

**SUBSTITUSI PARSIAL DAN FULL SEMEN NON  
KONVENSIONAL BERBAHAN BAKU PRODUK  
SAMPINGAN INDUSTRI PADA CAMPURAN BETON  
NORMAL**

**Liliana**

Lecturer at the Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Palangka Raya,  
liliana@jts.upr.ac.id

# SEMEN KONVENSIONAL

## 1. ORDINARY PORTLAND CEMENT (OPC)



### Semen Portland (OPC = Ordinary Portland Cement)

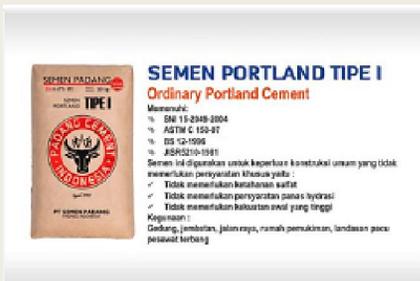
SNI 15-2049-2004

Semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain



Jenis-jenis semen portland (OPC) pada SNI 15-2049-2004 dikelompokkan berdasar penggunaannya sebagai berikut :

|          |   |
|----------|---|
| Tipe I   | : semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain. |
| Tipe II  | : semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau panas hidrasi sedang                                    |
| Tipe III | : semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.                       |
| Tipe IV  | : semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah.  |
| Tipe V   | : semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.  |



## SEMEN KONVENSIONAL

### 2. SEMEN PORTLAND POZOLAN – PORTLAND POZZOLAN CEMENT - PPC



**Semen Portland Pozolan** didefinisikan sebagai suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dan **pozzolan halus**, yang diproduksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozzolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozzolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, di mana **kadar pozzolan 6% sampai dengan 40% massa semen portland**.



Jenis-jenis semen portland pozzolan (PPC) pada SNI 15-0302-2004 dikelompokkan sebagai berikut :

|               |   |
|---------------|---|
| <b>IP-U :</b> | <i>dapat digunakan untuk semua kebutuhan adukan beton</i>   |
| <b>IP-K :</b> | <i>dapat digunakan untuk semua kebutuhan adukan beton, dengan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang</i>                                     |
| <b>P-U :</b>  | <i>dapat digunakan untuk kebutuhan beton yang tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi</i>   |
| <b>P-K :</b>  | <i>dapat digunakan untuk kebutuhan beton yang tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi, dengan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang</i> |

Jadi semen PPC mengandung 2 unsur utama :

- semen portland (OPC)
- pozzolan (mis. fly ash)

## SEMEN KONVENSIONAL

### 3. SEMEN PORTLAND KOMPOSIT – PORTLAND COMPOSITE CEMENT - PCC



## Semen Portland Komposit (PCC = Portland Composite Cement)

SNI 15-7064-2004

Semen Portland Komposit didefinisikan sebagai bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama **terak semen portland dan gips** dengan **satu atau lebih bahan anorganik**, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. **Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (blast furnace slag), pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35 % dari massa semen portland komposit**

Jadi semen PCC mengandung 3 unsur utama :

- semen portland (OPC)
- gips
- bahan anorganik (bisa lebih dari 1 macam bahan anorganik : terak tanur tinggi (blast furnace slag), pozolan, senyawa silikat, batu kapur)

## SEMEN NON KONVENSIONAL – SEMEN GEOPOLIMER



- 1) Emisi gas rumah kaca (karbon dioksida) yang dihasilkan pada proses produksi semen. Untuk memproduksi satu ton semen, gas rumah kaca yang dihasilkan sebesar lebih kurang satu ton juga. Gas ini dilepaskan ke atmosfer kita dengan bebas dan kemudian merusakkan lingkungan hidup kita, di antaranya menyebabkan pemanasan global.
- 2) Masalah keawetan beton itu sendiri. Bangunan beton pada umumnya sudah memerlukan perbaikan karena sudah mulai mengalami kerusakan ketika usia bangunannya baru mencapai 20 tahun, walaupun telah direncanakan dan dibuat sesuai dengan standar-standar yang berlaku

