
**ANALISIS PERBANDINGAN SUBSTITUSI SLAG PADA SEMEN
DAN PASIR PADA CAMPURAN BETON MUTU K-225
PADA PT IMIP KABUPATEN MOROWALI
PROVINSI SULAWESI TENGAH**

*Zainul***, *Djamaluddin²*, *Habibie Anwar¹*

1. *Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Muslim Indonesia*
2. *Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin*
Email: zikslahkan@gmail.com

SARI

Kawasan industri yang dibangun oleh PT Indonesia Morowali Industrial Park (IMIP) merupakan kawasan industri terpadu berbasis pada pengelolaan nikel yang juga berisi industri turunannya yang lain yaitu *stainless steel*. Beton merupakan bahan bangunan yang banyak digunakan dalam membangun struktur kerja di Indonesia karena banyaknya manfaat yang diberikan seperti bahan penyusunnya mudah didapat, mudah dipasang, mampu membawa beban berat, tahan terhadap suhu tinggi, dan biaya pemeliharaan. Berbagai upaya telah dilakukan untuk membuat semen. Upaya tersebut dilakukan terhadap persyaratan pemanfaatan *slag* dari PT Indonesia Morowali Industrial Park. Kemudian dilanjutkan dengan mengetahui perbandingan kuat tekan pada pengolahan limbah terak (*slag*) dengan mensubstitusi pada semen dan pasir, pada substitusi ke semen kuat tekan tertinggi berada pada substitusi terak 15% yaitu mencapai kuat tekan 24,295 MPa atau 25,34% lebih tinggi dibanding beton normal dan akan menurun kuat tekannya ketika mendapatkan substitusi lebih dari 15% sedangkan pada substitusi ke pasir akan mendapatkan kuat tekan tertinggi pada substitusi ke 30%, yaitu mencapai 28,956 MPa atau 49,385 lebih tinggi dibandingkan beton normal. Pada penggunaan substitusi *slag* ke pasir akan bertambah kuat tekannya apabila substitusi yang digunakan lebih tinggi. Jadi penggunaan *slag* sebagai substitusi semen dan pasir pada beton k-225 sebaiknya digunakan pada substitusi ke pasir sehingga penggunaan limbah *slag* lebih banyak dan memperoleh kuat tekan yang tinggi.

Kata kunci: kuat tekan, terak, beton k-225.

ABSTRACT

Industrial area built by PT Indonesia Morowali Industrial Park (IMIP) is an integrated industrial area based with nickel-based production and its derivative industries such as stainless steel. Concrete is building's materials which are mostly used in Indonesia for building the structure. This is because of its advantageous such as availability, flexibility, its strength to carry heavy loads, resistance to the high temperature, and cheap maintenance cost. There have been efforts to make to create cement. This is because of the order of PT. Indonesia Morowali Industrial Park to recycle slag as a substitute of cement and sands. In the cement substitute, the most powerful pressure strength was in the 15%. It reached up to 24.295 Mpa or 25.34% higher than standard concrete, and the pressure will decrease the substitute is more than 15%. As for the sands substitute, the strongest pressure strength was in the 30% substitute where it reached 28.956 Mpa or 49.385 higher than the normal concrete. In the slag substitution to sands will get higher strength if the substitute is higher as well. Therefore, the use of slag as the cement and sands substitute in the concrete k-225 is best. It is better to use it as sands substitute to use more slag waste and to gain more pressure strength.

Keywords: *pressure strength, slag, k-225 concrete.*

PENDAHULUAN

Penambangan sebagai sumber ketiga terbanyak yang telah mencemari lingkungan, maka perlu dikembangkan pertumbuhan tambang yang berwawasan lingkungan baik dari awal pendirian maupun pada proses dan akhir produksinya guna menunjang pembangunan yang berkesinambungan. PT Indonesia Morowali Industrial Park merupakan salah satu smelter Nikel yang menghasilkan limbah industri setiapharinya. Seperti halnya industri lain, dalam kegiatan produksinya Indonesia Morowali Industrial Park juga menghasilkan limbah yang berpotensi untuk mencemari lingkungan. Limbah-limbah yang dihasilkan dapat berupa Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) ataupun non B3. Pada PT IMIP terjadi kelimpahan limbah *slag* seiring dengan meningkatnya jumlah produksi tambang. Berbagai kasus pencemaran limbah B3 dari penambangan di Indonesia, hingga saat ini belum dikelola dengan serius (Arino dan Barzin, 1999).

