



Limbah Partikel Keramik Platinum dan Kaca Lampu Clear Philips sebagai Additive Semen Pengeboran ditinjau *Compressive Strength*, *Shear Bond Strength*, dan *Thickening Time*

Adi Ilcham^{1*}, Nur Risa Awlia¹

¹Program Studi Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta, Jl. SWK Jl. Ring Road Utara No.104, Ngropoh, Condongcatur, Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55283.

*E-mail: adi_ilcham@upnyk.ac.id

Abstract

Ceramic and glass particle waste is generated in large quantities as a result of their extensive use in various applications. Inappropriate disposal of the waste can lead to environmental degradation and health hazards. This research utilizes ceramic and glass wastes as drilling cement additives in the oil and gas industry. The objective of this research is to study the effect of adding ceramic and glass waste on the properties of drilling cement, including compressive strength, shear bond strength, and thickening time. With composition percentage ratios of 10%, 20%, 30%, 35%, and 40% by weight of cement, the slurry was poured into 1.2x2 inch cubic molds to test compressive strength and into 1.2x2 inch cylindrical molds to test shear bond strength. The findings of this study indicate that the addition of ceramic and glass waste as a drilling cement additive has a positive effect on compressive strength, shear bond strength, and thickening time and is also effective for use as an alternative additive in drilling cement operations.

Keywords: Ceramic waste; glass waste; additive; compressive strength; cement drilling

Pendahuluan

Limbah partikel keramik dan kaca merupakan bahan tidak dapat terurai secara alami dan menimbulkan tantangan lingkungan yang signifikan, karena penumpukannya di tempat pembuangan akhir (TPA) berkontribusi terhadap degradasi lingkungan. Pemanfaatan limbah partikel keramik dan kaca dalam industri semen pengeboran adalah cara yang berkelanjutan untuk mengelola limbah yang dihasilkan oleh bahan-bahan ini. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh limbah partikel keramik dan kaca terhadap sifat-sifat semen pengeboran diantaranya *compressive strength*, *shear bond strength*, dan *thickening time* untuk mengetahui keefektifannya sebagai *additive* semen pengeboran dalam industri minyak dan gas. Selain itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan *additive* limbah partikel keramik dan limbah partikel kaca. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu mempelajari pemanfaatan limbah partikel keramik dan limbah partikel kaca sebagai bahan tambahan pada operasi semen pengeboran serta mengetahui pengaruh penambahan *additive* limbah partikel keramik dan kaca terhadap kualitas semen pengeboran.

A. Sifat Fisik Semen Pengeboran

Cementing adalah proses penting dalam industri minyak dan gas yang melibatkan pemompaan bubuk semen ke dalam lubang sumur untuk menciptakan penghalang permanen antara *casing* dan formasi batuan di sekitarnya. Bubuk semen terdiri dari semen, air, dan berbagai bahan tambahan yang meningkatkan sifat dan kinerjanya. Hal ini dipilih berdasarkan kondisi sumur tertentu, seperti suhu, tekanan, dan formasi geologi.

Salah satu sifat bubuk semen yang paling penting adalah *compressive strength*, yang mengacu pada kemampuan semen untuk menahan deformasi dan kegagalan di bawah kuat tekanan. *Compressive strength* bubuk semen penting karena memastikan bahwa semen dapat menopang berat selubung dan mencegah pergerakan atau keruntuhan lubang sumur. *American Petroleum Institute* (API) menetapkan standar untuk persyaratan kekuatan tekan minimum untuk bubuk semen, tergantung pada kondisi sumur dan ke dalaman sumur. Untuk mencapai *compressive strength* yang diinginkan, berbagai *additive* ditambahkan ke dalam bubuk semen. Sebagai contoh, *silica flour* dapat meningkatkan kekuatan tekan dengan mengisi rongga-rongga di antara partikel-partikel semen dan meningkatkan densitas bubuk.