## SEMEN NON KONVENSIONAL – SEMEN GEOPOLIMER



2) Masalah keawetan beton itu sendiri. Bangunan beton pada umumnya sudah memerlukan perbaikan karena sudah mulai mengalami kerusakan ketika usia bangunannya baru mencapai 20 tahun, walaupun telah direncanakan dan dibuat sesuai dengan standar-standar yang berlaku

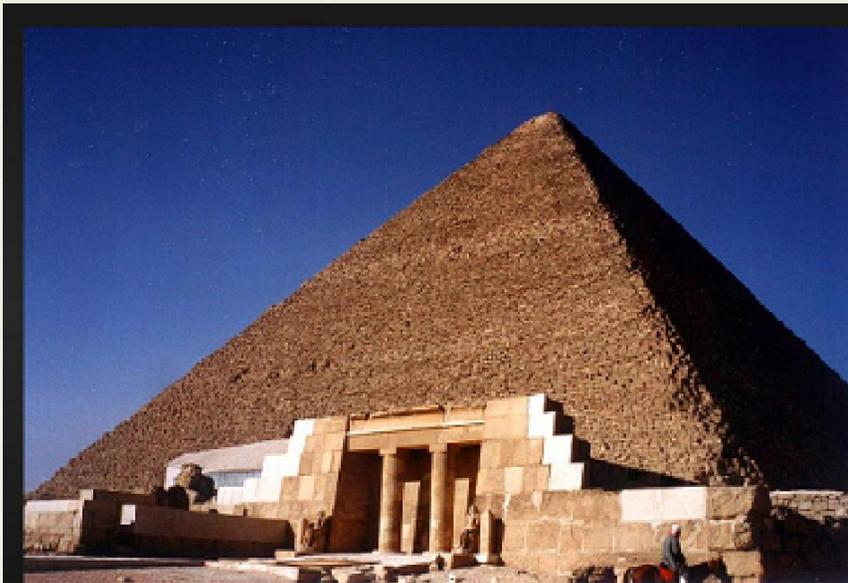
## SEMEN NON KONVENSIONAL – SEMEN GEOPOLIMER



Professor Joseph Davidovits dari Perancis yang pertama kali mengemukakan ide bahwa sesungguhnya **piramid tidaklah dibangun menggunakan batu-batu yang dipahat seperti** halnya Candi Borobudur yang kemudian disusun menjadi bangunan yang mengundang kekaguman sepanjang masa dan menjadikannya salah satu dari tujuh keajaiban dunia

Davidovits menyatakan teorinya bahwa batuan-batuan penyusun piramid tersebut dicor di tempat, seperti halnya **pembuatan beton** yang kita kenal sekarang ini

## SEMEN NON KONVENSIONAL – SEMEN GEOPOLIMER



Piramid raksasa di Mesir tersusun dari lebih kurang **dua setengah juta blok batuan**, rata-rata memiliki berat **dua setengah ton**, bahkan ada yang seberat **tiga puluh ton**, dengan volume total **dua setengah juta meter kubik**, didirikan di atas lahan tidak kurang luasnya dari **lima hektar**, dengan masa pengerjaan hanya dalam kurun waktu 20 tahun dalam masa pemerintahan Firaun Cheops.

Pada bangunan piramid tersebut mendapati celah antarbatuan begitu sempitnya, dan tidak ada ujung-ujung batuan yang terpapas akibat benturan dan lain sebagainya yang terjadi semasa proses pembangunannya. Ukuran-ukuran batuannya begitu tepat, saling silang tersusun rapi, mulai dari dasar bangunan hingga ke puncak bangunan yang **hampir sama tingginya** dengan bangunan gedung 30 lantai

