer industri kaca dari

Inggris. Anggota terakhir dari Asosiasi Industri Kaca Eropa adalah Sisecamp, sebuah industri kaca dari Turki yang berdiri pada 1935. Sekilas mengenai industri-industri kaca tersebut akan dibahas pada bagian berikut.

1. Pilkington

Perusahaan ini didirikan pada tahun 1826 sebagai suatu kemitraan antara anggota keluarga Pilkington dan Greenall. Industri ini berbasis di St Helens, Lancashire, United Kingdom. Selanjutnya perusahaan ini dikenal dengan nama Pilkington Brothers. Pada akhir tahun 1950-an, Alastair Pilkington dan Kenneth Bickerstaff menemukan proses pembuatan kaca dengan cara mengambangkan cairan kaca. Temuan ini adalah temuan yang sangat revolusioner dalam proses produksi kaca lembaran berkualitas tinggi. Sistem ini ditempuh dengan menuangkan cairan kaca ke atas timah cair yang berada dalam sebuah bak tampung. Proses ini menghasilkan kaca lembaran dalam dimensi yang lebih besar daripada yang diproses dengan metode sebelumnya, kaca menjadi lebih datar, dan bisa dicetak lebih tipis. Temuan yang dianggap modern ini selanjutnya digunakan oleh banyak produsen di seluruh dunia. Sebelum menggunakan metode ini, industri di luar Pilkington wajib menandatangani lisensi dengan pihak Pilkington. Hal ini membuat Pilkington memegang monopoli industri kaca di dunia. Pada 2006, NSG dari Jepang mengakuisisi Pilkington, namun nama Pilkington sendiri masih digunakan hingga kini, menjadi NSG-Pilkington.

2. Saint-Gobain

Saint-Gobain adalah industri kaca dari Perancis, yang saat ini memiliki karyawan hampir mencapai 190 ribu orang. Sesungguhnya Saint-Gobain tidak hanya memproduksi kaca, namun juga sel *photovoltaic*, komponen keramik, kristal, dll. Produknya telah dipasarkan di 64 negara, melalui kolaborasi dengan perusahaan lokal di negara importir tersebut.

3. Asahi Glass Company (AGC) Group

Asahi adalah perusahaan kaca yang berasal dari Jepang dan saat ini telah melakukan kolaborasi dengan perusahaan lokal di 30 negara. Saat ini karyawan Asahi telah mencapai 50 ribu orang. Produksi utama Asahi adalah kaca, meliputi kaca datar, kaca otomotif dan kaca untuk peralatan elektronik, yang secara keseluruhan mencapai hampir 50% produksi. Sementara itu, produk lain dari AGC adalah keramik (6%) dan bahan kimia (21%).

4. Corning Inc.

Corning adalah industri kaca dari Corning, New York, Amerika. Industri ini tidak hanya memproduksi kaca, tetapi juga barang elektronik, telekomunikasi, dan transportasi. Corning memiliki 30 ribu karyawan yang tersebar di 130 lokasi di seluruh dunia. Kini Corning juga mengakuisisi Samsung Korea khusus untuk memproduksi LCD dengan nama Samsung Corning Precision Materials Co. Ltd.

5. Murata Manufacturing Co.Ltd.

Murata industri berasal dari Kyoto, Jepang. Murata memproduksi kaca yang lebih dikhususkan pada komponen elektronik. Murata memiliki 48 ribu karyawan di seluruh dunia. Produksi utamanya adalah kapasitor yang kini mendunia, seiring kebutuhan yang terus meningkat akibat berkembangnya penggunaan telepon pintar (*smart phones*).

6. The Nippon Sheet Glass (NSG) Group

NSG adalah juga industri kaca dari Jepang, tepatnya Tokyo. NSG memproduksi kaca berperforma tinggi, terbagi dalam: kaca untuk arsitektur dan bangunan (40% produksinya), seperti kaca untuk keperluan *solar panel* dan kaca yang dapat membersihkan sendiri (*self-cleaning glass*), kaca untuk otomotif (50%) dan lain-lain (10%). NSG memiliki 28 ribu karyawan di 30 negara.

7. Pittsburgh Plate Glass Company (PPG)

Pittsburgh Plate Glass Company didirikan pada tahun 1883 oleh Kapten John Baptiste Ford dan John Pitcairn, Jr., di Creighton, Pennsylvania, USA. PPG berkembang dengan cepat dan menjadi produsen kaca berkualitas tinggi pertama di Amerika Serikat yang berkualitas komersial dengan menggunakan proses lempeng. PPG juga merupakan pabrik kaca pertama di dunia yang menyalakan tungku industri dengan gas alam produksi lokal. Kini, selain memproduksi kaca, PPG juga memproduksi pelapis kaca, *fiberglass*, dan bahan kimia.

8. Kyocera Corp.

Kyocera adalah juga industri kaca dari Kyoto, Jepang, dengan 70 ribu karyawan yang tersebar dalam 230 sub perusahaannya di seluruh dunia. Produksi kaca Kyocera mayoritas untuk keperluan otomotif, sistem penerangan LED (*light emitting diode*) dan lensa kamera. Dewasa ini Kyocera juga mengembangkan produk serat kaca optik.

9. Radex Heraklith Industriebeteiligungs Actien-Gesellschaft (RHI AG)

RHI AG adalah industri kaca dari Austria dengan karyawan 8 ribu orang. Fokus produksinya adalah: baja, semen, kaca dan bahan kimia. Kaca bukanlah fokus utama industri ini.

10. Schott Actien-Gesellschaft (AG)

Schott AG adalah industri kaca dari Mainz, Jerman dan telah pula memiliki anak perusahaan utama di Amerika. Perusahaan ini dirintis oleh Friedrich Otto Schott, dan kini telah memiliki 15 ribu lebih karyawan. Produksi utamanya adalah kaca berkualitas tinggi untuk keperluan arsitektur, elektronik, transportasi, optik dan farmasi. Beberapa waktu lalu juga memproduksi komponen panel surya, namun kini divisi ini telah ditutup dan lebih fokus pada produk yang telah disebutkan sebelumnya.

11. CoorsTek Inc.

CoorsTek adalah industri kaca dari Colorado Amerika, memproduksi kaca untuk keperluan otomotif dan rumah tangga, dan beberapa produk keramik untuk industri.

12. Ducatt

Ducatt adalah sebuah industri kaca di Belgia, dengan fokus produksi kaca *solar* baik untuk bangunan secara langsung (menangkal radiasi matahari), maupun untuk keperluan panel surya.



Gambar 3.1. Logo-logo industri besar kaca di dunia, logo ini umumnya tertempel di sudut kaca yang mereka produksi.

(Sumber website resmi masing-masing industri).



Gambar 3.2. Kantor pusat Pittsburg Plate Glass Company di Pittsburgh yang sangat megah dan berbalut 100% kaca. Gedung ini berhasil menampilkan citra perusahaan kaca seutuhnya.

(Sumber https://en.wikipedia.org/wiki/PPG_Industries)

3.2. Industri Kaca di Asia Tenggara dan Indonesia

Industri kaca di Asia dan Asia tenggara, termasuk Indonesia, tidak ada yang sebesar industri dunia yang telah disebutkan sebelumnya. Bilapun dijumpai satu yang besar, biasanya hasil kerja sama antara industri tingkat dunia seperti telah dibahas sebelumnya dengan industri lokal.

1. Singapura

Perusahaan kaca datar yang terbesar di Singapura adalah Century Safety Glass. Asahiglass juga merupakan perusahaan kaca di Singapura, namun pabriknya tidak berlokasi di negara tersebut, yang berlokasi di Singapura hanyalah kantor pemasarannya. Industri kaca tingkat hulu umumnya tidak berlokasi di Singapura, mengingat Singapura adalah negara dengan wilayah yang tidak terlalu besar. Namun beberapa industri kaca tingkat hilir dapat dijumpai di Singapura, seperti Glass Point

Construction, Carlton Glass Enterprise, Walford Glass. Industri kaca tingkat hilir adalah industri kaca yang melakukan pekerjaan pasca produksi hulu, seperti membengkokkan atau melengkungkan lembaran kaca, membuat kaca ganda, melaminasi kaca, dan lain-lain.

2. Malaysia

Hesin Glass Marketing adalah produsen kaca datar di Malaysia dengan lokasi pabrik di Johor. Selain Hesin, NSG (Nippon Sheet Glass) dari Jepang juga memiliki cabang atau anak perusahaan di Malaysia.

3. Vietnam

Perusahaan kaca besar di Vietnam adalah Viet Nam Float Glass Company, yang merupakan perusahaan kerjasama dengan NSG Jepang.

4. Filipina dan Thailand

Di Filipina cukup banyak dijumpai industri kaca, namun sesungguhnya ini bukan industri hulu, namun industri hilir. Salah satu yang cukup besar adalah Pacific Glass. Sementara untuk Thailand, industri kaca terbesar adalah Asahi Glass Company (AGC), yang lainnya adalah industri hilir.



Gambar 3.3. Logo-logo industri kaca di di Asia Tenggara.

(Sumber website resmi masing-masing industri).

Dari perusahaan dunia yang berlokasi di negara-negara maju, kemudian ke industri kaca di Asia Tenggara, kini saat-nya mengupas industri kaca di Indonesia. Produsen kaca di Indonesia dapat digolongkan menjadi dua tingkatan: hulu dan hilir. Produsen hulu adalah yang memproduksi kaca secara langsung dari bahan mentah pasir silika dan produksi hilir adalah yang mengerjakan bahan kaca untuk memperoleh perlakuan tambahan, seperti menjadi kaca *tempered*, *laminated*, *low emissivity*, dan lain-lain.

Produsen kaca hulu di Indonesia hanya ada tiga yaitu: PT. Asahimas Glass Tbk, PT. Muliaglass, dan PT. Tossa Shakti. PT. Asahimas berkedudukan di Jakarta dengan pabrik berada di Ancol, Cikampek dan Sidoarjo. Sementara PT. Mulia Glass berkedudukan di Jakarta dengan pabrik berada di Cikarang. PT Tossa Shakti berkedudukan dan lokasi pabrik di Kendal, Semarang Jawa Tengah.

Sementara itu produsen kaca tingkat hilir ada sekitar 30 buah dengan satu yang cukup besar adalah: Multi Arthamas Glass Industry (PT. Magiglass) yang berkantor pusat di Kedung Baruk, Surabaya dan workshop di Surabaya dan Jakarta.

4. PT. Asahimas Flat Glass Tbk

PT. Asahimas Flat Glass Tbk merupakan Perusahaan Modal Asing (PMA) yang berdiri pada tahun 1971, dan merupakan bagian dari Asahi Glass Co.Ltd, yang merupakan salah satu produsen kaca terbesar di dunia.

Asahi Glass Co. Ltd. adalah produsen kaca terkemuka di dunia yang berasal dari Jepang. Industri ini didirikan oleh Mr. Iwasaki Toshiya pada awal 1900. Pabrik pertama berlokasi di Amagasaki Hyogo yang berdiri pada 1907. Selanjutnya Asahi Glass melebarkan sayapnya ke beberapa negara, termasuk Indonesia. Untuk kawasan Asia Tenggara, awalnya Asahi Glass Co. Ltd. didirikan di Thailand, kemudian berlanjut ke Indonesia. Di Indonesia berdirinya Asahi Glass dilaksanakan dengan sistem Penanaman Modal Asing (PMA), yaitu Asahi Glass bekerja sama dengan PT. Rodamas, yang didirikan oleh seorang pedagang bernama Tang Siong Kie. PT Rodamas merupakan komunitas domestik terkemuka kelompok usaha swasta yang memiliki minat pada produk industri dan konsumen. Ide untuk menggabungkan keahlian teknis dengan teknologi antara Rodamas dan Asahi Glass akhirnya menghasilkan pemahaman kokoh terhadap pasar lokal baik dari segi strategis maupun kemitraan yang membuat Asahimas menjadi pelopor industri kaca di negeri ini.

Kapasitas produksi PT. Asahimas Flatt Glass saat ini adalah sebesar 570.000 ton per tahun untuk kaca datar, 4,5 juta m³ untuk kaca pengaman dan 2,4 juta m³ untuk kaca cermin. Dengan kapasitas sebesar ini, Asahimas merupakan salah satu industri kaca terbesar di Asia Tenggara.

Asahimas memulai produksi manufaktur kaca pada bulan April 1973, dari kaca bening sederhana yang diproduksi menggunakan proses *Fourcault* tradisional (proses ini dipaparkan pada Bab II). Selanjutnya, produksi dengan cepat mengalami diversifikasi untuk menghasilkan produk-produk inovatif seperti kaca khusus, kaca pengaman, kaca

reflektif dan kaca cermin. Pada tahun 1975, perusahaan ini pertama kali membangun pabrik kaca yang memproduksi barang komersial dan terjamin keamanannya, serta pada tahun 1976 mulai menggunakan proses *tempering*. Pada tahun 1976, Asahimas juga membangun tungku kedua untuk kaca lembaran di lokasi industri di Jakarta dan memulai produksi komersial pada tahun 1977. Selanjutnya pada tahun 1981, Asahimas mulai menggunakan teknologi baru yang ditemukan Pilkington, yaitu metode *float glass* pada tungku ke tiga-nya di Jakarta. Selanjutnya, dengan metode cetak sistem *float* yang lebih efektif, pada tahun 1983 Asahimas menutup tungku keduanya yang menggunakan proses *Foucault*. Pada tahun 1985 Asahimas juga mulai pembangunan tungku ke empat (*float line* yang ke dua) di pabrik Sidoarjo. Tungku ini kemudian memulai produksi komersial pada tahun 1987. Selanjutnya kemudian dibangun tungku kelima (*float line* ke tiga) dan tungku ke enam (*float line* ke empat) pada tahun 1990 dan 1996. Kedua tungku terakhir ini mulai beroperasi secara komersial pada tahun 1993 dan 1997. Tungku-tungku ini berlokasi di Jakarta, sedangkan yang terakhir berada di Sidoarjo. Penulis sempat berkunjung ke PT. Asahimas yang berlokasi di Sidoarjo dan diterima serta dibawa berkeliling pabrik oleh Bpk. Ir. Lilik Roesianto (selaku Factory Manager) dan Bapak Samuel Kusnendar, ST. (selaku Production Division - A2-Line Department). Sayang, pada kegiatan kunjungan di Asahimas, foto kegiatan yang direkam kurang tajam untuk ditampilkan.

5. PT. Mulia Glass

Setelah Asahimas, pada 1989, di Indonesia berdiri PT. Mulia Glass. Perusahaan ini adalah anak perusahaan dari PT. Mulia Industrindo Tbk. yang berdiri pada 5 November 1986, termasuk di dalamnya PT. Mulia Keramik Indah Raya, yang memproduksi keramik. Keramik Mulia cukup dikenal masyarakat, namun kaca Mulia masih kurang populer di masyarakat dibandingkan kaca Asahimass. PT. Mulia Glass memproduksi berbagai jenis kaca antara lain *float glass*, *glass container*, *safety glass* dan *glass block*.

Selain untuk memenuhi pasar dalam negeri, produksi Mulia juga telah diekspor ke luar negeri, ke lebih dari 50 negara, dan volumenya ekspornya telah mencapai 65% dari total produksinya. Sementara itu produksi yang lain yaitu *glass container* lebih banyak dipasarkan untuk kebutuhan domestik sebagai kemasan *consumer goods* dan industri obat-obatan.

Industri Mulia Glass berlokasi di Cikarang Jawa Barat dengan kantor pusat di Jakarta. Saat ini Mulia Glass memproduksi *float glass* sebanyak 612.500 ton/tahun, kemudian

glass container 140.000 ton/tahun, blok kaca 45.000 ton/tahun, dan *safety glass* 120.000 ton/tahun. Penulis sempat mengunjungi dan berkeliling pabrik PT Muliaglass yang berlokasi di Cikarang dan diterima oleh Ibu Brigita Gumarus (Sales Project) dan Bapak Dedy Prasetya.

6. PT. Tossa Shakti

PT. Tossa Shakti didirikan pada tahun 1984. Awalnya industri ini belum memproduksi kaca, baru pada tahun 2007 Presiden Susilo Bambang Yudhoyono meresmikan pelebaran sayap PT .Tossa Shakti sebagai industri kaca ke-3 di Indonesia. Tossa *glass* berlokasi di Kaliwungu, Semarang, Jawa tengah. Industri ini memproduksi kaca bening (*float glass*) dengan kapasitas 900 metrik ton/hari, dan kaca berwarna (*tinted float glass*) yakni hijau, biru, dan kuning dengan kapasitas 70 metrik ton/hari. Kapasitas tanurnya mencapai 70 ton/hari.

Mesin produksi Tossa menggunakan beberapa teknologi dari sejumlah provider berbeda. Teknologi *raw material system* dan *electronic batching system automatically* menggunakan teknologi Siemens PLC (Jerman). Sementara teknologi tanur dan forming-nya dari China. Proses *annealing* menggunakan mesin Bottero (Italia), dan Rurex (Jerman), serta CNUD (Belgia).

Pabrik kaca ini berafiliasi dengan Glass Global Grup yang bermarkas di Dusseldorf, Germany. Penulis sempat berkunjung dan berkeliling pabrik Tossa *glass* yang berlokasi di Kendal, Jawa Tengah dan diterima oleh Direktur Utama Bapak Gunawan Chandra, dan jajaran manager di PT. Tossa Shakti.

Selain kaca-kaca buatan lokal, di Indonesia juga beredar kaca-kaca import, diantaranya adalah Pilkington, yang diedarkan di Indonesia oleh PT Bali Permai Crafindo yang berlokasi di Jakarta.



Gambar 3.4. Logo-logo industri kaca di Indonesia dengan logonya yang akan tertempel di sudut kaca yang mereka produksi. (Sumber website resmi masing-masing industri).

Kaca-kaca produksi industri hulu di Indonesia ini selanjutnya diistribusikan ke agen-agen kaca untuk jenis kaca-kaca dasar seperti kaca *monolithic* atau yang umumnya disebut kaca *flat*, kaca tekstur/buram, atau kaca cermin. Namun untuk kaca-kaca yang perlu diolah menjadi produk lanjutan, perlu dikirim ke industri hilir. Industri hilir kaca terbesar di Indonesia adalah PT. Multi Arthamas Glass Industry atau lebih dikenal sebagai PT. Magiglass. Industri ini mengerjakan kaca *monolithic* menjadi kaca *laminated*, *tempered*, *bending glass*, *double glass*, dll. (dari produk hulu menjadi produk hilir yang siap pakai).



Gambar 3.5. Kunjungan ke PT. Tossa Shakti (a), PT. Muliaglass (b) dan PT. Magiglass (c). Sayang, foto kunjungan ke PT. Asahimas kurang baik kualitasnya untuk ditampilkan.

Kehadiran industri kaca ini secara umum menghadirkan manfaat positif bagi penyerapan tenaga kerja, terutama untuk penduduk yang bertempat tinggal di sekitar area industri. Namun dengan kemajuan teknologi menuju era industri yang semakin canggih, telah terjadi pula pengurangan penyerapan tenaga kerja. Mesin-mesin canggih telah

menggantikan tenaga manusia. Pada industri kaca hulu, pencairan bahan mentah kaca di dalam tungku, pengambilan bahan cair untuk dilektakkan ke atas cetakan, pemotongan kaca, dll, yang semua dikerjakan secara manual, kini telah dikerjakan secara otomatis oleh mesin. Tenaga kerja manusia hanya dibutuhkan untuk sistem pemeriksaan hasil akhir dan *packing*. Industri kaca yang semakin maju dengan berbagai jenis produk kaca juga bermanfaat bagi para arsitek dan jasa konstruksi dalam mengembangkan ide-ide baru perancangan bangunan.

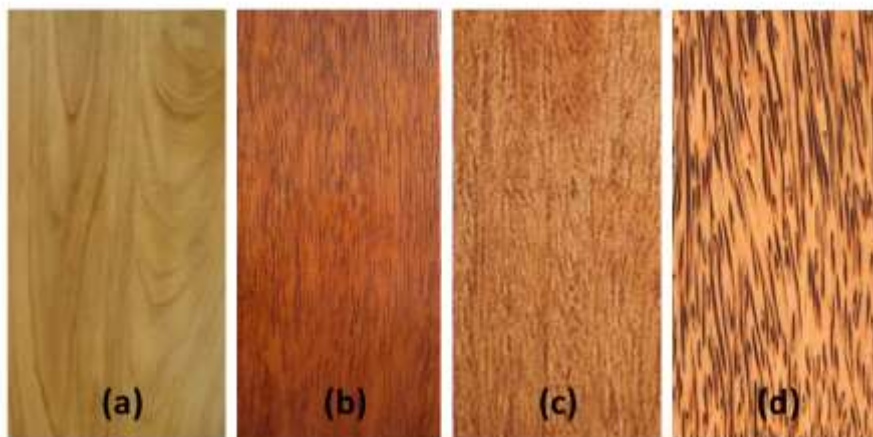
Namun tidak dapat dipungkiri, berkembangnya industri kaca ini memiliki dampak makin besar terhadap pencemaran lingkungan, meski hal ini tidak langsung terjadi sangat cepat tetapi secara perlahan-lahan. Industri kaca adalah industri yang mengeluarkan gas buang (CO₂) yang cukup signifikan. Oleh karena itu proses produksi yang efektif diharapkan dapat menekan emisi ini. Suatu material dapat diperiksa *embodied energy*-nya, yaitu energi yang terkandung dari semua energi yang dibutuhkan untuk memproduksi material tersebut. *Embodied energy* berguna untuk menentukan apakah suatu produk material berkontribusi pada atau justru meringankan pemanasan global. Salah satu tujuan mendasar untuk mengukur kuantitas ini adalah untuk membandingkan jumlah energi yang dihasilkan atau disimpan oleh produk yang bersangkutan dengan jumlah energi yang dikonsumsi dalam memproduksi itu. Oleh karenanya, dalam proses produksi kaca digunakan/ditambahkan *cullet* (bekas/sisa pecahan/potongan kaca) yang dapat menurunkan suhu bahan mentah untuk meleleh. Penurunan suhu leleh ini dapat menurunkan kebutuhan energi tungku sampai 3% (menurut NSG web). Sebagai perbandingan, energi yang diperlukan untuk pengolahan kaca cukup besar yaitu 25,8 MJ/kg. Memang angka ini tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan energi yang diperlukan untuk mengolah baja 42 MJ/kg atau aluminium yang mencapai 236,8 MJ/kg. Namun angka ini jauh lebih besar dari pengolahan semen 5,85 MJ/kg ataupun bambu 1,5 MJ/kg (Reddy dkk., 2003).

3.3. Industri kusen

Penggunaan kaca pada bangunan umumnya membutuhkan material lain sebagai pemegang kaca, material ini disebut kusen. Meski demikian, penggunaan kaca modern dimungkinkan untuk tidak menggunakan kusen, baik untuk penggunaan model jendela mati (yang tidak dapat dibuka-ditutup) maupun jendela hidup (yang dapat dibuka-tutup). Pada model tanpa kusen ini perlu dipergunakan kaca yang lebih tebal, minimal 8 mm dan

sebaiknya digunakan kaca jenis khusus karena lebih rawan terhadap kerusakan, misalnya kaca laminasi atau temperasi.

Kusen jendela kaca yang jamak digunakan di Indonesia dan digunakan secara internasional adalah kayu, aluminium dan plastik (uPVC – unPlastichized Polyvinyl Cloride). Material kayu adalah material tradisional yang banyak dijumpai pada bangunan di Indonesia, termasuk sampai saat ini, terutama pada bangunan pribadi berlantai rendah seperti rumah tinggal. Jenis kayu yang banyak dipakai untuk kusen adalah jati, merbau, mahoni, dan kayu kelapa yang sudah tua. Kayu-kayu ini adalah kayu keras yang cenderung tidak disukai hama seperti rayap, karena mengandung minyak yang membuat kayu berasa pahit. Penggunaan kayu jenis ini akan membuat kusen lebih tahan lama.



Gambar 3.6. Jenis kayu yang banyak digunakan untuk kusen jendela kaca, yaitu: jati (a), merbau (b), meranti (c), glugu atau kelapa tua (d).

(Sumber <http://blog-senirupa.tumblr.com/post/59938063031/jenis-jenis-kayu-untuk-karya-kriya-kayu>)

Kayu-kayu yang dahulu banyak dipergunakan sebagai kusen jendela seperti jati, merbau dan mahoni, kini sulit diperoleh di pasar perkayuan. Jika sekiranya diperoleh, maka harganya cukup mahal, sehingga kini banyak digunakan jenis kayu lain yang lebih murah dengan kualitas lebih rendah. Bersamaan dengan menghilangnya kayu berkualitas baik dari pasar, dunia rancang bangun mulai diperkenalkan dengan penggunaan material aluminium sebagai pengganti kusen kayu. Material aluminium memiliki beberapa kelebihan dari kayu, yaitu:

- Secara harga lebih murah
- Massa jenis material lebih ringan
- Pengerjaannya cukup mudah
- Angka muai susut lebih kecil
- Tahan cuaca dan hama.

Meski demikian, pada beberapa sisi, material aluminium juga memiliki kekurangan, sehingga sementara kalangan lebih memilih material kayu berkualitas. Adapun kekurangan aluminium menurut penilaian adalah:

- Warna kurang menarik
- Kurang memberikan kesan mewah dan alamiah.

Awalnya kusen aluminium hanya dipasarkan dalam warna abu-abu muda (perak kusam) yang kurang menarik. Namun kini, kusen aluminium dipasarkan juga dalam berbagai macam warna, termasuk warna yang menyerupai tekstur kayu. Meski demikian, masih cukup banyak kalangan tidak menggemari kusen aluminium. Kusen aluminium yang paling banyak digunakan di pasar Indonesia adalah YKK dan Alexindo. YKK diproduksi di pabrik utama di Tangerang, dengan teknologi Jepang dengan menggunakan bahan aluminium murni, sehingga YKK lebih kuat dan tahan lama. Otomatis harganya juga lebih mahal dari merek lain. Dari segi *finishing*, produk aluminium YKK memiliki permukaan yang halus dan *anodizing* (proses pelapisan) yang terjamin. Aluminium YKK juga memiliki tingkat akurasi dan presisi yang tinggi, sehingga hasil akhir pekerjaan akan lebih rapi. Ketebalan platnya lebih tebal dibandingkan dengan merk aluminium lainnya. Secara tampilan, kusen YKK berwarna lebih terang, dengan warna standar *silver*, *silver* mengkilat (Ing: *glossy*), dan coklat mengkilat. Namun YKK juga menyediakan kusen dengan sistem *powder coating* dalam berbagai pilihan warna selain warna standar. Kusen YKK dipasarkan dalam ukuran kusen 3 inci dan kusen 4 inci. Untuk ukuran kusen 3 inci disediakan ketebalan plat 1 s.d. 1,15 mm, sedangkan ukuran 4 inci memiliki ketebalan plat 1,2 s.d. 1,35 mm.

Aluminium merk Alexindo merupakan produksi lokal PT. Aluminium Extrusion Indonesia (Alexindo) yang secara harga, lebih murah dari YKK. Meskipun demikian, kualitasnya cukup memadai, dan bisa menjadi pilihan bagi yang menginginkan kusen dengan pembiayaan ringan. Merek Alexindo juga menyediakan ukuran kusen dengan ketebalan 3 inci dan 4 inci dengan ketebalan plat 1 mm s.d. 1,15 mm.

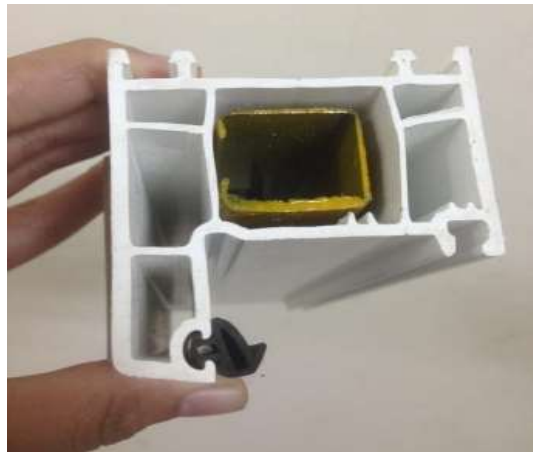
Selain YKK dan Alexindo, dipasar Indonesia juga dikenal kusen aluminium dengan merk Indalex. Namun Indalex lebih mengkhususkan pada kusen aluminium bangunan tinggi yang cenderung tidak konvensional dipasang mengelilingi kaca sebagaimana umumnya kusen jendela. Aluminium Indalex digunakan untuk pemasangan kaca jendela jenis tanpa frame (Ing: *frameless*), sehingga kusennya berada dibelakang kaca.



Gambar 3.7. Berbagai macam warna kusen aluminium.
(Sumber <http://aluminiumkaca87.blogspot.co.id/>).

Selain kusen aluminium, kini dikenal pula kusen plastik atau disebut uPVC (unPlasticized Polyvinyl Chloride). Kusen uPVC dipasarkan lebih mahal daripada aluminium, namun masih dibawah harga kusen kayu kualitas baik. Material ini merupakan turunan dari plastik yang mengalami proses tertentu sehingga sifat lentur atau plastis-nya dihilangkan. Hasil akhir material ini menjadi keras dan kemudian diaplikasikan ke berbagai macam bidang industri, yang salah satunya sebagai material bangunan, khususnya pintu dan jendela. Material uPVC adalah material bermutu tinggi dan ramah lingkungan, sehingga menjadi material baru yang disukai. uPVC yang dipasarkan di Indoensia kebanyakan masih produk impor dengan merek Conch, Bosca, Broco, dan Rehau. Selain produk impor, sebuah produsen lokal Indonesia melalui PT. Terryham Proplas Indonesia (TPI) juga memasarkan kusen uPVC mulai 2014. Terryham yang seolah-olah adalah nama asing adalah gabungan tiga nama nama orang Indonesia yang bekerja sama mengawali berdirinya industri uPVC ini, yaitu Bapak Teguh, Bapak Herry, dan Bapak Hamy. Nama terakhir, Bapak Hamy Hudoyo Rawoyo adalah yang kini memegang kendali PT. TPI yang berlokasi di Jalan Raya Semarang Kendal, Jawa Tengah. uPVC produk TPI kini mulai digemari masyarakat sehingga usaha ini terus berkembang. Pilihan masyarakat didasarkan atas kualitas yang baik, namun harga yang lebih rendah karena proses produksi yang bersifat lokal. Kusen uPVC dipilih masyarakat karena memiliki kelebihan dari faktor keawetan dan kededapan terhadap bunyi dan cuaca. Kusen uPVC juga lebih kuat dari aluminium karena selalu dilengkapi dengan penguat besi pada bagian dalamnya. Besi yang ditempatkan di bagian dalam dapat berbentuk besi kotak

berongga atau besi kanal C. Keberadaan besi ini membuat massa jenis kusen uPVC lebih berat dari aluminium, namun tetap lebih ringan dari kusen kayu. Namun sayang, perkembangan perekonomian yang kurang baik, serta masuknya produk-produk dari negara China yang lebih murah, sedikit banyak telah memengaruhi proses produksi di PT. TPI yang belakangan ini menurun tajam.



Gambar 3.8. Profil kusen uPVC dengan penguat besi kanal C pada bagian dalam.



Gambar 3.9. Kunjungan penulis ke PT. Terryham Proplas Indonesia yang disambut langsung oleh Bapak Hamy Hudoyo Rawoyo.

Selain dipegang oleh kusen dengan material kayu, aluminium, maupun uPVC, juga dikenal kusen beton, kusen besi galvanis, kusen baja ringan, maupun kusen besi utuh. Kusen besi utuh banyak dipakai pada bangunan masa lampau ketika awal kaca ditemukan, sementara kusen beton, besi galvanis dan baja ringan lebih dikenal pada masa kini. Teknik pemasangan berbagai macam kusen ini untuk memegang kaca yang berfungsi sebagai jendela atau dinding akan dipaparkan pada Bab IX.



Gambar 3.10. Dua contoh bangunan kuno dengan kusen besi untuk memegang jendela kaca mati.



Gambar 3.11. Beberapa macam kusen untuk memegang jendela kaca: besi galvanis (a), baja ringan (b), dan kusen beton (c).

BAB IV

STANDARISASI

Kehadiran kaca dalam dunia rancang bangun membuka mata *stake holder* dunia rancang bangun dan konstruksi, serta pengguna bangunan, bahwa penggunaan material yang lebih ringan dan transparan yang berbeda sifat dari material bangunan konvensional, seperti kayu, bata, atau beton, ternyata memiliki kekuatan yang memadai. Sifat kaca yang transparan mengesankan bahwa kaca ringan dan lemah. Pada masa lampau, kaca produksi abad awal memang cukup rentan terhadap pecah, namun kaca-kaca masa kini telah diproduksi dengan amat baik dengan penambahan beberapa komponen sehingga memungkinkan untuk memiliki kekuatan yang memadai dan mendekati kekuatan material konvensional. Namun demikian, sebagaimana halnya material bangunan dan material-material lain yang digunakan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari, pedoman atau peraturan baku untuk kaca juga ditetapkan, baik secara lokal Indonesia maupun secara internasional. Peraturan ini ditetapkan untuk menjaga kualitas kaca dan keamanan kaca dalam penggunaan.

4.1. Standar di Indonesia

Pemerintah Indonesia melalui Badan Standarisasi Nasional (BSN) menetapkan beberapa standar mengenai kaca melalui Standar Nasional Indonesia (SNI), diantaranya akan dibahas berikut ini:

SNI 15-0047-2005 tentang kaca lembaran

Standar ini menetapkan spesifikasi teknis untuk kaca lembaran yang diproduksi dengan proses penarikan dan pengembangan.

Istilah dan Definisi

Kaca lembaran adalah produk kaca yang berbentuk pipih (*flat glass*), pada umumnya mempunyai ketebalan 1 mm sampai 25 mm, mempunyai sifat transparan, tidak berwarna ataupun berwarna.

Yang diatur dalam standar ini ialah klasifikasi (kaca polos atau berwarna); dan mutu G ialah untuk bahan bangunan penggunaan umum.

Syarat Mutu; sifat umum yang harus dipenuhi dan sifat tampak; meliputi (gelembung = jumlah maksimum dengan panjang tertentu; batuan dan tonjolan = jumlah maksimum dengan panjang tertentu; benang kaca dan bahan heterogen = syarat mutu panjang, garis rambut = syarat mutu panjang, serta bintik-bintik, awan, goresan, retak, gelombang serpihan/gumpilan dan kenampakan keseluruhan.

Bentuk dan Dimensi; meliputi toleransi panjang dan lebar, toleransi tebal.

Kesikuan; toleransi selisih jarak pengukuran kedua diagonal, contoh untuk kaca lembaran maksimum 0.2%.

Kerataan; lengkungan tidak boleh lebih dari 0.3% untuk kaca lembaran yang digunakan sebagai bahan bangunan dan keperluan umum.

Transmisi Cahaya; dihitung dengan rumus; dengan kaca polos tebal 5 mm sebagai kaca patokan perbandingan.

Dalam standar ini juga diatur cara pengujian dan perhitungan untuk mendapatkan faktor refleksi, panas spesifik, titik lunak, daya hantar panas, koefisien muai panas linier, berat jenis, kekerasan, kuat lentur, ketahanan cuaca/air, sifat tampak, dimensi, dan transmisi cahaya.

SNI 05-0130-1999 tentang kaca pengambangan (terjemahan dari *float glass*)

Standar ini meliputi ruang lingkup, acuan, definisi, klasifikasi, syarat mutu, pengambilan contoh, cara uji, syarat lulus uji, syarat penandaan dan pengemasan untuk kaca pengambangan.

Istilah dan Definisi

Kaca pengambangan adalah kaca transparan, berwarna atau tidak, dengan permukaan datar, dibentuk dengan cara pengambangan di atas suatu bak leburan timah dalam ruang panas yang bebas oksigen.

Pengertian cacat-cacat

- Gelembung (Ing: *bubbles*) adalah ruang-ruang yang berisi udara terdapat pada kaca.
- Bahan heterogen (Ing: *heterogeneous materials*) adalah bagian kaca yang komposisinya berbeda dengan komposisi kimia induk, menimbulkan kelainan indeks biasnya yang mengganggu pandangan.
- Retak (Ing: *cracks*) adalah garis-garis pecah pada kaca baik sebagian atau seluruh tebal kaca.
- Gumpilan/serpihan (Ing: *edge chipping*) adalah bagian kaca sisi lebar atau sisi panjang yang menonjol atau masuk.
- Benang (Ing: *string*) adalah cacat garis timbul yang tembus pandangan dan gelombang (Ing: *wave*) adalah permukaan kaca yang berombak dan mengganggu pandangan.
- Bintik-bintik (Ing: *spots*) adalah titik-titik pada permukaan kaca yang berupa benda-benda bukan kaca dan mempunyai warna lain,

- Awan (Ing: *cloud*) adalah permukaan kaca yang mengalami kelainan kebeningan dan goresan (Ing: *scratch*) adalah luka garis pada permukaan kaca.
- Lengkungan (Ing: *bow*) adalah lembaran kaca yang bengkok.
- Batuan (Ing: *stone*) adalah partikel asing yang terdapat/melekat pada kaca dan berbeda warnanya; dan tonjolan (Ing: *knot*) adalah bahan yang menonjol di atas permukaan kaca dan berbeda komposisinya.
- Garis rambut (Ing: *hair line*) adalah gelembung terbuka yang memanjang halus pada permukaan kaca, dan tampak seperti garis yang halus.

Klasifikasi Tebal

Berdasarkan tebalnya, kaca pengambangan dibagi dalam 10 golongan yaitu :

- a. Tebal 2 mm
- b. Tebal 3 mm
- c. Tebal 4 mm
- d. Tebal 5 mm
- e. Tebal 6 mm
- f. Tebal 8 mm
- g. Tebal 10 mm
- h. Tebal 12 mm
- i. Tebal 15 mm
- j. Tebal 19 mm

Untuk tebal di luar klasifikasi di atas dianggap sebagai pesanan khusus.

Klasifikasi Penggunaan

Berdasarkan penggunaannya, dibedakan menjadi 3 golongan yaitu

1. Kaca pengambangan untuk keperluan umum (Ing: *glazing*).
2. Kaca pengambangan untuk pembuatan kaca pengaman, baik diperkeras maupun berlapis.
3. Kaca pengambangan untuk pembuatan kaca cermin/kaca reflektif hasil proses lanjutan (Ing: *off line*).

Syarat mutu, meliputi Sifat tampak, Bentuk dan Dimensi, Kesikuan, Kerataan.

Sifat tampak

Untuk kaca pengambangan untuk keperluan umum (Ing: *glazing*), sifat tampak yang diatur adalah gelembung, bintik-bintik, awan, goresan, retak, gelombang, serpihan/gumpilan dan kenampakan keseluruhan.

Untuk kaca pengambangan untuk pembuatan kaca pengaman (berlapis/diperkeras), sifat tampak yang diatur adalah gelembung, batuan dan tonjolan, benang dan bahan heterogen, garis rambut, goresan, bintik-bintik, awan, gelombang, retak, serpihan/gumpilan dan kenampakan keseluruhan.

Untuk kaca pengambangan untuk pembuatan kaca cermin, sifat tampak yang diatur adalah gelembung, batuan dan tonjolan, benang dan bahan heterogen, garis rambut, binti-bintik, awan dan goresan, retak, gelombang, serpihan/gumpilan dan kenampakan keseluruhan.

Bentuk dan dimensi

Bentuk kaca pengambangan harus berbentuk persegi atau persegi panjang. Toleransi dimensi panjang, lebar dan tebal diatur berdasarkan klasifikasi tebal dan penggunaannya.