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana material slag nikel dapat dimanfaatkan sebagai bahan perkerasan lapis permukaan jalan. Dengan meninjau dan mengevaluasi sifat campuran perkerasan tersebut diharapkan dapat diketahui kinerja dari campuran perkerasan dengan menggunakan *slag* nikel.

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini penulis mengambil data dengan metode pengumpulan data melalui pengamatan langsung di lokasi penelitian, dengan tujuan untuk mengetahui kuat tekan yang didapat dengan menggunakan slag sebagai pengganti sebagian semen dengan pasir pada persentase masing-masing sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, dan 30% dari berat semen dan pasir. Benda uji beton akan dicetak menggunakan cetakan *siliner*, dengan tinggi 30 cm dan berdiameter 15 cm. Setelah itu beton akan dilakukan perawatan (*curing*) dengan merendamkan benda uji beton yang telah di beri kode sampel ke dalam air biasa selama 7, 21, 28 hari. Setelah itu dilakukan pengujian diolah dan dianalisa untuk ditarik kesimpulan dari hasil pengujian sampel tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Slag mempunyai kandungan Kalsium Oksida dan silikon dioksida yang tinggi yaitu 42,30% dan 26,56% yang perlu diperhatikan dari sifat kimia *slag* dalam hubungannya dengan campuran beton adalah kandungan CaO dan SiO₂. Dalam hal ini CaO bebas dalam campuran beton akan bereaksi dengan air selama proses hidrasi menjadi Ca(OH)₂, reaksi ini yang akan menyebabkan beton mengembang. Sedangkan SiO₂ dalam campuran beton akan bereaksi dengan Ca(OH)₂ (*Calcium hidroksida*) membentuk CSH (*Calcium Silicate Hydrat*), reaksi ini yang akan mengurangi jumlah pori pada beton (Brindha and Nagan, 2010)

Tabel 1. Material Beton K-225 Normal

| Beton K-225 Standar | |
|---------------------|-----------|
| Semen | 3,17 Kg |
| Pasir | 6,98 Kg |
| Kerikil | 10,47 Kg |
| Air | 2,1 Liter |

Dari tabel 1 di atas dapat dilihat standar beton K-225 normal yaitu semen dan pasirnya 3,17 Kg dan 6,98 Kg yang akan disubstitusikan slag dengan kualitas beton tetap mengacu pada Badan Standarisasi Nasional tahun 2000.

Tabel 2. Kuat Tekan Beton Substitusi *Slag* pada Semen Umur 7 Hari

| Beton umur 7 hari | | | | |
|-------------------|-----------------|------------|------------------|-------------------------|
| Kode Sampel | <i>Slag</i> (%) | Beban (KN) | Kuat Tekan (MPa) | Kuat Tekan Rerata (MPa) |
| 0BTN-a | 0 | 200 | 10,654 | |
| 0BTN-b | 0 | 230 | 12,873 | 11,801 |
| 0BTN-c | 0 | 220 | 11,876 | |
| 10BTN-a | 10 | 240 | 14,765 | |
| 10BTN-b | 10 | 240 | 14,456 | 14,792 |
| 10BTN-c | 10 | 265 | 15,154 | |
| 15BTN-a | 15 | 290 | 17,185 | |
| 15BTN-b | 15 | 290 | 16,766 | 17,201 |
| 15BTN-c | 15 | 300 | 17,653 | |
| 20BTN-a | 20 | 230 | 13,680 | |
| 20BTN-b | 20 | 230 | 13,631 | 13,726 |
| 20BTN-c | 20 | 235 | 13,867 | |
| 30BTN-a | 30 | 220 | 12,533 | |
| 30BTN-b | 30 | 210 | 11,132 | 11,721 |
| 30BTN-c | 30 | 210 | 11,498 | |

Pada tabel 2 hasil uji beton dengan substitusi *slag* pada semen umur 7 hari didapatkan hasil beton normal yaitu 11,801 MPa dengan substitusi pada persentase 10% yaitu 14,792 MPa, pada persentase 15% yaitu 17,201 MPa, pada persentase 20% yaitu 13,726 MPa, sedangkan pada persentase 30% yaitu 11,721 MPa. Pada substitusi slag pada semen dengan umur beton 7 hari ini beton dengan substitusi 15% pada semen mendapatkan kuat tekan yang lebih tinggi dari beton normal dengan selisih 5,4 MPa atau sekitar 45,75% sedangkan pada persentase 30% mendapatkan kuat tekan lebih rendah dari beton normal dengan selisih 0,008 MPa atau sekitar 0,67%