## SEMEN NON KONVENSIONAL – SEMEN GEOPOLIMER



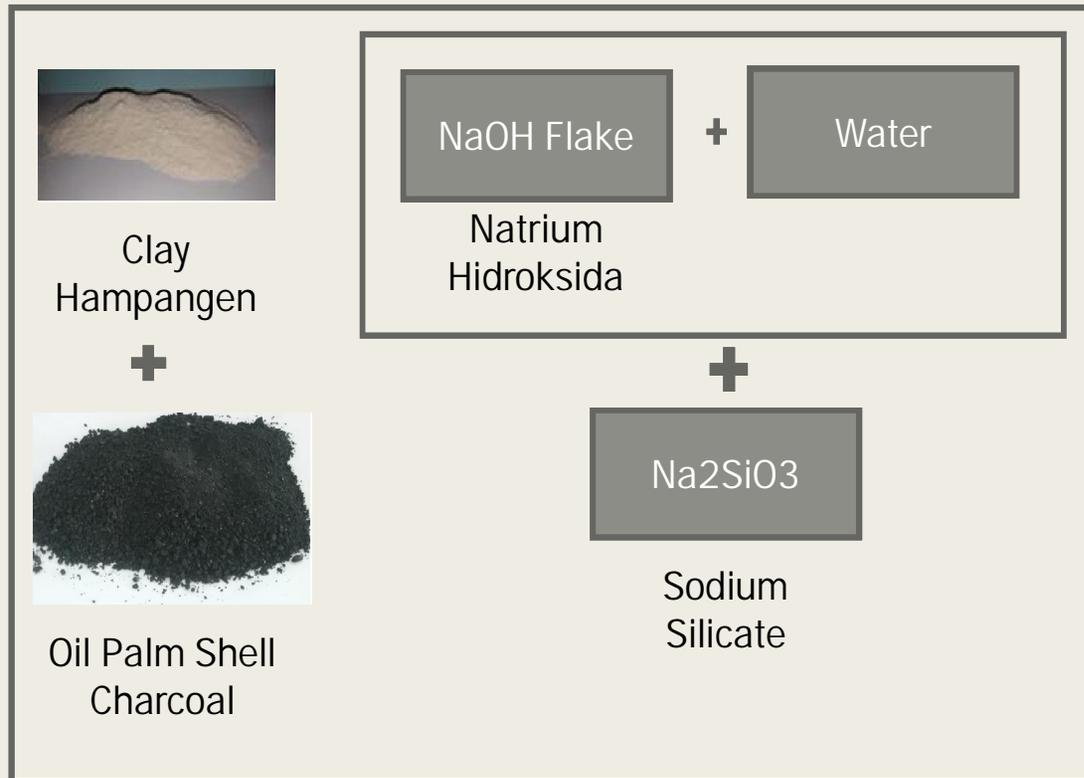
Davidovits juga menemukan bahwa struktur kimia dan karakteristik **struktur mikro batuan penyusun piramid** amat serupa dengan **beton geopolimer** yang dia hasilkan di laboratoriumnya, serta sejauh ini tidak didapati batuan alamiah di sekitar lokasi piramid yang memiliki ciri-ciri susunan kimia serta struktur mikro yang serupa.

Davidovits memberi nama material temuannya **Geopolimer**, karena merupakan **sintesa bahan-bahan alam non organik lewat proses polimerisasi**. Bahan dasar utama yang diperlukan untuk pembuatan material geopolimer ini adalah bahan-bahan yang banyak mengandung unsur-unsur **silikon dan aluminium**

Unsur tersebut didapat diantaranya **Material Buangan Hasil Sampingan Industri**, seperti misalnya abu terbang dari sisa pembakaran batubara, abu sekam padi, abu cangkang kelapa sawit dll.