Kesikuan

Kaca pengambangan yang berbentuk persegi atau persegi panjang harus mempunyai sudut siku-siku serta tepi potongan yang rata dan lurus. Toleransi kesikuan maksimum 1,5 mm/m.

Kerataan

Lengkungan yang mungkin ada, diatur dengan syarat % kedalaman lengkungan dibanding panjangnya tidak boleh lebih dari 0,35% untuk kaca keperluan umum dan 0,3% untuk kaca pengaman dan kaca cermin.

Dalam standar ini juga diatur cara uji sifat tampak, dimensi (ketebalan, panjang dan lebar, kesikuan dan kerataan), syarat lulus uji, syarat penandaan dan pengemasan, serta ukuran standar maksimum kaca pengambangan untuk keperluan umum, pengaman dan cermin berdasarkan ketebalan kaca.

4.2. Standar Internasional

Standar kaca secara resmi internasional sesungguhnya tidak dikenal. Namun masyarakat umumnya menggunakan standar yang ditetapkan oleh negara maju yang cukup berpengaruh dalam industri kaca, seperti Amerika, Jepang dan beberapa negara di Eropa. Salah satu yang cukup jamak dipergunakan adalah standar ASTM atau American Standard for Testing and Material. ASTM terbentuk pada tahun 1898 ditangan sekelompok insinyur dan ilmuwan. Awalnya diciptakan standar untuk mengatasi bahan baku besi pada rel kereta api yang selalu bermasalah, yang selanjutnya berkembang menjadi ratusan hingga ribuan standar untuk berbagai macam meterial dan pengukuran. Saat ini, ASTM mempunyai lebih dari 12.000 buah standar, yang banyak digunakan di negara-negara maju maupun berkembang dalam penelitian di dunia pendidikan dan

industri. Standar yang ditetapkan oleh ASTM secara periodik diperbarui, sehingga senantiasa sesuai perkembangan jaman. Beberapa standar terkait kaca yang ditetapkan oleh ASTM adalah sebagai berikut:

ASTM C 162 tentang terminologi kaca dan produk kaca

Terminologi ini mendefinisikan istilah-istilah yang umum digunakan pada industri kaca. Definisi dijabarkan pula untuk beberapa kasus penggunaan istilah spesifik pada industri tertentu. Untuk kelengkapan dan histori, istilah-istilah yang sudah kadaluarsa didaftar sebagai 'archaic/kuno'.

Sumber lain dari glosarium/daftar istilah untuk kaca ialah Glass Association of North America's Glazing Manual, Engineering Standards Manual for Tempered Glass, Laminated Glass Design Guide, dan ASTM Committee C-14 standards.

Beberapa terminologi penting dalam ASTM C 162

Abbe value adalah daya sebar timbal-balik, suatu nilai yang digunakan pada disain optik, yang secara matematis dinyatakan sebagai: $Abbe\ value = (nd - 1) / (np - nc)$; dengan nd adalah indeks bias garis helium pada 587.6 nm; sedang $np - nc$ adalah indeks bias garis hidrogen pada 486.1 nm dan 656.3 nm.

Acid polishing adalah pemolesan permukaan kaca dengan perlakuan asam.

Air bells adalah gelembung-gelembung tak teratur yang biasa terbentuk selama pengoperasian tekan dan pencetakan pada pembuatan kaca optik.

Alabaster glass adalah kaca putih susu yang mendifusikan cahaya tanpa warna.

Anneal pada kaca ialah untuk mencapai tekanan rendah yang dapat diterima, atau struktur yang diinginkan, atau kedua-duanya, yaitu dengan mengontrol pendinginan pada suhu yang sesuai.

Annealing adalah suatu proses pendinginan terkontrol pada disain kaca untuk mengurangi tekanan sisa, guna mencapai level yang dapat diterima secara komersial dan untuk memodifikasi struktur.

Annealing point (A.P.) adalah temperatur yang berkaitan dengan tingkat pemanjangan spesifik dari kaca fiber ketika diukur dengan metode tes C 336, atau suatu tingkat spesifik dari titik tengah *defleksi* (penyimpangan/belokan/lengkungan) berkas kaca ketika diukur dengan Metode tes C598. Pada titik *annealing* kaca, tekanan internal secara substansial dilepaskan/berkurang dalam hitungan menit.

Annealing range adalah rentang dari temperatur kaca dimana tekanan kaca dapat dilepaskan pada tingkat praktikal komersial.

Aventurine adalah kaca yang mengandung warna, kilau yang buram (seperti) material nonkaca.

Basic fiber adalah serat kaca yang belum diproses, langsung dari alat pembentuknya.

Batch adalah (1) resep dari bahan-bahan penyusun, (2) bahan-bahan mentah yang ditimbang tetapi belum dicampur, (3) bahan-bahan mentah, proporsinya tepat dan telah dicampur, siap dikirim ke tungku.

Batch house adalah tempat dimana bahan *batch* diterima, ditangani, ditimbang, dan dicampur.

Bending stress adalah sistem tekanan yang secara simultan memberikan tekanan komponen di satu permukaan, berakibat tarik untuk komponen di permukaan pada bagian kaca sebaliknya.

Bent glass adalah kaca datar yang kemudian terbentuk melengkung karena masuk ke dalam cetakan yang memiliki bagian permukaan melengkung.

Beveling adalah proses memperhalus ujung kaca datar ke sudut *bevel* (Gambar 2.21).

Bloom adalah noda putih susu bening pada kaca yang muncul di bagian permukaan. *Bloom* biasanya terbentuk oleh Sodium karbonat (atau soda abu) atau Kalsium karbonat baik di permukaan kaca atau di bagian retakan mikro di dalam kaca. Jika kaca dalam keadaan basah, maka *bloom* ini seolah hilang, dan akan muncul kembali ketika kaca mengering (Gambar 4.1).

Blown glass adalah gelas kaca yang dibentuk oleh tekanan udara, seperti udara tekan atau ditiup melalui mulut (Gambar 2.14).

Borosilicate glass adalah kaca silikat dengan kandungan B_2O_3 diatas 4 % berat, ditandai dengan ekspansi termal yang rendah, viskositas melawan suhu yang lama, dan kerapatan rendah.

Bull's eye adalah kaca datar yang memiliki cacat berbentuk silindris. Cacat ini terbentuk saat proses pembuatan dan kemudian sengaja dimanfaatkan untuk memperoleh efek estetika tertentu atau untuk kaca seni. Pada kaca dengan penggunaan tertentu yang mensyaratkan kejelasan yang tinggi, cacat *bullseye* ini tidak diperbolehkan (Gambar 4.2).



Gambar 4.1. Botol kaca yang dipenuhi *bloom* (a) dan yang bening tanpa *bloom* (b).
(Sumber <http://insidechem.blogspot.com/2016/10/insight-of-glass-blooming-or.html>)



Gambar 4.2. Kaca jendela yang menggunakan *bullseye* di Gereja St. Michael the Archangel, Sonna, Westmeath. (Sumber <https://www.flickr.com/>)

Cabal glass adalah kaca yang terutama terdiri dari oksida kalsium, boron, dan aluminium.

Carnival glass adalah kaca yang memiliki pewarnaan semburat warna-warni yang diperoleh dengan menembakkan garam metalik ke permukaan kaca (Gambar 4.3).

Casehardened adalah sebuah istilah yang kadang-kadang digunakan untuk kaca temperasi.

Cat's eye adalah sebuah ketidaksempurnaan pada kaca; sebuah gelembung memanjang berisi sepotong benda asing.

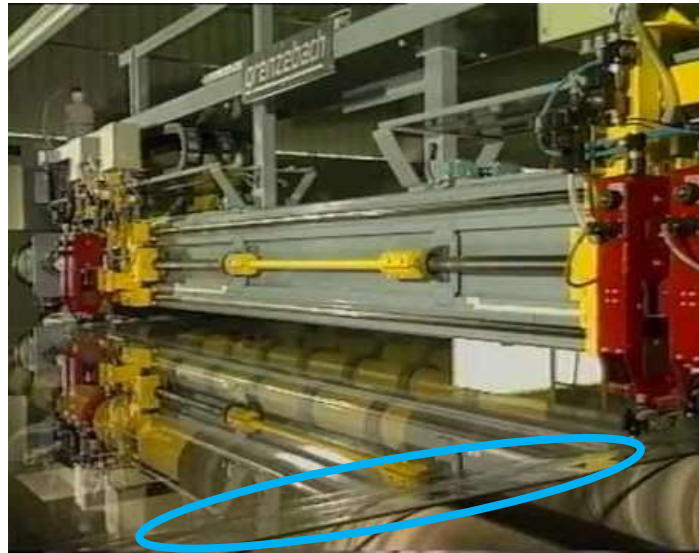
Cat scratch adalah sebuah ketidaksempurnaan; ketidakberesan permukaan pada barang pecah belah menyerupai tanda kuku kucing.

Ceramic glass enamel (also *ceramic enamel* or *glass enamel*) adalah lapisan anorganik yang dekoratif, biasanya berwarna, yang ditempelkan ke kaca pada suhu di atas 425°C

Chain marks adalah tanda yang dibuat di bagian bawah kaca saat kaca tersebut melewati motor dengan sabuk rantai yang suhunya terlalu tinggi (Gambar 4.4).



Gambar 4.3. Gelas dengan tipe kaca *carnival*, memiliki semburat metalik warna-warni.
(Sumber <https://sercadia.wordpress.com/2013/09/28/carnival-glass/>)



Gambar 4.4. *Chain marks* (area yang diberi tanda).
(Sumber <https://www.youtube.com/watch?v=OVokYKqWRZE>)

Chemical durability adalah kualitas yang awet (baik fisik dan kimia) dari permukaan kaca.

Hal ini sering dievaluasi, setelah pelapukan atau penyimpanan berkepanjangan, dalam hal perubahan kimia dan fisik di permukaan kaca, atau dalam hal perubahan bagian dalam kaca.

Chemically strengthened adalah kaca yang telah melalui proses penukaran ion untuk menghasilkan lapisan tekan pada permukaan yang diberi perlakuan tersebut.

Chill mark adalah kondisi permukaan keriput pada barang pecah belah akibat pendinginan yang tidak merata dalam proses pembentukannya.

Cleavage crack adalah kerusakan yang dihasilkan oleh benda keras dan tajam di permukaan kaca. Sistem fraktur ini biasanya mencakup alur plastik yang cacat pada permukaan yang rusak, bersama dengan retakan median dan lateral yang berasal dari alur ini.

Colburn sheet process adalah pembuatan kaca lembaran dengan menekuk lembaran yang ditarik secara vertikal di atas gulungan untuk diperoleh hasil ketebalan yangimbang.

Corrugated glass adalah kaca yang memiliki kontur bergelombang.



Gambar 4.5. *Corrugated glass.*
(Sumber <https://dutch.alibaba.com/>)

Crystal glass adalah kaca yang (1) tidak berwarna, kaca sangat transparan yang sering digunakan untuk seni atau peralatan makan, (2) kaca tak berwarna dan sangat transparan yang secara historis mengandung timbal oksida.

Cullet adalah produk kaca atau bagian dari produk yang biasanya sesuai untuk penambahan batch mentah, yang terdiri dari:

- (a) *foreign cullet*— *cullet* dari sumber luar industri
- (b) *domestic cullet (factory cullet)* — *cullet* dari dalam industri dari sisa pengolahan sebelumnya.
- (c) barang kaca yang akan dibuang atau dilebur kembali.

Debiteuse adalah sebuah blok tanah liat terlipat, dimana cairan kaca melaluinya dalam proses Fourcault.

Decolorizing adalah proses menghasilkan tampilan tak berwarna di kaca.

Dolomite adalah karbonat ganda dari kapur dan magnesium yang memiliki rumus umum $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$.

Double glazing adalah kaca berisolasi yang merupakan gabungan dua panel kaca yang dipisahkan oleh celah udara.

Double glazing unit adalah dua panel kaca dipisahkan oleh rongga permanen yang disegel dan sudah berupa modul dalam ukuran tertentu (Gambar 4.6.).



Gambar 4.6. *Double glazing unit.*

(Sumber <https://www.indiamart.com/proddetail/double-glazing-glass-unit-14818324655.html>)

Etched adalah (1) diproses dengan etsa. (2) dibuat model seolah lapuk sehingga permukaannya kasar (Gambar 2.52).

Feathers adalah sebuah ketidaksempurnaan yang terdiri dari kelompok objek halus yang disebabkan oleh kotoran atau benda asing yang masuk ke kaca pada saat pencetakan atau pembentukannya.

Figured glass adalah kaca datar memiliki pola pada satu atau kedua permukaan.

Flashing adalah mengoleskan lapisan tipis buram atau lapisan kaca berwarna ke permukaan kaca bening.

Flat glass adalah sebuah istilah umum meliputi kaca lembaran.

Flexure stress adalah komponen tarik dari tegangan lentur yang dihasilkan pada permukaan bagian kaca yang berlawanan dengan yang mengalami gaya impaksi lokal.

Flint glass adalah gelas yang mengandung timah atau dalam dunia industri digunakan untuk menyebut kontainer dari kaca tak berwarna.

Fourcault process adalah metode membuat kaca lembaran dengan menarik vertikal ke atas dari blok *debiteus* yang ditempatkan.

Fully tempered glass adalah kaca datar yang telah di-temper dengan kekuatan tinggi atau kompresi tepi untuk memenuhi persyaratan Spesifikasi C 1048.

Gaseous inclusion adalah gelembung bulat atau memanjang di kaca.

Glass blowing adalah pembentukan kaca panas dengan tekanan udara atau tiupan.

Glass ceramic adalah bahan padat, sebagian kristalin dan sebagian kaca, dibentuk oleh kristalisasi terkontrol dari kaca.

Glass container adalah istilah umum digunakan untuk botol kaca dan toples.

Heat-absorbing glass adalah kaca yang memiliki sifat menyerap sebagian besar energi radiasi di dekat spektrum inframerah.

Heat-resisting glass adalah kaca mampu menahan paparan termal yang relatif tinggi, karena koefisien ekspansi rendah atau kekuatan mekanik tinggi, atau keduanya.

Heat-strengthened glass adalah kaca yang telah di-temper dengan kekuatan sedang atau kompresi tepi untuk memenuhi persyaratan Spesifikasi C 10.

Heat-treated adalah istilah yang kadang-kadang digunakan untuk kaca temperasi.

Light-reducing glass adalah sebuah istilah yang diaplikasikan pada kaca datar yang telah mengurangi transmitansi cahaya.

Opal glass adalah kaca *translucent*/tembus cahaya; biasanya kaca putih hampir buram.

Optical flint glass adalah kaca dengan dispersi tinggi yang berkaitan dengan indeks pembiasannya, biasanya membentuk elemen divergen dari sistem optik. Umumnya kaca optik memiliki nilai Abbe kurang dari 50.

Optical glass adalah kaca berkualitas tinggi yang memiliki sifat optik yang sangat spesifik, digunakan dalam pembuatan sistem optik.

Percussion cone adalah kerusakan yang dihasilkan oleh tekanan kontak yang ditimbulkan oleh kontak mekanis benda keras dan tumpul dengan permukaan kaca.

Plate glass adalah kaca datar yang dibentuk oleh proses *rolling*, digiling dan dipoles pada kedua sisi, dengan permukaan dasar berbentuk bidang dan sejajar.

Pot furnace adalah tungku untuk melelehkan kaca.

Pressed glass adalah kaca yang ditekan oleh tekanan antara cetakan dan *plunger*.

Raw batch adalah muatan material kaca tanpa *cullet*.

Raw cullet adalah muatan material kaca yang benar-benar terbuat dari *cullet*.

Ream adalah lapisan kaca yang tidak homogen dengan bagian utama kaca.

Rolled glass adalah (1) kaca optik yang dibentuk dengan digulung ke pelat pada saat pembuatan (2) kaca datar yang terbentuk dengan penggulangan.

Safety glass adalah kaca datar (termasuk kaca lengkung) yang dikonstruksi, diolah, atau dikombinasikan dengan bahan lain yang, jika pecah dan terkena manusia, akan sedikit saja melukai dan tidak terlalu parah. Kaca semacam ini umumnya mengalami perlakuan khusus dan menjadi kaca *laminated*, kaca *fully tempered*, kaca *tempered*, dan kaca *wired*.

Satin etch adalah kaca dekoratif yang permukaannya membururkan cahaya yang memantul, menghasilkan hasil akhir yang kusam (Gambar 2.52).

Scratch adalah kerusakan pada permukaan kaca berbentuk garis yang disebabkan oleh benda tajam yang bersentuhan dengan permukaan kaca.

Scratch-resistant coatings adalah pelapisan yang diterapkan pada permukaan kaca untuk mengurangi efek goresan akibat kontak friksi.

Skylight adalah kaca datar yang dipasang pada sudut yang lebih besar dari 15° dari sisi vertikal pada eksterior bangunan (biasanya pada atap).

Slab glass adalah kaca optik yang diperoleh dengan memotong atau membentuk kaca bongkahan menjadi pelat atau lempengan (Gambar 4.7).



Gambar 4.7. *Slab glass.*

(Sumber <https://www.wiltronics.com.au/product/7009/rectangular-glass-slabs-100mm/>)

Soft glass adalah (1) kaca dengan viskositas yang relatif rendah pada suhu tinggi (2) kaca dengan titik lunak yang rendah (3) umumnya mengacu pada kaca yang mudah meleleh.

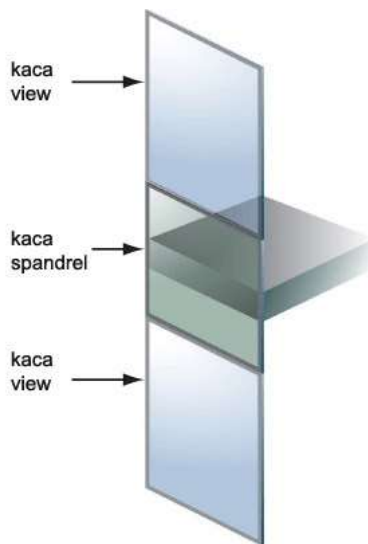
Solarization adalah perubahan penampilan tingkat terang kaca akibat paparan sinar matahari (Gambar 4.8).

Spandrel glass adalah kaca yang digunakan di area *non-view*, biasanya pada antar lantai atau tangga bangunan sehingga menutupi bagian struktur yang mungkin mengurangi keindahan bangunan (Gambar 4.9).



Gambar 4.8. *Solarization pada kaca.*

(Sumber <https://www.iqglassuk.com/products/electrochromic-glass/s14978/>)



Gambar 4.9. *Spandrel glass dan posisi penempatannya.*

(Sumber <http://www.cmswillowbrook.com/constructorknowledge/2015/2/27/architectural-terms-spandrel-more-than-just-spandrel-glass>)

Tempered glass adalah istilah umum untuk kaca yang telah dikenai perlakuan termal yang ditandai dengan pendinginan cepat untuk menghasilkan lapisan permukaan yang akan memiliki kekuatan tekan yang lebih dari kaca biasa.

Wired glass adalah kaca dengan lapisan *wire mesh* /*kawat ayam* tertanam di kaca (Gambar 2.43).

ASTM C 1036 tentang kaca pengembangan (Ing: *float glass*)

Standar ini mengatur spesifikasi kaca *annealed* dan monolitik baik lembaran umum maupun potongan yang dapat diaplikasikan untuk penggunaan di laboratorium maupun di lapangan sepanjang yang dipersyaratkan memenuhi. Standar ini mengatur spesifikasi kaca datar (Ing: *flat*), kaca transparan, *clear*, dan kaca warna (Ing: *tinted glass*). Dalam bidang arsitektur, standar ini dapat digunakan sebagai kaca dengan pelapis (Ing: *coated glass*),

kaca dengan insulasi (Ing: *insulating glass*), kaca laminasi (Ing: *laminating glass*), kaca cermin, kaca *spandrel* (Ing: *spandrel glass*) serta kaca sejenis lainnya.

Spesifikasi yang diatur antara lain:

Toleransi dimensi maksimal yang diizinkan untuk panjang, lebar dan ketebalan kaca.

Toleransi distorsi yaitu ketidakjelasan kebeningan yang muncul akibat beda tingkat datar (Ing: *flatness*) atau adanya bagian yang tidak homogen dari kaca.

Toleransi bevel yaitu sisi pinggir dari kaca yang dibuat membentuk sudut.

Toleransi blemish yaitu bagian cacat dari badan atau permukaan kaca, dibagi dalam *blemish linier* (seperti Ing: *scratch, rubs, digs* (goresan yang pendek tetapi dalam), dan sejenisnya) dan *blemish* berupa titik (Ing: *crush, knots* (material non homogen), *dirt* (partikel kecil asing yang terpendam di permukaan kaca), *stones, gaseous inclusions* (gelembung gas), dan sejenisnya).

ASTM C1048 tentang spesifikasi untuk kaca yang dikuatkan dengan pemanasan dan kaca yang di-tempered penuh

Standar ini mengatur spesifikasi atau persyaratan kaca datar perkuatan melalui pemanasan (Ing: *heat-strengthened*) dan kaca datar (Ing: *fully-tempered coated* dan *uncoated*) yang digunakan di konstruksi bangunan. Termasuk pula kaca datar *heat-strengthened* baik transparan maupun berpola dan kaca datar *fully tempered* baik transparan maupun berpola. Untuk pelapis dapat meliputi kondisi A yaitu tanpa pelapis, kondisi B meliputi kaca *spandrel* dan berlapis keramik satu sisi, kondisi C meliputi kaca-kaca dengan pelapis permukaan lainnya.

Kaca *heat-strengthened* umumnya dua kali lebih kuat dibandingkan kaca *annealed* dengan ketebalan dan konfigurasi yang sama. Ketika pecah, maka bentuk pecahannya sama seperti kaca *annealed*. Kaca ini digunakan ketika diperlukan kekuatan lebih dari kaca *annealed*, tetapi tidak sampai harus sekuat kaca *tempered*.

Kaca *fully-tempered* umumnya empat kali lebih kuat dibandingkan kaca *annealed* dengan ketebalan dan konfigurasi yang sama. Ketika pecah, maka pecahan kacanya berbentuk pecahan kecil sehingga lebih aman dibanding pecahan kaca *annealed*. Kaca *fully-tempered* ditujukan bagi penggunaan dengan standar kekuatan dan keamanan lebih dibanding kaca *annealed*. Bagi penggunaan kaca untuk pintu, penutup area mandi (Ing: *shower*), kaca dekat permukaan area lalu-lalang orang, maka penggunaan kaca ini disyaratkan.

Sementara itu, untuk kaca meja, kaca untuk lemari toko, lemari hiasan, juga diperlukan kaca *fully-tempered* ini.

ASTM C 1172 tentang spesifikasi untuk kaca arsitektural datar laminasi

Mengatur persyaratan kualitas kaca laminasi potongan yang terdiri dari dua atau lebih kaca tipis yang disatukan dengan material *interlayer* untuk digunakan pada bangunan.

Berdasar jumlah, ketebalan, perlakuan kaca, serta jumlah dan ketebalan material *interlayer*-nya, maka kaca dapat dilaminasi dengan tujuan: keamanan, penahan beban, ketahanan terhadap angin ataupun badai, ketahanan terhadap ledakan, peluru serta sebagai pereduksi kebisingan bangunan. Distorsi optik dan evaluasi terkait optik, tidak tercakup dalam standar ini.

Standar ini mengatur :

- Cacat proses laminasi maksimum yang diizinkan.
- Toleransi panjang dan lebar pada kaca laminasi simetris berbentuk persegi.
- Kecembungan/lengkung maksimum yang diizinkan untuk kaca laminasi selain kaca *annealed* transparan.

Selain standar-standar pokok sebagaimana telah diulas, masih ada beberapa standar lain terbitan ASTM yang juga terkait kaca, yaitu:

- ASTM C 1464 standar untuk spesifikasi kaca yang dilengkungkan.
- ASTM C148 metode tes untuk pengujian polariscopik kaca yang digunakan sebagai wadah.
- ASTM C336 metode tes untuk *annealing* poin dan *strain* poin kaca dengan cara *fiber elongation*.
- ASTM C1048 spesifikasi untuk *heat-strengthened* and *fully tempered flat glass*.
- ASTM C1172 spesifikasi untuk kaca *laminated architectural flat*.

Standar-standar ini, baik yang ditetapkan secara lokal maupun internasional tentunya menjadi ideal bila dijalankan, mengingat secara arsitektural dan dunia rancang bangun pada umumnya, perlu menjaga keselamatan penggunaannya. Meski demikian, dalam lingkup Indonesia, sejauh ini belum ada sanksi yang ditetapkan sekiranya peraturan itu tidak diikuti atau dipenuhi.

Selain standar yang lebih cenderung pada aspek kualitas fisik dan keamanan kaca, beberapa pedoman lain juga ditetapkan untuk memeriksa kualitas non-fisik kaca, seperti *visible transmittance*, *shading coefficient*, dan *solar heat gain coefficient*, sbb.:

Visible transmittance (VT)

Properti optik kaca yang menyatakan banyaknya cahaya yang ditransmisikan. Dinyatakan dalam bilangan desimal yang menyatakan persentase cahaya yang ditransmisikan. Misal $VT = 0.8$ berarti 80% cahaya yang ditransmisikan / diteruskan melalui kaca tersebut.

Shading coefficient (SC)

Menyatakan ukuran panas yang diteruskan akibat radiasi melalui kaca. Secara spesifik, SC merupakan rasio panas yang diteruskan kaca tertentu dibandingkan kaca transparan berkekuatan dobel (Ing: *double-strength*). Sebagai referensi, kaca 1/8" (tebal 3.1 mm) memiliki $SC = 1$. SC lebih kecil berarti radiasi panas yang diteruskan lebih rendah; sehingga dapat mengurangi beban pendinginan ruang. Bila digunakan kaca tunggal, maka SC sudah cukup akurat. Tetapi bila digunakan kaca lain misalnya kaca dobel, maka diperlukan data yang lebih akurat yaitu SHGC.

Solar heat gain coefficient (SHGC)

Koefisien yang menyatakan persentase radiasi matahari yang diterima dan diteruskan secara langsung dan tidak langsung (diserap dan diradiasikan kembali) ke dalam ruang. Dinyatakan dalam angka 0 sampai 1. Sebagai contoh, kaca 1/8" (tebal 3.1 mm) memiliki SHGC 0.86, dimana 0.84 ialah radiasi yang diteruskan langsung, sedangkan 0.02 bagian ialah yang diserap/diradiasikan kembali melalui konveksi. Dalam hal ini, angka koefisien yang lebih kecil berarti radiasi yang diteruskan lebih rendah. Apabila SC ingin diubah menjadi SHGC, maka dapat digunakan koefisien pengali 0.87 karena keduanya menggunakan kaca 1/8" (tebal 3.1 mm) sebagai kaca referensi.

Beberapa peraturan atau standar terkait kaca yang telah dipaparkan adalah standar yang dianggap cukup penting untuk dijadikan pedoman dan paling sering dipergunakan. Meski demikian, ada cukup banyak standar lain yang juga dapat dijadikan pedoman bila ingin mempelajari standar yang lebih terinci. Salah satu diantaranya yang ditetapkan oleh Glass Association of North America (GANA), antara lain:

- EN356 *Glass in building - security glazing - testing and classification of resistance against manual attack.*
- EN357 *Glass in building - fire resistant glazed elements with transparent or translucent glass products - classification of fire resistance.*

- EN410 *Glass in building - determination of luminous and solar characteristics of glazing (light transmission, direct solar transmission, total solar energy transmission and ultraviolet transmission; corresponding characteristics of glazing).*
- EN572 *Glass in building - basic soda lime silicate glass products.*
- EN673 *Glass in building - determination of thermal transmittance (U value) - calculation method.*
- EN674 *Glass in building. - determination of thermal transmittance (U value) - guarded hot plate method.*
- EN675 *Determination of thermal transmittance (U value) - heat flow method.*
- EN1063 *Glass in building - security glazing - bullet-resistant glazing - classification and test method.*
- EN1096 *Glass in building - coated glass.*
- EN1748-1 *Glass in building - special basic products. Part 1: Borosilicate glasses.*
- EN1748-2 *Glass in building - special basic products. - Borosilicate glasses - Part 2: Glass ceramics.*
- EN1863 *Glass in building - heat strengthened glass.*
- EN12150 *Glass in building - thermally toughened soda lime silicate glass.*
- EN12337 *Glass in building - chemically strengthened soda lime silicate safety glass.*
- EN12543-1 *Glass in building - laminated glass and laminated safety glass - definition and description of component parts.*
- EN12543-2 *Glass in building - laminated glass and laminated safety glass - laminated safety glass.*
- EN12543-3 *Glass in building - laminated glass and laminated safety glass - laminated glass.*
- EN12543-4 *Glass in building - laminated glass and laminated safety glass – test methods for durability.*
- EN12543-5 *Glass in building - laminated glass and laminated safety glass - dimensions and edge finishing.*
- EN12758 *Glass in building - glazing and airborne sound insulation - product descriptions and determination of properties.*
- EN13024 *Glass in building - thermally toughened borosilicate safety glass.*

- EN14719 *Glass in building - heat soaked soda lime silicate glass.*
- EN14718 *Glass in building - basic alkaline earth silicate glass products.*

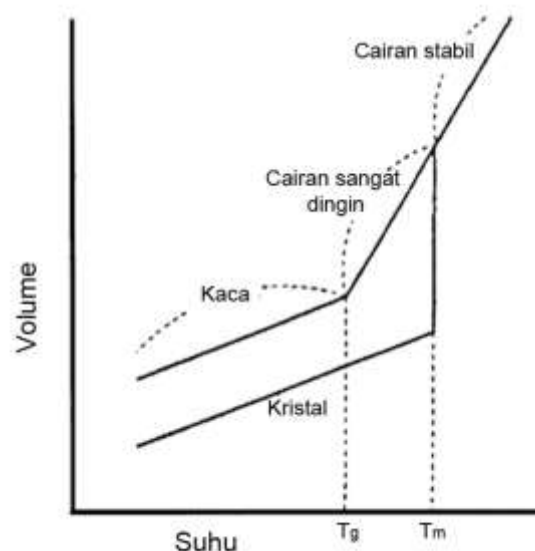
BAB V

STRUKTUR, SIFAT KIMIAWI, FISIS
dan MEKANIS

Kaca adalah material transparan. Karakteristik transparan ini yang menyebabkan kaca dianggap sebagai material yang ringkih dan kurang dapat menahan beban atau tekanan. Pendapat ini dapat dibenarkan untuk kaca-kaca yang diproduksi pada masa lampau. Namun tidak demikian untuk kaca-kaca produksi masa kini, dengan berbagai macam jenis yang telah dimungkinkan memiliki kekuatan yang memadai untuk menahan. Sifat-sifat mekanis kaca perlu dipelajari dan menjadi bahan pertimbangan ketika memilih kaca sebagai material bangunan untuk menggantikan material konvensional.

5.1. Struktur kaca

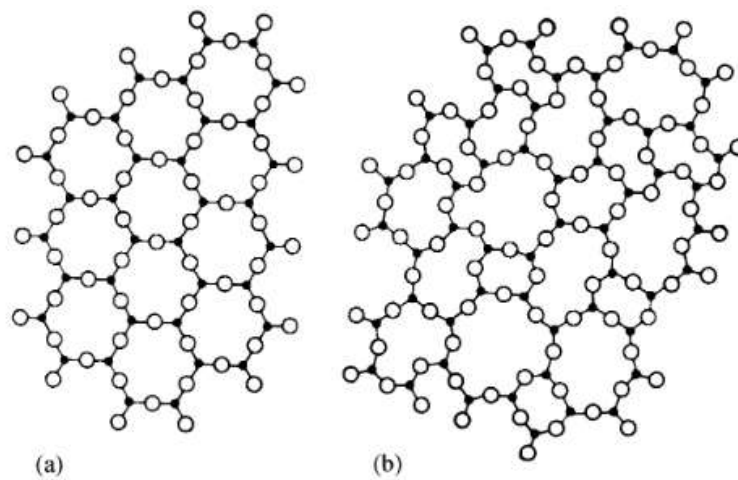
Kaca terbentuk dari proses pembekuan dari lelehan. Struktur kaca dapat dibedakan dengan jelas dari cairan karena struktur kaca tidak bergantung pada temperatur. Hal tersebut ditunjukkan oleh Gambar 5.1 yang menunjukkan volum spesifik kristal, cairan, dan kaca sebagai fungsi temperatur. Pada pendinginan cairan, ada perubahan diskontinu pada volum pada temperatur lebur (T_m) bila terjadi kristalisasi. Tetapi bila kristalisasi tidak terjadi, volum cairan menurun dengan laju yang sama dengan laju pada temperatur di atas temperatur lebur sampai ada penurunan koefisien ekspansi pada rentang temperatur transisi gelas (*glass transition*) (T_g). Transisi gelas adalah transisi dari lelehan gelas menjadi kaca padat.



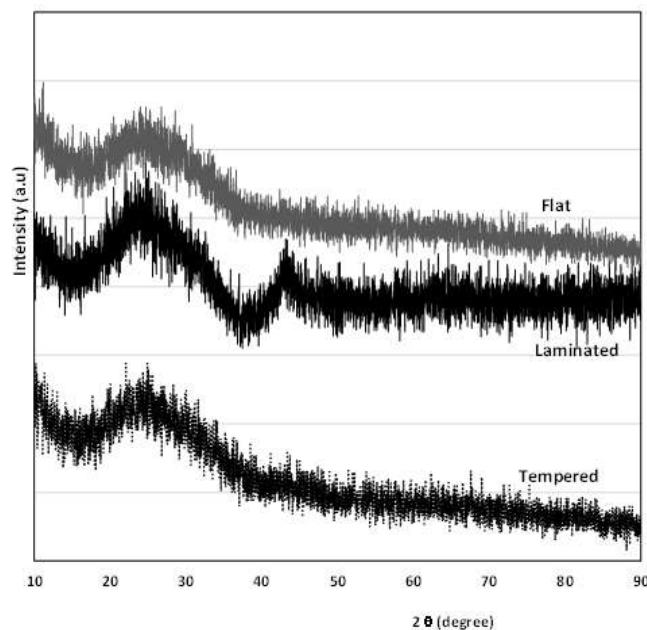
Gambar 5.1. Hubungan antara volume dan suhu pada proses pembentukan dari cair ke padat untuk material kaca dan non kaca.

(Sumber Cambridge University Press -Glasses for Photonics - Masayuki Yamane and Yoshiyuki Asahara, http://assets.cambridge.org/97805215/80533/excerpt/9780521580533_excerpt.pdf)

Kaca adalah produk anorganik yang rigid, dihasilkan melalui proses pencairan bahan baku (sebagaimana diuraikan pada Bab II), yang mengalami pendinginan yang cepat sehingga tidak terbentuk struktur kristal dengan susunan atom yang teratur. Susunan atom kaca berbeda dengan bahan kristalin, seperti kuarsa dan safir. Kaca tidak memiliki keteraturan susunan atom dalam lingkup yang panjang seperti ditunjukkan oleh Gambar 5.2b. Oleh karena itu pada hasil pengujian X-ray *diffraction* (XRD), diperoleh spektra difraksi sinar X, di mana tidak didapatkan puncak difraksi melainkan yang ada adalah puncak melebar (Gambar 5.3)

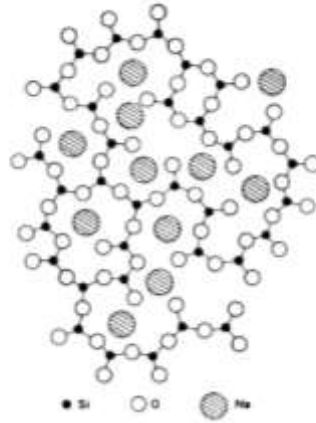


Gambar 5.2. Skema dua dimensi susunan atom pada (a) kristal (teratur) dan (b) kaca (amorf).
 (Sumber: Cambridge University Press -Glasses for Photonics - Masayuki Yamane and Yoshiyuki Asahara,
http://assets.cambridge.org/97805215/80533/excerpt/9780521580533_excerpt.pdf)



Gambar 5.3. Hasil XRD tiga jenis kaca berbeda yang tersedia di pasaran: kaca datar, kaca laminasi, dan kaca temperasi.

Gambar 5.4 menunjukkan ikatan jaringan random tiga dimensi yang kuat yang dibentuk oleh komponen yang disebut sebagai '*network former*', seperti Si, B, Al, dan lainnya. Komponen lain yang disebut sebagai '*network modifier*', seperti Na, Ca, Li, dan lainnya dapat juga berkontribusi dalam memodifikasi sifat kaca di mana komponen ini tidak membentuk jaringan namun menempati posisi dalam struktur yang secara termodinamika stabil dengan menggantikan sebagian dari '*network former*'.



Gambar 5.4. Detil susunan ikatan atom-atom kaca antara Si, O, dan Na.
(Sumber Cambridge University Press -Glasses for Photonics - Masayuki Yamane and Yoshiyuki Asahara,
http://assets.cambridge.org/97805215/80533/excerpt/9780521580533_excerpt.pdf)

5.2. Sifat kaca

Kaca memiliki sifat yang cakupannya lebar; beberapa jenis kaca sangat keras sedangkan lainnya mudah larut dalam air. Sifat-sifat ini kemudian akan dikuantifikasi. Sifat-sifat mana yang penting bergantung pada aplikasinya. Pada umumnya, orang yang banyak bekerja dengan bahan kaca, tertarik pada sifat-sifat berikut:

- Optik (akan dibahas pada Bab VI)
- Ketahanan kimiawi
- Mekanik
- Listrik (tidak dibahas lebih jauh).

5.2.1. Ketahanan kimiawi kaca

Ketahanan kimiawi kaca adalah ukuran daya tahan kaca saat terkena bahan kimia. Penting untuk dipahami bagaimana kaca bereaksi terhadap asam dan basa, termasuk yang terkandung dalam air hujan atau kelembaban di udara. Biasanya, hanya lapisan permukaan kaca yang terkena paparan air atau cairan lainnya, namun beberapa komposisi kaca yang

lebih khusus, seperti fosfat atau chalcogenides, dapat menurunkan atau bahkan melarutkan bagian dalam kaca karena kelembaban di udara.

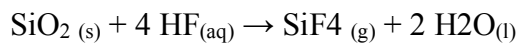
Berbeda dengan material konvensional yang selama ini lebih banyak digunakan sebagai material bangunan, kaca memiliki beberapa sifat yang unik, yaitu tidak mempunyai sifat kimia yang aktif, artinya kaca sulit bereaksi dengan bahan (kimia) lain dan tidak mudah teroksidasi oleh keadaan lingkungan. Keunikan ini membuat kaca dianggap sebagai material yang paling sesuai untuk menyimpan bahan kimia yang bersifat korosif, misalnya asam atau alkali. Kaca memiliki sifat-sifat yang khas jika dibandingkan dengan golongan keramik lainnya. Hal ini terutama dipengaruhi oleh keunikan silika (SiO_2) yang merupakan material penyusun utama kaca dan proses pembentukannya. Meski nampak berat dan keras, kaca sesungguhnya adalah material yang bisa didaur-ulang atau diolah lagi. Daur ulang yang paling utama adalah untuk diolah kembali menjadi kaca (Ing: *cullet*).

