

## ABSTRACT

In recent years, the use of waste glass powder as a partial replacement of cement has introduced widely to reduce the amount of waste glass from the environment. Utilization of waste glass as cement replacement can contribute to reduce cement production that creates a greenhouse effect so that it can cut down the increasing environment pressure. The aims of this thesis were to investigate the pozzolanic characteristics of hardened cement paste inclusion with glass powder and the mechanical strength properties of mortar when cement is partially replaced with various sizes of glass powder and different level of replacement.

In the experiment, the analysis was divided into two sections. One was microstructural analysis of cement paste incorporating with Glass Powder and another was mechanical strength behavior. Characterization of pozzolanicity in terms of hydration, development of hydrated products, identification of microstructure, chemical composition of hydrated products, structure of materials by means of hydration were analyzed through several experiments such as X-Ray Diffraction (XRD), Thermal Analysis (TGA and DTA), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) in microstructural analysis section. The main products during hydration that are Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) and Calcium Hydroxide (CH) were investigated to know the pozzolanic characteristics of samples. Mechanical properties in terms of compressive strength test was investigated in another section. For both microstructural analysis and mechanical strength analysis, soda lime glass powder with varying particle sizes in the range of 150-75 $\mu\text{m}$ , 75-38 $\mu\text{m}$  and <38 $\mu\text{m}$  were used as cement replacement with progressive curing of 1, 7, 21, 28, 56, 90 Days. Cement was replaced with 10%, 20%, 30% and 40% glass powder with constant water to cement ratio 0.45.

In the FT-IR analysis, it was observed that cement paste with <38 $\mu\text{m}$  glass powder showed the strong peak of Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) formation at higher stages for the replacement level of 10%, 20% and 30% with decreasing peak of another hydrated product Calcium Hydroxide ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) which fulfills the characteristics of pozzolanicity in terms of hydration. A similar result was also found for X-Ray diffraction analysis. With the hydration of both  $\text{C}_3\text{S}$  and  $\text{C}_2\text{S}$ , the production of C-S-H increases with time. From thermal analysis, it can be concluded that the decomposition of CH is decreased with increasing the decomposition of C-S-H simultaneously at 90 days for 75-38 $\mu\text{m}$  and <38 $\mu\text{m}$  glass powder. The microstructure analysis, SEM shows the formation of C-S-H (vide infra) is surrounded by many needle-like structures. It proves the development of C-S-H which makes the structure dense and compacted in nature gradually, while a part of cement is replaced by glass powder. Low Ca/Si ratio of cement paste supports the findings of microstructural analysis. From compressive strength, it can be concluded that the optimum percentage for clear glass powder as cement replacement is 10% by weight in mortar production with water to cement ratio 0.45. The compressive strength decreases with increasing replacement level and lower particle size shows the highest strength.

Based on the results and observations, glass powder shows impressive results in the microstructure as well as compressive strength for <38 $\mu\text{m}$  glass powder. It can be concluded that the addition of waste glass can show better pozzolanic characteristics and enhance the performance of mechanical strength as cement replacement.

## ABSTRAK

Sejak beberapa tahun kebelakangan ini, penggunaan serbuk kaca buangan sebagai pengganti sebahagian simen telah diperkenalkan secara meluas untuk mengurangkan jumlah sisa kaca dari alam sekitar. Penggunaan kaca buangan sebagai gantian simen boleh menyumbang kepada pengurangan pengeluaran simen yang menyebabkan kesan rumah hijau supaya ia dapat mengurangkan tekanan persekitaran yang semakin meningkat. Tujuan karya ini ialah untuk melihat ciri-ciri pozzolanik daripada pes simen keras yang dimasukkan dengan serbuk kaca dan sifat-sifat kekuatan mekanikal apabila sebahagian mortar simen digantikan dengan pelbagai saiz serbuk kaca dan tahap penggantian yang berbeza.

Dalam eksperimen ini, analisis dibahagikan kepada dua seksyen. Pertama adalah analisis mikrostruktur pes simen digabungkan dengan serbuk kaca dan kedua adalah sifat kekuatan mekanikal. Pencirian pozzolanik dari segi penghidratan, pembangunan produk terhidrat, mengenalpasti mikrostruktur, komposisi kimia produk terhidrat, struktur bahan melalui penghidratan dianalisis melalui beberapa eksperimen seperti X-Ray Diffraction (XRD), kaedah terma (TGA dan DTA), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Scanning Electron Microscopy (SEM) dan Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) dalam seksyen analisis mikrostruktur. Produk utama semasa penghidratan ialah Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) dan Calcium Hydroxide (CH) yang telah diuji untuk mengetahui ciri-ciri pozzolanik sampel tersebut. Sifat mekanik dari segi ujian kekuatan mampatan telah diuji di seksyen yang lain. Bagi kedua-dua analisis mikrostruktur dan analisis kekuatan mekanikal, serbuk kaca soda kapur dengan pelbagai saiz zarah dalam lingkungan 150-75 $\mu$ m, 75-38 $\mu$ m dan <38 $\mu$ m telah digunakan sebagai pengganti simen dengan pengawetan progresif 1, 7, 21, 28, 56, 90 hari. Simen digantikan dengan 10%, 20%, 30% dan 40% serbuk kaca dengan nisbah air 0.45 yang berterusan.

Dalam analisis FT-IR, pemerhatian mendapati bahawa pes simen dengan serbuk kaca <38 $\mu$ m menunjukkan kemuncak kekuatan bagi pembentukan Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) di peringkat yang lebih tinggi untuk tahap penggantian 10%, 20% dan 30% dengan penurunan kemuncak produk terhidrat lain iaitu Calcium Hydroxide (Ca(OH)<sub>2</sub>) yang memenuhi ciri-ciri pozzolanik dari segi penghidratan. Keputusan yang sama juga dijumpai untuk analisis X-Ray Diffraction. Dengan penghidratan kedua-dua C<sub>3</sub>S dan C<sub>2</sub>S, penghasilan C-S-H akan meningkat seiring dengan masa. Dari analisis terma, dapat disimpulkan bahawa penguraian CH adalah menurun dengan peningkatan penguraian C-S-H serentak pada 90 hari untuk 75-38 $\mu$ m dan <38 $\mu$ m serbuk kaca. Analisis mikrostruktur, SEM menunjukkan pembentukan C-S-H (vide infra) dikelilingi oleh struktur seperti jarum yang banyak. Ini membuktikan pembentukan C-S-H yang menjadikan struktur padat dan dipadatkan dalam alam semula jadi secara beransur-ansur, manakala sebahagian daripada simen digantikan dengan serbuk kaca. Nisbah Ca/Si pes simen yang rendah menyokong dapatan analisis mikrostruktur. Dari kekuatan mampatan, dapat disimpulkan bahawa peratusan optimum untuk serbuk kaca yang jelas sebagai pengganti simen adalah 10% mengikut berat dalam pengeluaran mortar dengan 0.45 nisbah air untuk simen. Kekuatan mampatan menurun dengan tahap penggantian meningkat dan saiz zarah yang lebih rendah menunjukkan kekuatan tertinggi.

Berdasarkan keputusan dan pemerhatian, serbuk kaca menunjukkan keputusan yang memberangsangkan dalam mikrostruktur serta kekuatan mampatan bagi serbuk kaca <38 $\mu$ m. Kesimpulannya, penambahan sisa kaca boleh menunjukkan ciri-ciri pozzolanik yang lebih baik dan meningkatkan prestasi kekuatan mekanikal sebagai penggantian simen.