Sifat penting lain dari bubuk semen adalah kekuatan ikatan geser atau *shear bond strength*, yang mengacu pada kemampuan semen untuk melekat pada selubung dan formasi batuan di sekitarnya. *Shear bond strength* penting karena memastikan bahwa semen membentuk segel yang rapat antara selubung dan formasi, sehingga mencegah migrasi fluida di antara keduanya. Polimer seperti hidroksietil selulosa (HEC) dapat meningkatkan *shear bond*



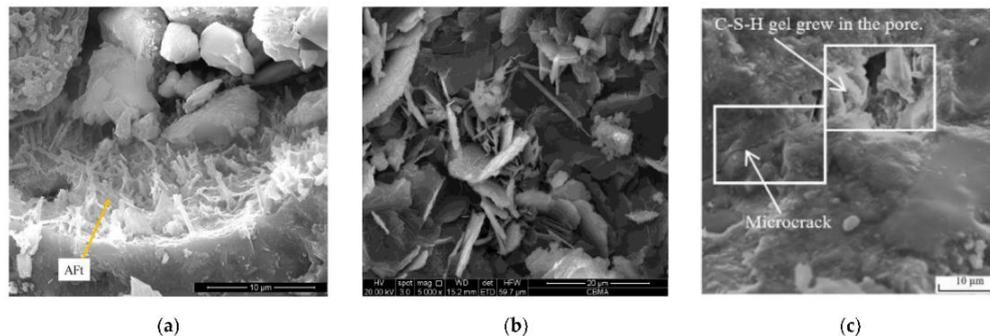
strength dengan meningkatkan viskositas bubuk dan mengurangi kecenderungan semen untuk mengendap atau terpisah.

Selain *compressive strength* dan *shear bond strength*, *thickening time* adalah sifat penting lainnya dari bubuk semen. Waktu pengentalan mengacu pada waktu yang dibutuhkan bubuk semen untuk mencapai konsistensi tertentu. Hal ini penting karena dapat menentukan jumlah waktu yang tersedia untuk memompa bubuk ke dalam lubang sumur sebelum menjadi terlalu kental untuk dipompa. *Additive* yang dapat ditambahkan ke dalam bubuk semen dalam mengontrol *thickening time* diantaranya *retarder* seperti lignosulfonat atau asam sitrat untuk meningkatkan waktu pengentalan dengan memperlambat pengaturan semen. *Additive* spesifik yang dipilih tergantung pada kondisi sumur dan sifat yang diinginkan, seperti *compressive strength*, *shear bond strength*, dan *thickening time*.

B. Mekanisme Pengerasan Semen

Semen adalah bahan konstruksi umum yang mengeras dan bertambah kuat dari waktu ke waktu melalui proses kimiawi kompleks yang dikenal sebagai hidrasi. Selama hidrasi, komponen utama semen - *klinker*, gipsum, dan bahan tambahan lainnya bereaksi dengan air untuk membentuk kalsium-silikat hidrat (C-S-H) dan senyawa kristal lainnya.

Proses pengerasan semen dapat dibagi menjadi beberapa tahap. Awalnya, air yang ditambahkan ke dalam campuran semen memicu pelarutan partikel semen, yang melepaskan ion kalsium, aluminium, dan silikon. Ion-ion ini kemudian bereaksi membentuk kristal C-S-H dan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), yang mengisi rongga-rongga di dalam semen dan bertindak sebagai bahan pengikat. Saat reaksi hidrasi berlangsung, kristal C-S-H dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terus tumbuh dan saling mengunci satu sama lain, membentuk matriks yang kuat dan padat. Selain itu, senyawa lain seperti *ettringite* dan monosulfat juga terbentuk, yang berkontribusi pada kekuatan dan daya tahan semen. Proses hidrasi dapat memakan waktu beberapa minggu untuk menyelesaikannya, dan kekuatan serta kekerasan semen meningkat seiring waktu karena kristal terus tumbuh dan saling mengunci. Sehingga, kekuatan dan kekerasan akhir semen bergantung pada berbagai faktor seperti komposisi kimia semen, rasio air-semen, kondisi pengawetan, dan keberadaan bahan tambahan lainnya.



