

Karakteristik Beton Mutu Tinggi dengan Substitusi *Slag* Baja dan *Slag* Nikel Sebagai Agregat Kasar

Komang Saka Suwindu *¹ Herman Parung*² Desi Sandy*³

*¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar, Indonesia
windusakawindu@gmail.com

*^{2,3} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar, Indonesia

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan, tarik belah, dan kuat lentur pada beton mutu tinggi dengan variasi substitusi *slag* baja dan *slag* nikel sebagai pengganti agregat kasar. Pengujian beton yang dilakukan adalah meliputi kuat tekan, tarik belah, dan kuat lentur. Proses penelitian dimulai dari pemeriksaan karakteristik *slag*, dan agregat halus kemudian melakukan *mix design* dan membuat benda uji berupa silinder 150 mm x 300 mm sebanyak 36 buah dan balok 150 mm x 150 mm x 600 mm sebanyak 9 buah. Hasil penelitian menunjukkan substitusi *slag* baja dan *slag* nikel terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur adalah semakin besar presentase *slag* nikel maka semakin besar kenaikan kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur. Nilai kuat tekan dengan substitusi *slag* nikel 20% meningkat 3,347%; dan untuk substitusi *slag* nikel 30% meningkat sebanyak 4,603%. Nilai kuat tarik belah dengan substitusi *slag* nikel 20% meningkat 30,137%; dan untuk substitusi *slag* nikel 30% meningkat sebanyak 46,585%. Nilai kuat lentur dengan substitusi *slag* nikel 20% meningkat 31,674%; dan untuk substitusi *slag* nikel 30% meningkat sebanyak 66,179%. Hubungan kuat tekan dengan kuat tarik belah rata-rata yang diperoleh pada beton mutu tinggi dengan substitusi *slag* nikel 0%, 20%, 30% pada umur 28 hari adalah 9,3%. Hubungan kuat tekan dengan kuat lentur rata-rata diperoleh pada beton mutu tinggi dengan substitusi *slag* nikel 0%, 20%, 30% pada umur 28 hari adalah $0,621\sqrt{f'c}$.

Kata Kunci : *slag* baja, *slag* nikel, kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur

ABSTRACT

This study aims to determine the value of compressive strength, split tensile, and flexural strength in high quality concrete with variations in the substitution of steel *slag* and nickel *slag* as a substitute for coarse aggregate. Concrete tests performed include compressive strength, split tensile strength, and flexural strength. The research process starts from checking the characteristics of *slag*, and fine aggregate then mix designs and make test specimens in the form of cylinders of 150 mm x 300 mm as many as 36 pieces and beams of 150 mm x 150 mm x 600 mm as many as 9 pieces. The results showed the substitution of steel *slag* and nickel *slag* on compressive strength, split tensile strength, and flexural strength, the greater the percentage of nickel *slag*, the greater the increase in compressive strength, split tensile strength and flexural strength. Compressive strength value with 20% nickel *slag* substitution increased 3.347%; and for 30% nickel *slag* substitution increased by 4.603%. The value of split tensile strength with 20% nickel *slag* substitution increased by 30.137%; and for 30% nickel *slag* substitution increased by 46.585%. The value of flexural strength with substitution of 20% nickel *slag* increased 31.674%; and for 30% nickel *slag* substitution increased by 66.179%. The relationship between compressive strength and average tensile strength obtained in high quality concrete with nickel *slag* substitution 0%, 20%, 30% at 28 days is 9.3%. The relationship of compressive strength with the average flexural strength obtained in high quality concrete with nickel *slag* substitution of 0%, 20%, 30% at 28 days is $0.621\sqrt{f'c}$.

Keywords: steel *slag*, nickel *slag*, compressive strength, split tensile strength, flexural strength