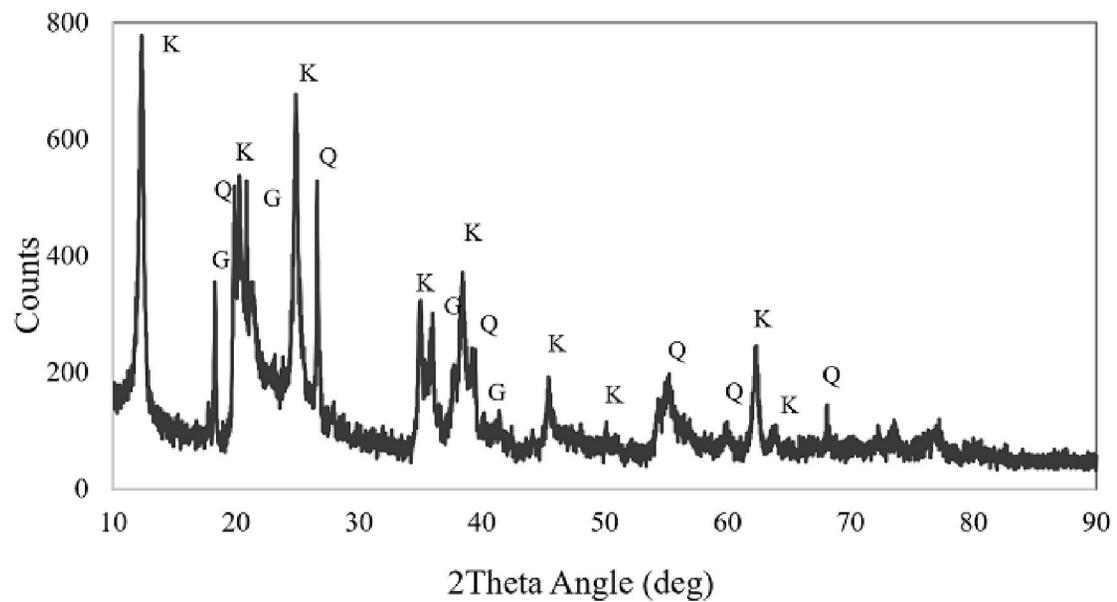


## Substitusi Parsial dan Full Semen Non Konvensional berbahan baku Arang CKS dan Lempung Kaolinit Hampangen



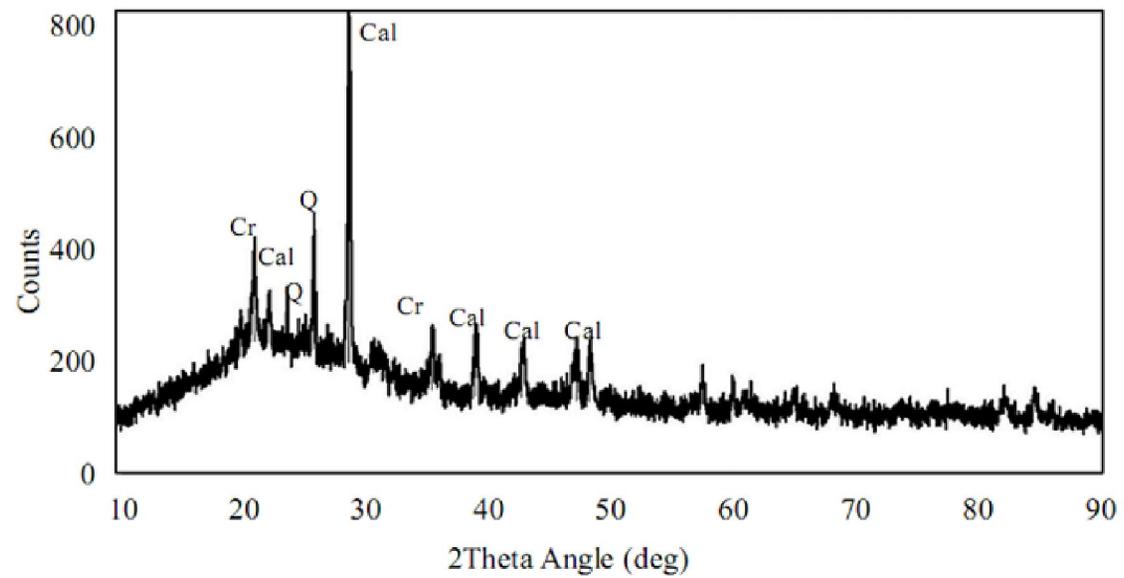
Komposisi campuran semen non konvensional - geopolimer adalah

- 1) Perbandingan lempung kaolinit Hampangen dan arang CKS dengan Larutan Alkali sebesar 55% dan 45%;
- 2) Perbandingan lempung kaolinit dan arang CKS sebesar 60% dan 40%;
- 3) Konsentrasi larutan NaOH sebesar 14M; dan
- 4) Perbandingan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dan NaOH sebesar 2,5.