Sebagian besar kaca komersial, termasuk kaca silika, kaca soda kapur silikat, dan kaca borosilikat, memiliki daya tahan kimia yang tinggi. Hal ini disebabkan kaca ini memiliki ikatan yang kuat antar atom dan adanya konektivitas jaringan yang tinggi. Untuk komposisi kaca yang kurang tahan lama, seperti fosfat atau chalcogenides, degradasi terjadi saat kaca terkena bahan kimia yang menyebabkan ikatan jaringan lemah dan selanjutnya pecah. Terdapat banyak cara untuk melakukan tes ketahanan kimia kaca. Tes ini diperlukan saat kaca hendak diperuntukkan bagi aplikasi kaca yang khusus. Standar ASTM C225 menyebutkan tiga jenis tes untuk mengukur ketahanan kaca menggunakan sistem kontainer tes, yaitu:

- Mengukur ketahanan kontainer kaca yang diisi larutan dengan $\text{pH} < 5$.
- Mengukur ketahanan kontainer kaca yang diisi larutan dengan $\text{pH} > 5$.
- Mengukur laju pelarutan kaca dalam bentuk serbuk dalam air destilasi dan deionisasi.

Ketiga tes ini dilakukan dengan menggunakan bejana bertekanan (*autoclave*) yang dipanaskan pada temperatur 121°C . Suhu yang tinggi akan mempercepat proses pelarutan. Mengingat pentingnya pH dan unsur dalam larutan yang digunakan dalam tes, seperti kandungan CO_2 , maka dalam semua tes tersebut harus dijelaskan persiapan air dan reagen yang digunakan dalam tes. Selain faktor pH dan suhu, rasio luas permukaan/volum larutan juga penting. Saat unsur kaca memasuki larutan, terjadi perubahan pH yang kemudian dapat menyebabkan perubahan pada laju pelarutan. Tes cuaca juga bisa dilakukan, di mana kaca terkena uap air dan penurunan berat kaca diukur.

Sebelum memilih kaca, kita perlu mengetahui kondisi lingkungan seperti apa yang akan melingkupi kaca. Ambil contoh, kaca bangunan yang dipasang di daerah pesisir sering terkena kelembaban dan salinitas udara yang tinggi. Untuk mengurangi penggantian kaca dan biaya perawatan, yang terbaik adalah memilih kaca dengan tingkat kekerasan permukaan yang tinggi. Meskipun saat ini terdapat ribuan formulasi atau reaksi pada proses pembentukan kaca sesuai perkembangan dunia industri kaca yang kini mampu memproduksi berbagai macam jenis kaca, namun silika, gamping, dan soda masih menjadi bahan baku semua pembuatan kaca. Kuarsa (SiO_2) adalah salah satu bentuk polimorfi silika. Ikatan yang terbentuk antara Si, O, dan Na pada kaca sangat kuat sehingga membuat kaca tidak mudah bereaksi jika bersentuhan dengan bahan kimiawi yang lain (tidak larut/tidak terkorosi), kecuali terhadap asam hidroflorida (Hydrofluoric acid, Gambar 5.5 dan 5.6), yaitu Hidrogen fluorida (HF) yang dilarutkan dalam air. Cairan ini tidak berwarna, namun bersifat sangat korosif. Reaksi antara HF dan kaca (SiO_2) dapat ditulis dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



HF memutuskan ikatan atom Si-O dan membentuk ikatan atom antara Si-F menjadi senyawa SiF_4 .



Gambar 5.5. Cairan asam Hidrofluoric yang bening justru aman disimpan di botol plastik. (Sumber <https://ehs.ucsc.edu/lab-safety-manual/specialty-chemicals/hydrofluoric-acid.html>)



Gambar 5.6. Percobaan bola lampu kaca yang direndam dalam asam Hidrofluoric, putus bohlamnya persis pada batas bagian yang direndam cairan.
(Sumber <https://www.youtube.com/watch?v=6ZBwluyR2Tc>)

5.2.2. Sifat fisis-mekanis kaca

Kaca adalah material yang rapuh. Seperti material rapuh pada umumnya, kekuatan pecah (Ing: *fracture strength*) kaca dikendalikan oleh adanya cacat mikro dalam struktur dan bukan oleh sifat warisan yang ditentukan oleh kekuatan ikatan antar atomnya. Kaca harus diperlakukan dengan baik untuk mempertahankan kekuatannya. Kekuatan tersebut bisa berkurang melalui interaksi dengan lingkungan. Sebagai material yang rapuh, kaca rentan terhadap *thermal shock*. *Thermal stress* baik yang bersifat permanen atau sementara sering menyebabkan kaca menjadi pecah. Sifat mekanik kaca yang lain merupakan sifat warisan material. Modulus elastisitas (E) ditentukan oleh ikatan atom dalam material dan struktur jaringan. Kekerasan kaca adalah fungsi kekuatan ikatan yang membentuk jaringan dan kepadatan pengepakan atom dalam struktur. Kaca memiliki perilaku isotropis, dimana sifat material ini tidak bergantung pada arah.

Sifat elastis

Kebanyakan dari kita mungkin beranggapan bahwa kaca adalah material non elastis, karena melihat tingkat kekerasannya dan kemudahannya untuk retak atau pecah. Pendapat ini tidaklah sepenuhnya benar karena kaca adalah bahan yang elastis pada tingkat atom. Ini berarti bahwa di bawah gaya tarik yang bekerja, kaca akan berubah bentuk karena sifat struktur ikatan atomnya. Namun, perubahan ini tidak permanen dan ketika gaya tersebut dihilangkan, kaca kembali ke bentuk semula. Sifat elastis kaca digambarkan dengan modulus elastisitasnya. Angka modulus elastisitas menunjukkan seberapa banyak kaca akan mengalami deformasi dibawah tekanan dan ke arah mana akan

berubah bentuk. Tiga modulus elastisitas yang penting dan umum digunakan adalah modulus Young, rasio Poisson, dan modulus geser.

Modulus Young

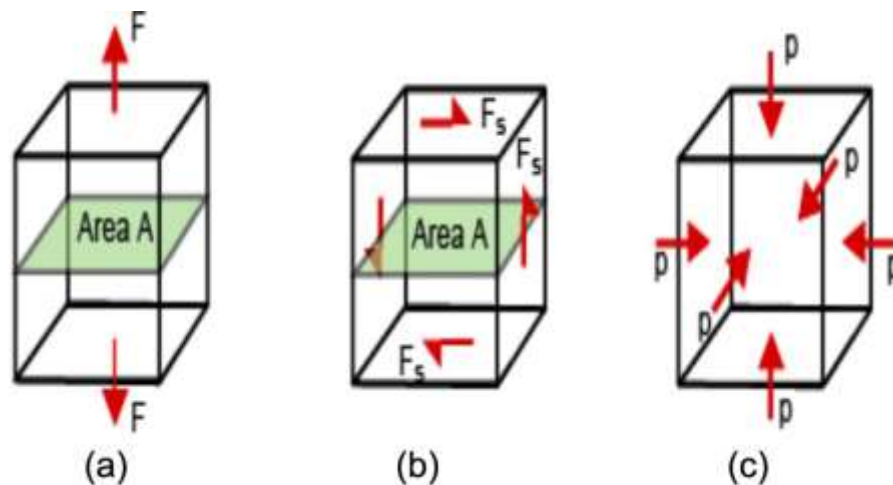
Modulus Young atau Y adalah ukuran kekakuan kaca. Nilai Y yang lebih besar mengindikasikan kaca kaku yang tidak akan mengalami perubahan bentuk seperti pada tekanan yang diterapkan.

Rasio Poisson

Rasio Poisson, ν , menunjukkan hubungan antara perpanjangan dan kontraksi material saat tegangan diterapkan dalam satu arah. Material biasanya akan memanjang ke arah tegangan tarik yang diterapkan dan berkontraksi dalam dimensi dalam arah tegak lurus.

Modulus geser

Modulus geser atau G berhubungan dengan tegangan geser dan regangan geser. Ini adalah indikasi kekakuan kaca.

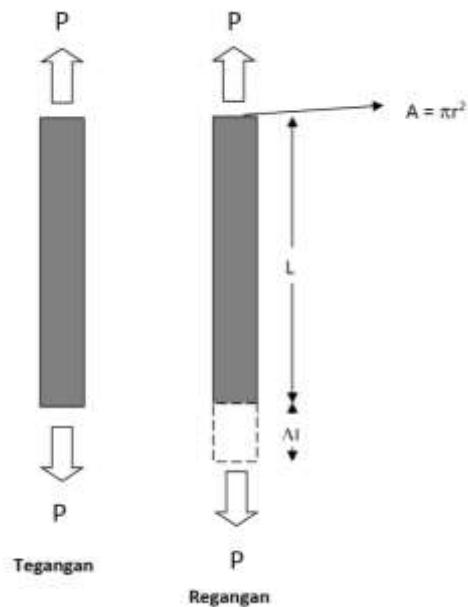


Gambar 5.7. Gaya yang bekerja pada kaca: gaya tarik dalam MPa (a), gaya geser dalam MPa (b), dan gaya tekan dalam MPa (c).

(Sumber https://www.lehigh.edu/imi/teched/GlassProp/Slides/GlassProp_Lecture11_Mecholsky.pdf)

Tabel 5.1. Contoh kuat tekan beberapa jenis kaca.

Jenis kaca	Kuat tekan (MPa)
Kaca <i>sandblasted</i>	10-28
Kaca <i>flat</i> untuk jendela	55-138
Kaca <i>annealed</i>	69-280



Gambar 5.8. Skematik gaya yang bekerja pada kaca saat pengujian tegangan dan regangan.

Gaya yang diterima kaca atau disebut tegangan kaca dihitung menggunakan rumus:

$$\sigma = P / A$$

Dimana σ adalah tegangan, P adalah gaya yang bekerja, dan A adalah luas penampang kaca yang diuji. Sedangkan regangan kaca dihitung dengan rumus:

$$\varepsilon = \Delta L / L$$

Dimana ε adalah regangan, L adalah panjang awal benda uji dan ΔL adalah selisih panjang akhir – panjang awal. Sementara itu modulus Young atau modulus elastisitas dihitung dengan rumus:

$$E = \sigma / \varepsilon$$

Dimana E adalah modulus Young dan σ adalah tegangan dan ε adalah regangan.

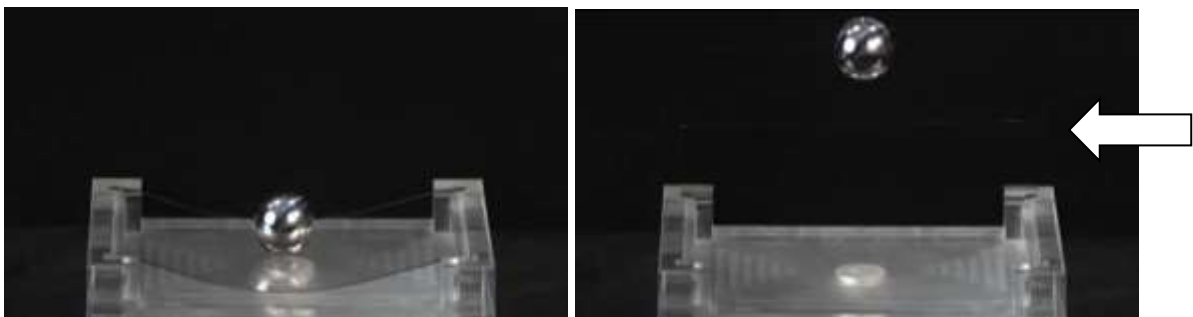
Meski rumus penghitungan dan hasil pengujian menunjukkan bahwa kaca tetap memiliki sifat elastis, namun penting untuk dipahami bahwa kaca hanya bersifat elastis pada tingkat mikroskopik, dan merupakan bahan yang sangat kaku pada tingkat

makroskopik. Ini berarti bahwa untuk tekanan tipikal yang diterapkan pada kaca, regangan yang dihasilkan sangat kecil. Jadi untuk kebanyakan aplikasi, tegangan yang diterapkan pada potongan kaca tidak akan menyebabkannya bergeser dari spesifikasi dimensionalnya.

Bagaimanapun, pengetahuan tentang modulus Young akan berguna dalam memprediksi kekuatan atau *impact resistance* dari kaca. Sebagai contoh, kita akan menggunakan kaca yang perlu menahan tekanan besar tanpa putus, misalnya akan terkena dampak dari kerikil dan hujan es, maka memilih kaca dengan modulus Young lebih tinggi adalah pilihan yang baik, karena akan lebih tahan terhadap kegagalan, baik dari tekanan konsisten maupun mendadak.

Kaca secara intrinsik adalah material yang kuat. Kekuatan teoritisnya mendekati 13,8 GPa. Namun karena adanya cacat permukaan yang dikenal sebagai cacat Griffith, kekuatan kaca berkurang pada rentang 55-70 MPa. Salah satu cara untuk peningkatan kekuatan kaca adalah dengan penguatan kimiawi yang menghasilkan permukaan dengan tegangan tekan.

Kaca penutup (Ing: *cover*) pada gawai harus dapat melindungi layar gawai sehingga layar tersebut dapat beroperasi baik ketika disentuh. Kaca *cover* harus tahan beban kejut ketika gawai jatuh atau tergores selama penggunaan. Nippon Electric Glass telah berhasil mengembangkan kaca dengan penguatan kimiawi untuk layar kaca gawai dan penggunaan lainnya. Gambar 5.9 menunjukkan percobaan *ball drop test* pada permukaan kaca Dinorex di mana kelenturan kaca dapat memantulkan bola baja tanpa pecah.



Gambar 5.9. Kaca jenis baru yang diproduksi Dinorex dari Nippon Electric Glass yang mengalami *chemical strengthening*, menjadi sangat lentur dan mampu memantulkan bola besi.

(Sumber http://www.neg.co.jp/glass_en/02.html)

Tabel 5.2. Sifat mekanis kaca dan material lain.

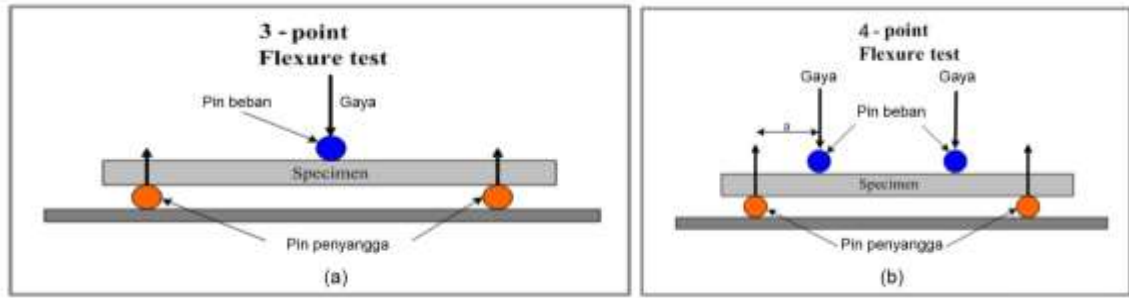
Material	Massa jenis (g/cm ³)	Modulus Young (MPa)	Kekuatan Luluh (MPa)	Kekuatan Maksimum (MPa)
Kaca biasa	2,6	70	70	70
Kaca temperasi	2,6	70	500	500
<i>Fiberglass</i>	2,6	70	4000	4000
Aluminium	2,7	69	110	120
Baja	7,85	200	340	550
Magnesium	1,8	43	80	140

Tabel 5.3. Modulus Young dan modulus Shear beberapa jenis kaca

Jenis	E Modulus Young (GPa)	G Modulus Shear (GPa)
Keramik	17,2	6,9
Aluminosilikat	12,5	5,1
Keramik	12,5	5,0
<i>Fused</i> silika	10,4	4,5
<i>Soda lime</i> silika	10,2	4,2
96% silika	10,0	4,2
Borosilikat (<i>low expansion</i>)	9,1	3,8
Borosilikat (<i>low loss</i>)	7,4	3,0

Saat memilih kaca sebagai bahan untuk bangunan, perancang sebaiknya mengetahui benar kekuatan kaca yang akan digunakan. Hal ini untuk memastikan bahwa kekuatan kaca akan mampu menahan tekanan yang menyimpannya dan memenuhi persyaratan tekanan tertentu. Peralatan berbahan kaca yang digunakan untuk keperluan Angkatan Laut, seperti lampu navigasi, lampu peringatan, atau lampu sinyal harus melewati tes tekanan hidrostatis (yaitu misalnya untuk Amerika: standar militer MIL-DTL-24560°). Sebagai contoh, lensa kaca yang dipasang pada pencahayaan kapal selam bagian luar yang berhubungan dengan air laut, diharuskan menahan tekanan 10-15MPa.

Untuk menguji kekuatan kaca, digunakan ASTM C158-02: Metode Uji Kekuatan Kaca dengan Kelenturan (Ing: *flexure*). Metode ini menggunakan uji tekuk tiga atau empat titik (Gambar 5.10) untuk menentukan kekuatan kaca dan dapat digunakan untuk memprediksi kekuatannya pada saat digunakan.



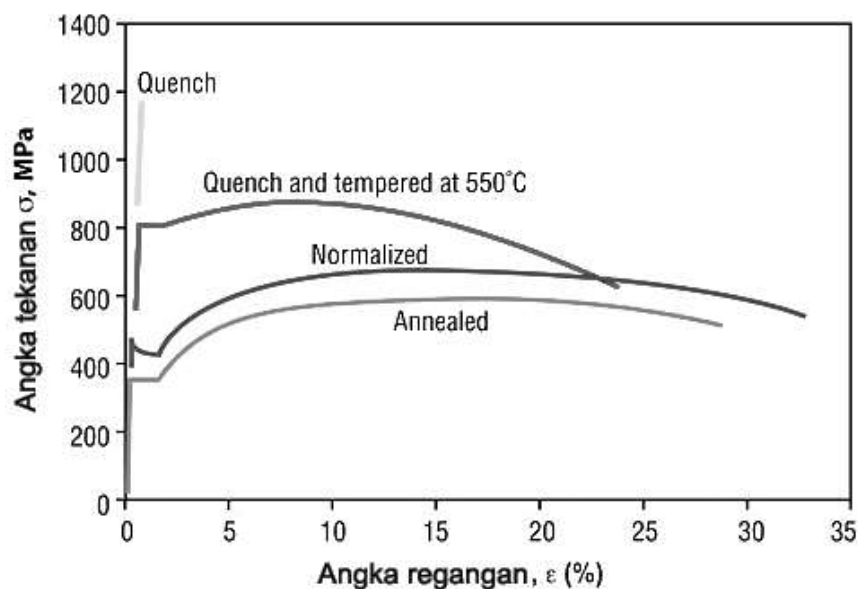
Gambar 5.10. Uji tekuk tiga titik (a) dan empat titik (b).
(Sumber <http://www.substech.com>)

Jika kaca membutuhkan kemampuan untuk menahan tekanan yang lebih besar, proses peningkatan kekuatan kaca secara mekanik dan kimia dan pemanasan dapat digunakan. Cara-cara yang dapat ditempuh untuk memperkuat kaca secara mekanik adalah sebagaimana disajikan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Perlakuan yang dapat dilakukan untuk menambah kekuatan mekanis kaca (Lehman, R).

Perlakuan*	Perkiraan penambahan kekuatan maksimum
<i>Quencing hardening</i> – termasuk temperasi (paling banyak dilakukan)	6
<i>Ion exchange</i>	10
<i>Surface crystalization</i>	17
<i>Ion exchange</i> dan <i>surface crystalization</i>	22
<i>Etching</i>	30
<i>Fire polishing</i>	200
<i>Second phase particles</i>	2

* Istilah sengaja tidak diterjemahkan ke dalam Bahasa Indonesia untuk menghindari perbedaan arti.



Gambar 5.11. Peningkatan kekuatan kaca yang mengalami *quencing* dan temperasi.
(Sumber: <https://indeco.com/news/2015/01/12/importance-normalizing>).

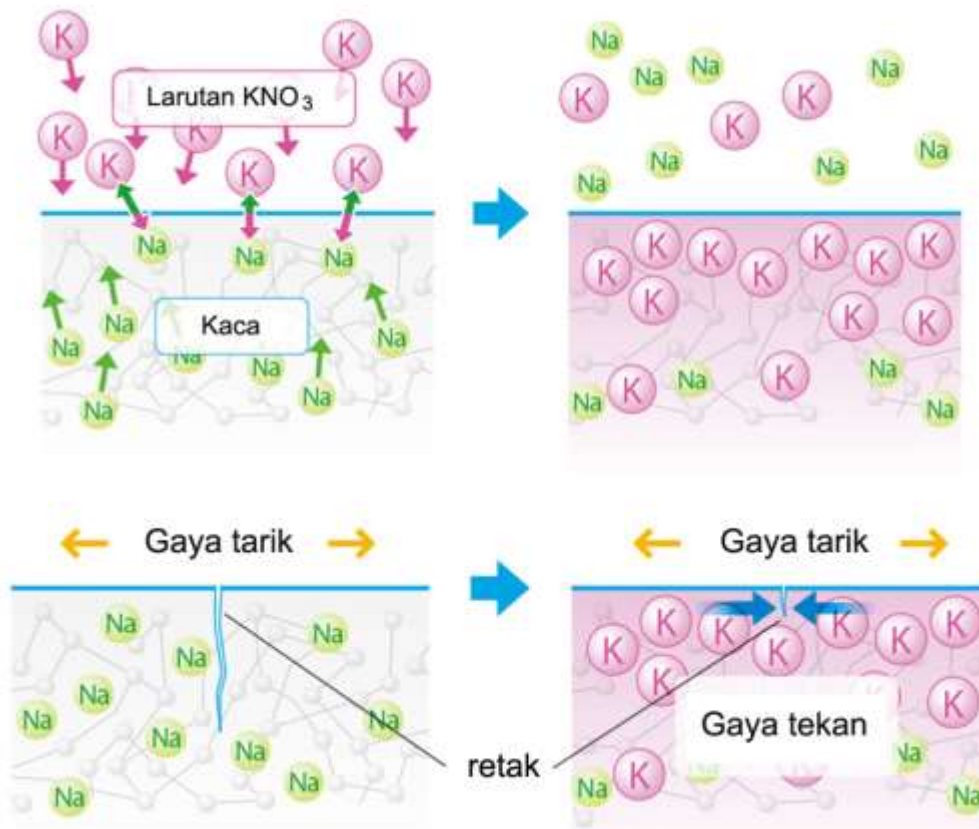
Sementara itu, proses penguatan kimiawi dilakukan dengan pertukaran ion (Ing: *ion exchange*), dengan cara merendam kaca yang mengandung ion Na^+ dalam lelehan potasium nitrat (KNO_3) yang mengandung ion K^+ . Temperatur lebur KNO_3 adalah 337°C dan dapat digunakan untuk perendaman pada temperatur 525°C sebelum terjadi dekomposisi dari nitrat menjadi nitrit. Temperatur proses dapat ditingkatkan 100°C lagi dengan penambahan sulfat. Ion Na^+ dalam kaca kemudian bertukar tempat dengan ion K^+ dari dalam larutan (Gambar 5.13). Karena ion K^+ memiliki diameter lebih besar dibanding dengan diameter Na^+ maka masuknya ion K^+ dalam struktur kaca menyebabkan tegangan kompresi atau tekan pada permukaan kaca. Tegangan kompresi ini yang meningkatkan kekuatan kaca untuk dapat menahan hantaman/benturan tanpa pecah. Pasangan pertukaran ion yang banyak digunakan adalah ion Na^+ menggantikan Li^+ dan ion K^+ menggantikan Na^+ .

Dua parameter proses yang penting pada proses penguatan kimiawi adalah temperatur dan lama proses. Ukuran kekuatan adalah *modulus of rupture*, baik yang terabrasi maupun tidak. Terdapat fleksibilitas untuk mengatur sifat akhir produk sehingga diperoleh rentang kekuatan (*modulus of rupture*) bervariasi antara tegangan tarik pada bagian tengah serta kedalaman lapisan permukaan dengan tegangan tekan. Pada tiap temperatur terdapat waktu untuk mencapai *modulus of rupture* maksimum. Semakin tinggi temperatur maka semakin singkat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kekuatan maksimum. Namun demikian kekuatan maksimum berkurang dengan peningkatan temperatur. Hal ini dapat dijelaskan dengan pertimbangan bahwa laju peningkatan tegangan secara keseluruhan proporsional dengan laju pertukaran ion minus laju hilangnya tegangan hasil relaksasi kaca. Mekanisme lain hilangnya kekuatan adalah karena temperatur tinggi yang dipertahankan selama proses.

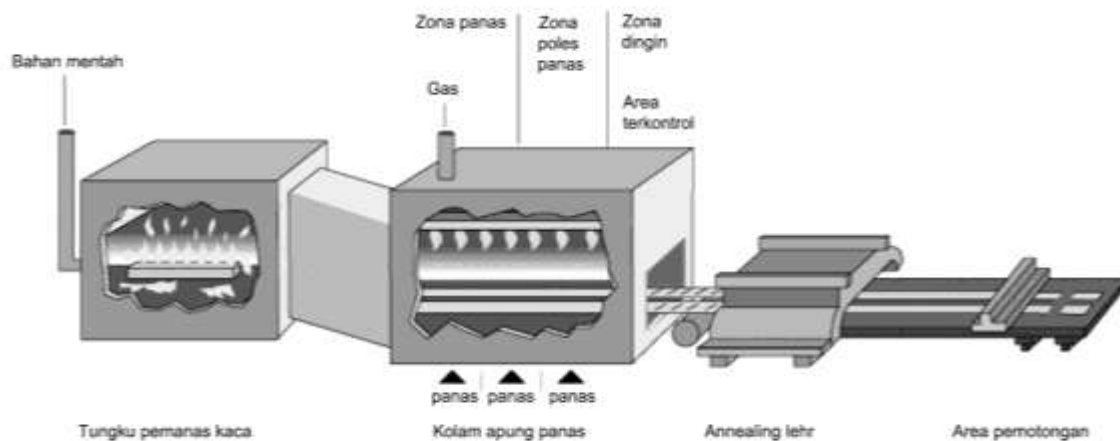


Gambar 5.12. Kaca yang mengalami *surface crystallization* menggunakan Barium Oksida (BaO), tanpa (a), dengan BaO 5% (b) dan dengan BaO 10% (c).

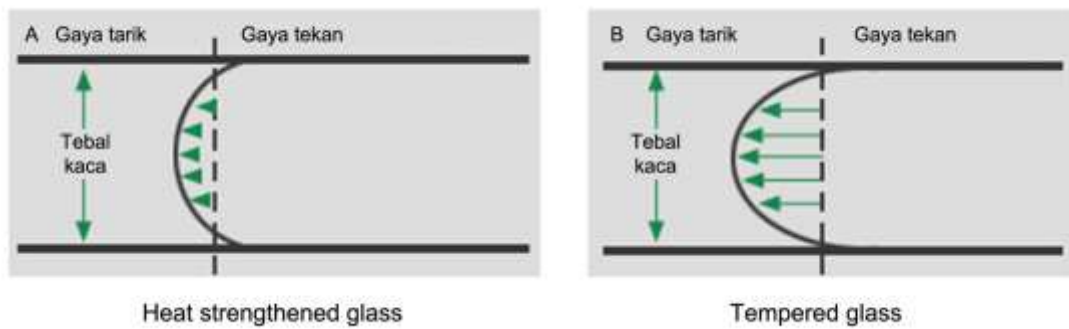
(Sumber Cristian Berto da Silveira, Silvia Denofre de Campos, Elvio A. de Campos, Antônio Pedro Novaes de Oliveira, 2002 Crystallization Mechanism and Kinetics of $\text{BaO-Li}_2\text{O-ZrO}_2\text{-SiO}_2$ Glasses, Materials Research, http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392002000100004)



Gambar 5.13. Kaca yang mengalami *ion exchange* dengan KNO_3 , sebelum (kiri), sehingga retak cukup besar dan setelah ketika retak mengecil (kanan).
 (Sumber http://www.neg.co.jp/glass_en/02.html)



Gambar 5.14. Proses peningkatan kekuatan kaca dengan *fire polishing*.



Gambar 5.15. Skematik peningkatan kekuatan kaca ketika mengalami pemanasan.
(Sumber <http://www.glazette.com/Glass-Knowledge-Bank-28/heat-strengthened-glass.html>)

Kekerasan: bagaimana kaca menahan abrasi

Kekerasan (Ing: *hardness*) adalah kemampuan material untuk menahan goresan, retak, atau cacat permanen oleh tepi tajam material lain yang mengenainya. Dengan kata lain, ini adalah ukuran ketahanan material terhadap abrasi. Meski istilah kekuatan dan kekerasan sering muncul bersamaan dan menimbulkan kebingungan, sesungguhnya ini adalah sifat terpisah. Kekuatan mengacu pada ketahanan bahan untuk menghadapi gaya atau tekanan yang diterapkan, sementara kekerasan mengacu pada ketahanan permukaan terhadap proyektil kecil yang tajam.

Kita dapat mengukur kekerasan kaca dengan menggunakan tes goresan (skala Mohs) atau tes indentasi/kekerasan (skala Vicker). Namun, kedua tes ini dilakukan hanya pada titik tunggal pada permukaan material. Seringkali lebih berguna untuk mengukur ketahanan abrasi seluruh permukaan. Metode Taber sering digunakan untuk menentukan ketahanan abrasi seluruh permukaan, yaitu dua roda kasar diputar di kedua sisi material dan mensimulasikan abrasi. Uji abrasi umum yang lainnya adalah dengan menjatuhkan bebas pasir SiC grade 90 sebanyak 32 liter dari ketinggian 4 kaki (1,2 m) pada permukaan material. Hasil abrasi yang terbentuk pada permukaan material dievaluasi setelah uji.

Kaca yang dipasang di luar ruangan, seperti bangunan yang akan banyak menahan angin berpasir seperti di gurun, harus mempertimbangkan kondisi abrasif. Saat merancang kaca untuk lingkungan yang begitu keras, penting untuk mengetahui bagaimana permukaan material akan dipakai, karena abrasi dapat mempengaruhi kinerja kaca. Misalnya, bila permukaan material transparan tergores, transmisi cahaya berkurang. Bila di permukaan terakumulasi cukup banyak goresan, bagian itu bisa bergeser dari kisaran spesifikasi optik yang dibutuhkan. Penting juga untuk diingat bahwa turunnya tegangan permukaan kecil saja yang dibuat oleh abrasi dapat mempengaruhi kekuatan kaca dan

menyebabkan kegagalan prematur. Saat merancang bangunan yang membutuhkan daya tahan tinggi, transmisi tinggi, dan ketahanan abrasi tinggi dalam menghadapi kondisi ekstrim, yang terbaik adalah memilih kaca keras.

Kaca sering dibutuhkan untuk menahan tidak hanya tekanan terus menerus atau abrasi permukaan, tapi juga benturan seketika (Ing: *impact*). *Impact* biasanya didefinisikan sebagai kekuatan besar yang diterapkan seketika ke satu titik pada material. Kaca dikatakan tahan terhadap benturan jika mereka mempertahankan kualitas permukaannya dan juga menahan patah di dalamnya. Resistansi terhadap *impact* ditingkatkan dengan nilai kekuatan, kekerasan, dan ketangguhan yang lebih tinggi. Material bisa kuat dan tangguh tapi tidak harus keras, artinya *impact* akan merusak permukaan tapi tidak merusak materi. Atau sebaliknya, material kaca itu bisa menunjukkan kekerasan yang tinggi namun tidak kuat dan tangguh, yang berarti bahwa *impact*-nya tidak akan mengikis permukaan tapi materialnya tetap bisa patah secara internal. Berbeda dengan material lainnya, kaca yang diperkuat biasanya cukup kuat dan keras, yang berujung pada ketahanan benturan tinggi. Selain itu, penguatan panas dan mekanisme penguatan kimia dapat digunakan untuk memperbaiki resistensi kaca terhadap *impact*.



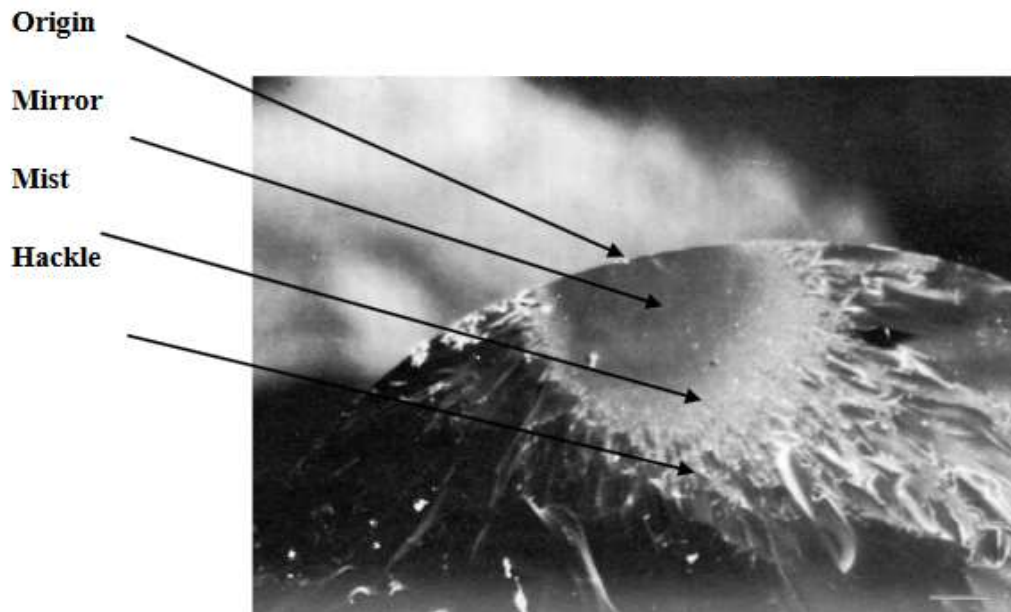
Gambar 5.16. Peralatan untuk menguji kekuatatan material terhadap abrasi dengan metode Taber.
(Sumber <http://www.koppglass.com/blog/mechanical-properties-of-glass-design-to-survive-stress-impact-and-abrasion/>)



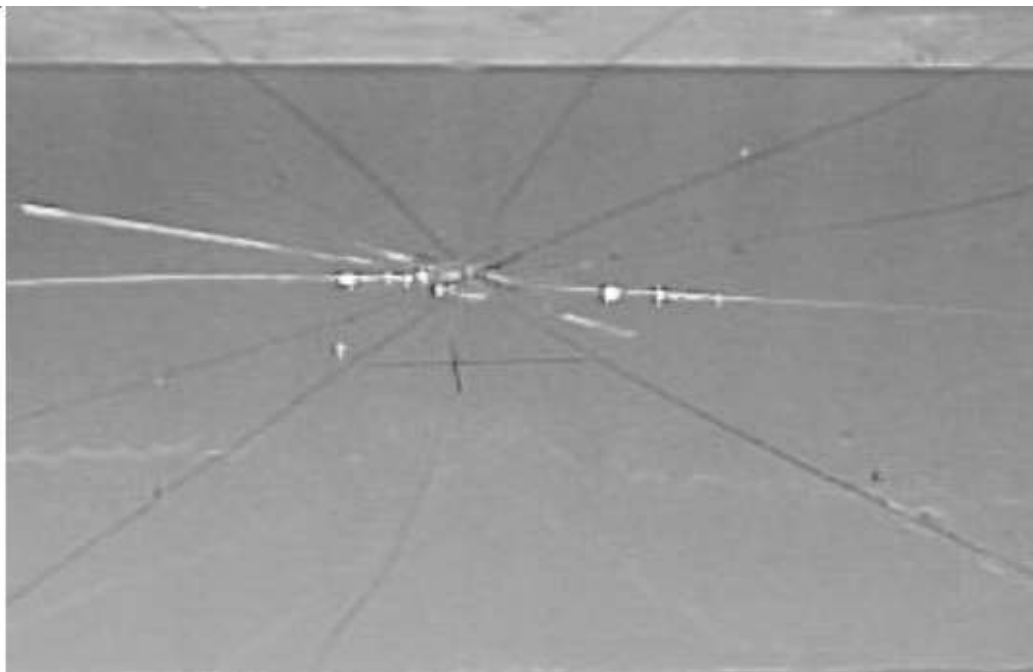
Gambar 5.17. Perbandingan hasil uji abrasi metode Taber untuk polikarbonat dan kaca borosilikat. (Sumber <http://www.koppglass.com/blog/mechanical-properties-of-glass-design-to-survive-stress-impact-and-abrasion/>)

7.3. Evaluasi kegagalan

Persyaratan *impact* dari bagian kaca sangat bergantung pada penggunaannya. Kaca yang cocok untuk satu penggunaan mungkin gagal di tempat lain. Sehingga umumnya, komponen kaca mungkin perlu mematuhi persyaratan atau standar benturan spesifik untuk penggunaan tertentu. Gambar 5.18 menunjukkan bagian dari permukaan patahan sebuah batang kaca yang ditebuk. Lokasi asal patah (Ing: *origin*) pada bagian tengah permukaan yang halus dan tidak terlalu tampak detil pada gambar. Permukaan patah yang dekat dengan lokasi asal sangat halus dan bila diberikan pencahayaan dengan tepat maka permukaan tersebut akan memantulkan sinar sama seperti cermin (Ing: *mirror*). Oleh karena itu bagian itu disebut sebagai *fracture mirror*. Permukaan halus ini menunjukkan bahwa patahan bergerak relatif lambat sebagai *single spreading front*. Pada kenyataannya bila kaca pecah pada tegangan rendah, misal karena efek termal maka permukaan patahan keseluruhan menunjukkan seperti cermin (Ing: *mirror like*) tanpa atau sangat sedikit tanda.



Gambar 5.18. Tipikal kegagalan kekuatan kaca membentuk pola: titik posisi *impact*, *mirror* (area di dekat titik *impact* yang terdampak), *mist* (area di sekitar titik *impact* yang terdampak) dan *hackle* (area jauh dari titik *impact* yang terdampak).
 (Sumber <https://docplayer.net/21081805-The-mechanical-properties-of-glass.html>)



Gambar 5.19. Tampak kaca yang mengalami *low energy impact*, titik posisi *impact*-nya terlihat jelas, retakannya sedikit hingga sedang dan membentuk bagian pecahan-pecahan.
 (Sumber <http://glassproperties.com/references/MechPropHandouts.pdf>)



Gambar 5.20. Tampak kaca yang mengalami *high energy impact*, titik posisi *impact* terlihat jelas, retakan banyak dan membentuk radial.

(Sumber <http://glassproperties.com/references/MechPropHandouts.pdf>)



Gambar 5.21. Tampak karakteristik kaca temperasi yang mengalami *energy impact*, titik posisi *impact* tidak terlihat jelas, retakan banyak dan sangat kecil-kecil, kaca tidak langsung pecah dan masih mampu menahan beban yang ringan, seperti botol.