Gambar 1. SEM dari Morfologi Produk Rehidrasi. (a) *Ettringite*, (b) Campuran $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan CaCO_3 , (c) Gel C-S-H. (Liangshun Li, 2023)

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium untuk menguji sifat fisik semen kelas G dengan menggunakan limbah partikel keramik merek Platinum dan limbah lampu *clear* merek Philips sebagai bahan tambahan. Proses membuat *slurry* menggunakan perhitungan by weight of cement (BWOC) yaitu jumlah suatu bahan yang ditambahkan ke dalam campuran semen berdasarkan berat semen. *Slurry* dimasukkan ke dalam cetakan berbentuk kubik untuk menguji *compressive strength* dan cetakan silinder untuk menguji *shear bond strength*. Kemudian melakukan pengujian untuk mengetahui nilai *compressive strength* dan *shear bond strength* yang sudah divariasikan waktu pengeringannya yaitu selama 6 jam, 12 jam, 24 jam, dan 72 jam. Penelitian ini juga memvariasikan persentase penambahan aditif yaitu 10%, 20%, 30%, 35%, 40% BWOC. Selanjutnya, membandingkan nilai *compressive strength*, *shear bond strength*, dan *thickening time* dengan variabel kontrol yang hanya menggunakan semen kelas G.

1. Proses Pembentukan Serbuk Keramik dan Kaca

Siapkan limbah partikel keramik merek platinum dan kaca lampu *clear* philips yang sudah dikumpulkan. Kemudian pecahkan masing-masing sampel di dalam wadah yang berbeda. Setelah terpecah, sampel digerus hingga menjadi serbuk. Selanjutnya, serbuk yang dihasilkan diayak menggunakan ayakan -200+325 mesh.

2. Proses Pembuatan *Slurry* Semen

Menimbang bubuk semen dan aditif yang diperlukan dengan menggunakan timbangan analitis. Perbandingan semen dan aditif menggunakan variasi 10%, 20%, 30%, 35%, 40% BWOC. Kemudian sebanyak

200 ml air dimasukkan ke dalam *mixing container* berisi campuran semen dan aditif. Selanjutnya, aduk bahan menggunakan *multi mixer* hingga sampel tercampur dengan baik.