PENDAHULUAN

Salah satu bidang industri yang saat ini makin maju perkembangannya adalah industri peleburan baja dan industri pengolahan nikel. Seiring meningkatnya pertumbuhan industri maka makin meningkat pula limbah yang dihasilkan oleh industri tersebut. Dalam perkembangannya, limbah *slag* yang dihasilkan oleh industri peleburan baja ini (PT. Barawaja, Makassar) semakin menumpuk hingga mencapai rata-rata 14 ton per bulan dan limbah *slag* yang dihasilkan oleh industri pengolahan nikel ini (PT. Vale Indonesia, Sorowako) mencapai 4,6 juta ton pada tahun 2018. Sehingga perlu dilakukan penanganan yang serius agar tidak mencemari lingkungan. Salah satu limbah yang dihasilkan dari industri tersebut adalah limbah padat atau *slag*. Secara struktur fisik *slag* lebih kaku, padat, dan keras dibandingkan dengan agregat kasar alami. Berdasarkan sifat fisik *slag* tersebut, penulis ingin meneliti kekuatan beton dengan menggunakan *slag* baja sebagai pengganti agregat kasar, dan *slag* nikel sebagai bahan substitusi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur pada beton mutu tinggi dengan variasi substitusi *slag* baja dan *slag* nikel pada campuran beton sebagai substitusi agregat kasar dan mengetahui hubungan kuat tekan (f_c) dengan kuat tarik belah (f_t) dan hubungan kuat tekan (f_c) dengan kuat lentur (f_r) dari beton yang disubstitusi *slag* baja dan *slag* nikel sebagai agregat kasar.

1. Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan diatas beton normal. Meskipun teknologi beton telah terbukti kemampuannya, oleh karena tuntutan konstruksi terhadap kekuatan dan keawetan, teknologi ini dapat ditingkatkan efektivitas kinerjanya dengan memperbaiki mutu beton yang dikenal dengan sebutan beton mutu tinggi. Banyak yang mendefinisikan tentang kategori beton mutu tinggi disesuaikan dengan kuat tekannya, seperti:

- CSA (*Concrete Strength Admixture*) mendefinisikan beton mutu tinggi untuk beton dengan kuat tekan f_c lebih besar dari 50 MPa.
- Menurut PD T-04-2004-C tentang Tata Cara Pembuatan dan Pelaksanaan Beton Berkekuatan Tinggi, yang tergolong beton bermutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan antara 40 – 80 MPa.
- Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) yang tercantum dalam SNI 03-6468-2000 didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 41,4 MPa.

2. Faktor Air Semen (FAS)

Untuk menghasilkan sebuah beton yang bermutu tinggi FAS dalam beton haruslah rendah, namun hal ini menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan. Umumnya nilai FAS minimum untuk beton normal sekitar 0,4 dan nilai maksimal 0,65. Tujuan pengurangan FAS ini adalah untuk mengurangi hingga seminimal mungkin porositas beton yang dibuat sehingga akan dihasilkan beton mutu tinggi. Pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi, *Supartono* (1998) FAS dapat diartikan sebagai *water to cementitious ratio*, yaitu berat air terhadap berat total semen dan *aditif cementitious* yang umumnya di tambahkan pada campuran beton mutu tinggi.

3. Material Penyusun Beton Mutu Tinggi

Secara umum bahan yang digunakan dalam pembuatan beton mutu tinggi adalah agregat halus, agregat kasar, PCC (*Portland Cemen Composite*), air, dan bahan tambah.

a. Agregat halus

Agregat halus dapat berupa pasir alam, pasir hasil olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Bentuk agregat halus akan mempengaruhi kualitas mutu beton yang akan dibuat. Menurut Mulyono (2004), agregat berbentuk bulat mempunyai rongga udara minimum 33% lebih kecil dari rongga udara yang dipunyai oleh bentuk lainnya. Agregat halus yang digunakan untuk campuran harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras, bersifat kekal yang tidak mudah hancur atau pecah oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan. Kadar lumpur yang terkandung dalam agregat halus tidak boleh lebih dari 6%, bila kadar lumpur melampaui 6% maka agregat harus dicuci. Berat jenis dan penyerapan agregat, dan semakin tinggi nilai berat jenis maka semakin kecil pula penyerapannya. Menurut SNI 03-2847-2002, agregat halus merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir maksimum sebesar 5,00 mm.

b. Agregat kasar

Agregat kasar dapat berupa kerikil, pecahan kerikil, batu pecah, terak tanur tiup atau beton semen hidrolis yang dipecah. Sesuai dengan SNI 03-2847-2002, bahwa agregat kasar merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir antara 5,00 mm sampai 20 mm.

c. *Portland Cemen Composite* (PCC)

Menurut SNI 15-7064-2004, definisi *Portland Cemen Composite* adalah bahan pengikat hidrolis penggilingan bersama-sama terak semen *Portland* dan *gyps* dengan satu atau bahan organik lain. Anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silica, batu kapur dengan total anorganik 6% - 35% dari massa semen *portland composite*.

d. Air

Air merupakan salah satu bahan yang diperlukan dalam pembuatan beton yang sebagai bahan pencampur dan pengaduk antara semen dan agregat.

e. Bahan tambah *Silica Fume*

Bahan tambah *silica fume* merupakan generasi terbaru *additive* yang sangat efektif untuk menghasilkan beton dengan kualitas tinggi sesuai dengan standar ASTM 1240 (2000).