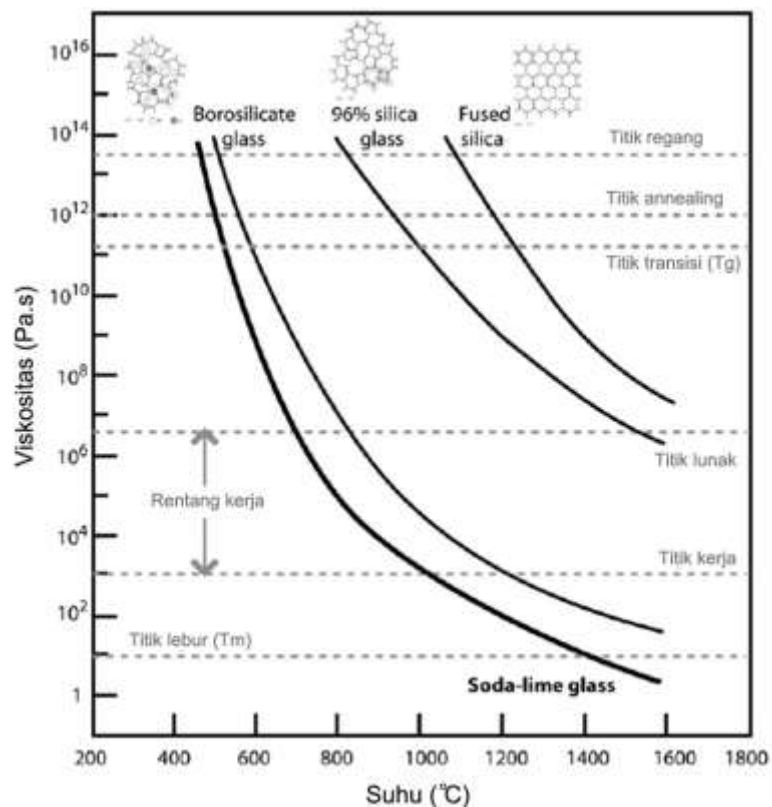
(Sumber <http://glassproperties.com/references/MechPropHandouts.pdf>)

Densitas dan Viskositas

Densitas merupakan rasio antara massa suatu material terhadap volumenya. Secara umum kaca memiliki densitas sekitar $2,49 \text{ g/cm}^3$ atau 2490 kg/cm^3 . Densitas kaca dan material lain sesungguhnya berubah jika temperatur berubah. Densitas kaca akan menurun jika temperaturnya naik.

Tabel 5.5. Densitas beberapa material bangunan termasuk kaca

Material	Densitas (kg/m^3)
Kaca	2490
Beton	2300
Aspal	2400
Bata	1700-1900
Semen	1400
Tanah liat basah	2080
Semen mortar	1440
Gipsum	1200
Pasir	1650
Batako	1800
Baja	7850
Kayu	400-700
Air	1000



Gambar 5.22. Viskositas kaca terhadap perubahan suhu.

(Sumber <https://www.chegg.com/homework-help/viscosity-n-glass-varies-temperature-according-relationshipw-chapter-14-problem-7qp-solution-9780471320135-exc>)

Sementara, viskositas merupakan sifat kekentalan dari suatu cairan yang diukur pada rentang temperatur tertentu yang memengaruhi daya tahan terhadap gaya geser. Karena kaca juga dianggap sebagai cairan, maka kaca juga memiliki viskositas, yaitu sekitar $4,5 \times 10^7$ Poise. Nilai viskositas kaca merupakan fungsi dari suhu dengan kurva eksponensial (Gambar 5.22).

BAB VI

SIFAT TERMAL dan OPTIKAL

Sebagai sebuah material, terlebih material yang transparan, sifat kaca dalam menyerap dan mengelola panas yang diterimanya sangat penting untuk dipaparkan. Terlebih jika kaca dipergunakan untuk elemen bangunan, yang dimungkinkan turut memanaskan suhu di dalam ruang akibat radiasi sinar matahari. Sangat penting bagi pengguna kaca untuk memiliki pemahaman menyeluruh tentang sifat termal kaca saat memilih kaca atau komponen kaca untuk bangunan. Ketika terpapar pada perubahan suhu secara tiba-tiba ataupun secara bertahap, kaca yang dipilih dan ditempatkan dengan tidak benar akan berkinerja buruk dan bahkan bisa gagal. Sifat termal kaca akan menentukan bagaimana kinerjanya dalam kondisi penggunaan yang berbeda. Informasi terkait sifat termal dan optikal ini akan membantu pengguna untuk memilih kaca yang paling sesuai untuk digunakan pada keadaan tertentu.

6.1. Coefficient of Thermal Expansion (CTE)

Kaca akan mengembang dalam jumlah kecil saat dipanaskan. Meski demikian, jika hal ini tidak diperhitungkan dengan baik, dapat mengakibatkan tegangan sisa di komponennya. Secara umum, kaca dengan CTE yang lebih rendah bisa lebih baik menahan tekanan termal. Koefisien ekspansi termal (CTE) adalah ukuran banyaknya volume yang berubah karena bahan dipanaskan atau didinginkan.

Jika panas tidak merata diterapkan pada kaca, area yang berbeda dari kaca akan mengembang dengan tingkat yang bervariasi dan tegangan internal akan meningkat. Hal ini bisa mengakibatkan fraktur atau kegagalan kaca. Dalam penggunaan ketika kaca sudah terpasang erat dengan bahan lainnya, ekspansi termal bahan-bahan tersebut perlu dicocokkan/disesuaikan, karena bila ekspansi termal ini tidak diperhitungkan secara cukup, maka dapat menimbulkan retak ataupun pecah, disebabkan adanya tegangan berbeda pada kaca.

6.2. Thermal Conductivity (k)

Konduktivitas termal memberi informasi kepada kita seberapa baik suatu bahan meneruskan panas. Kaca umumnya memiliki konduktivitas termal yang cukup rendah, dengan demikian kaca lebih seperti isolator termal. Konduktor panas yang baik akan memungkinkan panas untuk melalui bahan sangat cepat, seperti konduktor listrik yang baik akan memungkinkan pergerakan muatan lebih cepat. Konduktivitas termal kaca adalah $0,8 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2\text{°C}$ yang biasanya dijumpai pada kaca bening biasa dengan

ketebalan sekitar 3 mm. Angka konduktivitas termal kaca akan meningkat seiring meningkatnya ketebalan dan warna kaca yang makin gelap (Intang, dkk., tanpa tahun) Pada kaca bangunan, konduktivitas termal dinyatakan dengan *U-factor* atau *U-value* yang menyatakan laju dari perpindahan panas dan menyatakan pula kemampuan insulasi dari jendela. Semakin rendah nilai *U-value*, semakin baik insulasi jendela.

Tabel 6.1. *U-value* untuk kaca tunggal dan kaca ganda (Lyons, 2010)

Jenis kaca	U - value (W/m ² .K)
Kaca jernih tunggal	5.8
Kaca jernih dobel	2.8
Kaca jernih dobel dengan diisi argon	2.7
Kaca jernih dobel dilapis <i>hard low-e</i>	1.7
Kaca jernih dobel dilapis <i>hard low-e</i> dan diisi argon	1.5
Kaca jernih dobel dilapis <i>soft low-e</i>	1.4
Kaca jernih dobel dilapis <i>soft low-e</i> dan diisi argon	1.2
Kaca jernih 3 lapis dengan 2 lapis <i>low-e</i> dan 2 isian argon	0.8
Kaca jernih 3 lapis dengan 2 lapis <i>low-e</i> dan 2 isian xenon	0.4

6.3. *Thermal Shock Resistance*

Jika komponen kaca mengalami perubahan suhu yang cepat, maka kaca tersebut perlu memiliki ketahanan terhadap gangguan termal yang tinggi untuk mencegahnya agar tidak pecah. Resistansi guncangan termal suatu kaca menunjukkan seberapa besar kemungkinannya untuk pecah ketika suhu tiba-tiba berubah. Ini didefinisikan Sebagai perubahan suhu maksimum (ΔT), bahwa kaca bisa tahan pada pemanasan atau pendinginan cepat.

Uji kejut termal adalah metode yang digunakan untuk melihat kemampuan kaca atau komponen kaca untuk menahan perubahan besar pada suhu saat dipasang di suatu tempat. Misalnya, kaca sering digunakan dengan pencahayaan daya tinggi dapat menjadi panas saat digunakan dan bisa mengalami pendinginan cepat saat terkena hujan, salju, atau faktor lingkungan lainnya. Dalam hal ini pada lingkungan dinamis yang mengalami perubahan suhu secara cepat, sangat penting untuk memilih jenis kaca yang tepat guna memastikan kemampuan kaca tahan terhadap kejut termal (Ing: *thermal shock*).

Resistansi terhadap kejut termal, diuji dengan mengambil kaca yang dipanaskan dan dengan cepat didinginkan dengan metode seperti perendaman dalam bak es atau paparan air tetesan. Resistansi kejut termal suatu kaca dapat ditingkatkan menggunakan proses penguatan secara termal atau kimia. Proses dilakukan dengan memberikan

tegangan tekan pada permukaan kaca dan meningkatkan ketahanan mereka terhadap dampak atau perubahan suhu yang mendadak.

Specific Heat

Panas spesifik memberikan informasi kepada kita, terkait berapa banyak panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu kaca. Panas spesifik yang dikombinasikan dengan pengetahuan tentang konduktivitas termal kaca, dapat memberikan gambaran tentang seberapa cepat kaca tersebut akan mencapai keseimbangan termal.

Jika konduktivitas termal menunjukkan berapa banyak panas yang mengalir melalui material, panas spesifik menunjukkan seberapa cepat panas akan meningkatkan suhu material.

Konduktivitas termal dan panas spesifik dapat menjadi pertimbangan penting untuk penempatan kaca dan komponennya pada suatu area dengan suhu tinggi. Tabel 6.2. menampilkan nilai konduktivitas termal dan panas spesifik dari beberapa bahan transparan yang umum digunakan. Jika dibandingkan dengan logam, kaca dan material transparan lain (polimer soda-kapur silikat, borosilikat, akrilik, polikarbonat, dan silikon), memiliki konduktivitas termal yang jauh lebih rendah. Ini berarti bahwa mereka bertindak lebih seperti isolator termal daripada seperti termal konduktor.

Tabel 6.2. Perbandingan thermal conductivity beberapa material

Material	Thermal Conductivity W/(m ² °C)	Specific Heat J/(kg.C)
Acrylic	0.2	1450
Polycarbonate	0.2	1200
Silicone cast resin	0.2	1175
Soda-lime silicate glass	1.0	675
Borosilicate glass	1.0	750
Aluminum	205	900

6.4. Heat Processing

Kaca produk industri dalam ukuran lembaran yang cukup besar, perlu mendapat perlakuan *anneal* oleh produsen kaca guna menghilangkan tekanan internal yang berkembang dari pendinginan yang cepat. Dalam kasus lain, produsen melakukan pengontrolan jumlah tegangan tekan dan tarik di kaca dengan penguatan panas (Ing: *heat strengthening*) atau dengan proses temper (Ing: *tempering*), yang akan meningkatkan resistansi termal dan mekanis dari kaca.

Dalam proses produksi kaca, kaca cair yang diletakkan di atas cetakan, akan cepat mendingin. Pendinginan cepat ini menciptakan tekanan internal di dalam kaca. Saat suhu kaca mencapai suhu kamar, tekanan di kaca berpotensi menyebabkan kerusakan spontan. Proses *anneal* adalah sebuah proses pengontrolan pendinginan kaca secara perlahan untuk meredakan tekanan internalnya. Segera setelah produksi berakhir, kaca diperiksa dengan peralatan tertentu, seperti *polariscope*, untuk memastikan kaca yang telah mengalami *annealing* tekanannya minimal.

Heat Strengthening dan Tempering

Jika umumnya kaca diproduksi dengan proses pendinginan yang lamban, agar tidak terjadi tekanan yang besar, yang menyebabkan kaca mudah pecah, ada kalanya justru dibutuhkan kaca yang mengalami tekanan besar secara terkontrol untuk menambah sifat termal dan mekanisnya. Pemberian tekanan secara terkontrol ini bisa melalui cara *heat strengthening* atau *tempering* melalui proses pemanasan dan pendinginan seketika yang terkendali.

Proses ini dilakukan dengan terlebih dahulu memanaskan kaca diatas suhu transisinya. Selanjutnya, permukaan luar kaca didinginkan dengan cepat. Karena bagian dalam mengalami pendinginan yang lambat dibandingkan dengan bagian luar, maka perbedaan termal antar bagian ini menciptakan tegangan tekan pada permukaan kaca dan tekanan tarik pada bagian dalam (Gambar 2.29). Menurut standard ASTM C1048, kaca yang mengalami *heat-strengthening* harus memiliki kemampuan tekan permukaan 3500 sampai 7500 Psi, sedangkan kaca *tempering* harus memiliki kemampuan tekan permukaan minimal 10.000 Psi.

6.5. Time Lag dan Decrement Factor

Keterlambatan waktu karena massa termal dikenal sebagai *time-lag* atau jeda termal. Pada material yang lebih tebal dan lebih tinggi resistensinya, akan dibutuhkan waktu yang semakin lama bagi gelombang panas untuk melewatinya. Pengurangan suhu pada permukaan bagian dalam dibandingkan permukaan luar disebut sebagai faktor penurunan atau *decrement factor*. Dengan demikian, bahan dengan nilai *decrement* 0,5 yang mengalami variasi suhu diurnal 20°C pada suhu luar ruangan, hanya akan mengalami variasi suhu dalam 10°C.

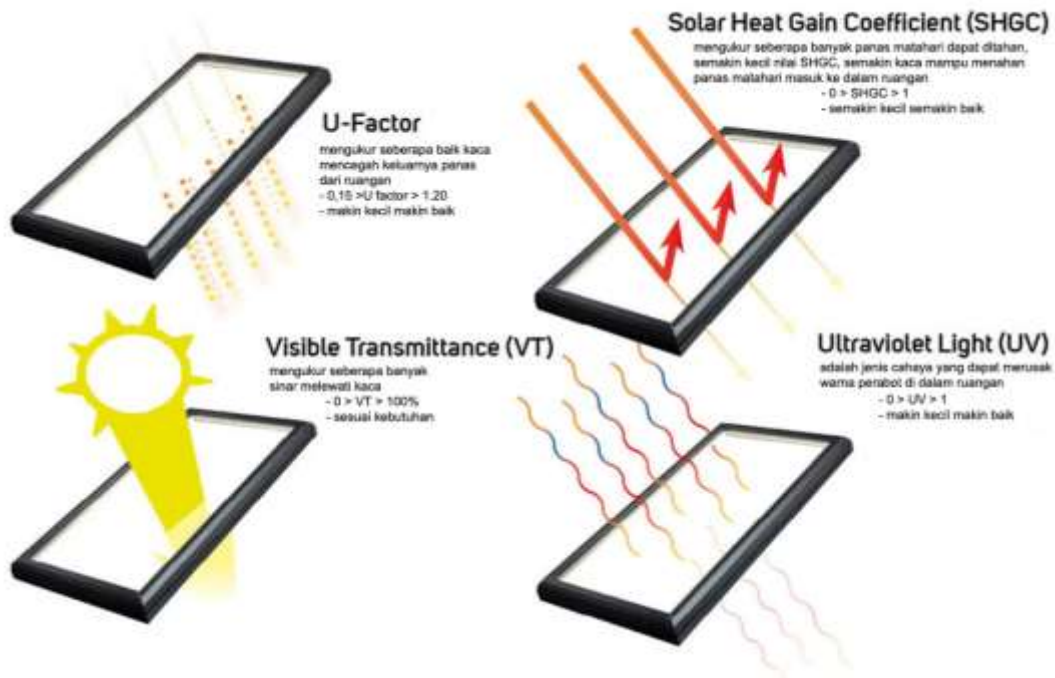
Pengetahuan akan faktor-faktor ini sangat penting dalam pemilihan material bangunan dari kaca di lingkungan dengan rentang diurnal yang tinggi. Di padang pasir,

misalnya, suhu siang hari bisa mencapai lebih dari 40°C. Sementara pada malam hari, suhu bisa turun sampai di bawah titik beku (dibawah 0°C). Jika bahan dengan jeda termal 10 -12 jam digunakan dengan tepat (termasuk diantaranya memilih kaca yang tepat), maka suhu malam hari yang rendah akan mencapai permukaan internal di sekitar tengah hari, mendinginkan udara bagian dalam. Demikian pula, suhu siang hari yang tinggi akan mencapai permukaan internal di akhir malam, memanaskan bagian dalam.

Di iklim yang terus-menerus panas atau dingin, efek massa termal sebenarnya bisa merugikan. Hal ini karena material yang digunakan pada bangunan akan cenderung menjaga suhu dalam bangunan tetap berada pada suhu rata-rata harian yang terjadi. Jika suhu udara luar berada di luar standar kenyamanan penghuni, maka akan makin mengakibatkan ketidaknyamanan bagi penghuni, karena suhu di dalam bangunan menjadi lebih panas atau lebih dingin dari udara luar. Jadi di iklim tropis dan khatulistiwa yang hangat, bangunan cenderung dirancang untuk bersifat sangat terbuka dan ringan. Sebaliknya, di daerah yang sangat dingin dan sub-kutub, bangunan biasanya dirancang untuk memiliki sifat sangat mengisolasi suhu. Kaca sebagai material transparan, memiliki kecenderungan lebih mudah meneruskan panas dibandingkan material non transparan secara umum, sehingga perlu kehati-hatian dalam penggunaannya, terutama di iklim tropis dengan intensitas sinar matahari yang tinggi dan merata sepanjang tahun. Dengan semakin berkembangnya produksi jenis-jenis kaca, tetap dimungkinkan untuk menggunakan kaca-kaca tertentu atau memberikan pelapis tambahan pada kaca, untuk mengurangi radiasi matahari. Secara umum, sifat-sifat termal kaca yang perlu mendapat perhatian ketika digunakan sebagai material bangunan adalah *U-factor*, *visual transmittance*, *solar heat gain coefficient*, dan *ultra violet factor* (Tabel 6.3 dan Gambar 6.1).

Tabel 6.3. Nilai *U-factor* VT, SHGC, dan UV pada beberapa jenis kaca untuk *skylight*.
(Sumber http://sun-tek.com/wp-content/uploads/2011/04/Sun-Tek-Catalog_20154.jpg)

Jenis kaca untuk <i>skylight</i>	<i>U-factor</i>	SHGH	VT (%)	UV
Kaca tunggal, bening	1,04	0,86	90	0.73
Kaca warna tempered double diisi Argon	0.48	0.63	61	0.32
Kaca low-e tempered double diisi Argon	0.30	0.72	76	0.50



Gambar 6.1. Parameter U-factor, VT, SHGC, dan UV pada kaca.
(Sumber http://sun-tek.com/wp-content/uploads/2011/04/Sun-Tek-Catalog_20154.jpg)

Shading coefficient (SC)

Menyatakan ukuran panas yang diteruskan akibat radiasi melalui kaca. Secara spesifik, SC merupakan ratio panas yang diteruskan kaca tertentu dibandingkan kaca transparan yang digunakan sebagai referensi, yaitu kaca 1/8” (tebal 3.1 mm), yang memiliki nilai SC = 1. Jika suatu kaca lain memiliki angka SC lebih kecil dari referensi, berarti radiasi panas yang diteruskan lebih rendah; sehingga dapat mengurangi beban pendinginan ruang. Bila digunakan kaca single, maka nilai SC sudah cukup akurat. Tetapi bila digunakan kaca lain misalnya kaca dobel, maka diperlukan data yang lebih akurat yaitu SHGC.

Solar heat gain coefficient (SHGC)

SHGC adalah koefisien yang menyatakan persentase radiasi matahari yang diterima dan diteruskan secara langsung dan tidak langsung (diserap dan radiasikan kembali) ke dalam ruang. Dinyatakan dalam angka 0 sampai 1. Sebagai contoh, kaca 1/8” (tebal 3.1 mm) memiliki SHGC 0.86, dimana 0.84 ialah radiasi yang diteruskan langsung, sedangkan 0.02 bagian ialah yang diserap/diradasiikan kembali melalui konveksi. Dalam hal ini, angka koefisien yang lebih kecil berarti radiasi yang diteruskan lebih rendah.

Apabila SC ingin diubah menjadi SHGC, maka dapat digunakan koefisien pengali 0.87 karena keduanya menggunakan kaca 1/8” (tebal 3.1 mm) sebagai kaca referensi.

5.6. Sifat optikal kaca

Sifat optik material menentukan bagaimana material tersebut akan berinteraksi dengan cahaya. Saat ini, banyak digunakan *software* canggih untuk menyimulasikan sifat material dan dampaknya pada kinerja optik. Meski demikian, untuk dapat menggunakan aplikasi tersebut dengan baik, pengguna perlu mengetahui beberapa hal mendasar mengenai sifat optik material, untuk membantu dalam memilih bahan yang tepat dalam aplikasi. Pada bagian ini, akan ditinjau indeks bias, ketergantungan panjang gelombang, transmisi, dan penyerapan, serta bagaimana properti ini akan memengaruhi penggunaannya. Sifat-sifat optikal kaca disajikan pada Tabel 6.4.

Tabel 6.4. Properti optik beberapa jenis kaca terhadap radiasi matahari (Kirankumar dkk., 2017).

Jenis kaca (sesuai Gambar 5.2)	Kode	Kemampuan transmisi	Kemampuan pantul	Kemampuan serap
		T_{sol} (%)	R_{sol} (%)	A_{sol} (%)
Kaca bening biasa (Ing: <i>Clear glazing window</i>)	CGW	77	7	16
Kaca berwarna coklat transparan (Ing: <i>Bronze glazing window</i>)	BZGW	49	6	45
Kaca berwarna hijau transparan (Ing: <i>Green glazing window</i>)	GGW	42	6	52
Kaca berwarna coklat memantul (Ing: <i>Bronze-reflective glazing window</i>)	BZRGW	36	14	50



Gambar 6.2. Warna-warna kaca yang dipakai sebagai referensi Tabel 6.4 dari kiri ke kanan CGW, BZGW, GGW, BZRGW.
(Sumber Kirankumar dkk., 2017)

Indeks refraksi / indeks bias (Ing: *refractive index*)

Indeks refraksi menentukan berapa banyak cahaya yang dipantulkan dan ditransmisikan pada antar muka bidang kaca, dan juga pada sudut yang dibiaskan. Indeks ini digunakan pada program *ray-tracing* untuk menentukan jalur cahaya dan *output*-nya. Jika pernah mendengar konsep bahwa kecepatan cahaya adalah tetap, sesungguhnya tidaklah demikian. Kecepatan cahaya dapat berubah. Kecepatan cahaya berkurang saat bergerak melalui media karena interaksi foton dengan elektron. Tepatnya, kerapatan elektron yang lebih tinggi dalam material menghasilkan kecepatan yang lebih rendah.

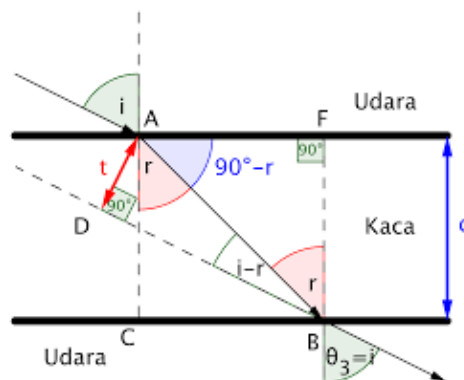
Inilah sebabnya mengapa cahaya bergerak cepat di kaca, lebih cepat dalam air, dan tercepat dalam ruang hampa. Indeks bias (n) dari suatu bahan didefinisikan sebagai rasio kecepatan cahaya dalam ruang hampa dengan cahaya pada bahan.

Saat seberkas cahaya menyentuh permukaan kaca, bagian berkas itu dipantulkan, dan sebagian ditransmisikan. Indeks pembiasan kaca tidak hanya menentukan berapa banyak cahaya yang dipantulkan dan ditransmisikan, tapi juga sudut refraksinya di kaca. Sudut transmisi dapat dihitung dengan menggunakan hukum Snellius:

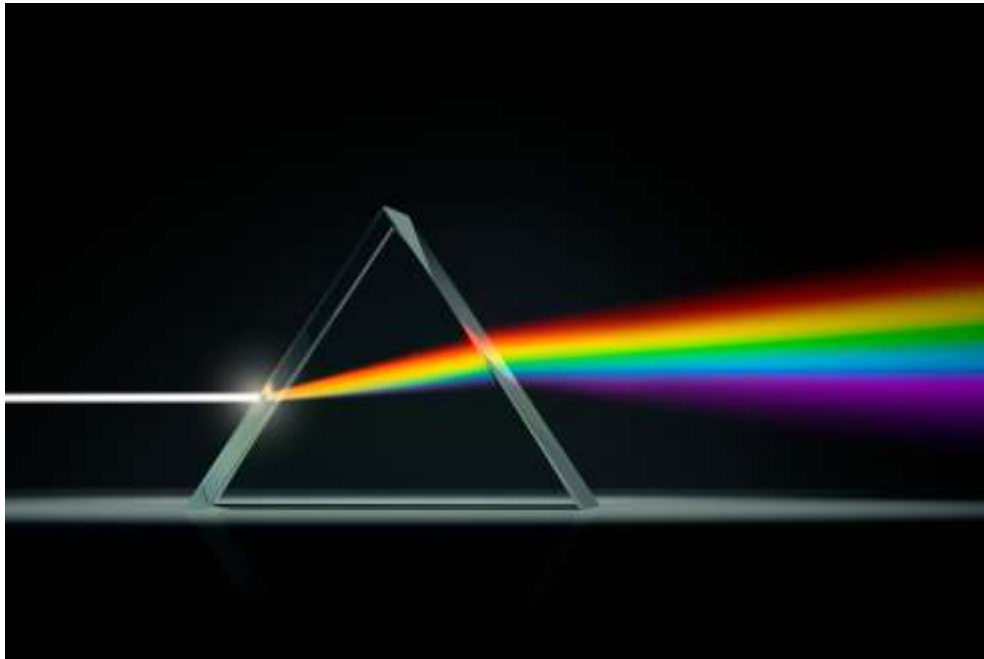
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Dengan n adalah indeks bias mutlak material 1 dan 2, θ adalah sudut datang dan sudut bias pada material 1 dan 2.

Indeks bias yang lebih besar pada kaca menghasilkan perbedaan yang lebih besar antara sudut datang dan transmisi cahaya. Refleksi cahaya di permukaan terjadi karena perubahan seketika indeks bias antara kaca dan medium sekitarnya. Pada kaca dengan indeks bias 1,5, kerugian refleksi pada permukaan menghasilkan perkiraan penurunan 4% dalam intensitas cahaya. Indeks bias kaca umumnya berada pada angka 1,5 sampai 1,9.



Gambar 6.3. Prinsip terjadinya refraksi cahaya pada kaca.
(Sumber <http://andalanpelajar.com/>)



Gambar 6.4 Penguraian cahaya pada prisma kaca, terlihat adanya refraksi atau sudut penerusan cahaya yang tidak sama untuk setiap warna hasil penguraian.
(Sumber <https://spoiledbluemilk.com/2016/10/21/revisiting-the-quote-from-the-journal-of-the-whills/>)

Hal yang terpenting diketahui, bahwa indeks bias atau refraksi kaca paling banyak tergantung panjang gelombang; dimana indeks ini meningkat seiring dengan memendeknya panjang gelombang cahaya datang. Dispersi indeks bias sering ditampilkan secara visual dengan menggunakan contoh pemecah cahaya putih saat melalui prisma (Gambar 6.4). Pengetahuan mengenai indeks bias banyak digunakan dalam membuat lensaacamata. Kaca dengan indeks bias yang lebih kecil akan mendistribusikan cahaya ke area permukaan yang lebih besar; sebaliknya kaca dengan indeks bias lebih besar akan memfokuskan cahaya ke area permukaan yang lebih kecil.

Tabel 6.5. Indeks bias beberapa jenis kaca yang berbeda.

Jenis kaca	Indeks bias
Kaca lampu	1,47 – 1,49
Kaca televisi	1,49 – 1,51
Kaca jendela	1,51 – 1,52
Botol kaca	1,51 -1,52
Lensaacamata	1,51 – 1,53

Absorpsi, transmisi dan refleksi

Absorpsi atau penyerapan adalah pengurangan cahaya saat bergerak melalui suatu material. Sebaliknya, transmisi adalah jumlah cahaya yang berhasil melewatinya.

Sedangkan refleksi untuk bahan transparan biasanya terjadi di permukaan dan merupakan fungsi dari panjang gelombang dan indeks biasnya. Saat cahaya bergerak melalui kaca, intensitas cahaya biasanya berkurang. Penyerapan ini terjadi saat energi dari foton cahaya cocok dengan energi yang dibutuhkan untuk memengaruhi elektron di dalam kaca ke keadaan energi yang lebih tinggi, dan foton diserap oleh kaca.

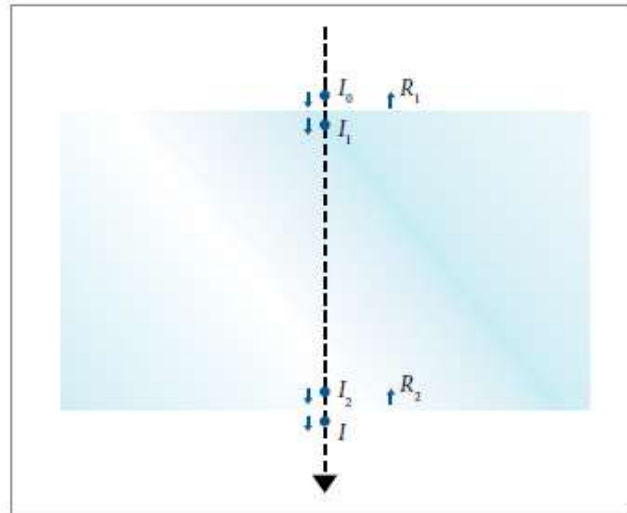
Setiap cahaya yang tidak diserap oleh kaca atau dipantulkan oleh permukaan kaca, akan ditransmisikan melalui kaca. Penting untuk mengetahui seberapa banyak cahaya yang akan melewati kaca pada panjang gelombang tertentu. Kemampuan kaca dalam mentransmisikan cahaya diukur menggunakan angka transmisi yang berkisar pada 0% sampai 100%, atau angka transmitansi dari 0 sampai 1. Transmisi maupun transmitansi dihitung dari intensitas cahaya datang I_0 terhadap intensitas cahaya meninggalkan kaca I_1 , sbb.:

$$\%T = 100 \times \frac{I}{I_0}$$

Dengan T adalah angka transmisi atau transmitansi dan I adalah intensitas cahaya yang masuk dan meninggalkan kaca. Untuk jenis kaca bening, angka transmisi cahaya sekitar 92%. Meskipun merupakan kaca bening, namun angka transmisi tidak dapat mencapai 100% karena adanya sebagian cahaya yang dipantulkan pada permukaan kaca serta hilangnya penyerapan cahaya dalam kaca. Sementara itu, transmitansi internal, di sisi lain, tidak termasuk kerugian refleksi. Transmisi internal ditentukan dari intensitas cahaya saja setelah memasuki kaca, I_1 , dan sesaat sebelum keluar dari kaca, I_2 , sbb.:

$$\tau_i = \frac{I_2}{I_1}$$

Dengan τ_i adalah transmisi internal dan I adalah intensitas cahaya setelah memasuki kaca dan sebelum keluar kaca. Angka transmitansi internal biasanya mendekati 1,0 untuk kaca bening, karena satu-satunya kerugian yang dicatat dengan nilai ini berasal penyerapan cahaya melalui bahan.



Gambar 6.5. Skematik proses transmisi cahaya pada kaca.

Visible transmittance (VT) adalah properti optik kaca yang menunjukkan persentase cahaya yang ditransmisikan, yang dinyatakan dalam bilangan desimal. Sebagai contoh, $VT = 0.8$, artinya 80% cahaya yang ditransmisikan atau diteruskan melalui kaca tersebut.

Kromatisitas (Ing: *chromaticity*)

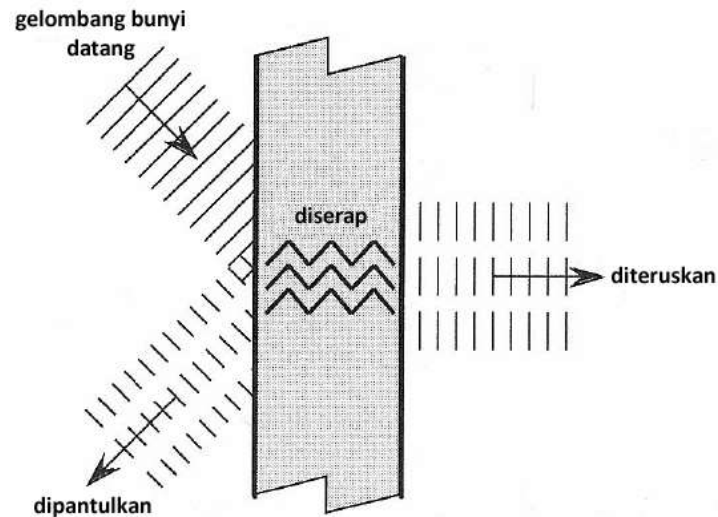
Kromasitas adalah warna yang dimiliki suatu benda tanpa melibatkan luminansi cahaya yang diterimanya. Warna dari suatu kaca yang ditangkap oleh mata manusia ditentukan oleh sumber cahaya yang menerangi kaca, transmisi kaca, dan respon mata manusia.

BAB VII
SIFAT AKUSTIKA KACA dan
PERANGKATNYA

Karena sifatnya yang cenderung bening, orang menganggap kaca sebagai material yang lebih ringan dari material konvensional seperti bata dan beton. Sesungguhnya jika dihitung menggunakan kriteria massa jenis, maka kaca adalah material yang justru lebih berat dari pasangan bata atau beton bertulang yang digunakan sebagai dinding. Pasangan bata memiliki massa jenis 1700 kg/m^3 , beton bertulang 2400 kg/m^3 . Sementara kaca justru memiliki massa jenis sekitar 2500 sampai 2600 kg/m^3 , bergantung pada jenisnya. Namun pada penggunaannya, ketebalan material kaca yang dipasang pada bangunan umumnya tidak lebih tebal dari pasangan bata yang minimal 8 cm (posisi pemasangan bata dengan ketebalan 5 cm /bata ditegakkan, dan diplester sisi kiri kanannya setebal masing-masing $1,5 \text{ cm}$). Kaca yang umum digunakan memiliki ketebalan maksimal 2 cm saja. Hal inilah yang membuat orang cenderung mengatakan bahwa material kaca lebih ringan, meski kenyataannya tidak demikian. Penggantian material konvensional seperti pasangan bata atau beton dengan material berbahan kaca yang cenderung lebih tipis, dan seolah lebih ringan, akan memberikan dampak secara akustika. Aspek akustika kaca akan dibahas pada bagian ini.

7.1. Kemampuan insulasi material

Setiap material memiliki sifat non fisik terkait kemampuan peredaman gelombang bunyi, ketika material tersebut ditempatkan sebagai bidang batas yang akan membatasi perjalanan gelombang bunyi yang menyebar dari suatu sumber bunyi. Bidang batas yang dimaksud adalah elemen bangunan, berupa lantai, dinding, atau plafon. Penelitian membuktikan bahwa semakin tebal dan berat material bangunan, maka semakin besar kemampuannya dalam meredam gelombang bunyi (Lord dan Templeton, 1986). Material yang membatasi penyebaran gelombang bunyi memiliki kemampuan memantulkan, menyerap dan meneruskan energi gelombang bunyi ke sisi di sebaliknya. Demikian pula kaca, memiliki karakteristik serupa. Material yang memiliki permukaan keras dan licin, memiliki kecenderungan untuk memantulkan gelombang bunyi, sebaliknya material berpermukaan lunak cenderung menyerap gelombang bunyi. Kaca adalah material yang keras dan meski dimungkinkan berpermukaan licin atau kasar, cenderung memiliki kemampuan memantulkan gelombang bunyi.



Gambar 7.1. Peristiwa pemantulan, penyerapan dan penerusan gelombang bunyi ketika mengenai suatu material.

Dalam dunia rancang bangun, antara kemampuan memantulkan, menyerap, dan meneruskan gelombang bunyi, kemampuan meneruskan gelombang bunyi ini yang lebih penting untuk mendapat perhatian. Hal ini dikarenakan penerusan gelombang bunyi oleh suatu material akan terkait dengan kemampuan redaman atau insulasi bunyi material tersebut. Kualitas redaman material dapat dihitung dengan beberapa cara, bergantung kebutuhannya, misalnya untuk redaman penggunaan material di luar ruang atau di ruang dalam. Acuan kualitas redaman yang umum digunakan adalah yang ditetapkan oleh ASTM (American Standard for Testing and Material). Oleh karenanya, kemampuan redaman material kaca juga mengacu pada standar ASTM. Hal lain yang perlu diperhatikan, bahwa selain karakteristik material, karakteristik medium perambatan gelombang bunyi di sekitar material peredaman juga memberikan pengaruh pada proses peredaman.

Pada kondisi iklim di Indonesia, sesungguhnya ada perbedaan karakteristik udara sebagai medium perambatan gelombang bunyi, dengan karakteristik udara di negara empat musim, tempat buku-buku akustik umumnya berasal. Sehingga kurang tepat jika pengguna di Indonesia menggunakan sepenuhnya informasi dari buku tersebut. Udara Indonesia memiliki rerata suhu di atas standar pengukuran yang selama ini digunakan oleh ASTM (yaitu $22^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$, dan kelembaban relatif (RH) minimum 30%). Bahkan untuk pengujian material yang sensitif terhadap suhu seperti kaca laminasi, ASTM menggariskan batas $22^{\circ}\text{C}\pm 2$. Rerata suhu, baik harian, bulanan, maupun tahunan di

Indonesia umumnya berada di atas 27°C, yang menjadi batas maksimal ASTM. Standar ini juga menetapkan, bahwa pada saat melakukan pengujian suatu material, variasi suhu dan kelembaban di ruang penerima bunyi tidak melebihi 3°C dan 3% kelembaban relatif masing-masing. Suhu dan kelembaban saat pengujian harus diukur dan dicatat sesering yang diperlukan untuk memastikan bahwa keadaan di dalam ruangan memenuhi persyaratan.

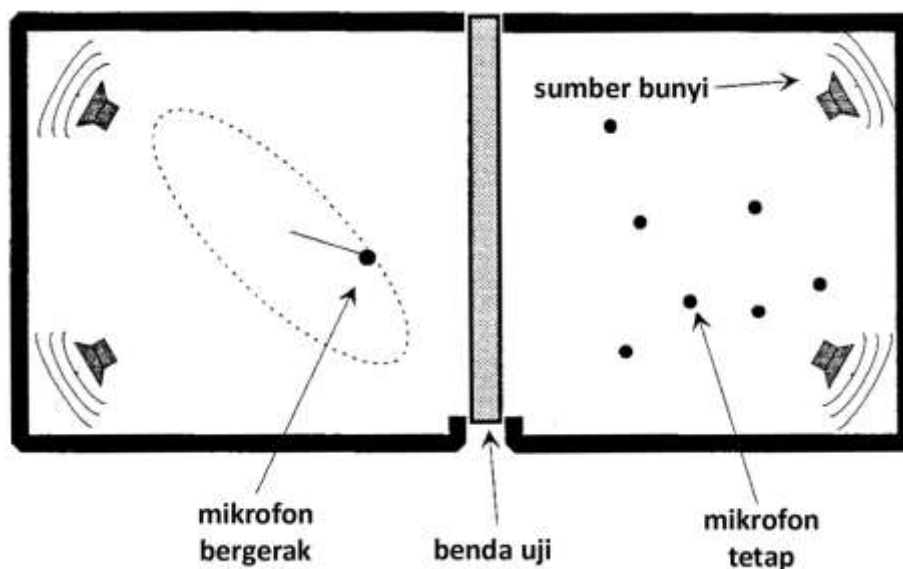
Berpijak pada keadaan tersebut, penting kiranya untuk melihat kemampuan kualitas redaman material, dalam hal ini kaca, terkait keberadaan suhu di sekitar kaca yang cenderung lebih tinggi dari standar yang digunakan umumnya, seperti yang terjadi di Indonesia. Penelitian dalam keadaan suhu yang khusus ini, akan memberikan informasi bagi mereka yang bergerak di dunia rancang bangun di Indonesia untuk lebih memahami jenis-jenis kaca yang mana dapat digunakan untuk memberikan redaman bunyi sebagaimana dibutuhkan.