Information:  
 Q = Quartz-SiO<sub>2</sub> - Silicon Oxide = 18%  
 K = Kaolinite 1A - Al<sub>2</sub>Th<sub>2</sub>O<sub>7</sub>(OH)<sub>2</sub> - Aluminum Silicate Hydroxide = 66%  
 G = Gibbsite - Al(OH)<sub>3</sub>-Aluminum Hydroxide = 16%

Figure 1. Hampangen Clay XRD Test Results



Information  
Q= Quartz Low -SiO<sub>2</sub> - Silicon Oxide = 19.4%  
Cal= Calcite= 26.7 %  
Cr= Cristobalite = 54%

Figure 2. XRD Charcoal CKS Test Results

**Table 1.** Chemical Composition of Hampangen Clay and Palm Shell Charcoal based on XRF Testing

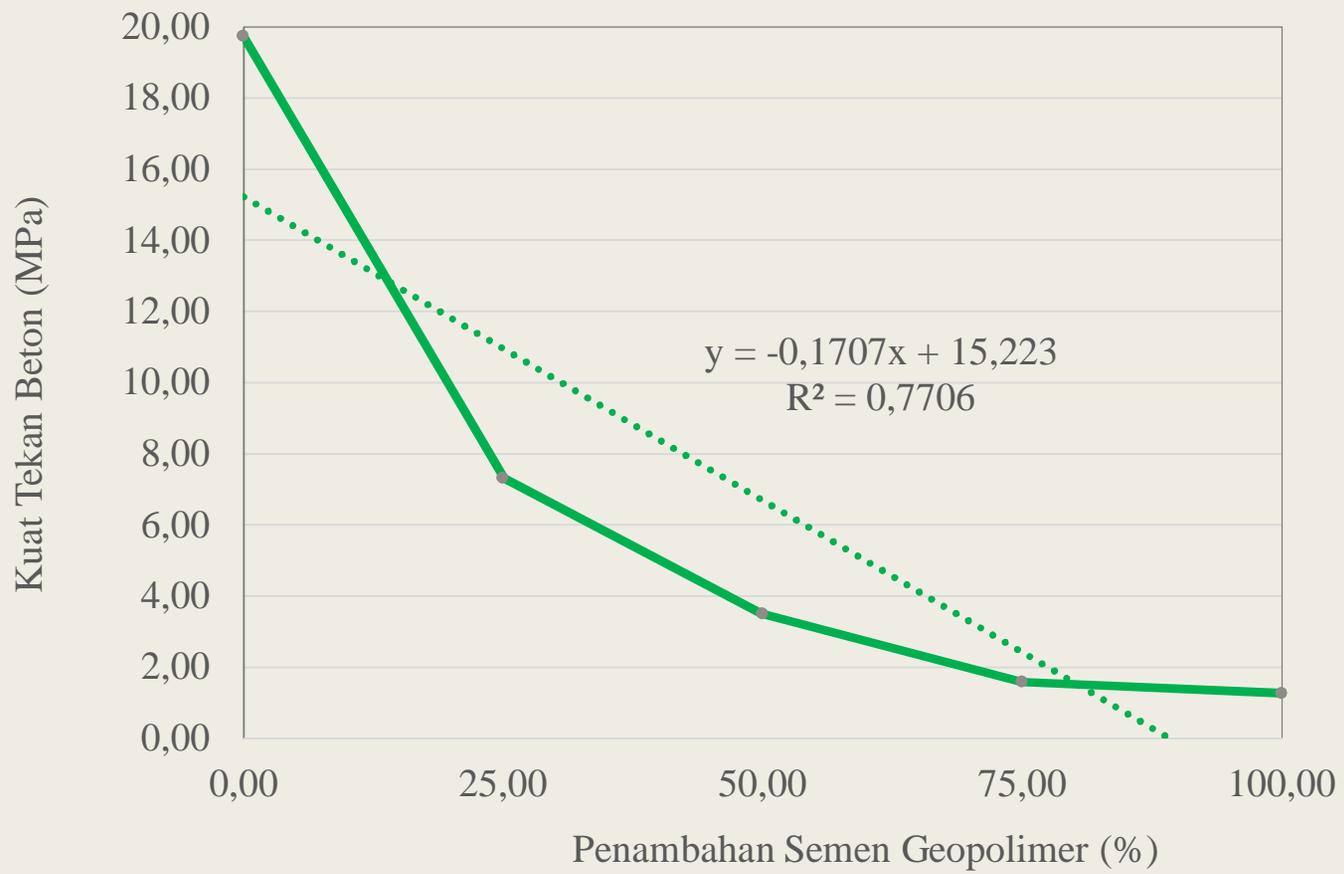
| Parameters                     | Unit | Hampangen Clay | Arang CKS |
|--------------------------------|------|----------------|-----------|
| SiO <sub>2</sub>               | %    | 45.090         | 29.400    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %    | 37.190         | 4.420     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %    | 0.940          | 4.610     |
| CaO                            | %    | 0.090          | 11.190    |
| MgO                            | %    | 0.220          | 2.420     |
| K <sub>2</sub> O               | %    | 0.720          | 2.150     |
| TiO <sub>2</sub>               | %    | 1.830          | 0.180     |
| Na <sub>2</sub> O              | %    | 0.050          | 0.270     |
| MnO <sub>2</sub>               | %    | 0.008          | 0.080     |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %    | 0.008          | 0.030     |
| SO <sub>3</sub>                | %    | 0.050          | 0.240     |
| Lol                            |      | 13.650         | 43.600    |