Tabel 3. Kuat Tekan Beton Substitusi *Slag* pada Pasir Umur 7 Hari

| Kode Sampel | Slag (%) | Beban (KN) | Kuat Tekan (Mpa) | Kuat Tekan Rerata (MPa) |
|-------------|----------|------------|------------------|-------------------------|
| 0BTN-a | 0 | 200 | 10,654 | |
| 0BTN-b | 0 | 230 | 12,873 | 11,801 |
| 0BTN-c | 0 | 220 | 11,876 | |
| 10BTN-a | 10 | 235 | 13,562 | |
| 10BTN-b | 10 | 235 | 12,986 | 13,330 |
| 10BTN-c | 10 | 240 | 13,442 | |
| 15BTN-a | 15 | 240 | 13,890 | |
| 15BTN-b | 15 | 245 | 13,881 | 14,098 |
| 15BTN-c | 15 | 240 | 14,523 | |
| 20BTN-a | 20 | 265 | 15,570 | |
| 20BTN-b | 20 | 270 | 15,722 | 15,645 |
| 20BTN-c | 20 | 270 | 15,643 | |
| 30BTN-a | 30 | 310 | 17,014 | |
| 30BTN-b | 30 | 280 | 16,882 | 16,809 |
| 30BTN-c | 30 | 295 | 16,531 | |

Tabel 3 merupakan hasil uji beton dengan substitusi *slag* pada pasir umur 7 hari maka didapatkan hasil beton normal yaitu 11,801 MPa dengan substitusi pada persentase 10% yaitu 13,330 MPa, pada persentase 15% yaitu 14,098 MPa, pada persentase 20% yaitu 15,645 MPa, sedangkan pada persentase 30% yaitu 16,809 MPa. Pada substitusi *slag* pada pasir kuat tekan mengalami kenaikan setiap penambahan persentase *slag* pada pasir dengan kenaikan berkisar 12% sampai 42,43 %, dan kenaikan kuat tekan tertinggi terdapat pada substitusi *slag* 30% pada pasir yaitu dengan kenaikan 5,008 MPa atau 42,43% seperti pada table 3.

Jadi pada umur 7 hari perbandingan kuat tekan beton dengan substitusi *slag* pada semen pada persentase 15%

mendapatkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan substitusi *slag* pada pasir yaitu 17,201 MPa sedangkan pada substitusi *slag* pada pasir hanya 14,098 MPa dengan selisi 3,103 MPa atau sekitar 22%. Tetapi pada persentase substitusi 30% beton dengan substitusi slag pada semen mengalami penurunan hingga 5,48 MPa atau 31,85%, sedangkan pada substitusi *slag* pada pasir dengan persentase 30% kuat tekan mengalami kenaikan hingga 2,711 MPa atau sekitar 19,22%.

Tabel 4. Kuat Tekan Beton Substitusi Slag pada Semen Umur 21 Hari

| Kode Sampel | Slag (%) | Beban (KN) | Kuat Tekan (Mpa) | Kuat Tekan Rerata (MPa) |
|-------------|----------|------------|------------------|-------------------------|
| 0BTN-a | 0 | 325 | 17,981 | |
| 0BTN-b | 0 | 325 | 18,976 | 18,457 |
| 0BTN-c | 0 | 320 | 18,413 | |
| 10BTN-a | 10 | 350 | 21,182 | |
| 10BTN-b | 10 | 360 | 20,948 | 20,893 |
| 10BTN-c | 10 | 360 | 20,548 | |
| 15BTN-a | 15 | 400 | 22,756 | |
| 15BTN-b | 15 | 410 | 22,553 | 22,677 |
| 15BTN-c | 15 | 415 | 22,722 | |
| 20BTN-a | 20 | 360 | 18,488 | |
| 20BTN-b | 20 | 370 | 19,654 | 18,824 |
| 20BTN-c | 20 | 350 | 18,331 | |
| 30BTN-a | 30 | 270 | 16,771 | |
| 30BTN-b | 30 | 280 | 15,122 | 15,805 |
| 30BTN-c | 30 | 290 | 15,522 | |

Tabel 4 merupakan hasil uji beton dengan substitusi *slag* pada semen umur 21 hari maka didapatkan hasil beton normal yaitu 18,457 MPa dengan substitusi pada persentase 10% yaitu 20,893 MPa, pada persentase 15% yaitu 22,677 MPa, pada persentase 20% yaitu 18,824 MPa, sedangkan pada persentase 30% yaitu 15,805 MPa. Pada substitusi *slag* pada semen dengan umur beton 21 hari ini beton dengan substitusi 15% pada semen mendapatkan kuat tekan yang lebih tinggi dari beton normal dengan selisih 4,22 MPa atau sekitar 22,86% sedangkan pada persentase 30% mendapatkan kuat tekan lebih rendah dari beton normal dengan selisih 2,652 MPa atau sekitar 14,36%.