7.2. Metode pengujian

Perambatan gelombang bunyi yang melewati kaca diukur dalam suatu pengujian di laboratorium. Keadaan ruang laboratorium untuk melaksanakan pengujian juga ditetapkan untuk memenuhi standar yang ditetapkan ASTM, yaitu ASTM E90-09. Laboratorium harus dirancang sedemikian rupa sehingga spesimen uji berada pada jalur utama perambatan gelombang bunyi diantara kedua ruang uji dengan penyebaran bunyi secara difus atau menyebar merata di setiap ruang. Laboratorium yang hendak digunakan sebaiknya terakreditasi ASTM.

Laboratorium terdiri dari dua ruangan bersebelahan dengan bukaan di antaranya untuk menempatkan material yang akan diuji. Satu sebagai ruang sumber dan satu sebagai ruang penerima. Tiap-tiap ruang uji yang bersebelahan ini wajib memiliki volume minimal 80 m³. Selanjutnya, wajib diperhatikan bahwa posisi lubang dimana benda uji akan ditempatkan, adalah satu-satunya jalur perambatan gelombang bunyi, tanpa ada kebocoran jalur-jalur yang tidak dikehendaki. Sumber bunyi yang menyebar secara difus harus terjadi di ruang sumber bunyi. Bunyi yang mengenai dan diterima oleh benda uji menyebabkan benda uji bergetar dan meneruskan perambatan gelombang bunyi ke ruang sebaliknya (ruang penerima). Ruang penerima tidak diperbolehkan bersifat terlalu menyerap, agar bunyi dapat kembali merambat di dalam ruang penerima secara difus dan untuk menghindari munculnya area difus yang dominan di sekitar benda uji saja. Secara teoretis, tidak menjadi masalah untuk menggunakan ruang yang mana sebagai ruang sumber bunyi

dan yang mana yang berfungsi sebagai ruang penerima. Namun secara praktiknya, ternyata seringkali dijumpai hasil uji yang berbeda ketika posisi ruang sumber dan ruang penerima dipindahkan. Sehingga idealnya, pengujian untuk melihat kemampuan redaman suatu benda uji dilaksanakan dua kali, dengan posisi ruang sumber bunyi dan ruang penerima ditukar. Selanjutnya hasil radaman yang ditunjukkan melalui *transmission loss* (TL) yang diperoleh direrata untuk menjadi hasil akhir uji laboratorium. Hasil pengujian TL di laboratorium adalah sebagai pedoman saja, karena dalam kenyataannya perambatan gelombang bunyi antar ruangan seringkali tidak hanya melewati material sesuai benda uji, tetapi tersebar melalui jalur lain seperti celah-celah antar ruang.



Gambar 7.2. Spesifikasi ruang uji menurut ASTM E90-09.
(Sumber ASTM)

7.3. *Transmission Loss* (TL)

Transmission loss didefinisikan sebagai perbedaan tingkat keras bunyi yang dinyatakan dalam desibel (dB) antara tingkat keras bunyi rata-rata pada ruang sumber bunyi yang bersifat *reverberant* (memantul secara reverberasi) dan ruang penerima, ditambah sepuluh kali logaritma rasio luas partisi terhadap penyerapan bunyi di ruang penerima.

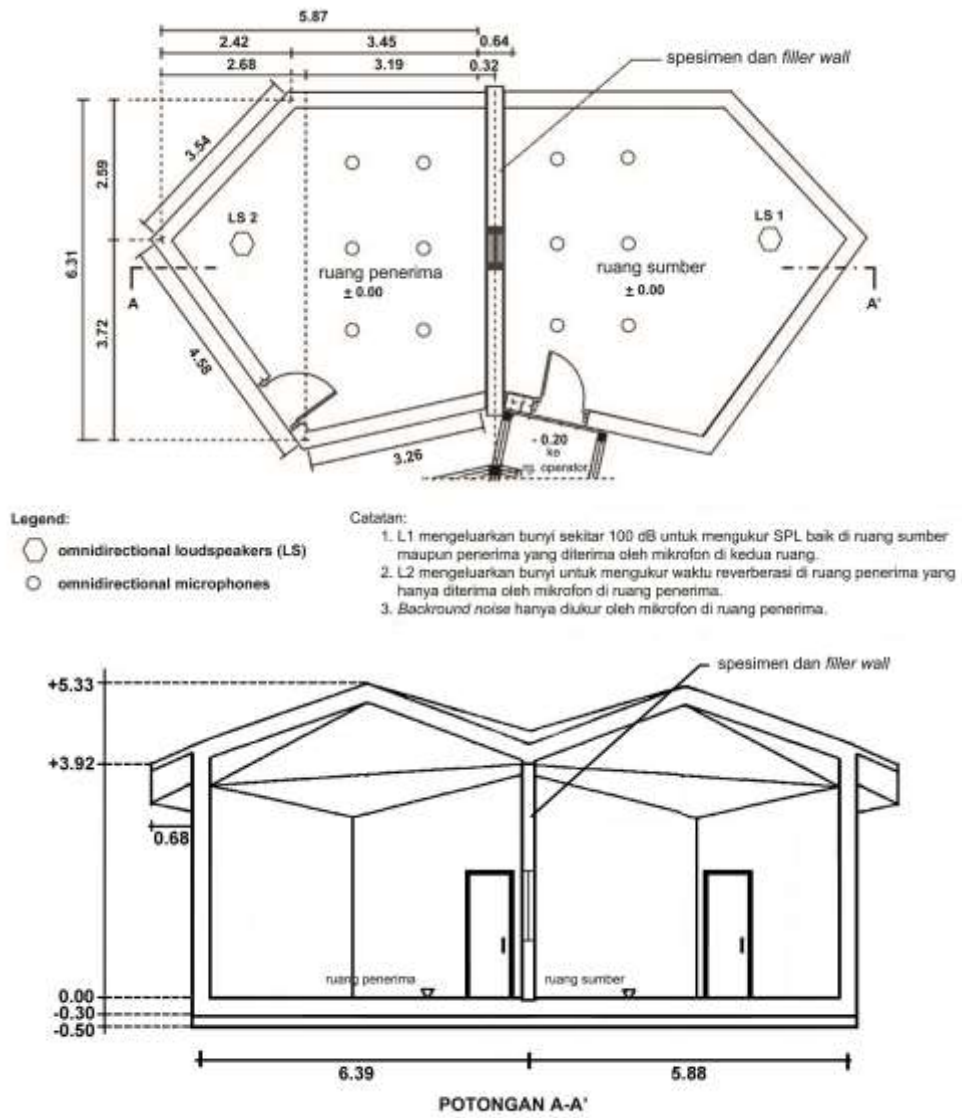
$$TL = 10 \log (1/\tau)$$

Dengan TL adalah *transmission loss* dan τ adalah koefisien transmisi (energi yang ditransmisikan oleh bunyi terhadap total energi yang mengenai permukaan material). Angka TL dihitung secara simultan pada frekuensi yang berbeda mulai 100 Hz sampai 4000 Hz. Angka TL yang diperoleh pada frekuensi yang diukur ini yang nantinya digunakan untuk menghitung angka tunggal kemampuan redaman benda uji, umumnya dalam *sound transmission class* (STC) untuk material pembatas yang digunakan di dalam bangunan atau *outdoor-indoor transmission class* (OITC) untuk material pembatas yang digunakan di bangunan bagian luar.

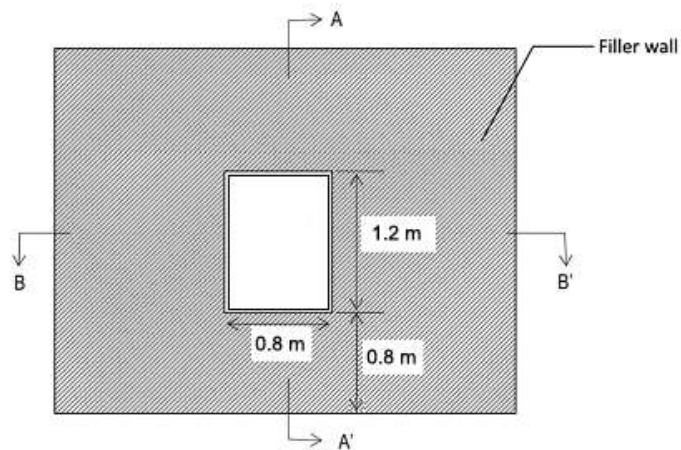
7.4. Sound transmission class (STC)

Sound transmission class atau STC adalah angka tunggal hasil perhitungan dari TL hasil pengujian laboratorium yang merupakan elaborasi dari frekuensi bunyi yang diuji, yaitu 100 Hz, 125 Hz, 160 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 315 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 630 Hz, 800 Hz, 1000 Hz, 1250 Hz, 1600 Hz, 2000 Hz, 2500 Hz, 3150 Hz, 4000 Hz. Setiap kaca dengan jenis, ketebalan dan cara pasang tertentu, akan memiliki STC yang tertentu pula. Pengujian atau penghitungan STC untuk suatu konstruksi ditetapkan sesuai acuan ASTM E90-09. Meski demikian, sesungguhnya STC yang selama ini jamak dijadikan referensi belum tentu sesuai dengan keadaan di Indonesia. Sebab sebagaimana dipaparkan sebelumnya, keadaan udara di mana perambatan gelombang bunyi terjadi, tidak sesuai dengan acuan ASTM. Acuan lain yang perlu dipertimbangkan adalah kemungkinan kualitas kaca yang selama ini dijadikan referensi dalam buku-buku yang secara langsung diterjemahkan ke Bahasa Indonesia, tidak sama dengan kualitas kaca yang dipergunakan di Indonesia.

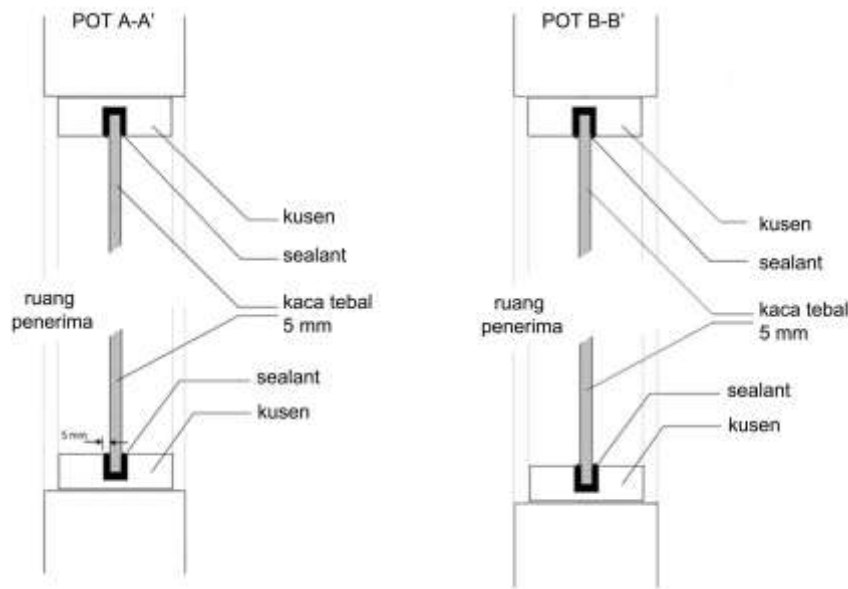
Untuk kepentingan melihat STC kaca yang digunakan di Indonesia, pengujian telah dilaksanakan mengikuti ASTM E90-09 di laboratorium akustik Puslitbang Perumahan dan Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum, Cileunyi, Kabupaten Bandung. Pengujian dilaksanakan dalam ruang laboratorium dengan spesifikasi sebagaimana Gambar 7.3. Pengujian ini dikhususkan untuk jenis kaca-kaca bangunan yang jamak digunakan di Indonesia, yaitu *flat glass*.



Gambar 7.3. Spesifikasi ruang uji di Puslitbangkim PU, Cileunyi.



Gambar 7.4. Dimensi tampak depan jendela yang diuji.



Gambar 7.5. Potongan vertikal dan horisontal dinding dan jendela yang diuji.

Guna melihat STC kaca yang jamak digunakan di bangunan di Indonesia, diuji 3 jenis kaca, yaitu kaca monolitik atau istilah untuk kaca flat biasa (jenis *lime soda glass*), kaca laminasi, dan kaca temperasi. Ketiganya diuji dalam dimensi yang sama yaitu ukuran panjang dan lebar 1100 mm x 1000 mm dengan tebal 10 mm masing-masing. Khusus untuk kaca laminasi tebalnya sedikit berbeda karena merupakan kaca flat dengan ketebalan 5 mm + 5 mm yang direkatkan oleh interlayer setebal 0,38 mm, sehingga tebal total adalah 10,38 mm. Kesemua kaca yang digunakan diproduksi oleh PT. Asahimas. Kusen yang digunakan untuk ketiga kaca adalah kusen kayu (Gambar 7.5).

Dimensi kaca sengaja dikunci karena yang hendak dilihat adalah nilai STC-nya. Selanjutnya model jendela yang digunakan pada awal pengujian adalah satu model saja, yaitu jendela kaca mati (tidak dapat dibuka-ditutup). Dengan demikian variabel tetap adalah model jendela dan dimensi kaca, sedangkan variabel tidak tetap adalah jenis kaca (tiga buah) dan suhu ruangan uji. Dalam hal ini diuji dua macam suhu, yaitu sebagaimana ketentuan ASTM E90-09 (26-27°C) dan suhu lebih tinggi yang secara rerata jamak terjadi di Indonesia, yaitu 31-32°C. Kelembaban ruangan diuji pada keadaan yang sama yaitu 60-90% (sesuai ASTM E90-09). Metode ASTM E90-09 Annex 3 diacu untuk pengujian dengan system *filler wall*, yaitu kaca dipasang sebagai penutup lubang jendela di dalam *filler wall* tersebut (Gambar 7.4). Metode *filler wall* dipilih karena penggunaan dimensi kaca secara penuh (keseluruhan) pada dinding uji tidak memungkinkan. Hal ini karena diperlukan kaca lembaran dalam dimensi besar sekitar 4 m x 3 m, yang tidak mungkin

masuk secara utuh melalui pintu laboratorium. Tabel 7.1. menunjukkan bahwa untuk kaca biasa monolitik, pada suhu lebih tinggi, STC-nya lebih rendah satu tingkat, sementara pada kaca laminasi dan temperasi justru meningkat satu tingkat. Angka ini menunjukkan bahwa untuk ketebalan yang sama yaitu sekitar 10 mm, penggunaan kaca, baik monolitik, laminasi atau temperasi di iklim tropis tidak berbeda signifikan dengan iklim empat musim. Hanya saja, secara umum, kaca merk Asahimas yang digunakan pada pengujian ini memiliki STC sedikit lebih rendah, sekitar dua tingkat dari referensi yang selama ini diacu, yang menggunakan kaca Pilkington (Lord dan Templeton, 1986).

Tabel 7.1. STC tiga jenis kaca pada dua keadaan suhu yang berbeda.

1/3 Oktaf band frekuensi	Transmission Loss (TL) in dB & STC terhadap suhu					
	Monolitik		Laminasi		Temperasi	
	24-26°C	31-31°C	24-26 °C	31-31°C	24-26 °C	31-31°C
100	26	26	26	26	27	26
125	25	22	23	17	24	23
160	27	28	28	28	28	27
200	25	26	26	25	25	26
250	27	27	27	28	28	28
315	29	29	28	29	28	30
400	30	30	30	31	29	31
500	31	31	32	31	31	32
630	32	32	32	33	32	33
800	32	32	33	34	32	33
1000	34	34	34	36	33	33
1250	34	34	36	37	34	34
1600	31	31	34	36	32	32
2000	35	34	37	38	35	34
2500	38	37	40	41	37	37
3150	40	40	42	42	39	39
4000	41	42	44	44	41	40
STC (ASTM E413)	34	33	34	35	33	34

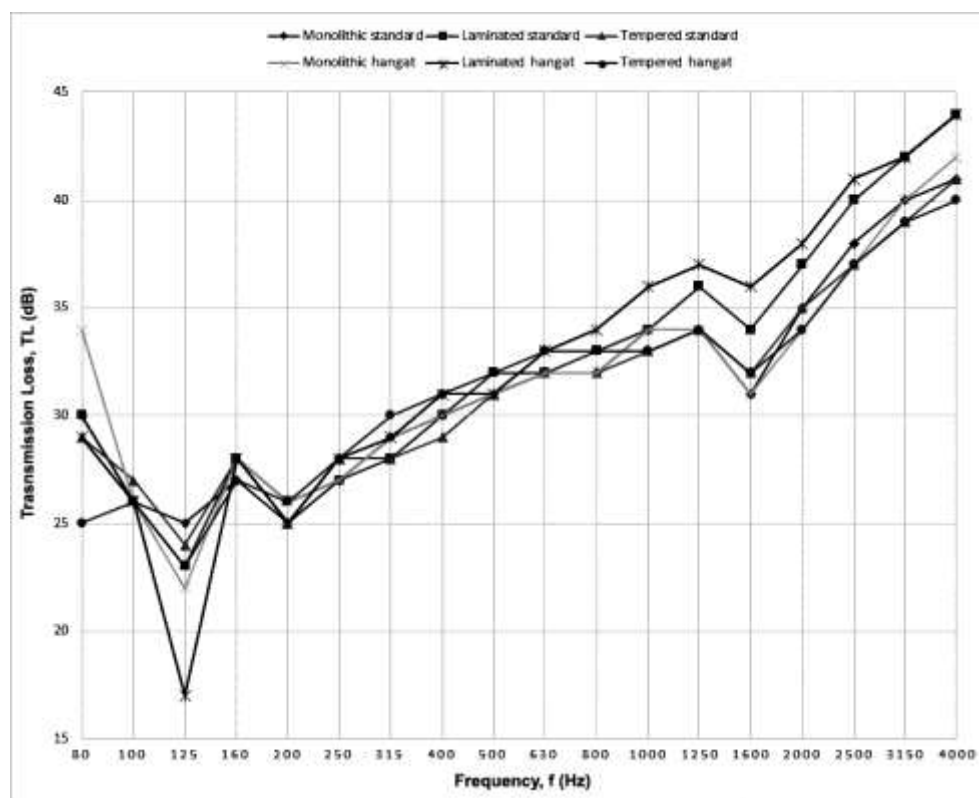
7.5. Outdoor-indoor transmission class (OITC)

Sebagaimana STC, OITC adalah juga angka tunggal yang menunjukkan kemampuan redaman benda uji yang merupakan elaborasi dari TL terhadap serangkaian frekuensi bunyi yang berbeda. Frekuensi yang digunakan dalam menghitung OITC lebih rendah dari frekuensi yang digunakan pada penghitungan STC, yaitu perlu ditambahkan hasil pengujian TL pada frekuensi 80 Hz. Frekuensi rendah ini diperlukan mengingat OITC adalah angka yang menunjukkan kemampuan redaman material uji terhadap bunyi mengganggu di luar bangunan atau ruangan, dan lebih khususnya bunyi dari kendaraan bermotor. Ruang uji yang berukuran terlampau kecil, umumnya tidak memenuhi standar pengujian untuk frekuensi 80 Hz, mengingat pada frekuensi ini, anggaplah digunakan kecepatan rambat gelombang bunyi yang konstan pada suhu 27°C, yaitu sekitar 350 m/det (Mediastika, 2005) maka panjang gelombang bunyinya lebih dari 4 m. Ruangan uji yang memiliki panjang dan lebar kurang dari 5 m (meski secara volume memenuhi minimal 80 m³) tentulah kurang sesuai, karena gelombang bunyi pada frekuensi ini tidak dapat menyebar dengan sempurna.

Seperti halnya STC, OITC yang jamak digunakan sebagai referensi sesungguhnya kurang sesuai untuk iklim Indonesia yang tropis, di mana suhu rerata harian sangat jarang mencapai angka yang diacu oleh ASTM. Maka OITC kaca dan jendela yang sungguh mewakili suhu di Indonesia, penting untuk dikemukakan. OITC dapat dihitung menggunakan TL yang dihasilkan untuk penghitungan STC, namun perlu ditambahkan data TL pada frekuensi 80 Hz yang merupakan frekuensi bunyi representasi kendaraan bermotor yang lalu-lalang di depan bangunan. Tabel 7.2. menunjukkan OITC untuk tiga macam kaca yang juga diuji STC-nya. OITC untuk kaca laminasi jatuh pada angka paling rendah, yang disebabkan oleh munculnya resonansi sangat kuat pada frekuensi 125 Hz (Ing: *coincidence dip*) (Gambar 7.6).

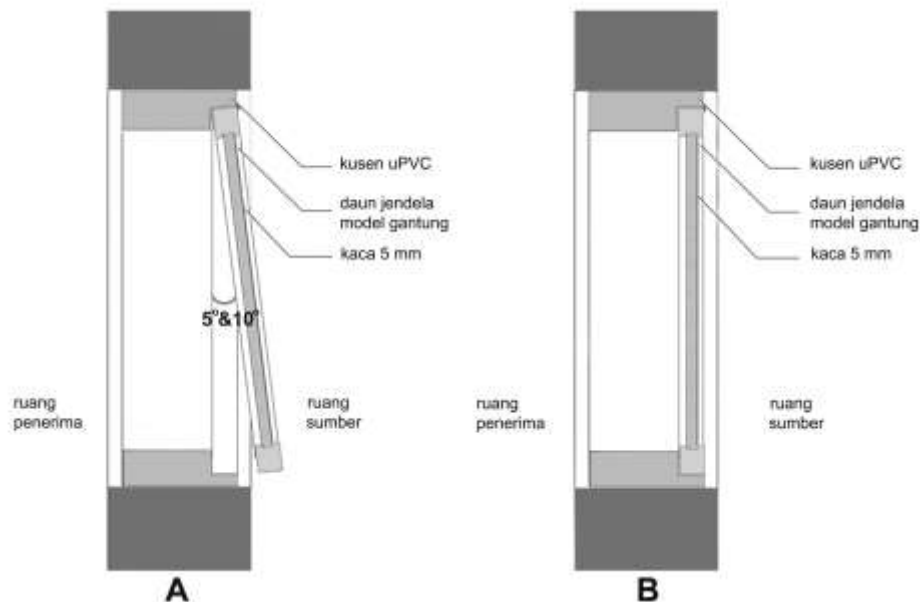
Tabel 7.2. OITC tiga jenis kaca pada dua keadaan suhu yang berbeda.

1/3 Oktaf band frekuensi (Hz)	Transmission Loss (TL) in dB & OITC terhadap suhu					
	Monolitik		Laminasi		Temperasi	
	24-26 °C	31-31°C	24-26 °C	31-31°C	24-26 °C	31-31°C
80	30	34	30	29	29	25
100	26	26	26	26	27	26
125	25	22	23	17	24	23
160	27	28	28	28	28	27
200	25	26	26	25	25	26
250	27	27	27	28	28	28
315	29	29	28	29	28	30
400	30	30	30	31	29	31
500	31	31	32	31	31	32
630	32	32	32	33	32	33
800	32	32	33	34	32	33
1000	34	34	34	36	33	33
1250	34	34	36	37	34	34
1600	31	31	34	36	32	32
2000	35	34	37	38	35	34
2500	38	37	40	41	37	37
3150	40	40	42	42	39	39
4000	41	42	44	44	41	40
OITC (ASTM E1332-90)	30	30	31	29	30	31



Gambar 7.6. Munculnya *coincidence dip* pada frekuensi 125 Hz untuk kaca laminasi.

Penghitungan OITC untuk jendela-jendela yang digunakan di iklim tropis lembab, seperti jendela yang dapat dibuka-ditutup sangat penting, karena OITC jendela semacam ini belum ada referensinya. Tidak hanya satu model jendela terbuka yang diuji, namun idealnya juga berbagai model jendela yang dapat dibuka-ditutup, karena OITC-nya tentu berbeda-beda. Namun referensi yang dapat disampaikan dalam buku ini masih sebatas untuk jendela gantung atas (Gambar 7.7). Model jendela ini dipilih untuk diuji, karena sangat jamak digunakan pada bangunan di Indonesia, baik bangunan rendah maupun bangunan tinggi. Model jendela gantung atas juga memiliki kemungkinan memberikan OITC lebih tinggi karena posisi daun buka-tutupnya yang langsung menghalangi aliran udara. Berbeda dengan jendela model buka samping. Tabel 6.3. menyajikan OITC antara jendela mati dan jendela buka-tutup saat keadaan tertutup dan terbuka. Lebar atau sudut bukaan daun jendela dibatasi pada 10° saja, mengingat bukaan dengan sudut lebih lebar dari 10° dianggap kurang efektif dari aspek keamanan dan kemungkinan gangguan yang ditimbulkan pada ruang di luar jendela, seperti mengganggu sirkulasi orang dll.

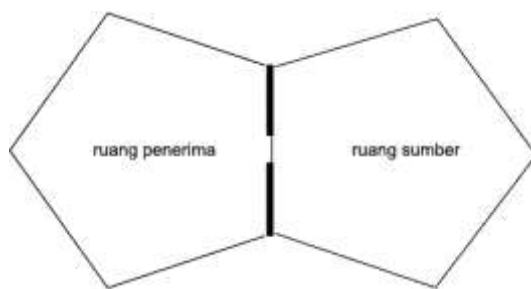


Gambar 7.7. Potongan vertikal model jendela yang diuji, model dapat dibuka-ditutup (A) dan model mati (B) untuk melihat OITC-nya.

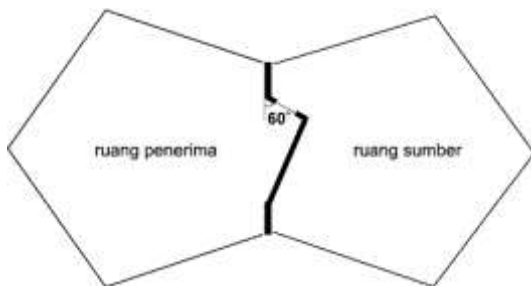
Dari Tabel 7.3. kita melihat bahwa jendela terbuka memang memiliki OITC sangat rendah. Bukaan 5° dan 10° tidak memberikan perbedaan angka OITC yang signifikan. Ketika kaca digunakan sebagai jendela mati, OITC-nya cukup tinggi, namun ketika menjadi pengisi daun jendela buka-tutup, dalam keadaan daun jendela ditutup, nilai OITC-nya turun. Hal ini disebabkan oleh celah antara daun jendela dengan kusen yang tidak

dapat dibuat rapat sepenuhnya untuk kusen dengan material tertentu, guna keperluan muai-susut.

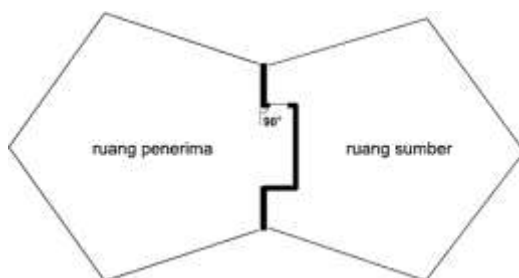
Selain untuk posisi tegak lurus terhadap aliran udara dan masuknya kebisingan, model jendela yang sama, namun dengan posisi yang dirubah juga dikemukakan di sini. Ada tiga jenis posisi yang diuji, yaitu tegak lurus (0°), bersudut 60° dan bersudut 90° (Gambar 7.8 sampai 7.10). Pengujian untuk tiga posisi ini dilakukan untuk material yang sama yaitu aluminium dan untuk model jendela yang sama yaitu gantung atas. Pilihan pada aluminium ditetapkan berdasarkan penggunaan yang kini jamak pada bangunan di Indonesia dan harga yang terjangkau, sehingga lebih disukai.



Gambar 7.8. Skematik dan foto penempatan jendela yang diuji dengan posisi tegak lurus.



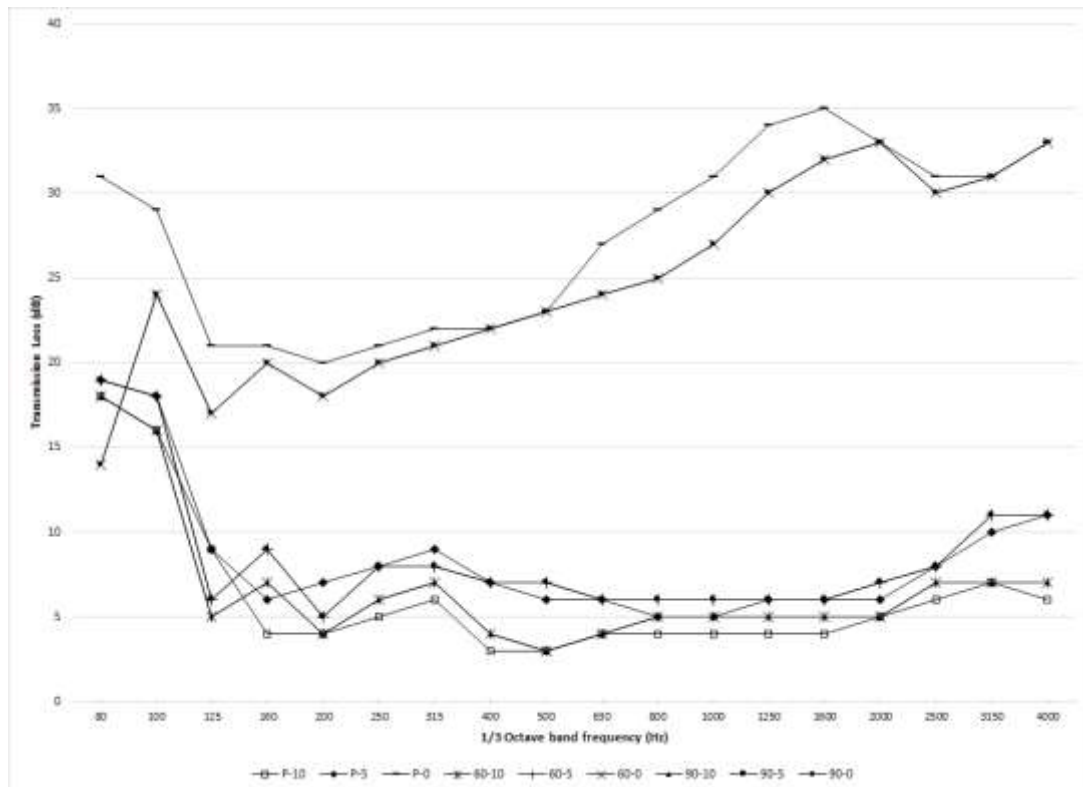
Gambar 7.9. Skematik dan foto penempatan jendela yang diuji dengan posisi bersudut 60° .



Gambar 7.10. Skematik dan foto penempatan jendela yang diuji dengan posisi bersudut 90° .

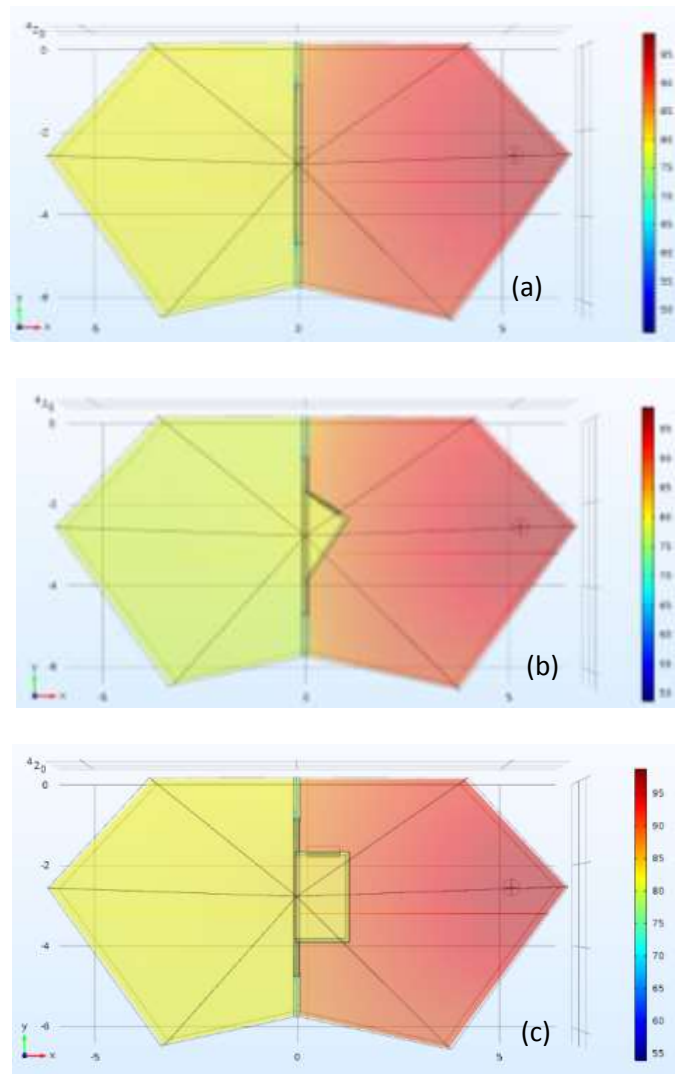
Tabel 7.3. OITC jendela kaca gantung atas, menurut posisi tertentu untuk jenis kaca flat monolitik.

1/3 Oktaf band frekuensi (Hz)	Jendela mati	Tegak lurus			Bersudut 60°			Bersudut 90°		
		Terbuka 10°	Terbuka 5°	Terbuka 0° (tertutup)	Terbuka 10°	Terbuka 5°	Terbuka 0° (tertutup)	Terbuka 10°	Terbuka 5°	Terbuka 0° (tertutup)
80	30	18	19	31	18	19	14	18	19	14
100	26	16	18	29	16	18	24	16	18	24
125	25	9	9	21	5	6	17	5	6	17
160	27	4	6	21	7	9	20	7	9	20
200	25	4	7	20	4	5	18	4	5	18
250	27	5	8	21	6	8	20	6	8	20
315	29	6	9	22	7	8	21	7	8	21
400	30	3	7	22	4	7	22	4	7	22
500	31	3	6	23	3	7	23	3	7	23
630	32	4	6	27	4	6	24	4	6	24
800	32	4	5	29	5	6	25	5	6	25
1000	34	4	5	31	5	6	27	5	6	27
1250	34	4	6	34	5	6	30	5	6	30
1600	31	4	6	35	5	6	32	5	6	32
2000	35	5	6	33	5	7	33	5	7	33
2500	38	6	8	31	7	8	30	7	8	30
3150	40	7	10	31	7	11	31	7	11	31
4000	41	6	11	33	7	11	33	7	11	33
OITC (ASTM E1332-90)	30	5	7	25	5	7	23	5	7	23



Gambar 7.11. Grafik OITC untuk berbagai posisi jendela yang diuji dan spesifikasinya masing-masing untuk kaca flat monolitik, dengan P-10 adalah lurus buka 10°, P-5 lurus buka 5°, P-0 tertutup, 60-10 adalah bersudut 60° buka 10°, 60-5 bersudut 60° buka 5°, 60-0 bersudut 60° tertutup, 90-10 adalah bersudut 90° buka 10°, 90-5 bersudut 90° buka 5°, dan 90-0 bersudut 90° tertutup.

Pengujian OITC ini divalidasi dengan simulasi posisi jendela tersebut menggunakan software COMSOL 5.0 sebagaimana Gambar 7.12, yang menunjukkan bahwa memang medan gelombang bunyi masih cukup tinggi disekitar jendela yang terbuka, sehingga untuk posisi manapun tidak memberikan pengaruh yang berarti. Artinya jendela terbuka dalam model gantung atas, diposisikan bagaimanapun, masih belum mampu memberikan reduksi kebisingan luar yang berarti.



Gambar 7.12. Simulasi dengan COMSOL 5.0 yang menunjukkan penyebaran medan bunyi di sekitar objek uji (jendela dengan berbagai posisi, lurus (a), bersudut 60°(b), bersudut 90°(c)) (Sumber: Hafidz Amrullah).

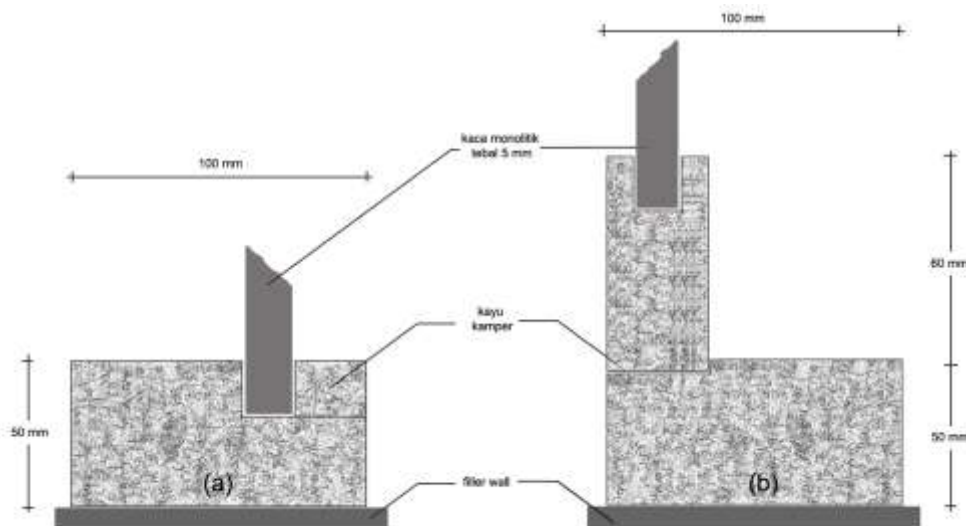
7.6. Pengaruh kusen pada kualitas akustik kaca

Pada kaca-kaca yang digunakan sebagai jendela dengan bantuan frame atau kusen, tidak dapat dipungkiri bahwa material kusen juga memberikan peran penting dalam karakteristik akustik jendela kaca tersebut. Untuk memberikan paparan lebih jelas

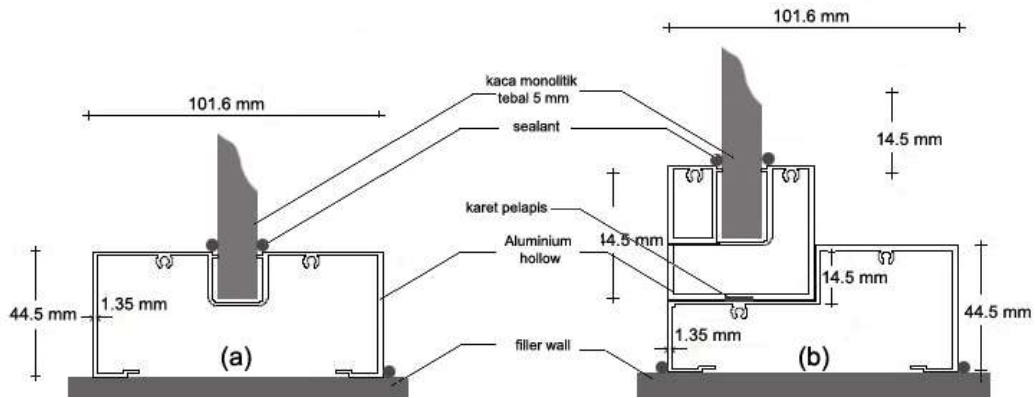
mengenai pengaruh kusen, maka diuji pula karakteristik akustik kusen. Ada tiga material kusen yang dipilih yaitu: kayu (jenis kamper), aluminium, dan plastik (uPVC). Pengujian dilakukan untuk dimensi kaca yang sama (panjang x lebar x tebal), jenis kaca yang sama (flat monolitik), dan keadaan suhu dan kelembaban ruang uji yang juga sama, mengacu pada ASTM E90-09. Variasi kusen ini diuji untuk jendela kaca mati dan buka-tutup gantung atas.