4. Karakteristik Beton

a. Kuat tekan beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan.

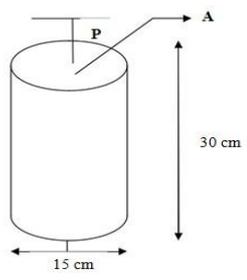
Untuk perhitungan kuat tekan beton dapat menggunakan persamaan berikut :

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- $f'c$ = kuat tekan beton (MPa)
- P = beban maksimum (N)
- A = luas penampang benda uji (mm²)

Mekanisme pengujian kuat tekan beton ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Uji kuat tekan

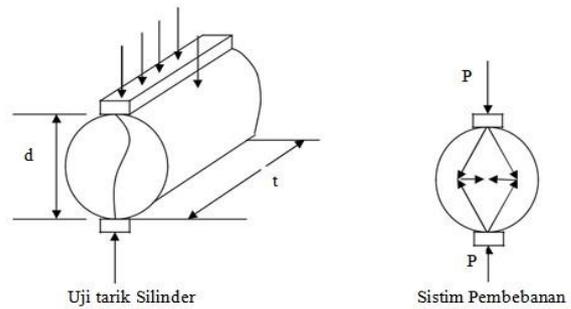
b. Kuat tarik belah beton

Kuat tarik belah adalah kuat tarik beton yang ditentukan berdasarkan kuat tarik belah dari silinder beton yang ditekan pada sisi panjangnya. Kekuatan tarik belah beton relatif rendah, nilai kuat tekan dan tarik belah beton tidak berbanding lurus. Setiap usaha perbaikan untuk kekuatan tekan hanya disertai dengan peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Kekuatan tarik lebih sulit diukur dibandingkan dengan kekuatan tekan karena masalah penjepit pada mesin.

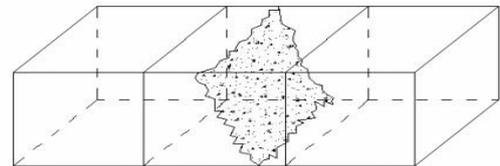
Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji tarik belah disebut *split cylinder strength* atau kuat tarik belah.

c. Kuat lentur beton

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu yang diberikan padanya sampai balok beton patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa). Kuat lentur beton dengan mekanisme pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Uji tarik belah



Gambar 3. Mekanisme pengujian kuat lentur dengan keruntuhan di tengah bentang

5. Limbah Padat (*slag*) Baja

Pada peleburan baja, biji besi atau besi bekas dicairkan dengan kombinasi batu gamping, *delomite* atau kapur, pembuatan baja dimulai dari menghilangkan ion-ion pengotor baja, diantaranya *aluminium*, *silicon* dan *phosphor*. Untuk menghilangkan ion-ion pengotor tersebut diperlukan kalsium yang terdapat pada batu kapur. Campuran kalsium, *aluminium*, *silicon* dan *phosphor* membentuk (*slag*) yang bereaksi pada temperatur 1600°C dan membentuk cairan, bila cairan ini didinginkan maka akan terjadi kristal, dapat digunakan sebagai campuran semen dan dapat juga sebagai pengganti agregat.

6. Limbah padat (*slag*) nikel

Limbah nikel merupakan sejenis batuan hasil pembuangan dari pembakaran *feronikel*, berwarna kelabu perak dan memiliki sifat-sifat menyerupai batu dan unsur silikat serta kapur yang terkandung di dalamnya cukup tinggi. *Slag* nikel mempunyai kandungan Kalsium Oksida (CaO) dan Silicon dioksida (SiO₂) 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.

2.

Beberapa penelitian sejenis yaitu Adiwijaya et.al menggunakan *slag* baja sebagai pengganti agregat untuk mengetahui karakteristik *self compacting concrete*. Hasil penelitian berdasarkan persyaratan beton SCC, dapat digunakan sebagai agregat kasar dan agregat halus [1].

Dionisius et.al menggunakan beton agregat ringan dengan substitusi parsial batu apung sebagai agregat kasar. Hasil penelitian diperoleh nilai densitiy 1850 kg/m³, pada substitusi parsial batu apung 20% dari berat agregat kasar diperoleh kuat tekan dan kuat Tarik belah beton maksimum yaitu 39.21 Mp dan 4.05 Mpa [2].