Tabel 5 merupakan hasil uji beton dengan substitusi *slag* pada pasir maka

didapatkan hasil beton normal yaitu 18,457 MPa dengan substitusi pada persentase 10% yaitu 20,045 MPa, pada persentase 15% yaitu 21,586 MPa, pada persentase 20% yaitu 23,150 MPa, sedangkan pada persentase 30% yaitu 26,784 MPa. Pada substitusi slag pada pasir kuat tekan mengalami kenaikan setiap penambahan persentase slag pada pasir dengan kenaikan berkisar 8,6% sampai 45,11 %, dan kenaikan kuat tekan tertinggi terdapat pada substitusi slag 30% pada pasir yaitu dengan kenaikan 8,327 MPa atau 45,11% .

Tabel 5. Kuat Tekan Beton Substitusi Slag pada Pasir Umur 21 Hari

| Kode Sampel | Slag (%) | Beban (KN) | Kuat Tekan (Mpa) | Kuat Tekan Rerata (MPa) |
|-------------|----------|------------|------------------|-------------------------|
| 0BTN-a | 0 | 325 | 17,981 | |
| 0BTN-b | 0 | 325 | 18,976 | 18,457 |
| 0BTN-c | 0 | 320 | 18,413 | |
| 10BTN-a | 10 | 360 | 19,814 | |
| 10BTN-b | 10 | 360 | 19,631 | 20,045 |
| 10BTN-c | 10 | 370 | 20,690 | |
| 15BTN-a | 15 | 380 | 21,116 | |
| 15BTN-b | 15 | 395 | 22,034 | 21,586 |
| 15BTN-c | 15 | 380 | 21,607 | |
| 20BTN-a | 20 | 410 | 22,133 | |
| 20BTN-b | 20 | 415 | 23,431 | 23,150 |
| 20BTN-c | 20 | 415 | 23,885 | |
| 30BTN-a | 30 | 455 | 26,798 | |
| 30BTN-b | 30 | 470 | 26,541 | 26,784 |
| 30BTN-c | 30 | 465 | 27,013 | |

Tabel 5 merupakan umur 21 hari perbandingan kuat tekan beton dengan substitusi slag pada semen pada persentas 15% mendapatkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan substitusi slag pada pasir yaitu 22,677 MPa sedangkan pada substitusi slag pada pasir hanya 21,586 MPa dengan selisih 1,091 MPa atau sekitar 5%. Tetapi pada persentase substitusi 30% beton dengan substitusi slag pada semen mengalami penurunan hingga 6,872 MPa atau 30,3%, sedangkan pada substitusi slag pada pasir dengan persentase 30% kuat tekan mengalami kenaikan hingga 5,198 MPa atau sekitar 24%.

Tabel 6 merupakan hasil uji beton dengan substitusi slag pada semen umur 28 hari maka didapatkan hasil beton normal

yaitu 19,715 MPa dengan substitusi pada persentase 10% yaitu 22,231 MPa, pada persentase 15% yaitu 24,295 MPa, pada persentase 20% yaitu 21,477 MPa, sedangkan pada persentase 30% yaitu 17,204 MPa. Pada substitusi slag pada semen dengan umur beton 28 hari ini beton dengan substitusi 15% pada semen mendapatkan kuat tekan yang lebih tinggi dari beton normal dengan selisih 4,912 MPa atau sekitar 25,34% sedangkan pada persentase 30% mendapatkan kuat tekan lebih rendah dari beton normal dengan selisih 2,179 MPa atau sekitar 11,24% .