Tabel 7.4. Spesifikasi kusen jendela kaca yang diuji

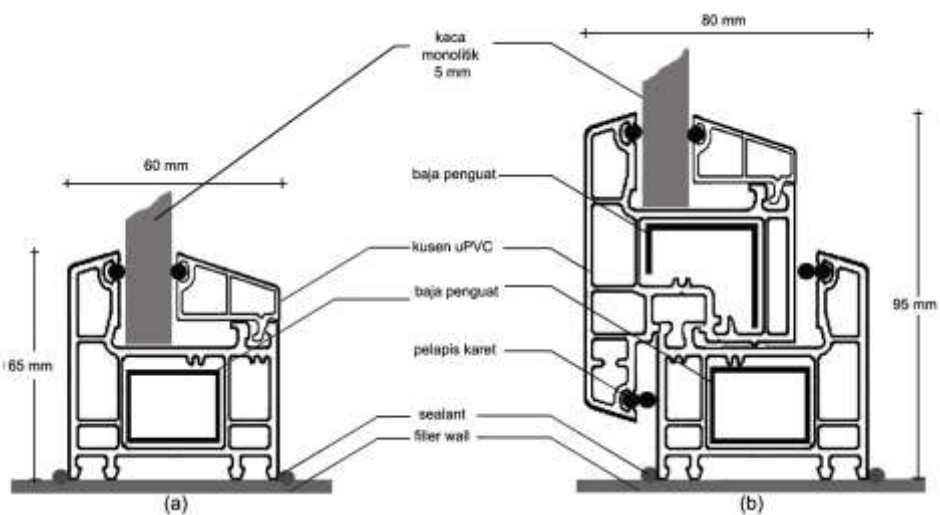
No.	Material kusen	Spesifikasi jendela	Berat kusen + kaca (kg)
1	Kayu kamper	Ukuran termasuk kusen 800 mm x1200 mm, ukuran kusen saja 50 mm x 100 mm (jendela mati) dan 110 mm x 100 mm (jendela buka-tutup), Kaca monolitik Asahi tebal 5mm (Gambar 7.13).	Jendela mati 21.5 Jendela buka-tutup 26.5
2	Aluminium merek YKK	Ukuran termasuk kusen 800 mm x1200 mm, ukuran kusen saja 44,5 mm x 101,6 mm (jendela mati) dan 74,5 mm x 101,6 mm (jendela buka-tutup), kaca monolitik Asahi tebal 5mm (Gambar 7.14).	Jendela mati 10.5 Jendela buka-tutup 14.0
3	Plastik uPVC merek Terryham	Ukuran termasuk kusen 800 mm x1200 mm, ukuran kusen saja 60 mm x 60 mm (jendela mati) dan 80 mm x 950 mm (jendela buka-tutup), kaca monolitik Asahi tebal 5mm (Gambar 7.15).	Jendela mati 14.5 Jendela buka-tutup 21.0



Gambar 7.13. Detil potongan kusen kayu model jendela mati (a) dan buka-tutup (b).



Gambar 7.14. Detil potongan kusen aluminium model jendela mati (a) dan buka-tutup (b).



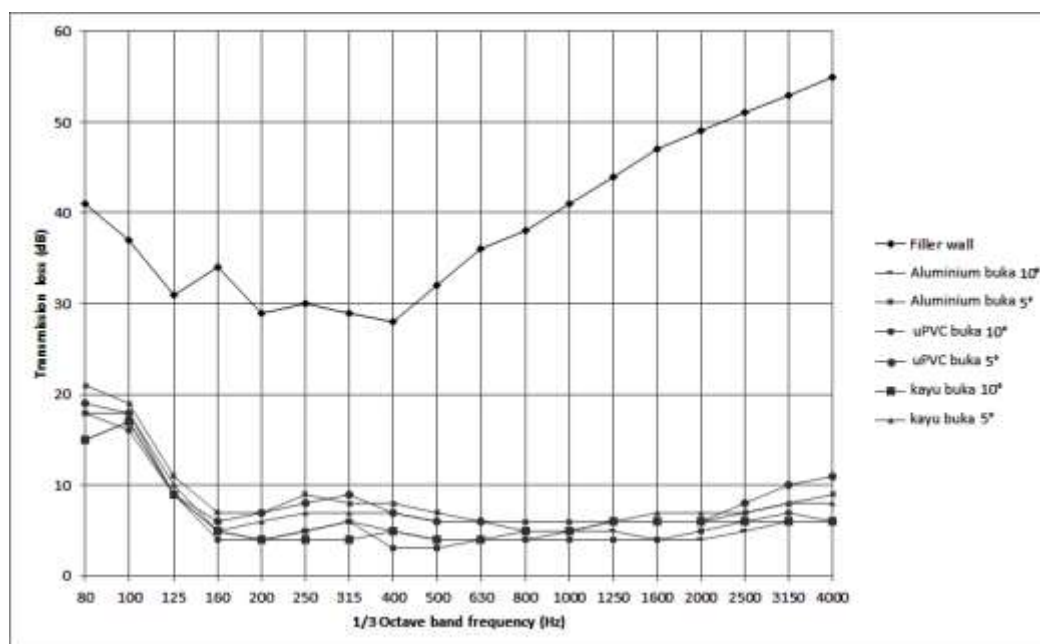
Gambar 7.15. Detil potongan kusen uPVC model jendela mati (a) dan buka-tutup (b).

Tabel 7.5. menunjukkan bahwa variasi material kusen tidak memberikan pengaruh berarti pada kemampuan redaman jendela kaca, ketika jendela dalam keadaan terbuka. Pada keadaan jendela buka-tutup tengah ditutup, maka baik kusen aluminium maupun uPVC memberikan redaman yang setara dengan ketika jendela kaca dibuat dalam model mati. Akan tetapi, untuk jendela kaca buka-tutup berkusen kayu, kusen kayu telah secara nyata menurunkan angka OITC, meski jendela berada dalam keadaan tertutup. Hal ini disebabkan celah-celah yang terbentuk ketika menggunakan kusen kayu tidak dapat sepenuhnya rapat, akibat mengakomodasi koefisien muai panjang kayu. Sementara pada material aluminium, celah antar material ditutup oleh *sealant* dan karet. Material ini kurang memungkinkan ditambahkan pada kayu karena sifatnya yang kurang kuat menempel pada kayu akibat koefisien muai panjang kayu yang besar. Dari pengujian ini, maka penggunaan kusen uPVC adalah yang paling ideal untuk memberikan redaman bunyi yang lebih baik.

Tabel 7.5. OITC jendela kaca dengan berbagai kusen dan spesifikasi

1/3 Oktaf band frekuensi (Hz)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
80	28	29	33	24	31	31	18	21	19	15	15	18
100	28	28	28	25	29	29	18	19	18	17	17	16
125	19	20	19	15	21	21	10	11	9	9	9	9
160	22	18	21	13	22	21	5	7	6	5	5	4
200	19	19	20	16	19	20	6	7	7	4	4	4
250	19	20	21	16	20	21	7	9	8	4	5	5
315	20	21	22	17	21	22	7	8	9	4	6	6
400	20	20	21	16	21	22	7	8	7	5	5	3
500	22	23	23	18	23	23	6	7	6	4	4	3
630	25	27	27	19	26	27	6	6	6	4	4	4
800	27	28	29	20	28	29	6	6	5	5	4	4
1000	28	30	31	20	29	31	6	6	5	5	5	4
1250	27	31	33	21	32	34	6	6	6	6	5	4
1600	28	31	35	22	33	35	7	6	6	6	4	4
2000	27	29	32	22	31	33	7	6	6	6	4	5
2500	23	26	29	19	28	31	7	7	8	6	5	6
3150	22	22	27	16	26	31	8	8	10	6	6	7
4000	25	26	29	15	27	33	8	9	11	6	6	6
OITC (ASTM E1332-90)	23	24	25	18	24	25	7	7	7	5	5	5

Keterangan: A jendela mati kusen kayu, B jendela mati kusen aluminium, C jendela mati kusen uPVC, D jendela buka-tutup kusen kayu keadaan tertutup. E jendela buka-tutup kusen aluminium keadaan tertutup, F jendela buka-tutup kusen uPVC keadaan tertutup, G jendela buka-tutup kusen kayu keadaan terbuka 5°, H jendela buka-tutup kusen aluminium keadaan terbuka 5°, I jendela buka-tutup kusen uPVC keadaan terbuka 5°, J jendela buka-tutup kusen kayu keadaan terbuka 10°, K jendela buka-tutup kusen aluminium keadaan terbuka 10°, L jendela buka-tutup kusen uPVC keadaan terbuka 10°.



Gambar 7.16. Kontur TL yang menunjukkan bahwa jendela kaca dengan model buka-tutup gantung atas, secara umum memiliki OITC yang rendah.

BAB VIII

KACA DALAM ARSITEKTUR

Kehadiran kaca dalam dunia rancang bangun, telah menghadirkan ide-ide baru yang makin menggairahkan rancangan bangunan menuju tren yang lebih modern. Hal ini disebabkan karena tampilan kaca yang mengesankan material ringan dan bersifat terbuka. Jenis dan kekuatan kaca yang kian berkembang sejak pertama kali ditemukan telah menempatkan kaca tidak hanya sebagai material *finishing* atau pada posisi konstruksi ringan, namun kini dapat pula menjadi bagian dari struktur utama bangunan. Pada bagian ini akan dibahas penggunaan kaca secara arsitektural yang berkembang dari waktu ke waktu.

8.1. Kaca sebagai struktur utama bangunan

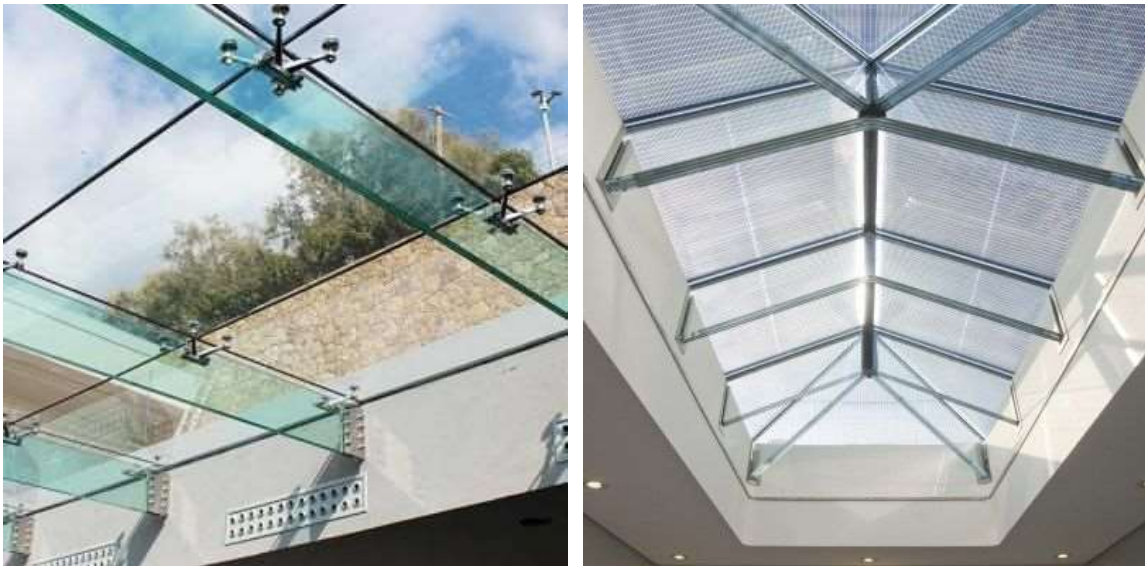
Selama ini hanya beberapa material bangunan yang umumnya digunakan sebagai struktur utama bangunan yaitu kayu, batu, bata (dan sejenisnya), baja (dan sejenisnya), dan beton. Meskipun kurang dikenal, material kaca dapat juga digunakan sebagai struktur utama, diantaranya kolom, dan balok.

8.1.1. Kaca sebagai kolom dan balok

Kaca juga dijumpai digunakan sebagai kolom, namun demikian mengingat kuat tekan dan tariknya yang jauh lebih rendah dari material lain yang umum digunakan, maka kolom kaca cenderung hanya digunakan untuk menahan beban yang cukup ringan seperti atap teras. Selain sebagai kolom, kaca juga mulai banyak digunakan sebagai balok, meski demikian, umumnya pembalokan kaca juga digunakan untuk menyalurkan beban material horizontal yang terbuat dari kaca pula atau material lain yang cenderung cukup ringan dan transparan.



Gambar 8.1. Penggunaan material kaca sebagai kolom untuk menahan/menyalurkan beban yang tidak terlalu besar seperti pada atap teras atau kanopi.



Gambar 8.2. Penggunaan material kaca sebagai balok untuk menahan/menyalurkan beban dari material kaca itu sendiri atau material lain sejenis kaca.

Kaca adalah material yang secara umum memiliki kekuatan tarik dan tekan rendah dibandingkan batu atau beton (lihat Bab V). Bila kaca digunakan untuk menahan suatu beban tertentu, maka akan terjadi pembengkokkan untuk mengakomodasi beban tersebut. Pada tingkat tekanan tertentu sampai batas tidak mampu menahan, maka kaca akan pecah. Meski demikian, sesungguhnya ada kaca-kaca turunan yang dibuat sedemikian rupa sehingga memiliki kekuatan tarik dan tekan luar biasa.

Setiap material yang gagal menahan beban umumnya juga akan mengalami rusak, namun kerusakan yang menunjukkan kegagalan ini sifatnya tidak mendadak, berbeda dengan kaca. Pada kaca, begitu retakan dimulai, ikatan molekul yang membentuk kaca tidak mampu bertahan untuk menghentikan penyebarannya. Kekuatan kaca diuji dengan cara meletakkan kaca di bawah tekanan sampai pecah. Kekuatan permukaan diukur menggunakan *ring* dan *edge strength* dengan 4 titik tekukan. Tes diulang untuk mendapatkan distribusi untuk kekuatan istirahat. Hasil pengujian ini dapat tidak sama meski jenis kaca yang diuji sama, bahkan dengan kaca yang diambil dari pecahan/potongan lembaran yang sama, tidak selalu pecah pada beban yang sama persis. Distribusi rentang hasil pengujian dinyatakan dengan modulus Weibull. Dari sini kita dapat mengetahui bagaimana kekuatan kaca.

8.2. Kaca sebagai material selubung bangunan (dinding; termasuk jendela, lantai, dan atap)

Penggunaan material kaca sebagai material bangunan untuk pertama kalinya, ditemukan pada beberapa bangunan penting di Roma dan vila-vila mewah di Herculaneum dan Pompeii (semuanya adalah kota di Italia). Bentuknya adalah jendela yang dikerjakan dengan sistem cast/cor dan masih berupa kaca dengan kualitas optik yang buruk (cenderung buram, Gambar 8.3). Pada abad 7 kaca-kaca berjenis *anglo saxon* mulai digunakan pada bangunan gereja, yaitu berupa kaca non lembaran dengan kualitas optik rendah. Selanjutnya, salah satu metode pembuatan kaca lembaran untuk dinding dan jendela paling awal adalah metode *crown*, yang mulai dikenal abad 11. Dalam metode ini cairan kaca panas diletakkan pada batang yang diputar, kemudian diletakkan di atas meja datar yang berputar dengan cepat. Hasilnya adalah piringan kaca yang kemudian dipotong pada bagian batang yang awalnya memegang cairan kaca dan sisi-sisinya sehingga membentuk kotak kaca lembaran yang siap digunakan untuk jendela. Bekas potongan pada ujung tongkat pemegang ini meninggalkan bekas bulatan cukup besar, yang disebut *bullseye* (lihat Bab IV) dan menghasilkan distorsi visual cukup besar, akibat permukaan kaca yang bergelombang. Distorsi dapat dikurangi dengan menghaluskan permukaan kaca. Kaca-kaca semacam ini akan menjadi kaca jendela dengan kualitas yang buram.

Pada abad 13, teknik pembuatan kaca secara *crown* (yang menghasilkan kaca *bullseye*) mengalami penyempurnaan pada sebuah industri kaca di Venice, Italia, sehingga permukaan kaca lebih halus. Namun, kaca lembaran dengan pembuatan secara *crown* hanya digunakan sampai pertengahan abad 19 dan digantikan oleh teknik pembuatan kaca

lembaran yang lebih sempurna dengan sistem pengapungan (Ing: *floating*). Pada masa itu penggunaan kaca pada bangunan dianggap sebagai barang eksklusif karena menggunakan berbagai bahan, teknik pembuatan yang canggih dan energi yang luar biasa.



Gambar 8.3. Potongan/pecahan kaca jendela pada awal ditemukan, permukaan tidak rata dan buram.
(Sumber https://en.wikipedia.org/wiki/Architectural_glass#/media/File:Window_Glass_01.JPG)



Gambar 8.4. Bayangan kaca jendela yang terkena sinar dan jatuh ke dinding di seberang jendela, menunjukkan bahwa permukaan kaca tidak rata.
(Sumber https://en.wikipedia.org/wiki/Architectural_glass#/media/File:DistortedGlass.wmg.jpg)

Gambar 8.4. memperlihatkan hasil pantulan jendela kaca pada dinding di seberang jendela yang menunjukkan bahwa kualitas permukaan kaca yang jendela awalnya

digunakan sebagai jendela memiliki permukaan yang tidak merata yang menimbulkan distorsi cukup besar.



Gambar 8.5. Kaca *bullseye* yang dihasilkan dari metode pembuatan *crown* oleh Lamberts Glass (Germany).
(Sumber <https://bendheim.com/video/crown-bullion-glass/>)

8.2.1. Kaca sebagai dinding

Penggunaan kaca sebagai selubung bangunan berupa dinding dan komponennya (jendela dan pintu) adalah yang paling banyak dibanding penggunaan lain, dan terus berkembang dewasa ini sebagai tren. Material transparan ini mampu menghasilkan kesan modern, ringan, dan terbuka ketika digunakan sebagai dinding bangunan. Umumnya yang digunakan adalah model kaca flat lembaran, meskipun tidak menutup kemungkinan digunakan kaca lengkung, bergelombang, *glass-block*, maupun *glass-brick* (Gambar 8.10 dan 8.11)

Sebagaimana dipaparkan pada bab sebelumnya, terkait sifat termal dan optikal kaca, maka saat memilih penggunaan kaca sebagai selubung dinding, perancang perlu memerhatikan sifatnya yang meneruskan radiasi matahari ke dalam ruangan atau bangunan. Penggunaan kaca flat bening biasa tanpa kemampuan tambahan pada area yang

terpapar matahari sepanjang waktu, seperti di sisi selubung bangunan sisi barat akan menaikkan suhu ruangan dengan signifikan sehingga ketika digunakan pndingin ruangan, akan menambah beban energi pendinginan. Penggunaan kaca khusus yang memiliki U-factor atau U-value yang rendah lebih disarankan, misalnya dibawah angka 0,8 yang biasanya dimiliki oleh kaca. Meski demikian, sesungguhnya untuk penggunaan di daerah tropis, bukan U-value yang lebih penting untuk diperhatikan, namun solar heat gain coefficient (SHGC). Semakin kecil angka SHGC, semakin disarankan. Selain itu, penting pula diperhatikan angka ultra-violet (UV) yang dapat ditransmisikan oleh kaca, karena ini akan memengaruhi pudarnya warna perabotan di dalam ruangan. Sementara untuk angka visual transmittance (VT) dapat dipilih sesuai kebutuhan.

Jika sekiranya penggunaan kaca-kaca jenis tertentu yang memiliki *U-value*, SHGC, dan UV rendah membutuhkan biaya yang lebih besar daripada penggunaan kaca biasa, maka desain penggunaan kaca unruk selubung bangunan dapat dikombinasikan dengan adanya teritis (sisi atap yang menjorok melebihi dinding, baik sebagai penerusan atap langsung, maupun sebagai atap tambahan yang ditempelkan di atas jendela-jendela kaca). Penggunaan teritis, selain melindungi kaca biasa dari paparan sinar matahari juga mengurangi silau dan melindungi kaca dari tampias air hujan yang dapat mengotori dan menjadi kerak di permukaan kaca. Untuk mengurangi paparan langsung matahari, bisa juga dipilih penggunaan dinding kaca ganda atau *double-glass-layer* (Gambar 8.8).



Gambar 8.6. Bagian atap yang menjorok melebihi dinding adalah teritis yang akan melindungi kaca dari paparan sinar matahari langsung. Teritis dapat berupa perpanjangan atap, maupun dibuat tambahan pada posisi lebih ke bawah, untuk melindungi jendela kaca, seperti pada gambar ini, ada dua macam teritis: langsung dan tambahan.

(Sumber <http://andaprian.blogspot.com/2016/10/sudut-kemiringan-atap-rumah-untuk.html>)



Gambar 8.7. Pada bangunan tinggi, penggunaan teritis bisa jadi kurang sesuai, sehingga dinding kaca benar-benar terpapar sinar matahari langsung. Pada keadaan ini, idealnya digunakan kaca khusus untuk mengurangi radiasi matahari.



Gambar 8.8. *Double-glass-layer* pada dinding.

(Sumber <http://www.mech.hku.hk>)

Pemanfaatan kaca sebagai dinding bangunan dapat diterapkan dalam sistem modul kecil-kecil yang dapat dipasang dengan berbagai cara sebagaimana dibahas pada Bab IX, atau dengan modul besar-besar (Gambar 8.9). Pemasangan panel kaca dengan modul

besar/lebar memberikan kebebasan pandang yang lebih besar, namun memiliki resiko lebih saat terjadi kerusakan atau pecah, karena modul yang harus diganti besar dan resiko melukai lebih banyak pengguna. Pada dinding bermodul besar, sebaiknya digunakan kaca *laminated* atau *tempered*, sehingga tidak melukai. Penggunaannya kaca modul besar dapat dipasang dengan sistem menerus melewati antar lantai (biasanya pada bangunan tinggi, dengan perletakkan kaca *spandrel* pada bagian lantainya, lihat Bab IV), atau sebagai modul per lantai, di mana panel kaca diikat di bagian bawah (lantai) dan atas (plafon). Sambungan antar modul kaca diselesaikan dengan silikon.

Selain kaca lembaran baik modul besar atau kecil yang digunakan untuk dinding bangunan, banyak pula dijumpai bangunan yang menggunakan *glass block* sebagai dinding (Gambar 2.39 dan 2.40). Selain *glass block*, dikenal pula *glass-brick*, yaitu bata yang terbuat dari kaca. Jika *glass-block* adalah material kaca ganda yang disatukan saat pencetakan sehingga memiliki rongga pada bagian dalamnya, maka *glass-brick* adalah material persegi seukuran bata yang terbuat dari kaca pampat, sehingga memiliki berat yang cukup signifikan. *Glass-brick* ini umumnya tidak dijual bebas, namun sesuai pesanan. Penggunaan *glass brick* menjadi istimewa ketika dipakai oleh biro arsitek MVRDV untuk merenovasi House of Channel di Amsterdam. Ketika banyak orang mempertanyakan kekuatan *glass brick* ini, peneliti menyatakan bahwa kekuatan tekan minimumnya adalah 10 N/mm^2 (3 kali kekuatan bata biasa). Untuk memperoleh tingkat transparansi yang tinggi, *brick* yang digunakan dicetak dari *soda-lime-silica* yang hampir tidak mengandung besi. Lem yang digunakan juga khusus, agar susunan *brick* tetap sebagai kaca (Gambar 8.10 dan 8.11).



Gambar 8.9. Dinding kaca penuh dengan modul kaca besar-besar per lantai, tidak menerus ke lantai atas atau bawahnya.



Gambar 8.10. Proses penyusunan dinding *glass-brick* (a) dan lem khusus Delo-Photobond untuk sambungan antar *brick* (b).
(Sumber <https://www.archdaily.cn/>)



Gambar 8.11. Crystal House of Chanel di Amsterdam dengan fasad *glass-brick*.
(Sumber <https://www.archdaily.com> dan <https://www.yellowtrace.com.au/mrdv-crystal-facade-chanel-amsterdam-flagship/>)



Gambar 8.12. Icon Siam, pusat perbelanjaan baru di Bangkok yang fasad depan bangunannya dipenuhi dinding kaca tersusun dari 333 panel kaca, masing-masing setinggi lebih dari 25 m.
(Sumber <https://www.bdcnetwork.com/bangkok%E2%80%99s-latest-mega-shopping-mall-features-one-world%E2%80%99s-longest-pillarless-all-glass-facade>)

Penggunaan kaca sebagai dinding, tidak terbatas untuk dinding bangunan saja, namun juga dapat difungsikan untuk redaman kebisingan (Ing: *sound barrier*), seperti pada Gambar 8.13. Untuk keperluan ini, dipergunakan kaca khusus yang memiliki kemampuan redaman tinggi (lihat Bab VII). Kaca semacam ini akan meredam kebisingan namun tetap memberikan pandangan yang dibutuhkan, berbeda dengan *sound barrier* pada umumnya yang terbuat dari material masif sehingga menghalangi pandang dan membuat bangunan sangat tertutup dari arah luar.



Gambar 8.13. Dinding kaca penuh sebagai *sound barrier* di Cologne, Germany.

8.2.2. Kaca sebagai lantai dan tangga

Penggunaan kaca sebagai lantai bangunan menimbulkan fenomena khusus bagi pengguna bangunan, karena persepsi sebagian pengguna, bahwa kaca adalah material yang rentan terhadap tekanan dan tarikan (beban secara umum). Sehingga, meski kini telah diciptakan jenis kaca yang cukup kuat dan aman untuk menahan beban di atas lantai, pengguna lantai kaca cenderung berhati-hati ketika memijakkan kakinya pada lantai, atau justru mengalami fobia dan takut menginjak atau melewatinya.

Selain karena keraguan, penggunaan lantai kaca juga mesti mempertimbangkan aspek transparansi kaca yang kemungkinan dapat memberikan gangguan psikologis baik pada pengguna di lantai atas maupun pengguna di lantai bawah kaca tersebut. Pengguna di lantai tersebut dimungkinkan merasa kurang aman dan kikuk saat berada di atas lantai kaca. Sementara pengguna di lantai bawahnya dapat terganggu konsentrasi akibat lalu lalang tapak kaki pengguna di lantai atas. Aspek etika juga wajib diperhatikan terutama pada pengguna kaum wanita.



Gambar 8.14. Nampak pengguna lantai lebih memilih lantai konvensional dibanding lantai kaca. Hal ini menunjukkan bahwa mereka merasa kurang aman dan nyaman memijakkan kakinya pada lantai kaca.



Gambar 8.15. Lalu-lalang pengguna lantai kaca dapat memecah konsentrasi pengguna di bawahnya, meski telah digunakan kaca yang buram.



Gambar 8.16. Pengguna wanita harus lebih menjaga langkahnya ketika menapaki lantai kaca bening, kecuali saat mereka tidak menggunakan rok atau gaun.

Seperti halnya penggunaan lantai konvensional, pemasangan kaca untuk lantai juga memerlukan penyangga atau penyalur beban. Dalam hal ini penyalurnya adalah balok. Balok penyalur beban lantai kaca dapat terbuat dari beton, baja ringan atau besi, maupun

material kaca itu sendiri. Meski demikian, untuk alasan keamanan dan kenyamanan pengguna, modul kaca yang disangga balok umumnya tidak sebesar modul lantai konvensional. Hal ini juga sekaligus untuk mengantisipasi jika terjadi retak atau pecah, hanya modul kecil yang perlu diganti, juga agar tidak menimbulkan banyak korban. Jenis kaca yang paling aman digunakan untuk lantai adalah kaca *laminated* yang terdiri lebih dari sekadar 2 lapis panel kaca, umumnya yang disarankan adalah *laminated* minimal 3 lapis panel kaca. Bagaimana dengan penggunaan kaca temperasi atau *tempered*? Sesungguhnya penggunaan kaca temperasi, dapat mengurangi ketebalan kaca yang disyaratkan, karena telah mengalami perkuatan sebelum digunakan. Pengurangan ketebalan ini akan mengurangi beban yang harus disalurkan oleh balok. Namun penggunaan kaca temperasi justru riskan digunakan untuk lantai, mengingat akan banyak terjadi benturan pada permukaannya, sehingga kemungkinan kaca pecah akan lebih besar dibandingkan jika digunakan sebagai dinding. Lebih disarankan menggunakan *heat-strengthened glass* daripada *fully toughened glass* (lihat Bab II). Penggunaan kaca yang mengalami perlakuan tambahan 2 kali, yaitu *heat-strengthened laminated glass* lebih disarankan. Artinya kaca diperkuat dahulu, baru dilaminasi, namun tentu harganya lebih berlipat-lipat.

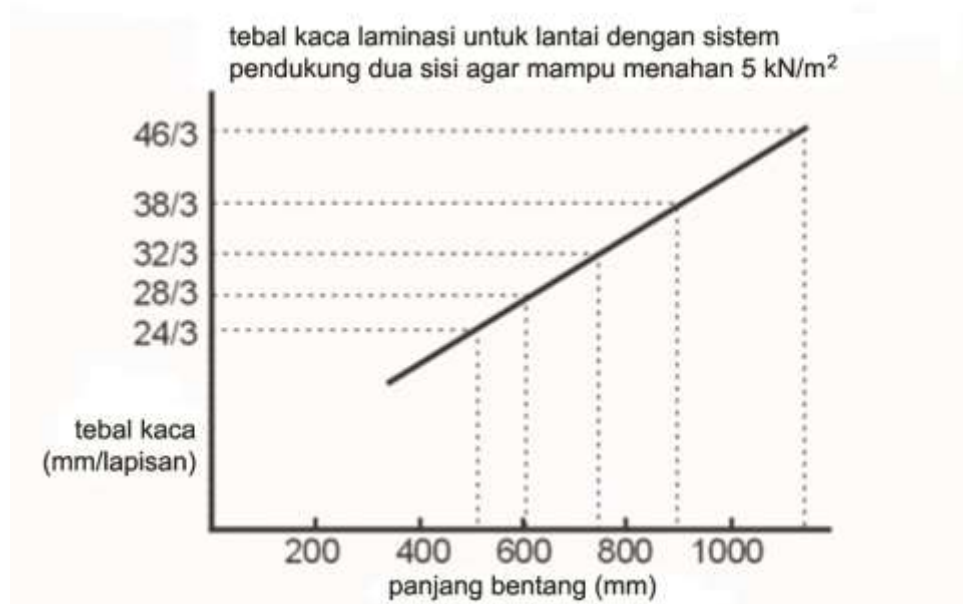
Metode bagaimana penyaluran beban pada lantai kaca akan menentukan ketebalan kaca yang harus dipakai. Misalnya untuk lantai kaca yang akan menahan beban sampai 5 kN/m² dengan menggunakan kaca 3 lapis laminasi yang berukuran 1 m x 1 m dan disangga keempat sisinya, maka dibutuhkan kaca dengan ketebalan 32 mm. Sementara jika hanya disangga kedua sisinya, dibutuhkan ketebalan sampai 46 mm.



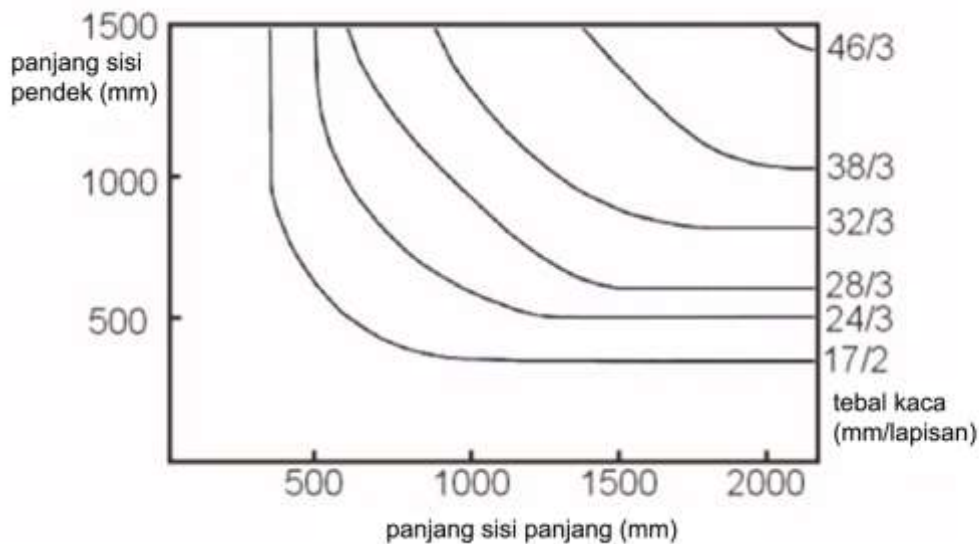
Gambar 8.17. Modul balok penyangga kaca yang kecil-kecil (tidak luas), untuk menjaga keamanan dan kemudahan saat diperlukan penggantian.



Gambar 8.18. Balok penyalur beban lantai kaca yang juga terbuat dari kaca.



Gambar 8.19. Grafik yang menunjukkan kebutuhan ketebalan kaca untuk lantai, bergantung pada bentang panjang kaca yang disangga.
(Sumber http://www.rogerwilde.com/design_considerations.pdf)



Gambar 8.20. Grafik yang menunjukkan kebutuhan ketebalan kaca untuk lantai, bergantung pada luas area kaca yang akan disangga.
(Sumber http://www.rogerwilde.com/design_considerations.pdf)

Meski nampak sebagai material yang kaku dan keras, bagaimanapun kaca yang dipasang pada bentang tertentu, terlebih jika diberi beban di atasnya, seperti ketika kaca digunakan sebagai lantai, maka perhitungan lendutan maksimal harus dilaksanakan. Hal ini diperlukan agar keamanan lantai kaca dapat terjaga. Lendutan kaca dihitung menggunakan rumus sbb:

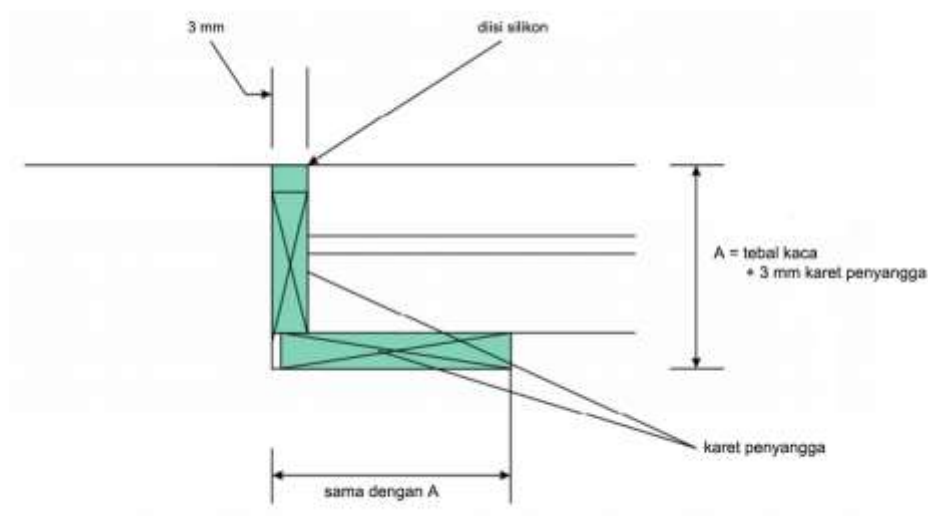
$$D = p \times l / 50000 \times t$$

Dengan D adalah lendutan atau defleksi maksimum dalam mm, p dan l adalah panjang dan lebar kaca yang ditahan oleh balok penyangga dan t adalah tebal kaca (tidak termasuk lapisan lem *interlayer* untuk kaca laminasi). Sebagai contoh, kaca persegi dengan panjang sama dengan lebar 1000 mm (disangga balok keliling pada ukuran modul ini), dengan tebal 40 mm, maka defleksi maksimum yang diijinkan adalah $D = 1000 \times 1000 / 50000 \times 40 = 1000000 / 2000000 = 0.5 \text{ mm}$.

Untuk mencegah kerusakan, lembaran kaca yang hendak didudukkan untuk ditahan oleh balok-balok penyangga, sebaiknya tidak saling berhubungan langsung. Antara kaca dan penyangga idealnya diletakkan penyekat silicon agar kedudukan kaca lebih stabil dan kaca lebih awet karena tepiannya tidak langsung bertemu benda keras. Bagian kaca yang harus disangga balok setidaknya 20 mm sampai 30 mm. Selain aspek kekuatan, aspek lain yang penting diperhatikan saat menggunakan lantai kaca adalah tingkat kelicinan kaca.

Terlebih bila lantai kaca ini digunakan pada bagian pintu masuk gedung, yang sangat mungkin basah ketika hujan. Untuk mengurangi licin pada permukaan kaca, maka pada bagian permukaan perlu ditambahkan lapisan anti slip. Tambahan perlakuan yang biasa diberikan pada permukaan kaca untuk lantai adalah sistem *sandblasting* atau *acid etched*. Tambahan perlakuan ini memang akan membuat lantai kaca kurang bening atau tidak benar-benar transparan. Kaca yang mengalami *sandblasting* akan lolos tes licin menggunakan pendulum (Ing: *pendulum slip resistance*) rata-rata mencapai angka 79 saat kering dan 44 saat basah (Rae dan Buttler, tanpa th). Adapun angka aman slip adalah minimum 36 (*low slip potential*). Untuk memperoleh tingkat *non-slip* yang lebih tinggi, kaca dapat diberi perlakuan dengan penambahan lapisan keramik tipis di atasnya. Lapisan keramik ini dapat memiliki berbagai warna dan sifatnya disemprotkan pada permukaan kaca dengan berbagai macam motif. Setiap motif yang berbeda kan memberikan kemampuan *non-slip* yang berbeda pula.

Dengan adanya berbagai macam persyaratan dan ketebalan minimal yang harus dipenuhi kaca untuk konstruksi lantai, dapat dipastikan bahwa pembiayaan lantai kaca akan lebih tinggi dari lantai konvensional. Pemeliharaan lantai kaca juga lebih tinggi dibandingkan penggunaan lantai konvensional. Meski demikian, hal ini nampaknya sebanding dengan kesan modern dan mewah yang hendak dicapai oleh bangunan yang menggunakannya.



Gambar 8.21. Panel kaca lantai memerlukan pelapis sebelum bertemu balok penyangga.
 (Sumber https://glassolutions.co.uk/sites/default/files/documents/the_use_of_glass_in_floors_and_stairs.pdf)



Gambar 8.22. Lantai kaca yang menggunakan *sandblasted* glass agar tidak licin.



Gambar 8.23. Perlakuan *acid etched* pada kaca agar tidak licin saat digunakan sebagai lantai.

Penggunaan kaca untuk lantai, sebenarnya termasuk juga untuk lantai pijakan tangga. Tangga kaca menghadirkan kesan ringan dan modern pada bangunan, oleh karenanya kini banyak disukai. Bahkan cukup banyak rumah tinggal yang menggunakan anak tangga dari panel kaca. Persyaratan pembebanan untuk tangga kaca sama dengan persyaratan untuk lantai. Namun yang lebih penting mendapat perhatian adalah kemampuan *non-slip*-nya, karena tangga adalah area sirkulasi yang pasti dilalui berbagai macam pengguna, baik anak kecil maupun orang tua.



Gambar 8.24. Tangga yang keseluruhan materialnya dari kaca, baik pijakan (anak tangga) dan *balustrade* (ibu atau pegangan tangga) sehingga memberikan kesan melayang.