3. Pengujian Sifat Fisik Semen

a. Pengujian *Thickening Time*

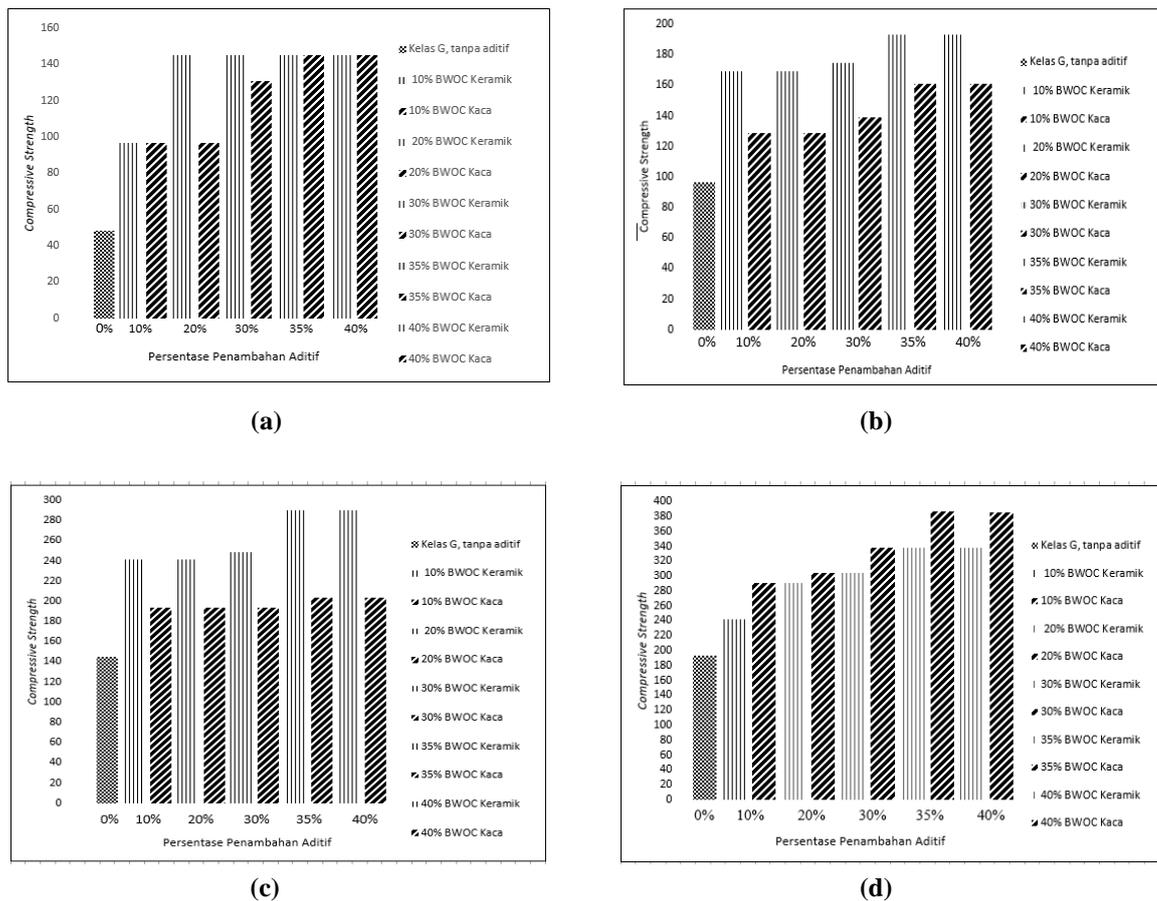
Slurry dituang ke dalam *slurry container* hingga ketinggian yang ditunjukkan oleh garis batas. *Paddle* yang telah dilapisi *grease* dipasang pada *lid*, kemudian memasang *lid* yang telah terpasang *paddle* pada *slurry container* dan dimasukkan ke dalam *atmospheric consistometer*. Menghidupkan *switch master* dan set temperatur pada skala yang diinginkan. Menghidupkan motor dan *stop watch* dan baca skala penunjuk. Catatlah hasil pengujian *thickening time*.

b. Pengujian *Compressive Strength* dan *Shear Bond Strength*

Slurry yang telah tercampur dengan baik dituang ke dalam cetakan berbentuk kubik 1,2x2 inch untuk menguji *compressive strength* dan cetakan silinder berukuran 1,2x2 inch untuk menguji *shear bond strength*. Kemudian didiamkan dengan variasi waktu 6 jam, 12 jam, 24 jam, dan 72 jam. Pengujian dilakukan menggunakan mesin *hydraulic press*.

Hasil dan Pembahasan

A. Perbandingan *Compressive Strength* pada Berbagai Waktu Pengerasan



Gambar 2. Grafik Perbandingan *Compressive Strength* Penambahan Additive Serbuk Keramik dan Serbuk Kaca (a) 6 Jam, (b) 12 Jam, (c) 24 Jam, (d) 72 Jam.

Berdasarkan gambar 2 dapat dilihat perbandingan nilai *compressive strength* penambahan aditif selama 6 jam, 12 jam, 24 jam, dan 72 jam. Hasil pengujian *compressive strength* pada semen kelas G, tanpa aditif selama 6 jam bernilai 48.32 psi. Kemudian, pada waktu pengerasan selama 12 jam mengalami kenaikan sebesar 96.64 psi. Selanjutnya, pada waktu pengerasan selama 24 jam nilai CS juga meningkat sebesar 145.00 psi. Nilai CS pada semen kelas G tanpa aditif terus meningkat seiring dengan lamanya waktu pengerasan. Hal ini dibuktikan pada waktu pengerasan selama 72 jam, nilai CS bertambah menjadi 193.32 psi.