Tabel 6. Kuat Tekan Beton Substitusi Slag pada Semen Umur 28 hari

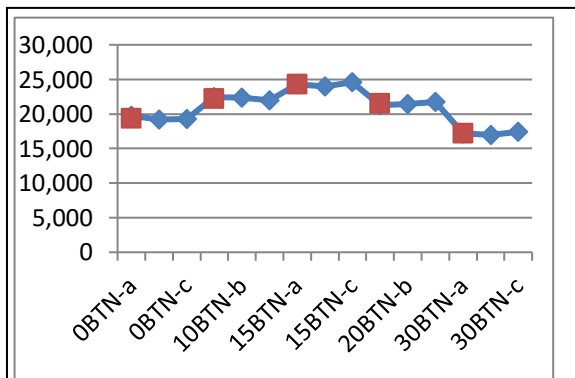
| Kode Sampel | Slag (%) | Beban (KN) | Kuat Tekan (Mpa) | Kuat Tekan Rerata (MPa) |
|-------------|----------|------------|------------------|-------------------------|
| 0BTN-a | 0 | 350 | 19,715 | |
| 0BTN-b | 0 | 330 | 19,184 | 19,383 |
| 0BTN-c | 0 | 340 | 19,249 | |
| 10BTN-a | 10 | 380 | 22,415 | |
| 10BTN-b | 10 | 380 | 22,334 | 22,231 |
| 10BTN-c | 10 | 380 | 21,944 | |
| 15BTN-a | 15 | 425 | 24,311 | |
| 15BTN-b | 15 | 425 | 23,983 | 24,295 |
| 15BTN-c | 15 | 435 | 24,591 | |
| 20BTN-a | 20 | 380 | 21,276 | |
| 20BTN-b | 20 | 370 | 21,433 | 21,477 |
| 20BTN-c | 20 | 370 | 21,721 | |
| 30BTN-a | 30 | 310 | 17,212 | |
| 30BTN-b | 30 | 300 | 16,969 | 17,204 |
| 30BTN-c | 30 | 310 | 17,431 | |

Tabel 7 merupakan hasil uji beton dengan substitusi slag pada pasir maka didapatkan hasil beton normal yaitu 19,383 MPa dengan substitusi pada persentase 10% yaitu 23,073 MPa, pada persentase 15% yaitu 23,910 MPa, pada persentase 20% yaitu 25,749 MPa, sedangkan pada persentase 30% yaitu 28,956 MPa. Pada substitusi slag pada pasir kuat tekan mengalami kenaikan setiap penambahan persentase slag pada pasir dengan kenaikan berkisar 19,03% sampai 49,38%, dan kenaikan kuat tekan tertinggi terdapat pada substitusi slag 30% pada pasir yaitu dengan kenaikan 9,573 MPa atau 49,38%.

Tabel 7. Kuat Tekan Beton Substitusi *Slag* pada Pasir Umur 28 Hari

| Kode Sampel | Slag (%) | Beban (KN) | Kuat Tekan (Mpa) | Kuat Tekan Rata-rata |
|-------------|----------|------------|------------------|----------------------|
| 0BTN-a | 0 | 350 | 19,715 | |
| 0BTN-b | 0 | 330 | 19,184 | 19,383 |
| 0BTN-c | 0 | 340 | 19,249 | |
| 10BTN-a | 10 | 410 | 22,881 | |
| 10BTN-b | 10 | 400 | 22,798 | 23,073 |
| 10BTN-c | 10 | 420 | 23,541 | |
| 15BTN-a | 15 | 435 | 24,965 | |
| 15BTN-b | 15 | 430 | 23,751 | 23,910 |
| 15BTN-c | 15 | 425 | 23,013 | |
| 20BTN-a | 20 | 445 | 25,031 | |
| 20BTN-b | 20 | 455 | 26,872 | 25,749 |
| 20BTN-c | 20 | 460 | 25,344 | |
| 30BTN-a | 30 | 510 | 29,161 | |
| 30BTN-b | 30 | 525 | 28,943 | 28,956 |
| 30BTN-c | 30 | 520 | 28,763 | |

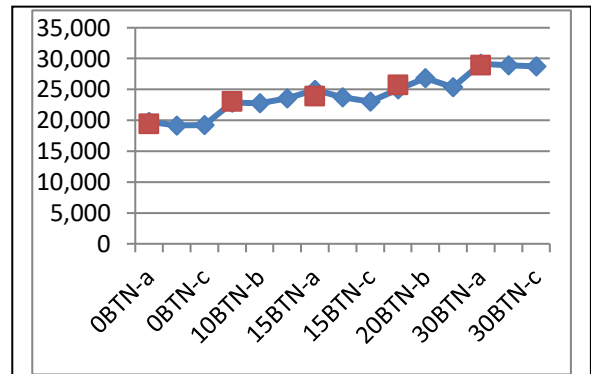
Perubahan kuat tekan terjadi pada setiap umur beton yang dilakukan pada pengujian tiap campuran beton yang dibuat. Pada umur 7 hari kuat tekan mencapai 16,608 MPa dan pada umur 21 hari kuat tekan beton sebesar 22,081 MPa, sedangkan pada umur 28 hari tidak berbeda jauh dengan kuat tekan umur 21 hari yaitu sebesar 23,496 MPa.