8.2.3. Kaca sebagai atap

Seperti halnya penggunaan kaca untuk dinding, penggunaan kaca untuk atap juga telah jamak diterapkan. Namun hal ini nampaknya kurang sesuai diterapkan pada iklim tropis seperti di Indonesia. Kalaupun digunakan maka umumnya hanya sebagian kecil pada atas selasar atau atrium. Jika hendak digunakan atap yang menyeluruh, perlu dipertimbangkan jenis kaca khusus (dipaparkan pada Bab II), yang mampu menahan radiasi matahari. Faktor yang penting diperhatikan adalah *U-value*, *solar heat gain coefficient* (SHGC), dan *ultra-violet* (UV) faktor yang rendah. Umumnya kaca semacam ini cukup mahal sehingga biaya bangunan menjadi besar dan dapat tidak sebanding dengan kesan modern yang hendak ditampilkan. Bangunan dengan atap keseluruhan kaca lebih sesuai untuk daerah beriklim empat musim atau beriklim dingin.

Persyaratan penggunaan kaca untuk atap hampir semacam dengan penggunaan lantai, namun sedikit lebih ringan, karena umumnya tidak ada beban tetap dan beban bergerak di atap. Penggunaan kaca sebagai atap memerlukan pemeliharaan rutin terkait pembersihan dari debu dan kotoran yang menempel sehingga fungsinya sebagai material transparan tetap terjaga.



Gambar 8.25. Atap kaca semacam ini kurang sesuai untuk daerah tropis karena meneruskan radiasi matahari dan silau, kecuali bila digunakan jenis kaca khusus, namun biayanya cukup besar.



Gambar 8.26. Museum Louvre di Perancis yang menggunakan atap kaca secara keseluruhan.



Gambar 8.27. Bagian dalam Museum Louvre di Perancis yang menggunakan atap kaca secara keseluruhan. menjadi lebih terang meskipun terletak di bawah permukaan tanah.

Pada penggunaan kaca sebagai material atap, yang memang ditujukan untuk memasukkan cahaya, maka jika hendak digunakan plafon, perlu pula mempertimbangkan penggunaan plafon kaca, sehingga cahaya bisa diteruskan. Guna mengurangi silau, dapat dipilih jenis kaca buram sebagai plafon (Gambar 8.28).



Gambar 8.28. Sebagai rangkaian dari atap kaca yang digunakan untuk meneruskan sinar matahari, maka plafon kaca juga dapat digunakan meneruskan cahaya yang diterima ke dalam ruangan yang dikendaki.

8.3. Kaca sebagai ornamen pada bangunan

Selain sebagai struktur atau bagian utama bangunan, maka kaca juga sangat dikenal sebagai material untuk ornamen bangunan, atau dengan kata lain sebagai material tambahan untuk mempercantik tampilan bangunan, baik secara eksterior maupun interior. Yang paling mudah dijumpai adalah lampu gantung mewah terbuat dari kaca. Karena sifatnya yang transparan, maka perawatan ornamen lampu kaca perlu lebih sering dilakukan dan lebih rumit, karena debu menempel di sela-sela yang kecil.

Selain ornamen interior berupa lampu kaca, objek kaca lainnya yang sering digunakan adalah cermin



Gambar 8.29. Lampu kristal kaca sebagai ornamen pada ruang tangga dan *lobby*.



Gambar 8.30. Istana Golestan di Tehran, Iran, yang beberapa ruangnya dipenuhi dengan modul cermin kecil-kecil ditempel pada keseluruhan dinding dan plafon (disebut Mirror Hall).

8.4. Kaca sebagai bagian utilitas bangunan

Penggunaan kaca sebagai utilitas bangunan memang masih jarang. Yang paling umum dijumpai adalah kaca sebagai dinding pembungkus *elevator* atau *lift*. Pemilihan kaca pada *elevator* memberikan kesan modern dan memberikan kesempatan pada pengguna *elevator* untuk berinteraksi secara visual dengan keadaan di luar kereta *elevator*. Kaca sebagai dinding *elevator* bisa menambah rasa aman ketika suatu saat mesin *elevator* berhenti dan penggunaannya membutuhkan pertolongan dari luar. Namun juga dapat

menimbulkan rasa gugup atau ketakutan, jika digunakan pada *elevator* bangunan tinggi dengan kecepatan perjalanan yang cukup tinggi. Persyaratan penggunaan kaca sebagai dinding *elevator* tidak berbeda dengan untuk dinding pada umumnya.

Keinginan untuk makin menghadirkan kesan modern pada bangunan dewasa ini makin kuat, sehingga selain untuk keperluan struktur dan konstruksi, material kaca juga dipertimbangkan digunakan pada peralatan utilitas bangunan, seperti misalnya pipa plumbing kaca, wastafel kaca, bahkan kloset kaca. Karena berbahan licin transparan, maka pemeliharaan peralatan utilitas ini membutuhkan perhatian lebih agar tidak berjamur dan berkerak, terlebih jika peralatannya selalu bersentuhan dengan air.



Gambar 8.31. *Elevator* berdinding kaca yang ditempatkan di luar bangunan, idealnya digunakan kaca khusus bersifat *water repellent*, agar tidak cepat kotor dan membutuhkan pembersihan terus-menerus.



Gambar 8.32. Kaca sebagai pipa plumbing (a), kloset duduk (b) wastafel (c), dan *bathtub* (d).
(Sumber <https://www.pinterest.com/>)

BAB IX

PEMASANGAN, PEMELIHARAAN, dan
MATERIAL TAMBAHAN

Dikenal sebagai material yang rentan terhadap kuat tarik dan tekan, cara pemasangan dan pemeliharaan kaca perlu mendapat perhatian dengan serius. Hal ini untuk menjaga agar keawetan kaca tetap terjaga dan keselamatan serta kenyamanan pengguna bangunan terlindungi. Pada bagian ini akan dibahas mengenai teknik-teknik pemasangan dan pemeliharaan kaca yang dikenal dan diterapkan selama ini pada lingkup rancang bangun.

9.1. Pemasangan konvensional

Teknik pemasangan kaca secara konvensional mengacu pada teknik pemasangan menggunakan bingkai atau *frame*. Ini adalah teknik kuno yang diterapkan sejak pertama kali kaca dikenal sebagai bagian dari material bangunan, terutama pada kaca-kaca yang akan dipergunakan sebagai bagian dinding yang dapat dibuka-ditutup. Sementara untuk model yang tidak dibuka-ditutup, pemasangan konvensional secara langsung pada dinding beton juga telah dikenal sejak lama. Selain dipasang secara langsung pada sisi beton, pemasangan kaca yang tidak dibuka-ditutup pada dinding pada waktu lampau juga dikenal menggunakan bingkai besi. Misalnya untuk kaca hias warna-warni (atau yang dikenal dengan istilah kaca patri).

Untuk pemasangan menggunakan bingkai, yang paling banyak dikenal pada abad awal adalah dengan bingkai besi atau kayu. Penggunaan bingkai kayu, dalam Bahasa Indonesia umumnya disebut kusen kayu. Jenis-jenis kayu yang baik digunakan sebagai kusen telah dibahas pada bagian sebelumnya, yaitu Bab III. Kayu adalah material bangunan yang memiliki muai-susut cukup besar. Namun demikian tidak seperti material lain yang koefisien muai panjangnya dapat ditentukan dengan lebih pasti sebagaimana Tabl 9.1, koefisien muai panjang kayu bergantung pada jenis kayu, dan berbeda besarnya sesuai arahnya apakah *radial*, *tangential*, atau *longitudinal* (Gambar 9.1). Muai susut kayu biasanya dihitung dengan sistem persentase (%), misalnya untuk kayu mahoni, akan menyusut sebesar 5% pada arah *tangential*, dan menyusut 3,6% pada arah *radial*. Arah *tangential* umumnya memiliki muai-susut paling besar, dan ini bergantung pula pada kandungan air yang ada di dalam kayu.

Muai susut kayu dan kaca menyebabkan penggunaan kusen kayu untuk memegang kaca harus disertai jarak yang memadai antara kayu dengan kaca dan antara kayu dengan dinding. Pada kusen kayu untuk jendela yang dapat dibuka dan ditutup, jarak antara material kayu dan kayu (yang berfungsi sebagai kusen dalam dan luar) juga sangat penting keberadaannya, sehingga jendela dapat dibuka-tutup dengan mudah. Jarak yang terlalu

sempit membuat jendela sulit dibuka dan ditutup, yang selanjutnya dapat mengakibatkan kaca pecah.

Tabel 9.1. Koefisien pemuaian panjang pada beberapa material

Nama zat	Koefisien muai panjang (α)
Kaca pyrex	$0,32 \times 10^{-5}$
Kaca bias	$0,9 \times 10^{-5}$
Besi	$1,2 \times 10^{-5}$
Baja	$1,1 \times 10^{-5}$
Aluminium	$2,4 \times 10^{-5}$
Kuningan	$1,9 \times 10^{-5}$
Tembaga	$1,7 \times 10^{-5}$
Platina	$0,89 \times 10^{-5}$

Sebagai contoh perhitungan umum (tidak spesifik jenis kayu tertentu): jika akan memasang kaca pada kusen kayu dengan ukuran kaca $50 \text{ cm} \times 90 \text{ cm}$, maka berapakah jarak celah yang harus disediakan antara kaca dan kayu? Dalam perhitungan biasanya koefisien muai panjang kayu diabaikan (karena sangat bergantung jenis kayunya), dan digunakan koefisien muai panjang kaca. Jika kaca dan kusen kayu tersebut akan dipasang pada suhu udara terendah 25°C dan suhu tertinggi di tempat itu 40°C . Maka ukuran rangka kayu, agar kaca tidak pecah karena pemuaian ($\alpha_{\text{kaca}} = 9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$), dihitung sbb.:

$$L_{O1} = 50 \text{ cm}$$

$$\alpha = 0,000009/^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 40^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 15^\circ\text{C}$$

$$\Delta L_1 = L_{O1} \cdot \alpha \cdot \Delta t = (50)(0,000009)(15) = 0,00675 \text{ cm}$$

$$L_{O2} = 90 \text{ cm}$$

$$\alpha = 0,000009/^\circ\text{C}$$

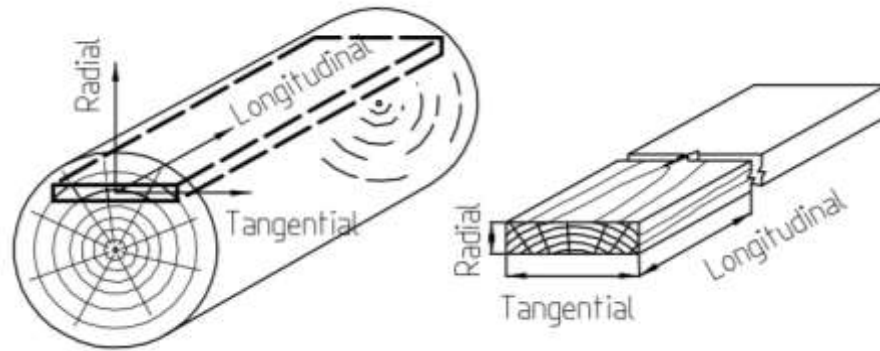
$$\Delta t = 40^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 15^\circ\text{C}$$

$$\Delta L_2 = L_{O2} \cdot \alpha \cdot \Delta t = (90)(0,000009)(15) = 0,01215 \text{ cm}$$

Sehingga dimensi ruangan/lubang yang harus disediakan untuk memasang kaca pada kayu tersebut adalah: $50,00675 \text{ cm} \times 90,01215 \text{ cm}$, yang diperoleh dari:

$$L_1 = L_{O1} + \Delta L_1 = 50 + 0,00675 = 50,00675 \text{ cm}$$

$$L_2 = L_{O2} + \Delta L_2 = 90 + 0,01215 = 90,01215 \text{ cm}$$

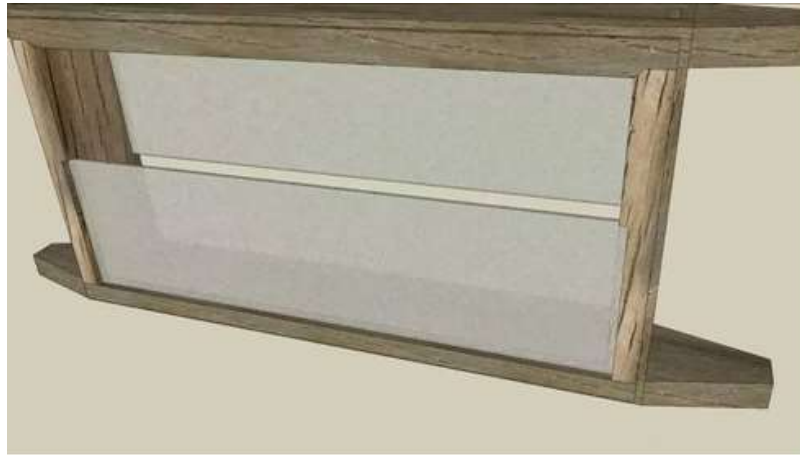


Gambar 9.1. Arah pemuaiian pada kayu.

(Sumber <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/fnr/fnr-163.pdf>).

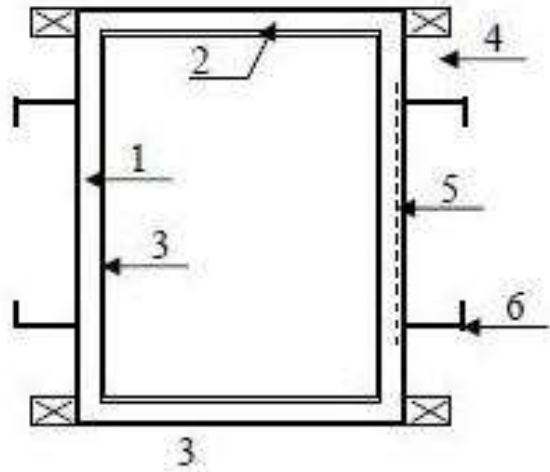
Ketebalan kaca yang umumnya dipergunakan pada jendela konvensional dengan kusen kayu adalah antara 3 mm sampai 5 mm, agar tidak terlalu berat ketika dibuka-tutup. Kaca dengan ketebalan yang tergolong tipis ini ketika ditutup kurang mampu mengurangi masuknya kebisingan dari luar bangunan/ruangan ke dalam bangunan/ruangan. Oleh karena itu penggunaan kayu yang tepat, terlebih teknik pemasangannya, menjadi sangat penting untuk memperoleh redaman kebisingan yang baik ketika jendela ditutup. Hal yang menyulitkan peningkatan terhadap redaman kebisingan adalah jarak yang harus diciptakan antara kaca dengan kayu, kayu dengan kayu dan kayu dengan dinding. Celah ini sangat potensial membocorkan kebisingan masuk ke dalam. Penggunaan karet penyekat semacam *sealant* sesungguhnya disarankan, namun mengingat sifat muai susut kayu, hal inipun tidak mudah diterapkan karena dalam jangka waktu pendek, *sealant* yang terpasang akan mengelupas.

Penggunaan kusen kayu memerlukan persiapan dengan jalan pemesanan pada tukang kayu atau tukang kusen. Di sini jenis kayu yang dipilih harus dalam keadaan benar-benar kering. Kayu oven dianggap lebih berkualitas karena mengalami pengeringan yang baik dan sempurna. Kayu kering kemudian dihaluskan (bahasa lokal tukang: dipasah), kemudian dibentuk (bahasa lokal tukang: dicoak), sehingga memiliki perbedaan kedalaman. Biasanya perbedaan kedalamannya sekitar 0,5 cm sampai 0,75 cm. Perbedaan ini nantinya akan dipergunakan untuk meletakkan kaca. Untuk sentuhan akhir, biasanya kayu dihaluskan kembali dengan amplas kayu.



Gambar 9.2. *Coakan* kecil pada sisi dalam kayu untu menempatkan kaca agar terkunci.

Selanjutnya kusen kayu siap dipasang pada dinding. Pengerjaan kusen yang telah siap dalam bentuk dan ukuran yang dikehendaki ini biasanya dikerjakan oleh tukang kayu bersama tukang batu atau cukup tukang batu saja. Tukang batu senior memiliki kemampuan memasang kusen jendela kayu pula. Setelah kusen utama terpasang pada dinding, selanjutnya kaca dipasang pada coakan yang telah disiapkan, yang kemudian dikunci menggunakan batang kayu kecil menggunakan paku-paku halus. Pemasangan kayu-kayu dengan kaca ini disertai jarak yang cukup, selain untuk muai-susut, juga untuk mempermudah pengerjaan pemasangan paku-paku kecil pengunci tersebut. Selanjutnya kusen dilapisi cat dasar dan kemudian cat warna atau politur yang diinginkan. Pada pengecatan menggunakan kuas maupun dengan sistem semprot, sebaiknya bagian kaca ditutup dengan kertas koran agar tidak terkena percikan cat sehingga membutuhkan waktu dan tenaga untuk membersihkannya. Pada penggunaan kualitas kaca kurang baik, percikan cat kusen pada kaca dapat menimbulkan tampilan yang sedikit kusam meski percikan cat telah dibersihkan.



Gambar 9.3. Kusen kayu yang memegang kaca memiliki kupingan dan angkur untuk memperkokoh posisinya setelah dipasang. Hal ini yang membuat kusen kayu tidak memungkinkan pemasangan pada dinding dalam keadaan dinding telah rapi dan jadi.



Gambar 9.4. Untuk memenuhi estetika, sisi siku kusen biasanya diberi profil lekuk.



Gambar 9.5. Contoh pemasangan kusen kayu yang dilakukan pada keadaan dinding bata setengah jadi, untuk keperluan pemasangan kupingan kusen dan angkur.



Gambar 9.6. Kusen kayu yang dipesan pada tukang kayu (pembuat kusen) telah siap untuk diangkut ke lokasi konstruksi bangunan.

Material kusen yang lebih modern adalah aluminium. Rincian mengenai material ini telah dibahas pada Bab III dan Bab VIII. Aluminium nampak lebih lebih ringan dari kayu, meski sebenarnya tidak demikian. Aluminium memiliki massa jenis 2700 kg/m^3 , sementara kayu hanya 300 sampai 900 kg/m^3 (untuk kayu yang paling keras). Ketika digunakan sebagai kusen, aluminium lebih ringan karena dibuat berongga, tidak seperti

kayu yang utuh. Meski memiliki koefisien muai panjang lebih besar dari kayu (Tabel 9.1), aluminium lebih awet terhadap cuaca. Hal ini karena muai susut aluminium yang besar tidak membuatnya mudah lapuk, sebab bukan material organik. Kemampuan untuk lebih awet dan tampilan yang memberikan kesan modern, membuat kusen aluminium mulai digemari penggunaannya pada 20 tahun terakhir ini di Indonesia. Pertimbangan lain, karena harganya yang justru lebih murah daripada kusen dari kayu berkualitas seperti jati. Pengerjaan hingga pemasangan kusen aluminium cenderung lebih mudah dari pada kayu, karena bilah aluminium telah siap pakai ketika dipasarkan, artinya hanya perlu dipotong sesuai kebutuhan. Kini kusen aluminium tidak hanya berwarna perak, namun juga dalam warna-warna lain, dan telah siap dipotong pula sesuai keperluan, sehingga calon pengguna makin mudah memilih. Untuk warna khusus yang tidak dikeluarkan pabrik, kusen aluminium juga dapat dipesan khusus, namun membutuhkan ewaktu tambahan karena memerlukan proses *coating* warna lanjutan.

Meski pembuatan kusen aluminium cenderung mudah, hanya dengan memotong dan menyambung potongan saja, namun umumnya diperlukan tukang khusus diluar tukang yang biasa bekerja pada bangunan. Jika kusen kayu perlu disiapkan sebelum dinding pasangan bata siap dan dipasang ketika pasangan bata setengah jadi (karena perlu dipasang kupingan dan angkur), maka tidak demikian dengan kusen aluminium. Kusen aluminium justru dipasang ketika dinding pasangan bata telah selesai dihaluskan (bahasa lokal: diaci) persis sebelum dinding dicat. Hal ini dikarenakan kusen dipasang pada sisi dinding menggunakan sekrup. Oleh karena muai-susut aluminium yang besar dan untuk memperkuat posisi sekrup, maka pada penggunaan aluminium perlu ditambahkan *sealant* antara kusen dengan dinding. *Sealant* yang dipergunakan dapat disesuaikan warnanya dengan warna kusen atau cat dindingnya.

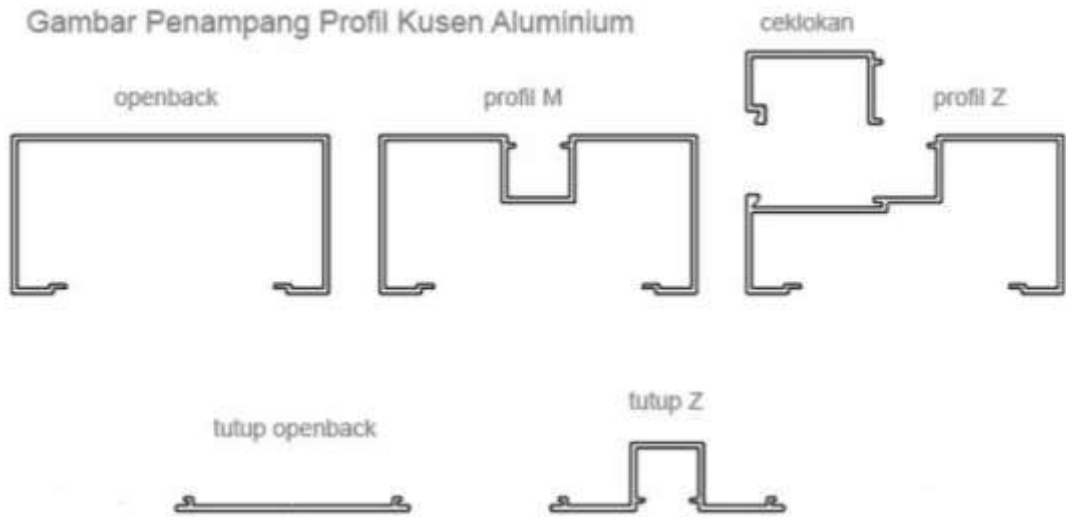


Gambar 9.7. Kusen aluminium motif kayu yang tidak dilengkapi kupingan, sehingga dapat langsung dipasang pada lubang di dinding yang telah disiapkan.

Selanjutnya untuk jendela yang dapat dibuka-ditutup, antara kusen terpasang dengan kusen daun juga diletakkan karet penyekat. Selain untuk mengurangi bunyi decit ketika dibuka-ditutup, karet juga berfungsi memberikan redaman bunyi tambahan saat jendela ditutup. Pada umumnya karet ini kurang dapat bertahan lama di iklim tropis lembab, karena kehilangan daya elastisitasnya, sehingga mudah lepas setelah dipergunakan dalam waktu tertentu. Untuk jendela-jendela yang terpapar langsung sinar matahari, karetnya lebih mudah getas, dan akan lebih awet pada area bangunan yang lebih ke dalam. Penggunaan teritis dapat mengurangi ketidakawetan karet kusen aluminium.



Gambar Penampang Profil Kusen Aluminium



Gambar 9.8. Macam-macam penampang atau profil kusen aluminium.
(Sumber <http://www.rhkarya.com>)

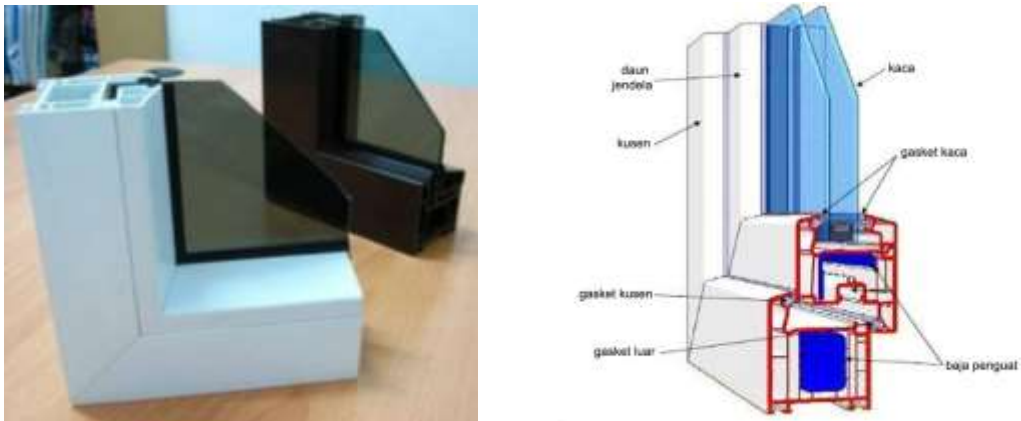


Gambar 9.9. Pemasangan kusen aluminium pada bangunan dilakukan setelah pengerjaan dinding selesai.



Gambar 9.10. Kusen dan jendela uPVC yang siap dipasang, nampak lebih kokoh dan berat dibandingkan kusen aluminium.

Material modern berikutnya adalah uPVC, sebagaimana sebagian telah dibahas pada Bab IV. Unplasticized Polyninyl Chloride (uPVC) memiliki massa jenis lebih besar dari aluminium, juga memiliki tingkat keawetan terhadap cuaca melebihi aluminium. Tampilannya pun lebih mewah karena terlihat lebih tebal, berat, dan kokoh. uPVC memang dipasarkan dengan harga lebih mahal dari aluminium. Kekokohan kusen uPVC terletak pada kuatnya sambungan antar bagian kusen, profil besi penguat di bagian dalam kusen, ketebalan ruang/rongga di dalam kusen yang bersekat-sekat (Gambar 9.11), dan konstruksi fabrikasi untuk sistem buka-tutup yang memadai (Gambar 9.13).



Gambar 9.11. Profil kusen uPVC.



Gambar 9.12. Kusen uPVC lebih kokoh karena sambungan antar material, seperti pada bagian sudut, melalui proses pengepresan dengan suhu tinggi, sehingga material benar-benar menyatu dan lengket (hampir tanpa celah).



Gambar 9.13. Konstruksi buka tutup pada kusen uPVC yang sedikit rumit namun mencapai kekuatan yang lebih baik dari pada kusen kayu atau aluminium yang umumnya menggunakan sistem engsel sederhana.

Kusen uPVC dipasang pada dinding dengan sistem menyerupai kusen aluminium, yaitu pada dinding yang telah siap, karena tidak memiliki kupingan, namun hanya dengan sekrup pada beberapa titik. Seperti halnya kusen aluminium, penggunaan kusen uPVC juga dilengkapi dengan *sealant* yang diletakkan antara kusen dan dinding serta antara kusen dan kaca. Perletakkan kaca di dalam kusen uPVC makin kokoh dengan keberadaan pita karet yang diletakkan pada perbatasan antara kusen dengan kaca. Pada Gambar 9.13, nampak pita karet adalah garis-garis berwarna hitam yang mengelilingi kusen. Kusen uPVC yang beredar di Indonesia ada beberapa merek seperti: Conch, Rein, Bosca dan merek lokal Terryham.

Material kusen yang termasuk jenis pemasangan konvensional untuk kaca adalah kusen besi galvanis, baja ringan dan beton. Pemasangan kusen baja ringan juga memerlukan angkur, sehingga sistem pemasangan yang dilakukan adalah seperti halnya pemasangan kusen kayu. Namun demikian, kini dikenal pula kusen baja ringan yang bersifat seperti kusen aluminium, sehingga dapat dipasang pada dinding yang setengah siap ataupun telah siap (Gambar 9.14 dan 9.15). Kusen besi galvanis juga dipasang ketika dinding telah siap, karena menggunakan sistem sekrup.

Sementara untuk kusen beton, seperti halnya kusen kayu memiliki kupingan, sehingga dipasang pada keadaan dinding setengah jadi. Meski ada pula kusen beton yang tidak memiliki kupingan, namun pemasangannya tetap mengacu pada keadaan dinding setengah jadi, terlebih karena sistemnya melekat pada dinding dengan menggunakan adukan semen, maka pemasangan harus pada keadaan dinding setengah jadi agar kerapian dapat tercapai.



Gambar 9.14. Pemasangan kusen baja ringan pada dinding setengah jadi.



Gambar 9.15. Model kusen baja ringan yang dapat dipasang pada dinding yang sudah siap, dengan menggunakan sekrup.

Meski kurang jamak dipakai, kusen beton umumnya dipilih karena kelebihan-kelebihan sebagai berikut:

- Mudah dibentuk dengan ukuran sesuai kebutuhan konstruksi.
- Memiliki kemampuan memikul beban berat.
- Tahan terhadap suhu tinggi
- Biaya perawatan rendah.
- Tahan terhadap karat dan pembusukan oleh kondisi alam dan hama rayap.

Sementara itu kelemahan kusen beton adalah:

- Bentuk tetap tidak bisa diubah.
- Kuat tariknya rendah
- Berat sehingga sulit saat pengangkutan atau pemasangan.



Gambar 9.16. Pemasangan kusen beton pada dinding setengah jadi.

9.2. Pemasangan non-konvensional

Pemasangan non-konvensional adalah cara pemasangan kaca pada dinding yang cenderung tidak menggunakan *frame* atau kusen atau pemegang pada sisi tepi. Ketiadaan *frame* ini digantikan oleh pemegang lain yang posisinya tidak mengelilingi atau membatasi kaca namun dapat di depan atau di belakang kaca. Pemasangan kaca tanpa menggunakan *frame* umumnya diselesaikan dengan melubangi kaca sebagai tempat pemasangan alat pemegang kaca. Proses pelubangan kaca harus dilakukan oleh ahli agar kaca tidak retak. Pada penggunaan kaca temperasi, proses pelubangan harus dilakukan sebelum kaca mengalami temperasi, karena setelah ditemperasi dan mengalami benturan atau tekanan, maka kaca akan hancur. Pada kaca laminasi, proses pelubangan umumnya juga dilakukan sebelum kaca dilaminasi. Bukan untuk menghindari pecahnya kaca, namun lebih untuk mempermudah pekerjaan, karena lapisan lem (*interlayer*) pada kaca laminasi lebih sulit ditembus, terutama pada kaca laminasi yang terdiri dari beberapa lembar kaca (misalnya kaca tahan peluru).



Gambar 9.17. Lubang yang telah disiapkan pada kaca sebelum kaca dipasang dengan sistem tanpa *frame*.

Teknik pemasangan non-konvensional yang paling terkenal adalah sistem *spider fitting*. Disebut *spider* karena bentuk alat pemegangnya yang menyerupai kaki laba-laba. Sistem *spider fitting* kini mengalami perkembangan yang pesat dan variatif dengan berbagai bentuk pemegang dan cara pasang, namun secara prinsip memiliki kesamaan. Untuk faktor keamanan dan keawetan, pemasangan kaca tanpa *frame* umumnya

disarankan menggunakan kaca yang lebih tebal daripada pemasangan dengan sistem *frame* atau kusen. Jika pada sistem kusen dapat digunakan kaca dengan ketebalan hanya 3 mm atau 4 mm, maka pada sistem tanpa kusen idealnya digunakan kaca dengan ketebalan minimal 8 mm. Tentu penggunaan kaca yang makin tebal akan makin kokoh, namun berat yang harus dipikul oleh konstruksi tanpa *frame* juga perlu dipertimbangkan. Umumnya digunakan kaca dengan tebal maksimal 12 mm saja.

Sistem pemasangan dengan *spider fitting* membutuhkan konstruksi pendukung tambahan untuk menyalurkan beban dari pemegang kaca. Umumnya yang diterapkan adalah menggunakan rangka penggantung sederhana (Gambar 9.18), *truss* (Gambar 9.20), kabel (Gambar 9.21 dan 9.22), atau sirip kaca (Gambar 9.23).

Selain dengan sistem *spider* dan variasinya, suatu dinding atau jendela kaca tanpa *frame* juga dapat dipasang dengan sistem langsung pasang pada dinding dan atau lantai dan atau plafon. Ketika ada dua sisi yang memegang kaca tersebut dengan cara dibenamkan, maka kaca sudah cukup kuat. Meski demikian, pemasangan model ini tidak dapat diterapkan pada lembaran kaca yang terlalu luas. Untuk menjaga keawetan kaca yang ditanam, umumnya kaca diberi bantalan karet ketika bertemu pasangan bata.



Gambar 9.18. Sistem pemasangan kanopi dengan tipe gantung dengan melubangi kaca



Gambar 9.19. Detil pemasangan *spider fittings*.

(Sumber https://www.glasscon.com/glasscon-brochures/GLASSCON_Structural_&_Spider_Glass_Curtain_Walls.pdf)



Gambar 9.20. *Spider fitting* dengan penyalur beban *truss*.

(Sumber https://www.glasscon.com/glasscon-brochures/GLASSCON_Structural_&_Spider_Glass_Curtain_Walls.pdf)



Gambar 9.21. *Spider fitting* dengan penyalur beban kabel.

(Sumber: https://www.glasscon.com/glasscon-brochures/GLASSCON_Structural_&_Spider_Glass_Curtain_Walls.pdf)



Gambar 9.22. Variasi dari *spider fitting* (model pemegang tidak seperti kaki laba-laba) dengan penyalur beban kabel.

(Sumber https://www.glasscon.com/glasscon-brochures/GLASSCON_Structural_&_Spider_Glass_Curtain_Walls.pdf)



Gambar 9.23. Variasi *spider fitting* dengan penyalur beban sirip kaca (*glass fins*).

(Sumber https://www.glasscon.com/glasscon-brochures/GLASSCON_Structural_&_Spider_Glass_Curtain_Walls.pdf)



Gambar 9.24. Penyalur beban model sirip kaca yang disambung-sambung dengan pen besi sebagai pengunci.

(Sumber https://www.glasscon.com/glasscon-brochures/GLASSCON_Structural_&_Spider_Glass_Curtain_Walls.pdf)



Gambar 9.25. Proses pemasangan kaca di Icon Siam Bangkok, dengan panel kaca masing-masing seberat 3,5 ton dan tinggi mencapai 25,6 m. Panel disangga oleh sistem *glass fins*, dipasang menggunakan 2 vakum khusus dengan bandul, agar dapat memasang kaca pada sudut kemiringan berbeda-beda.
(Sumber <https://www.bcnetwork.com/bangkok%E2%80%99s-latest-mega-shopping-mall-features-one-world%E2%80%99s-longest-pillarless-all-glass-facade>)



Gambar 9.26. Kaca dimatikan dengan ditanam pada dinding dan lantai, selanjutnya kaca bagian tengah dapat bergerak bergeser dengan bantuan rel yang bertumpu pada kaca yang ditanam.



Gambar 9.27. Balustrade kaca yang dipasang dengan cara ditanam pada lantai dan ditanam serta diikat pada rangka besi stainless di bagian atas. Penanaman pada lantai diperkuat dengan besi *stainless*.



Gambar 9.28. Dinding kaca yang dipasang dengan sistem sirip kaca, namun tanpa pemegang model *spider*, hubungan antar kaca diperkuat dengan lem kaca dan *sealant*.
(Sumber www.connerssales.com)



Gambar 9.29. Dinding kaca yang dipasang dengan sistem sirip kaca, namun tanpa pemegang model *spider*, hubungan antar kaca diperkuat dengan klem yang tetap melubangi kaca. Di sini digunakan kaca temperasi-laminasi, karena sebagai pembatas ruang olahraga squash.



Gambar 9.30. Dinding dan pintu kaca yang seolah tanpa *frame*, namun sesungguhnya memiliki pemegang di bagian atas dan bawah, dengan engsel dan purus yang ditanam pada lantai dan ambang atas dinding. Gambar tambahan adalah detail pemegang kaca.

Untuk pemasangan kaca pada bangunan tinggi, sistem konvensional tidak lagi dilakukan. Kaca diangkat ke atas menggunakan *crane* atau *gondola*. Kaca-kaca yang dipasang seolah tanpa *frame* seperti halnya Gambar 9.30, sesungguhnya memiliki *frame* di bagian belakang kaca. Kaca-kaca yang sudah ber-*frame* belakang ini kemudian diangkat ke atas dengan mesin dan *frame*-nya dipasang mengait pada kolom dan balok yang membentuk bangunan (Gambar 9.32 dan 9.33).



Gambar 9.31. Dinding kaca pada bangunan tinggi yang seolah-olah tanpa *frame*.
Frame sesungguhnya berada di belakang kaca.



Gambar 9.32. Kaca ber-*frame* diangkat ke atas menggunakan gondola.



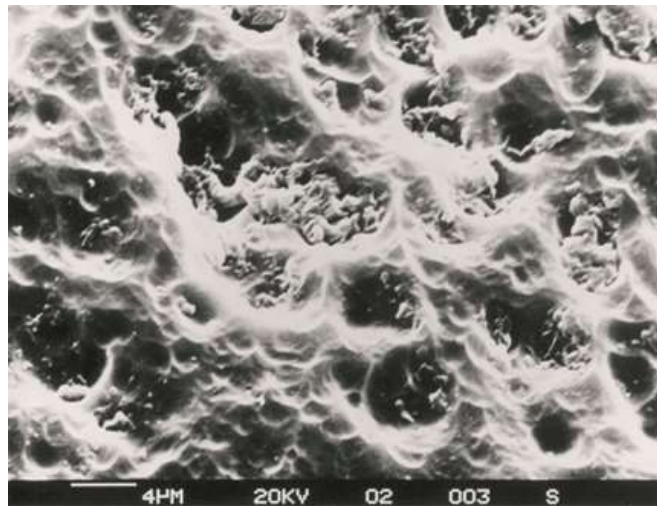
Gambar 9.33. Nampak *frame* berada di belakang kaca pada suatu modul kaca yang siap diangkat ke atas.

9.3. Pemeliharaan kaca

Sebagaimana umumnya material, maka setelah dipergunakan, kaca memerlukan pemeliharaan. Pemeliharaan paling sederhana adalah pembersihan. Pembersihan dimaksudkan untuk menghilangkan debu dan kotoran lain yang menempel pada kaca. Pembersihan kaca secara rutin akan menghindarkan munculnya jamur pada kaca. Jamur kaca sangat dimungkinkan tumbuh, terlebih pada iklim hangat lembab seperti Indonesia. Hal ini disebabkan meski nampak pampat, rata dan halus, permukaan kaca tetap memiliki pori-pori dan permukaannya tidak rata (Gambar 9.34), sehingga jamur dapat tumbuh di dalamnya.

Selain jamur kaca, kaca yang dipergunakan pada daerah yang airnya mengandung mineral atau kapur, juga dimungkinkan berkerak pada permukaannya. Kerak ini adalah hasil pengendapan mineral yang terkandung dalam air pada permukaan kaca. Hal ini dapat terjadi akibat percikan air hujan ke kaca atau pada kaca yang sengaja dipergunakan untuk mengalirkan air untuk keperluan estetika bangunan (Gambar 9.35). Jamur dan kerak kaca umumnya tidak dapat dibersihkan dengan air saja, namun membutuhkan bantuan bahan kimiawi. Bahan kimia yang umum digunakan adalah Cerium Oxide. Bahan ini berbentuk bubuk yang perlu dicairkan terlebih dahulu menggunakan air bersih. Bahan lain yang dapat digunakan adalah yang mengandung amonia dan turunannya. Sementara untuk membersihkan kerak mineral di kaca, dapat digunakan bahan kimia Hidrogen Fluorida.

Fluorida juga terkandung dalam pasta gigi, oleh karenanya dalam beberapa tips pembersihan kaca, penggunaan pasta gigi sering disarankan. Namun untuk kaca-kaca dalam ukuran besar, penggunaan pasta gigi tentu kurang efektif, oleh karenanya umumnya dipilih yang berupa cairan encer, sehingga dapat dikuaskan atau disemprotkan pada kaca untuk selanjutnya dikeringkan dengan kain lap yang lembut. Ketika kerak atau jamur yang terbentuk pada kaca cukup banyak dan masuk ke dalam, cairan pembersih ini harus dibantu dengan kertas gosok (amplas) yang lembut. Penggosokan permukaan kaca dapat dilakukan secara manual hanya dengan tangan dan amplas, atau menggunakan peralatan *polishing* (Gambar 9.38).