in Hampangen clay is the most SiO<sub>2</sub> at 45,090% and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> at 37,190%, while Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is 0.940%. When totaled, the three compounds amounted to 83.22%. While palm shell

charcoal, the content of SiO<sub>2</sub> is 29.40%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is 4.42%, and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is 4.61%. Total SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> amounted to 38.43%.

| <b>Penambahan Semen Geopolimer</b> | <b>0%</b> | <b>25%</b> | <b>50%</b> | <b>75%</b> | <b>100%</b> |
|------------------------------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|
| Semen Konvensional                 | 379,63    | 284,72     | 189,82     | 94,91      | 0,00        |
| Air                                | 201,20    | 167,92     | 134,64     | 101,36     | 68,08       |
| Arang CKS                          | 0,00      | 37,96      | 75,93      | 113,89     | 151,85      |
| Kaolin Hampangan                   | 0,00      | 56,94      | 113,89     | 170,83     | 227,78      |
| Agregat Halus                      | 700,95    | 678,17     | 655,40     | 632,62     | 609,85      |
| Agregat Kasar                      | 878,62    | 850,07     | 821,53     | 792,98     | 764,43      |
| Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>   | 0,00      | 39,51      | 79,02      | 118,53     | 158,04      |
| NaOH                               | 0,00      | 15,80      | 31,61      | 47,41      | 63,22       |

| Penambahan<br>Semen Geopolimer<br>(%) | Umur<br>(Hari) | Luas<br>(mm <sup>2</sup> ) | Beban<br>Maksimum<br>(N) | Kuat Tekan<br>Beton<br>(MPa) | Kuat Tekan<br>Beton Rata-Rata<br>(MPa) |
|---------------------------------------|----------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|--|
| 0                                     | 28             | 7850                       | 150000,00                | 19,108                       | 19,745                                 |
|                                       | 28             | 7850                       | 160000,00                | 20,382                       |  |
| 25                                    | 28             | 7850                       | 60000,00                 | 7,643                        | 7,325                                  |
|                                       | 28             | 7850                       | 55000,00                 | 7,006                        |  |
| 50                                    | 28             | 7850                       | 25000,00                 | 3,185                        | 3,503                                  |
|                                       | 28             | 7850                       | 30000,00                 | 3,822                        |  |
| 75                                    | 28             | 7850                       | 10000,00                 | 1,274                        | 1,592                                  |
|                                       | 28             | 7850                       | 15000,00                 | 1,911                        |  |
| 100                                   | 28             | 7850                       | 10000,00                 | 1,274                        | 1,274                                  |
|                                       | 28             | 7850                       | 10000,00                 | 1,274                        |  |