Nora et.al menguji kuat tekan beton mutu tinggi hybrid dengan substitusi semen dan agregat halus serta penambahan nano material bijih besi . Hasil kuat tekan maksimum pada beton umur 7 hari adalah 44.28 Mpa, 28 hari adalah 59.48 Mpa, dan umur 56 hari 69.71 Mpa [3].

Ervianto et.al menggunakan bahan tambah fly ash dan zat adiktif untuk menguji kuat tekan beton mutu tinggi. Hasil penelitian nilai kuat tekan menjadi semakin tinggi seiring bertambahnya fly ash, tetapi nilai kuat tekan menjadi turun apabila penggunaan fly ash dalam jumlah yang banyak ditujukan sebagai pengganti sebagian semen [4].

Yusra et.al menggunakan bahan tambah *fly ash* batu bara untuk mengetahui kuat tekan beton mutu tinggi. Hasil penelitian untuk umur 28 hari dalam pengujian kuat tekan dengan nilai 56.21 Mpa (*fly ash* 0% dan 5%), 51.68% (8%), 56.59 Mpa (10%), dan 60.36 Mpa (15%), Untuk umur pengujian 56 hari, 0% menghasilkan kuat tekan (64,13 MPa), 5% (63,26 MPa), 8% (56,59 MPa), 10% (63,94MPa), dan 15% (66,96 MPa) [5].

Ardhyan et.al menganalisis pengaruh penggunaan limbah hasil pembakaran cangkang sawit dan pasir pozzolan alami sebagai pengganti agregat serta penggunaan abu pasir pozzolan sebagai aditif pengganti semen. Hasil penelitian bongkahan cangkang sawit dan pasir pozzolan sebagai substitusi serta pemakaian abu pozzolan sebagai aditif dapat meningkatkan nilai kuat tekan[6].

METODOLOGI PENELITIAN

1. Lokasi Pengambilan Material

Material yang digunakan adalah agregat halus dari Bili-bili, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. *Slag* Baja dari PT. Barawaja, Makassar dan *Slag* Nikel berasal dari Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan sebagai pengganti agregat kasar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Material

1. Agregat Halus

Hasil pengujian karakteristik agregat halus semua memenuhi berdasarkan interval SNI. Kadar air 3,307% , kadar organik no.1, kadar lumpur 3,0% , SSD 2,591 , penyerapan 1,730 , berat volume padat 1626,250 kg/m³, berat volume gembur 1585,485 kg/m³, dan modulus kehalusan 2,600. Hasil pengujian agregat halus dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian karakteristik agregat halus

No	Karakteristik	Hasil	Interval SNI	Keterangan
1.	Kadar Air, %	3,307	3,00–5,00	Memenuhi
2.	Kadar Organik	No.1	< No.3	Memenuhi
3.	Kadar Lumpur, %	3,0	0,20–6,00	Memenuhi
4.	Berat Jenis SSD, %	2,591	1,60–3,20	Memenuhi
5.	Absorpsi (Penyerapan), %	1,730	0,20–2,00	Memenuhi
6.	Berat Volume Padat, kg/ m ³	1626,2	1400– 1900	Memenuhi
7.	Berat Volume Gembur, kg/m ³	85	1400– 1900	Memenuhi
8.	Modulus Kehalusan	2,600	2,20–3,10	Memenuhi

2. Agregat Kasar

Hasil pengujian karakteristik agregat kasar *slag* baja untuk semua karakteristik memenuhi standar SNI.

Hasil pengujian agregat kasar *slag* baja dan *slag* nikel masing-masing dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Hasil pengujian karakteristik *slag* baja

No	Karakteristik	Hasil	Interval SNI	Keterangan
1.	Kadar lumpur, %	0,847	0,2 - 1	Memenuhi
2.	Kadar air, %	0,685	0,5-2,0	Memenuhi
3.	Berat volume padat, kg/ltr	1,790	1400 - 1900	Memenuhi
4.	Berat volume gembur, kg/ltr	1.572	1400 - 1900	Memenuhi
5.	Penyerapan, %	1.318	0.2 – 2.0	Memenuhi
6.	SSD	3.141	1.6 – 3.2	Memenuhi

Tabel 3. Hasil pengujian agregat kasar (*Slag* nikel)