Gambar 9.34. Permukaan kaca di bawah mikroskop.
(Sumber <http://www.glassaccentsbend.com/clear-fusion-shower-coating/>)



Gambar 9.35. Kaca yang dialiri air untuk memberikan kesan alami dan keindahan. Ketika aliran air berhenti, umumnya kaca berkerak karena kandungan mineral di dalam air.
(Sumber <http://www.lwaterfalldesign.com/vigiluccis/>)



Gambar 9.36. Jamur kaca.

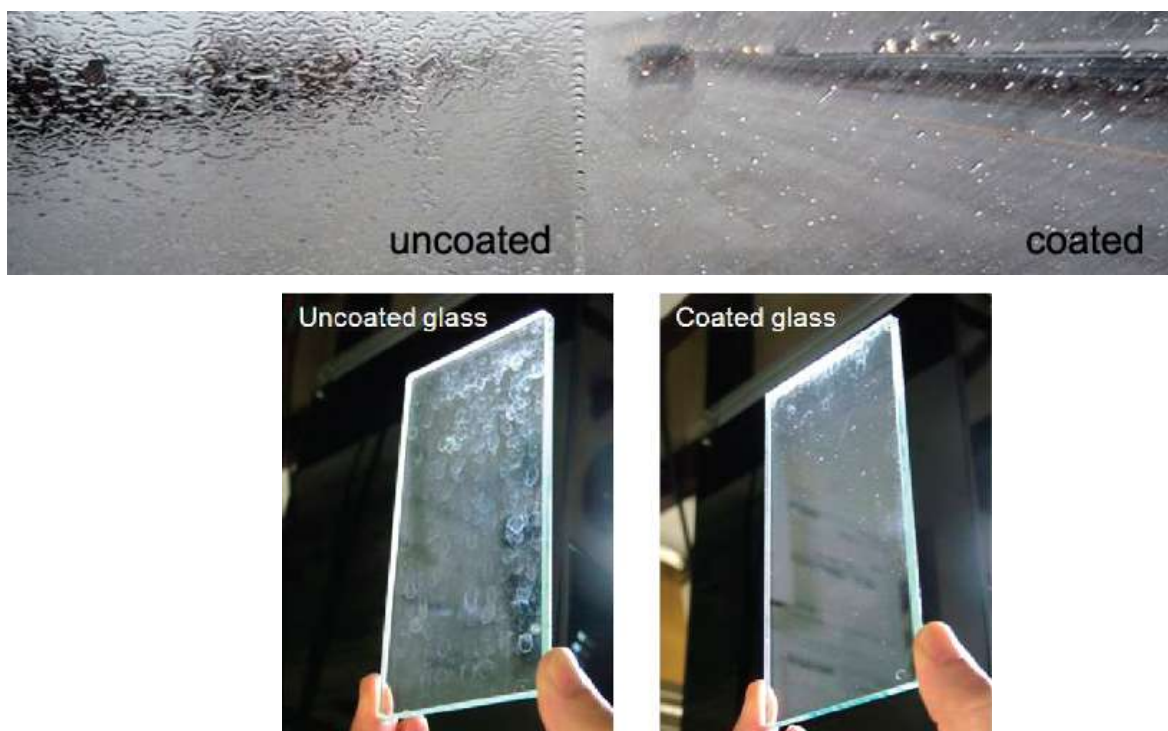


Gambar 9.37. Kerak pada kaca, terlihat kaca yang sudah dibersihkan keraknya dan yang belum. (Sumber <http://www.premium-nano-coating.biz/2014/01/kaca-kotor-dimasukkan-dalam-design-awal.html>)

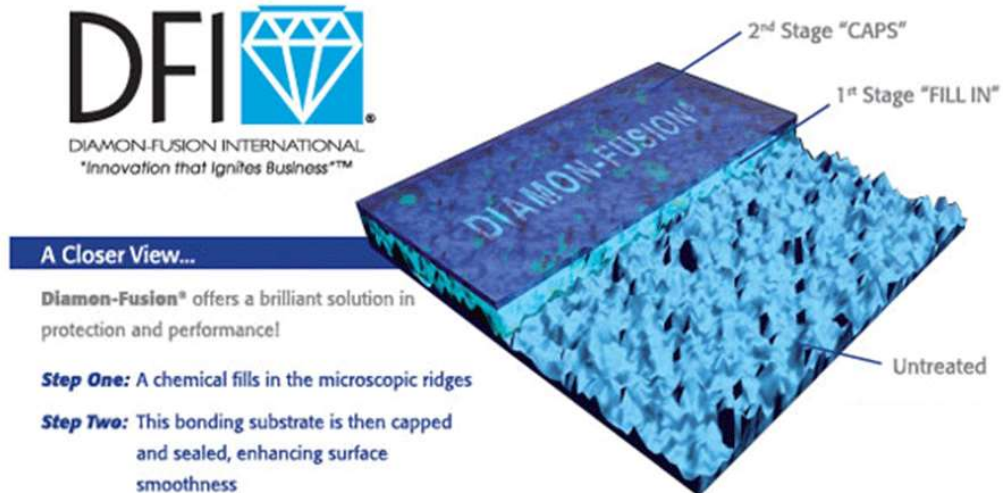


Gambar 9.38. Peralatan untuk membersihkan dan memoles kaca.

Pembersihan kaca nampak sebagai hal sederhana dan seringkali dilupakan, namun sesungguhnya hal inilah yang utama dilakukan untuk memperoleh kualitas kaca sebagaimana sifatnya sebuah material yang transparan. Kaca yang jarang dibersihkan akan menjadi kusam dan mengurangi kemampuannya meneruskan cahaya dan mengaburkan pemandangan. Untuk menghindari pembersihan yang berulang-ulang dalam waktu singkat dan mencegah kaca dari timbulnya jamur dan kerak selanjutnya, kaca juga dapat dibersihkan menyeluruh dan kemudian dilapisi dengan lapisan khusus pencegah jamur dan kerak. Cara terbaru pelapisan ini menggunakan teknologi nano atau *nano coating*. Kaca yang dapat dilapisi *nano coating* adalah kaca-kaca yang dibuat dari bahan dasar pasir silika dan tidak memiliki *coating* lain pada permukaannya (kaca murni). Dengan lapisan proteksi kaca yang menggunakan teknologi nano, pori-pori kaca akan tertutup sempurna dan membentuk lapisan proteksi yang bersenyawa dengan kaca (menjadi kaca yang bersifat *water repellent*). Selain untuk melindungi kaca dari munculnya jamur dan kerak, teknologi pelapisan nano juga digunakan untuk melindungi kaca dari faktor-faktor alamiah lainnya yang merasuk ke pori-pori kaca, misalnya: polusi udara, hujan asam, serta sinar UV dari radiasi sinar matahari terhadap kaca. Bahan yang digunakan untuk melapisi/ menutup pori-pori kaca adalah Titanium oxide (TiO_2).



Gambar 9.39. Penampakan kaca yang tidak mengalami *nano coating* dan yang diberi *nano coating*.
(Sumber <http://www.nano-zone.net/certificate.php>)



Gambar 9.40. Pemberian *nano coating* akan membuat permukaan kaca benar-benar tertutup sempurna. Contoh ini adalah pelapisan nano dengan metode dari Diamond-Fusion-International (DFI).

Jika pembersihan kaca pada bangunan rendah dapat dilakukan secara manual oleh pelaku tanpa keahlian khusus, maka pada bangunan tinggi, diperlukan tenaga pembersih dengan keahlian khusus, utamanya tidak takut ketinggian. Biasanya agen pembersih kaca pada bangunan tinggi merekrut para pemanjat tebing untuk melakukan pekerjaan ini. Agar proses pembersihan dapat dilakukan dengan aman, maka pembersih kaca pada bangunan tinggi memerlukan alat bantu. Adapun alat bantu paling sederhana adalah tali penggantung (Gambar 9.41) dan yang lebih aman dan nyaman bagi pekerja pembersih adalah kereta gantung (Gambar 9.42). Peralatan gantung ini bertumpu pada *gondola* yang berada pada atap bangunan tinggi.



Gambar 9.41. Pekerja pembersih kaca bangunan tinggi menggunakan tali penggantung saja.



Gambar 9.42. Pekerja pembersih kaca bangunan tinggi menggunakan kereta gantung.



Gambar 9.43. *Gondola* yang diletakkan pada atap bangunan tinggi untuk berbagai keperluan, salah satunya adalah membersihkan permukaan kaca dinding bangunan tersebut. *Gondola* bergerak menggunakan rel.

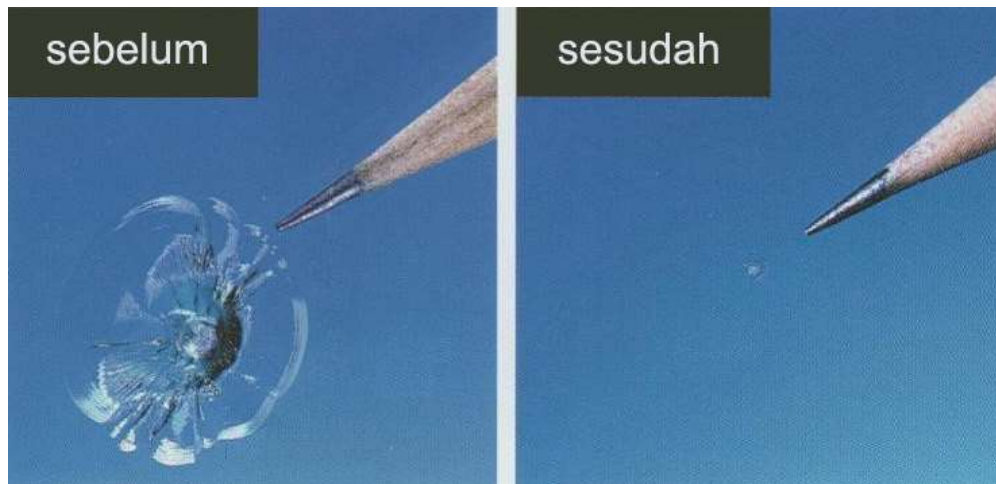
Selain karena kotoran, pemeliharaan kaca seringkali juga diperlukan karena adanya goresan pada kaca. Goresan kecil dapat disamarkan dengan menggunakan bahan sederhana seperti pasta gigi, soda kue, atau cat kuku bening. Bahan ini digosokkan atau dikuaskan pada kaca, selanjutnya permukaan kaca digosok menggunakan lap halus. Mengaburkan goresan dikaca juga dapat dilakukan menggunakan alat pemoles kaca (Gambar 9.38). Untuk goresan yang agak dalam, penggosokan dapat dibantu dengan amplas yang halus.

Kaca yang digunakan untuk bangunan juga dimungkinkan untuk mengalami retakan, baik memanjang maupun membulat. Jika retakannya kecil, maka dapat ditempuh sistem las kaca. Las kaca digunakan untuk menyambung antar lembaran kaca secara permanen atau memperbaiki permukaan kaca yang mengalami rusak kecil. Las kaca pada prinsipnya sama dengan pengelasan besi. Bagian kaca yang hendak disambung atau diperbaiki permukaannya dipanaskan pada suhu tertentu sehingga mencapai titik leleh. Lelehan ini akan membuat kaca saling tersambung (Gambar 9.44) atau diperbaiki bagian retaknya (Gambar 9.45). Las kaca kini umumnya dilakukan menggunakan laser. Proses pengelasan umumnya tidak dapat dilakukan langsung pada kaca yang telah terpasang, sehingga modul kaca yang retak tersebut harus dilepas terlebih dahulu, baru kemudian dipasang kembali setelah selesai di-las.

Jika retakan cukup besar, sebaiknya lembaran kaca tersebut diganti, demi keamanan pengguna bangunan. Oleh karenanya, pemasangan kaca dengan sistem modul-modul kecil lebih menguntungkan dibandingkan modul lembaran yang besar, karena penggantian dapat dilakukan hanya pada satu modul kecil saja.



Gambar 9.44. Proses penyambungan kaca lengkung dengan las kaca sistem laser.



Gambar 9.45. Bagian kaca yang retak (kiri) dan setelah dipanaskan dengan alat las (kanan).
(Sumber <http://laskaca.blogspot.com/>)

9.4. Pemotongan kaca

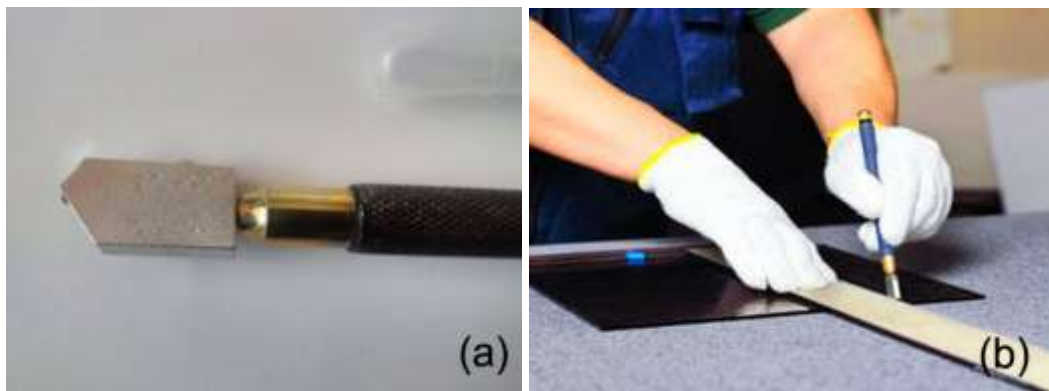
Selain disambung, kaca juga memerlukan pemotongan. Pemotongan pertama terjadi saat kaca selesai pada akhir produksi di pabrik. Lembaran kaca yang berjalan di *conveyor* beroda akan mengalami pemotongan tepi dan pada bagian tengah, sesuai kebutuhan. Potongan kaca terpanjang yang pernah dilakukan PT. Asahimas adalah sekitar 11 m, dengan lebar sepanjang jangkauan mesin pabrik yaitu sekitar 4 m. Sehingga kaca terbesar yang pernah diproduksi oleh PT. Asahimas adalah 11 m x 4 m, dengan tebal 8 mm (Kusnendar, 2015). Kaca sebesar ini sangat rentan ketika proses pengiriman dan pemasangannya. Hasil potongan kaca bagian tepi atau potongan bagian-bagian yang cacat ini oleh pabrik dikumpulkan dan dijadikan *cullet* (campuran ketika mulai memproduksi kaca lagi, baca Bab II).



Gambar 9.46. Mesin pemotong kaca otomatis yang digunakan di pabrik kaca.

Selain mengalami pemotongan otomatis menggunakan mesin di pabrik, kaca juga dibutuhkan pada potongan-potongan yang lebih kecil sesuai pesanan. Pemotongan lanjutan ini dapat dilakukan oleh industri hilir kaca, seperti PT. Magiglass, atau oleh toko-toko kaca. Tukang bangunan yang cukup ahli juga dapat melakukannya. Alat potong kaca *manual* adalah *cutter* khusus kaca dan tang (Gambar 9.47 dan 9.48).

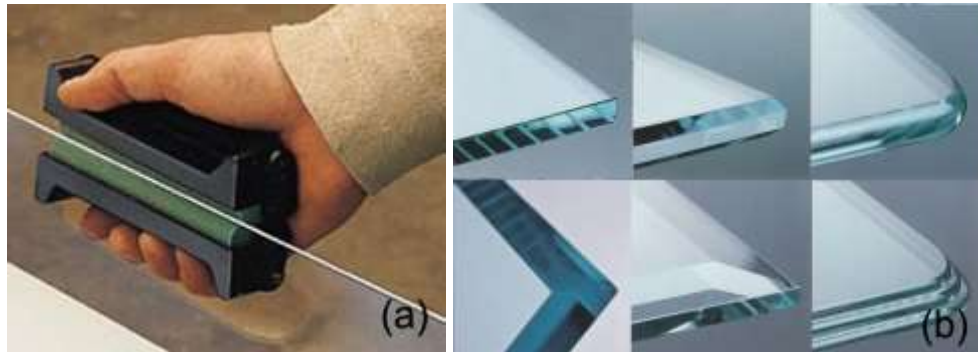
Selain dipotong pada sisi tepi, kaca juga dapat dilubangi pada bagian tengahnya sesuai pola tertentu yang diinginkan, biasanya adalah lingkaran. Selain dilubangi bagian tengah, kaca seringkali juga dibutuhkan untuk dipotong dalam keadaan lingkaran atau bulat. Pemotongannya juga dapat dilakukan secara manual menggunakan pemegang karet sebagai pusat lingkaran. Lanjutan dari proses potong tepi maupun tengah ini adalah penghalusan sisi hasil potongan agar kaca tidak tajam dan melukai. Penghalusan sederhana dapat dilakukan dengan kertas gosok atau amplas atau batuan (Gambar 9.49). Sedangkan penghalusan yang lebih profesional, termasuk untuk menghasilkan kerapian dan keindahan dilakukan dengan mesin yang disebut *bevel* (Gambar 9.49).



Gambar 9.47. Alat pemotong kaca manual (a) dan cara memotongnya (b).



Gambar 9.48. Alat pemotong kaca untuk membentuk lingkaran dengan karet pemegang sebagai titik pusat lingkaran.



Gambar 9.49. Menghaluskan tepi kaca dengan kertas gosok (a) atau dengan mesin sehingga memberentuk *bevel* yang bermacam-macam jenisnya (b).

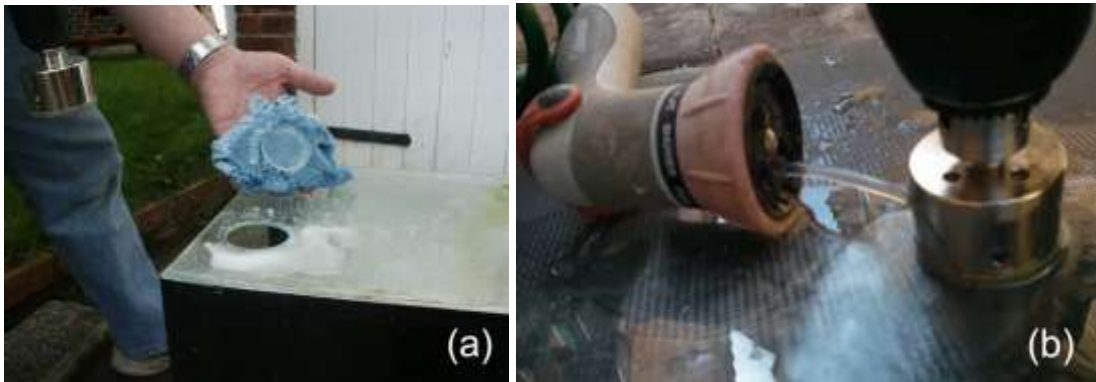


Gambar 9.50. Alat pembuat *bevel* kaca. Prosesnya disebut *beveling*.

Pada penggunaan kaca bangunan tanpa *frame*, maka kaca perlu dilubangi untuk penempatan baut-baut yang akan memegang kaca. Lubang ini dibuat dengan mengebor kaca menggunakan alat pengebor dengan mata bor khusus. Saat membor kaca, permukaan kaca harus dalam keadaan basah, sehingga selain disemprot air secara manual pelan-pelan, ada juga alat pengebor yang telah dilengkapi dengan selang dan wadah menyemprot air. Kecepatan alat bor juga perlu diatur sedemikian rupa agar tidak terlalu cepat atau lambat. Pengeboran yang lambat atau terlalu cepat justru dapat memecahkan kaca. Para ahli juga menyarankan untuk meletakkan/memasang lilin lunak atau plastisin di sekitar area yang hendak dibor (Gambar 9.52 dan 5.53). Plastisin yang diletakkan akan berguna untuk meletakkan air yang akan melindungi permukaan kaca dari keretakan ketika dibor.



Gambar 9.51. Berbagai ukuran mata bor khusus untuk membuat lubang di kaca.



Gambar 9.52. Mengebor kaca dengan cara dibasahi manual (a) atau menggunakan alat pengalir air (b).



Gambar 9.53. Melubangi kaca dibantu plastisin untuk menampung air. Nampak mata bor diposisikan miring terlebih dahulu untuk mencegah retak atau pecah.

Selain aspek lanjutan tentang penanganan kaca, perlu diperhatikan pula penggunaan peralatan tambahan untuk memindahkan kaca. Pada saat hendak dipindahkan, kaca sebaiknya tidak dipegang dengan tangan kosong, namun dengan karet vakum. Cara pemindahan semacam ini membuat kaca lebih aman dari retak dan tidak melukai pekerja yang memindahkan. Namun demikian, kemampuan hisap karet vakum perlu senantiasa diperiksa agar kaca tidak terlepas ketika digunakan.



Gambar 9.54. Karet penghisap kaca dan cara memindahkan kaca.

9.5. Material tambahan pada kaca

Ketika dipergunakan, seringkali kaca memerlukan perlakuan tambahan agar fungsinya lebih maksimal. Salah satu yang banyak diterapkan adalah penambahan kaca film. Fungsi kaca film adalah untuk membuat kaca lebih gelap, sehingga tidak menerima radiasi matahari secara berlebihan. Tingkat gelap kaca film bermacam-macam dan dihitung dengan persentase. Sistem persentase yang dipakai produsen dapat dibedakan menjadi dua, yaitu persentase melewatkan cahaya atau *view* dan persentase menutup cahaya atau *view*. Kaca film yang lebih mahal juga mampu menangkal sinar *ultra-violet* (UV) matahari.

Selain pelapisan terkait aspek termal, cahaya, dan view, kaca film juga dapat dilapiskan untuk memberikan kesan warna pada kaca, karena harganya lebih murah dibandingkan penggunaan *tinted glass* atau kaca yang memang memiliki warna tertentu.

Kini dikenal pula kaca film yang dipasang untuk menghalangi pandang, berupa kaca film yang buram putih susu atau yang bergambar berbagai macam hiasan atau pemandangan. Selain kaca film buram atau berpola hiasan, untuk menghalangi pandang dapat juga digunakan kaca film model cermin (*mirror*), sehingga setelah dilapisi, kaca menjadi seperti cermin.



Gambar 9.55. Persentase kaca film menurut kemampuan melewatkan cahaya/view.



Gambar 9.56. Persentase kaca film menurut kemampuan menutup cahaya/view.



Gambar 9.57. Kaca film dengan hiasan ilalang.



Gambar 9.58. Kaca film warna hijau yang dilapiskan pada kanopi kaca agar sesuai warna dinding.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus, Architectural Glass, Asahimas AGC Group Company Profile
- Anonimus, FGMA glassing manual, Kansas, USA, 1990
- Anonimus, International Building Code, International Code Council, 2003, 2006, 2009, 2012, 2015
- Anonimus, Indonesia Building Regulation, 2002
- Anonimus, Outdoor-indoor transmission class of concrete masonry wall, Tek 13-4A, National concrete masonry association publication, Virginia, 2012, p.3
- Anonimus, Pilkington NSG glass manual, Juni 2014
- Anonimus, Standar Nasional Indonesia SNI 03-6572-2001, 2001
- Anonimus, 2014. "Why is the sky blue, and sunsets red?: Blue and Red". Causes of Color. Institute for Dynamic Educational Advancement.
- ASTM E1332-90, Standard Classification for Determination of Outdoor-Indoor Transmission Class, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 19428-2959 USA, 1998, superseded by ASTM E1332-10a, Standard Classification for Rating Outdoor-Indoor Sound Attenuation, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 19428-2959 USA, 2010
- ASTM E90-09. Standard test method for laboratory measurement of airborne sound transmission loss of building partitions and elements, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 19428-2959 USA, 2009.
- ASTM E1332-90, Standard Classification for Determination of Outdoor-Indoor Transmission Class, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 19428-2959 USA, 1998, superseded by ASTM E1332-10a, Standard Classification for Rating Outdoor Indoor Sound Attenuation, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 19428-2959 USA, 2010.
- Bartholomew, R.F. 1991. Ion-exchange, Corning Inc. Engineered Materials Handbook, Vol 4: Ceramics and Glasses, ASM International.
- Buratti, C. 2002. Indoor noise reduction index with open window, *Applied Acoustics* 63 383-401.
- Buratti, C. 2006. Indoor noise reduction index with an open window (part II), *Applied Acoustics* 6: 431-451.
- Coley, D.A. 2008. Representing top-hung windows in thermal models, *International Journal of Ventilation*, 7:2, 151-158
- De Jong B.H.W.S, Beerkens R.G.C, Nijnatten, PAV. 2002. "Glass", in: "Ullmann's Encyclopaedia of Industrial Chemistry"; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA,
- De Salis, M.H.F, Oldham, D.J, Sharples, S. 2002. Noise control strategies for naturally ventilated buildings, *Building and Environment* 37: 471-484
- Feriadi, H. and Wong, N.H. 2004. Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia. *Energy and Building*, 36: 614-626.
- Ford, R.D and Kerry, G. 1973. The sound insulation of partially open double glazing, *Applied Acoustics* 6: 57-72

- Gao, C.F., Lee, W.L. 2010. Influence of window types on natural ventilation of residential buildings in Hong Kong, Proceeding of International High Performance Buildings Conference, paper 16, Purdue e-Pubs, Purdue University, USA.
- Garg, N., Sharma, O., Maji S. 2011. Experimental investigations on sound insulation through single, double & triple window glazing for traffic noise abatement. *J Sci Ind Res* 70: 471-478
- Hariyanto, A.D. 2005. Thermal comfort study of an air-conditioned design studio in tropical Surabaya. *Dimensi Journal of Architecture and Built Environment*, 33(1): 76-86
- Intang, S., Suryani, S., Rauf, N. Pengaruh Ketebalan Kaca Terhadap Nilai Konduktivitas Termal Berbagai Jenis Kaca, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin
- Iswar. 2005. Tingkat kebisingan dan nilai kebisingan di perumahan, studi kasus perumahan dosen UGM, Sekip Yogyakarta, unpublished Master dissertation, UGM, Yogyakarta
- Karyono, T.H. 2000. Report on Thermal Comfort and Building Energy Studies in Jakarta, Indonesia. *Building and Environment*, 35: 77-90.
- Kinnari, L. 2014. Improving the sound insulation of construction boards with a high damping glue, *Proc Inter Noise*, Melbourne
- Kirankumar, G., Saboor, S., Setty, A.B.T.P. 2017. Effect of Different Double Glazing Window Combinations on Heat gain in Buildings for Passive Cooling in Various Climatic Regions of India. *Materials today: proceedings* 4(2):1910-1916
- Lehman, R. The Mechanical Properties of Glass, Department of Ceramics and Materials Engineering Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, USA
- Lord, P. and Templeton, D. 1996. *Detailing for acoustic*, Taylor Francis, hal. 103.
- Lyons, A. 2010. *Material for Architects and Builders* 4th ed. Elsevier
- McMaster, R.A. 2009. Fundamentals of tempered glass, *Proc of 49th Conference on Glass Problems: Ceramic Engineering and Science Proceedings*, Volume 10, John Wiley and Sons, 2009.
- Mediastika, C.E. 2000. Design solutions for naturally ventilated houses in hot humid region with reference to noise and particulate matter reduction, unpublished PhD dissertation, University of Strathclyde, Glasgow, UK.
- Mediastika, C.E. 2005. *Akustika Bangunan*, Jakarta: Erlangga
- Mediastika, C.E., Kristanto, L., Anggono, J., Suhedi, F., Purwaningsih, H. 2015. Sound transmission class (STC) of fixed window glazing in warm humid environment, *Proc 7th International Conference on Environmental Science and Development (ICESD)*, Athens
- Mediastika, C.E., Kristanto, L., Anggono, J., Suhedi, F., Purwaningsih, H. 2016. Building glass OITC in warm temperature, *Procedia Engineering* 145: 630-637.
- Mediastika, C.E., Kristanto, L., Anggono, J., Suhedi, F., Purwaningsih, H. 2018. Open windows for natural airflow and environmental noise reduction, *Architectural Science Review*, 61(5): 338-348.
- Nassau, K. 2001. *The physics and chemistry of color: the fifteen causes of color*. NY: Wiley.

- Quirt, JD. 1981. Measurement of the sound transmission loss of windows. Building Research Note 72:1-7
- Pettersson, B. 1997. Indoor noise and high sound levels –a transcription of the Swedish National Board of health and welfare’s guidelines, J. of Sound & Vibration 205(4): 475 - 480
- Persson, R. 1969. Flat Glass Technology, Springer Science+ Business Media New York.
- Reddy, B.V.V and Jagadish, K.S. 2003. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. Energy and Buildings 35(2):129-137
- Sachwald, B.H and Thompson, C.P.H. 2011. An examination of the OITC metric for building façade design in New York City, Noise-Con 2011, Portland, Oregon.
- Stewart, N. 2008. Outdoor to indoor A-weighted sound level reduction of typical modular classrooms and assessment of potential performance improvements based on the outdoor-indoor transmission class spectrum, Proc 156th Meeting Acoustical Society of America, Florida
- Vogel, W. 1994. "Glass Chemistry"; Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co., 2nd revised edition.

PUSTAKA DARI INTERNET

- Anonimus, Acoustical guide – principles of acoustics, diakses dari https://www.saflex.com/saflex_acoustical_guide, pada 21 Sep, 2015
- Anonimus, Acoustic noise barrier wavebar, Pyrotek noise control, diakses dari www.pyroteknc.com, pada 21 Sep, 2015
- Anonimus, Chemical Fact Sheet - Chromium diakses dari www.speclab.com. pada 3 Agt 2006
- Anonimus, Information Standard Test Methods for Resistance of Glass Containers to Attack, ASTM C 225-85, Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.02, American Society for Testing and Materials.
- Anonimus, New windshield improves, vehicle interior cabin noise and articulation index, diakses dari <https://www.saflex.com/pdf/Saflex%C2%AE%20Technical%20Paper%20-%20New%20Windshield%20Improves%20Acoustic%20Experience.pdf>, pada 26 Okt, 2015
- Anonimus, Noise Control, diakses dari http://www.nationalglass.com.au/catalogues/NGP_Section_16.pdf, pada 29 Sep, 2015
- Anonimus, "Selenium". Illustrated Glass Dictionary. diakses dari <http://www.glassonline.com>. Archived from the original on 1 October 2011. pada 9 April 2014.
- Anonimus, Sound Control for Fenestration Products TIR-A1-03 diakses dari <http://stergis.com/sdb2/test?task=document.viewdoc&id=180>, pada 30 Sep, 2015
- Anonimus, Sound investment how the acoustical properties of building products are measured and why this is important, diakses dari http://www.jeld-wenresearch.com/_pdfs/Sound_Investment.pdf, pada 28 Sep, 2015

- Anonimus, Tiga jenis kaca yang sering digunakan pada bangunan, diakses dari <http://infoklasika.print.kompas.com/tiga-jenis-kaca-yang-sering-digunakan-pada-bangunan/>, pada 25 Mar, 2015
- Barbour R. "Glassblowing for Laboratory Technicians" (PDF). diakses dari wiredfreak.com. Archived from eBooks Collection/Laboratory/Glassblowing/Glassblowing for laboratory technicians - Barbour/Glassblowing for laboratory technicians - Barbour.pdf the original Check |url= value (help) (PDF). pada 9 April 2014.
- Cambridge University Press -Glasses for Photonics - Masayuki Yamane and Yoshiyuki Asahara, diakses dari http://assets.cambridge.org/97805215/80533/excerpt/9780521580533_excerpt.pdf pada 9 April, 2014
- Cristian Berto da Silveira^a, Sílvia Denofre de Campos^a, Elvio A. de Campos^a, Antônio Pedro Novaes de Oliveira, 2002 Crystallization Mechanism and Kinetics of BaO-Li₂O-ZrO₂-SiO₂ Glasses, Materials Research, diakses dari http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392002000100004 pada 9 April, 2014
- Glass Engineering, Professor Richard Lehman, Department of Ceramics and Materials Engineering, Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, USA, diakses dari <http://glassproperties.com/references/MechPropHandouts.pdf> pada 9 April, 2014
- Issitt DM. Formation of Gold Nanoparticles in Gold Ruby Glass: The influence of Tin Substances Used in the Making of Coloured Glass. diakses dari <http://1st-glass.1st-things.com>. pada 9 April, 2014
- Mackereth, Michael L., Acoustical testing: facts and misconceptions, diakses dari www.nwda.net/presentations/Acoustical%20Performance%20MLM%20Version.pdf pada 21 Sep, 2015
- Skelcher, B. Uranium Glass. diakses dari <http://www.glassassociation.org.uk>. pada 3 Agt 2006
- <http://fisikazone.com/pemuaian/>
- <http://www.agc.com/english/csr/environment/products/sp01.htmls> .
- http://www.bath.ac.uk/cwct/cladding_org/fdp/paper27.pdf.
- <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/fnr/fnr-163.pdf>
- http://www.sadevusa.com/product_page/synthesis-2/
- <http://www.nsg.com/en/sustainability/glassandclimatechange/embodiedc02infloatglass>
- <http://www.cmog.org/article/what-is-glass>
- <https://chemistry.stackexchange.com/questions/24078/how-does-hf-dissolve-glass>
- <https://www.youtube.com/watch?v=6ZBwluyR2Tc>
- http://www.neg.co.jp/glass_en/02.html<http://www.glazette.com/Glass-Knowledge-Bank-28/heat-strengthened-glass.html>
- <http://www.koppglass.com/blog/mechanical-properties-of-glass-design-to-survive-stress-impact-and-abrasion/>

dan seperti tercantum di bawah gambar-gambar yang ditampilkan dalam buku ini

GLOSARIUM

Annealing adalah suatu proses pendinginan terkontrol pada proses pembuatan kaca.

Basic fiber adalah serat kaca yang belum diproses, langsung dari alat pembentuknya.

Batch adalah bahan-bahan mentah untuk membuat kaca, proporsinya tepat dan telah dicampur, siap dikirim ke oven.

Bent glass adalah kaca *flat* yang terbentuk karena masuk ke bagian yg memiliki permukaan melengkung.

Beveling adalah proses finishing ujung kaca datar ke sudut *bevel*.

Blown glass adalah gelas kaca yang dibentuk oleh tekanan udara, seperti udara tekan atau ditiup melalui mulut.

Borosilicate glass adalah kaca silikat dengan kandungan B_2O_3 di atas 4% berat, ditandai dengan ekspansi termal yang rendah, viskositas versus suhu yang lama, dan kerapatan rendah.

Ceramic glass enamel adalah lapisan anorganik yang dekoratif, biasanya berwarna, untuk mengikat ke gelas pada suhu di atas $425^\circ C$

Chemically strengthened adalah kaca yang telah melalui proses penukaran ion untuk menghasilkan lapisan tekan pada permukaan yang di-treatment.

Colburn sheet process adalah pembuatan kaca lembaran dengan menekuk lembaran yang ditarik secara vertikal di atas gulungan yang menetapkan definisi hasilimbang.

Corrugated glass adalah kaca digulung untuk menghasilkan kontur bergelombang

Cullet adalah sisa potongan produk kaca atau bagian dari produk kaca sisa yang biasanya sesuai untuk penambahan *batch* mentah.

Debiteuse adalah sebuah blok tanah liat terlipat, dimana kaca melaluinya dalam proses Fourcault.

Dolomite adalah karbonat ganda dari kapur dan magnesium yang memiliki rumus umum $CaCO_3 \cdot MgCO_3$. Lihat juga limestone.

Double glazing adalah kaca berisolasi yang menggabungkan dua panel yang dipisahkan oleh celah udara.

Etched adalah (1) diproses dengan etsa. (2) lapuk sehingga permukaannya kasar.

Figured glass adalah kaca datar memiliki pola pada satu atau kedua permukaan.

Flat glass adalah sebuah istilah umum meliputi kaca lembaran, kaca piring, kaca pelampung, dan berbagai bentuk kaca gulung. Lihat istilah terkait bent glass.

Fourcault process adalah metode membuat kaca lembaran dengan menarik vertikal ke atas dari blok debituse yang ditempatkan.

Fully tempered glass adalah kaca datar yang telah di-*tempered* ke permukaan tinggi atau kompresi tepi untuk memenuhi persyaratan Spesifikasi C 1048

Glass blowing adalah pembentukan kaca panas dengan tekanan udara.

Glass ceramic adalah bahan padat, sebagian kristalin dan sebagian gelas, dibentuk oleh kristalisasi terkontrol dari kaca.

Heat-resisting glass adalah kaca mampu menahan guncangan termal yang relatif tinggi, karena koefisien ekspansi rendah atau kekuatan mekanik tinggi, atau keduanya.

Heat-strengthened glass adalah kaca yang telah di-*tempered* ke permukaan moderat atau kompresi tepi untuk memenuhi persyaratan Spesifikasi C 10.

Optical glass adalah kaca berkualitas tinggi yang memiliki sifat optik yang sangat spesifik, digunakan dalam pembuatan sistim optik.

Pot furnace adalah tungku untuk melelehkan kaca dalam pot.

Rolled glass adalah (1) kaca optik yang dibentuk dengan digulung ke pelat pada saat pembuatan (2) Kaca datar yang terbentuk dengan penggulangan.

Safety glass adalah kaca datar (termasuk kaca lengkung) yang dikonstruksi, diolah, atau dikombinasikan dengan bahan lain yang, jika pecah oleh kontak manusia, kemungkinan dan / atau tingkat keparahan luka potong dan menusuk yang mungkin timbul akibat kontak tersebut berkurang.

Scratch adalah kerusakan pada permukaan kaca dalam bentuk garis yang disebabkan oleh gerakan relatif suatu benda yang bersentuhan dengan permukaan kaca.

Soft glass adalah (1) kaca dengan viskositas yang relatif rendah pada suhu tinggi (2) kaca dengan titik pelunakan rendah (3) umumnya mengacu pada kaca yang mudah meleleh.

Tempered glass adalah istilah umum untuk kaca yang telah dikenai perlakuan termal yang ditandai dengan pendinginan cepat untuk menghasilkan lapisan permukaan yang kuat.

Wired glass adalah kaca dengan lapisan *wire mesh* /kawat ayam tertanam di kaca.

INDEKS

A

Acid etched glass

Aluminium

Anneal

Annealing lehr

Asahimas

B

Batch

Bent glass

Beveling

Blown glass

Borosilicate glass

Bull's eye

C

Cast glass

Carved glass

Channel glass

Chemically strengthened

Coated glass

Colburn sheet process

Corrugated glass

Cullet

D

Debiteuse

Dichroic glass

Double glazing

E

Etched glass

F

Flat glass

Flint glass

Float glass

Fourcalt process

Frosted glass

Fully tempered glass

G

Glass block

Glass brick

H

Heat-resisting glass

Heat-strengthened glass

Heat-treated glass

K

Kaca film

Kayu

Kusen

L

Laminated glass

Low-e glass

M

Magi glass

Mirror

Mulia glass

N

Non-slip glass

O

OITC

P

Painted glass

Pasir silika

Patterned glass

Pilkington

Pot furnace

Pyrex

Q

Quenching

R

Regenerative furnace

Rolled glass

S

Safety glass

Sealant

SHGC

Smart glass

Solarization

Spider fitting

STC

Spandrel glass

T

Tank furnace

Tempered glass

Tinted glass

Tossa glass

TL

U

U-factor

Ultra Violet

uPVC

V

Vycor glass

Visual transmittance

W

Water repellent glass

Wired glass