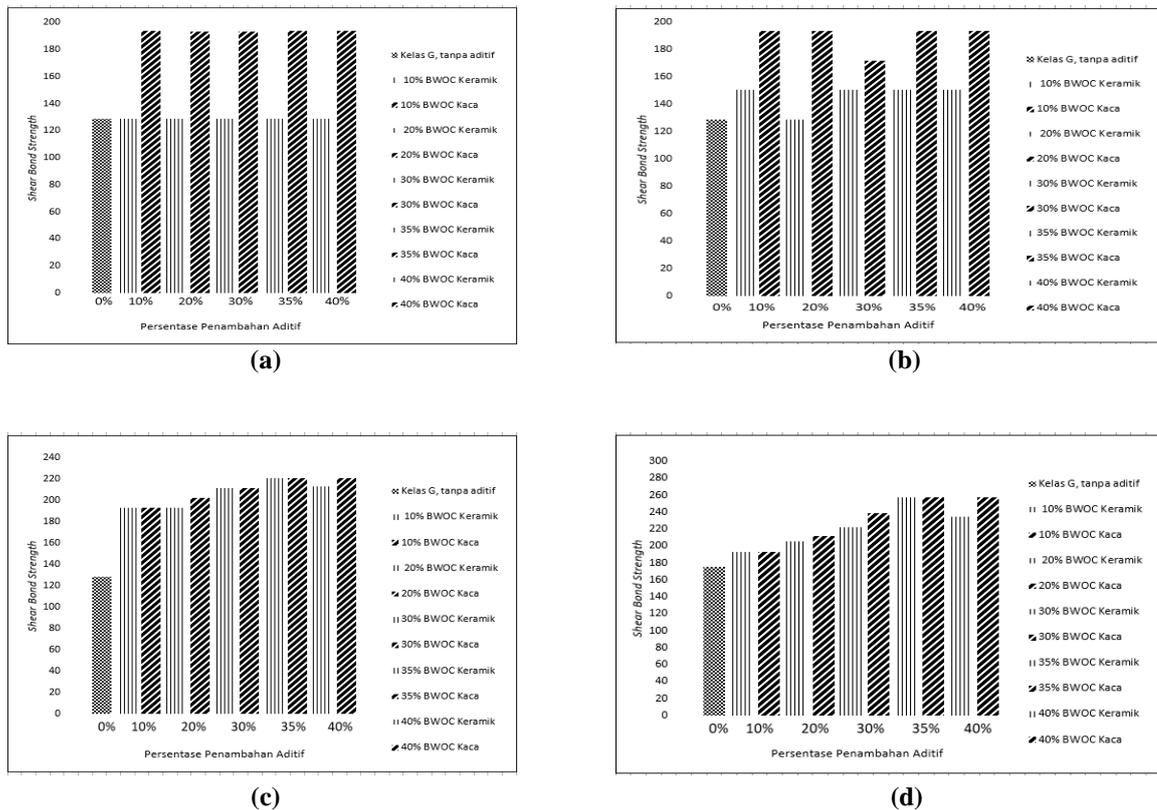
Pada grafik perbandingan CS waktu pengerasan selama 6 jam dengan penambahan aditif serbuk keramik atau kaca 10% BWOc didapatkan hasil yang sama yaitu 96.64 psi. Setelah waktu pengerasan 12 jam, nilai CS pada penambahan aditif serbuk keramik meningkat dan mendapat hasil yang lebih besar dibanding serbuk kaca yaitu sebesar 169.02 psi.

Sedangkan, penambahan aditif serbuk kaca mendapat nilai CS sebesar 128.86 psi. Pada waktu pengerasan yang berbeda yaitu selama 24 jam dan 72 jam, nilai CS pada penambahan 10% BWOC serbuk keramik didapat 241.64 psi. Kemudian, penambahan aditif serbuk kaca pada waktu pengerasan selama 24 jam mendapat nilai CS sebesar 193.32 psi dan bertambah nilainya menjadi 290.005 pada waktu pengerasan 72 jam.