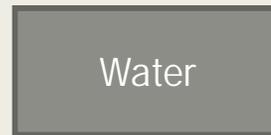


## Substitusi Full Semen Non Konvensional berbahan baku limbah pembakaran PLTU Buntoi

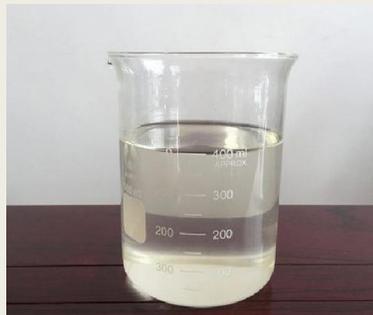


Natrium  
Hidroksida

+



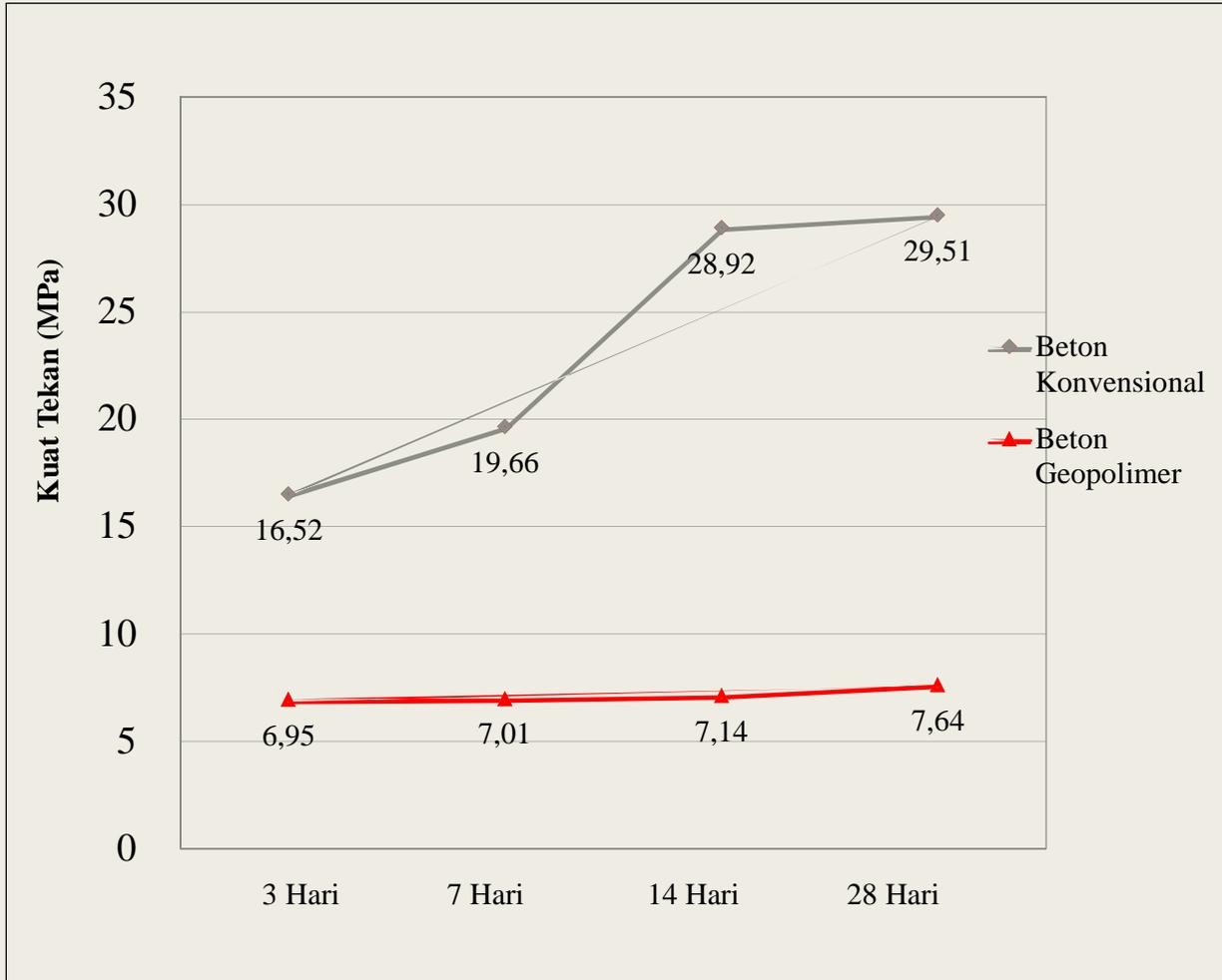
Abu Terbang  
PLTu Buntoi



Sodium  
Silicate

Komposisi campuran semen non konvensional - geopolimer adalah

- 1) Perbandingan abu terbang dengan Larutan Alkali sebesar 55% dan 45%;
- 2) Konsentrasi larutan NaOH sebesar 8M; dan
- 3) Perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan NaOH sebesar 2,5.



Terimakasih  
**THANK YOU**  
Are Tarimakasih