No	Karakteristik	Hasil	Interval SNI	Keterangan
1.	Kadar lumpur, %	0,40	0,2 – 1	Memenuhi
2.	Kadar air, %	1,359	0,5 - 2,0	Memenuhi
3.	Berat volume padat, kg/ltr	1.485	1400 - 1900	Memenuhi
4.	Berat volume gembur, kg/ltr	1,427	1400- 1900	Memenuhi
5.	Penyerapan, %	1,441	0,20- 2,00	Memenuhi
6.	Berat jenis (SSD)	2,687	1,6 – 3,2	Memenuhi

B. Hasil Komposisi Mix Design

Komposisi kebutuhan bahan campuran beton untuk substitusi slag nikel 0 % dimana slag baja 965,243, untuk slag nikel 20% slag baja 193,049, dan slag nikel 30% slag baja 289,573. Komposisi kebutuhan bahan campuran beton dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi kebutuhan bahan campuran beton untuk 1 m³

No	Substitusi Slag Nikel	Berat (kg)					
		Semen	Air	Agregat Halus	Slag Baja	Slag Nikel	Silica Fume
1	0%	482,5	193	860,212	965,243	0	19,3
2	20%	482,5	193	860,212	772,194	193,049	19,3
3	30%	482,5	193	860,212	675,670	289,573	19,3

C. Hasil Pemeriksaan Kuat Tekan Beton

Berikut merupakan hasil perhitungan dari kuat tekan beton dari variasi substitusi slag nikel 0%, 15%, dan 30%. Kuat tekan beton actual rata-rata untuk 7,21, dan 28 hari masing-masing variasi substitusi slag adalah 24,899 MPa, 38,292 MPa 45,082 MPa, 26,408 MPa, 42,064 MPa, 46,592 MPa, 27,162 MPa, 43,196 MPa, dan 47,346 MPa. Kuat tekan beton actual rata-rata dari variasi substitusi slag nikel dapat di lihat pada Tabel 5,6, dan 7.

Tabel 4. Kuat tekan beton dari variasi substitusi slag nikel 0%

Substitusi Slag	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan Beton Aktual Rata rata (Mpa)	Kuat Tekan Beton Aktual Rata-rata (Mpa)
Baja 100% dan Nikel 0%	7	490	27.728	24.899
		430	24.333	
		400	22.635	
	21	660	22.635	38.292
		670	37.348	
		700	37.914	
	28	790	44.705	45.082
		820	46.403	
		780	44.139	

Tabel 5. Kuat tekan beton dari variasi substitusi slag nikel 15%

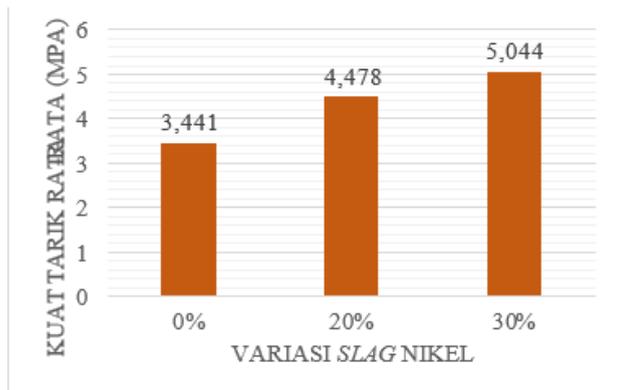
Substitusi Slag	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan Beton Aktual Rata rata (Mpa)	Kuat Tekan Beton Aktual Rata-rata (Mpa)
Baja 85% dan Nikel 15%	7	460	26.031	26.408
		420	23.767	
		520	29.426	
	21	700	39.612	42.064
		780	44.139	
		750	42.441	
	28	800	45.271	46.591
		850	48.100	
		820	46.403	

Tabel 6. Kuat tekan beton dari variasi substitusi slag nikel 30%

Substitusi Slag	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan Beton Aktual Rata rata (Mpa)	Kuat Tekan Beton Aktual Rata-rata (Mpa)
Baja 70% dan Nikel 30%	7	480	27.162	27.162
		470	26.597	
		490	27.728	
	21	760	43.007	43.196
		750	42.441	
		780	44.139	
	28	840	47.534	47.346
		820	46.403	
		850	48.100	

D. Hasil Pemeriksaan Kuat Tarik Belah Beton

Uji kuat tarik belah beton bertujuan untuk mengetahui berapa gaya tarik maksimal yang diberikan kepada beton dalam satuan KN. Setelah mencapai umur rencana perawatan benda uji 28 hari, maka setiap benda uji dibagi berdasarkan variasi substitusi slag baja yang digunakan, kemudian dilakukan uji tarik belah di laboratorium. Berikut hasil pengujian kuat tarik belah beton.