Nilai CS yang didapat dengan penambahan aditif 20% BWOC serbuk keramik selama 6 jam waktu pengerasan yaitu sebesar 145.00 psi. Nilai CS ini hampir 2x lebih besar dari penambahan aditif serbuk kaca yang hanya mendapatkan 96.64 psi. Sama seperti waktu pengerasan selama 6 jam, nilai CS dengan penambahan aditif serbuk keramik juga mendapat nilai 2x lebih besar dari serbuk kaca pada waktu pengerasan selama 12 jam. Hasil uji CS penambahan aditif serbuk kaca bernilai lebih besar dibanding penambahan aditif serbuk keramik didapat pada waktu pengeringan 72 jam sebesar 304.38 psi.

Dapat diamati perbandingan grafik di atas, hasil pengujian *compressive strength* yang didapat pada penambahan aditif serbuk keramik bernilai lebih besar pada variasi waktu pengerasan selama 6-24 jam dengan konsentrasi 30-40% BWOC. Sedangkan, nilai CS dengan penambahan aditif serbuk kaca mendapat hasil yang optimal pada waktu pengerasan selama 72 jam. Beberapa faktor dapat mempengaruhi nilai *compressive strength* diantaranya yaitu rasio air dan semen yang secara signifikan mempengaruhi kekuatan semen pengeboran. Rasio air-semen yang lebih tinggi menghasilkan pasta semen yang lebih lemah. Selain itu, kondisi pengeringan, termasuk suhu dan kelembaban, dapat mempengaruhi kualitas kekuatan semen pengeboran. Suhu dan kelembaban yang tinggi dapat mempercepat peningkatan kekuatan semen, sementara suhu dan kelembaban yang rendah dapat memperlambatnya.

B. Perbandingan *Shear Bond Strength* pada Berbagai Variasi Waktu Pengerasan



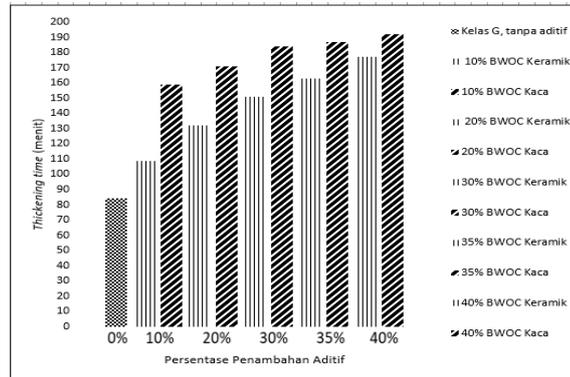
Gambar 3. Grafik Perbandingan *Shear Bond Strength* Penambahan Additive Serbuk Keramik dan Serbuk Kaca (a) 6 Jam, (b) 12 Jam, (c) 24 Jam, (d) 72 Jam.

Berdasarkan gambar 3 dapat dilihat perbandingan nilai *shear bond strength* tanpa penambahan aditif selama 6 jam, 12 jam, 24 jam, dan 72 jam. Hasil pengujian *shear bond strength* pada semen kelas G, tanpa aditif selama 6-12 jam bernilai 129.04 psi. Kemudian, pada waktu pengerasan selama 24 jam mengalami kenaikan sebesar 193.61 psi. Namun, pada waktu pengerasan selama 72 jam nilai CS menurun menjadi 175.46 psi. Nilai SBS optimal didapat pada semen kelas G dengan waktu pengerasan selama 24 jam.

Pada waktu pengerasan selama 6 jam nilai SBS yang sama didapat pada semua variasi persentase penambahan aditif serbuk keramik yaitu 129.04 psi. Begitu juga dengan penambahan aditif serbuk kaca yang bernilai 193.61. Kemudian, nilai SBS terus meningkat seiring dengan persentase penambahan aditif serbuk kaca pada waktu pengerasan selama 12 jam. Dapat diamati, nilai *shear bond strength* tertinggi didapat pada penambahan 35% BWOC

serbuk keramik untuk pengeringan 24 jam dan 72 jam. Sedangkan, nilai SBS untuk penambahan serbuk kaca didapat pada 35-40% BWOC dengan waktu pengeringan 72 jam. Hal ini dapat dipengaruhi oleh jenis *additive* yang mengikat karena adanya perbedaan koefisien muai panas pada setiap bahan. Selain itu, kondisi pengujian seperti laju pembebanan, geometri spesimen, dan jenis pembebanan juga dapat mempengaruhi nilai SBS.