Gbr 1. Grafik Hubungan Persentasi Substitusi *Slag* pada Semen dengan Kuat Tekan Beton

Gambar statistik 1 dan 2 didapat hasil bahwa pada substitusi *slag* pada semen kuat tekan tertinggi terdapat pada substitusi 15% *slag* dengan kuat tekan mencapai 24,295 atau mengalami kenaikan sekitar 25,34 % dari beton normal dan akan mengalami penurunan jika substitusi dinaikan melebihi 15% seperti substitusi pada 30% mengalami penurunan yang sangat drastis dari beton

normal yakni hanya 17,204 MPa atau menurun 11,24 % dari beton normal.



Gbr 2. Grafik Hubungan Persentasi Substitusi *Slag* pada Pasir dengan Kuat Tekan Beton

Sedangkan pada substitusi *slag* pada pasir mengalami kenaikan kuat tekan setiap kenaikan persentase substitusi *slag* pada pasir dengan kenaikan tertinggi pada substitusi *slag* 30 yaitu mencapai 28,956 MPa dengan selisih terhadap beton normal 9,573 MPa atau sekitar 49,38% (Zuraidah, 2009)

Dari hasil analisis di atas maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan limbah *slag* paling efektif digunakan untuk substitusi ke pasir dari segi kuat tekan substitusi ke pasir lebih tinggi kuat tekan yang dihasilkan dibandingkan substitusi ke semen, dan dalam segi ekonomis penggunaan substitusi *slag* ke pasir lebih menguntungkan karena pemanfaatan *slag* yang lebih banyak juga memberikan hasil yang lebih baik dari segi kuat tekan yang di hasilkan (Widodo, dkk,2003).

KESIMPULAN

Limbah *Slag* memiliki kandungan CaO, SiO₂ dan MG yang tinggi yaitu 42,30%, 26,56% dan 13,7% yang dapat digunakan untuk campuran beton karena memiliki unsur kimia CaO.SiO₂2H₂O(CSH) yaitu calcium silicate hydrat yang berasal dari reaksi Ca(OH) (*calcium hidroksida*) pada limbah *slag* dan CSH (*calcium silicate hydrat*) yang berasal dari beton yang bereaksi sehingga menjadi bahan padat yang akan mengurangi jumlah pori pada beton. Penggunaan *slag* pada substitusi ke semen pada campuran beton mutu K-225

lebih baik pada kisaran 15% dengan kuat tekan mencapai 24,295 MPa atau 25,34% lebih tinggi dibanding beton normal, dan akan menurun kuat tekannya ketika mendapatkan substitusi lebih dari 15%. Pada penggunaan *slag* dengan mensubstitusi ke pasir akan mendapatkan kuat tekan tertinggi pada substitusi ke 30%, yaitu mencapai 28,956 MPa atau 49,385% lebih tinggi dibandingkan beton normal, pada penggunaan substitusi *slag* ke pasir akan bertambah kuat tekannya apabila substitusi yang digunakan lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak, terutama:

1. PT. Bintang Delapan Mineral.
2. PT. Indonesia Morowali Industrial Park.
3. Seluruh staf dan karyawan PT. Bintang delapan Mineral dan PT. Indonesia Morowali Industrial Park.
4. Segenap civitas akademika Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknologi Industri Universitas Muslim Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Arino, Antonio M. dan Barzin, Mobasher. 1999. *Effect of Ground Copper Slag on Strenght and Toughness of Cementitious Mixes*. ACI Material Journal

Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal*, SNI 03-2834-2000. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta

Brindha, D. dan Nagan, S. 2010. *Utilization of Copper Slag as a Partial Replacement of Fine Aggregate in Concrete*. International Journal of Earth Sciences and Engineering, India.

Widodo, Selamat., Sentosa, Agus., dan Pusoko, Prapto. 2003. *Pemanfaatan Limbah Abu Batu Sebagai Bahan Pengisi Dalam Produksi Self-Compacting Concrete*. Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.

Zuraidah. 2009. *Peningkatan Kuat Lentur pada Beton Dengan Penambahan Fiber Polypropylene dan Copper Slag (Tarak Tembaga)*. Jakarta.