C. Perbandingan *Thickening Time* Semen Campuran



Gambar 4. Grafik Perbandingan *Thickening Time* Semen Campuran pada Berbagai Persentasi BWOC

Berdasarkan gambar 4 perbandingan pengujian *thickening time* waktu pengentalan terbaik diperoleh dari penambahan *additive* serbuk keramik. Penambahan serbuk keramik pada semen pengeboran memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan penambahan serbuk kaca karena partikel keramik memiliki kekuatan mekanik dan stabilitas termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan partikel kaca. Partikel keramik dapat lebih tahan terhadap tekanan dan suhu tinggi yang dialami selama operasi pengeboran, sehingga menghasilkan matriks semen yang lebih tahan lama dan stabil. Partikel kaca lebih rapuh dan rentan terhadap keretakan dalam kondisi seperti ini, yang dapat membahayakan integritas selubung semen dan menyebabkan ketidakstabilan lubang bor serta migrasi fluida.

Kesimpulan

Memanfaatkan limbah partikel keramik dan kaca sebagai *additive* semen pengeboran efektif dilakukan sebagai salah satu alternatif untuk mengurangi limbah partikel keramik dan kaca, karena kandungan silika yang terdapat pada keduanya mampu untuk menaikkan nilai *compressive strength* dan *shear bond strength* semen pengeboran. Pengujian nilai *compressive strength* tertinggi didapat dari keramik dengan penambahan 35% dan 40% BWOC yaitu 386.65 psi, dan nilai *shear bond strength* tertinggi juga didapat dari kaca dengan penambahan 35% BWOC yaitu 385.83 psi. Hasil optimal didapat dari kaca dibandingkan dengan keramik, hal ini karena kaca mengandung lebih banyak kuarsa dari pada keramik.

Daftar Notasi

BWOC = by Weight of Cement

Psi = Pounds per Square Inch

Daftar Pustaka

- Aïtcin, P.C., B. Miao, W. D. Cook and D. Mitchell. Effects of Size and Curing on Cylinder Compressive Strength of Normal and High Strength Concretes. *ACI Materials Journal*. 1994; 91 (4) : 349-354.
- API Spec. 10A. Specification for Cements and Materials for Well Cementing, Washington, DC: API; 2002, 23rd edition.
- F. Puertas, I. García-Díaz, A. Barba, M.F. Gazulla, M. Palacios, M.P. Gómez, S. Martínez-Ramírez. Ceramic wastes as alternative raw materials for Portland cement clinker production. *Cement and Concrete Composites*. 2008; 30 (9): 798-805.
- Khuram Rashid, Afia Razzaq, Madiha Ahmad, Tabasam Rashid, Samia Tariq. Experimental and analytical selection of sustainable recycled concrete with ceramic waste aggregate. *Construction and Building Materials*. 2017: 829-840.
- Li, Liangshun, Yue Wang, Mingzhe An, Peiyao Yu, and Xu Hou. The Influence of Rehydration on the Properties of Portland Cement-Based Materials with Low Water/Binder Ratios: A Review of Existing Research. 2023; 16 (3): 970.
- Malaikah, Alaa S. Effect of Specimen Size and Shape on the Compressive Strength of High Strength Concrete. *Pertanika Journal of Science & Technology*. 2015; 13 (1). pp. 87-96.



- Nelson, E. Well Cementing, Schlumberger Educational Service, Houston, Texas. 1990.
- Rashid, K.; Razzaq, A.; Ahmad, M.; Rashid, T.; Tariq, S. (2017). Experimental and analytical selection of sustainable recycled concrete with ceramic waste aggregate. *Construction and Building Materials*, 154: 829–840.
- Rubiandini, Rudi. *Teknik Operasi Pemboran Volume 1*, ITB, Bandung. 2012.
- Rubiandini, Rudi. *Teknik Operasi Pemboran Volume 2*, ITB, Bandung. 2012.