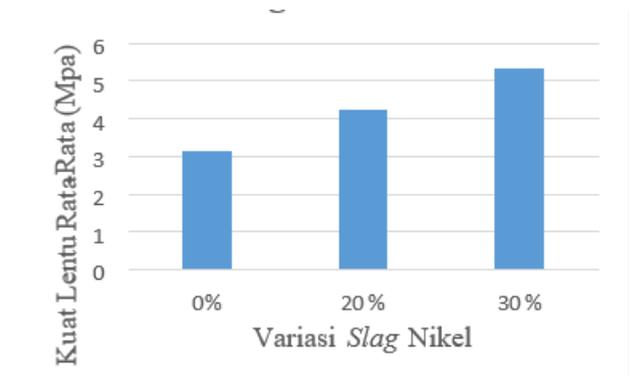


Gambar 3. Diagram Batang Hubungan Variasi Slag dan Kuat Tarik Belah

E. Hasil Pemeriksaan Kuat Lentur

Kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya, sampai benda uji patah, dinyatakan dalam Mega

Pascal (Mpa) gaya per satuan luas. Setelah mencapai umur rencana perawatan benda uji 28 hari, maka setiap benda uji dibagi berdasarkan variasi faktor air semen yang digunakan, kemudian dilakukan uji kuat lentur di laboratorium. Berikut ini adalah hasil pengujian kuat lentur beton.



Gambar 4. Diagram Batang Hubungan Variasi Slag dan Kuat Lentur Beton

Tabel 7. Kuat lentur beton dari variasi substitusi slag nikel

Variasi Slag Nikel (%)	Beban Maksimum Aktual (Ton)	Beban Maksimum (kN)	Kuat lentur beton (MPa)	Kuat lentur beton rata-rata (MPa)
0	2.2	21.582	3.325	3.124
	2.4	23.544	3.628	
	1.6	15.696	2.418	
20	2.4	23.544	3.628	4.232
	2.8	27.462	4.232	
	3.2	31.392	4.837	
30	3.6	35.316	5.441	5.341
	3.8	37.278	5.744	
	3.2	31.392	4.837	

Pembahasan

Kadar lumpur 0,847%, kadar air 0,685%, berat volume padat 1,790 kg/ltr, berat volume gembur 1,572 kg/ltr, penyerapan 2%. Untuk hasil pengujian agregat kasar-slag nikel kadar lumpur 0,40%, kadar air 1,359%, berat volume padat 1485 kg/ltr, berat volume gembur 1,427 kg/ltr, penyerapan 1,441%, SSD 2,687.

Nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur yang diperoleh pada beton dengan substitusi slag nikel 0%, 20%, 30% umur 28 hari meningkat.

Hubungan kuat tekan dengan kuat tarik belah rata-rata yang diperoleh pada beton mutu tinggi dengan substitusi slag nikel 0%, 20%, 30% pada umur 28 hari adalah 9,3%.

KESIMPULAN

Nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur yang diperoleh pada beton dengan substitusi slag nikel 0%, 20%, 30% umur 28 hari meningkat. Nilai kuat tekan dengan substitusi slag nikel 20% meningkat 3,347%; dan untuk substitusi slag nikel 30% meningkat sebanyak 4,603%. Nilai kuat tarik belah dengan substitusi slag nikel 20% meningkat 30,137%; dan untuk substitusi slag nikel 30% meningkat sebanyak 46,585%. Nilai kuat lentur dengan substitusi slag nikel 20% meningkat 31,674%; dan untuk substitusi slag nikel 30% meningkat sebanyak 66,179%.

Hubungan kuat tekan dengan kuat tarik belah rata-rata yang diperoleh pada beton mutu tinggi dengan substitusi slag nikel 0%, 20%, 30% pada umur 28 hari adalah 9,3%.

Hubungan kuat tekan dengan kuat lentur rata-rata yang diperoleh pada beton mutu tinggi dengan substitusi slag nikel 0%, 20%, 30% pada umur 28 hari adalah $0,621\sqrt{f'c}$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adiwijaya dan I. T. Datu, 2018, "Penerapan Slag Baja Sebagai Pengganti Agregat Pada Karakteristik Self Compacting Concrete," in Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat p. 166-171.
- [2] D. T. Ab and I. G. P. Raka, 2010, "Beton Agregat Ringan dengan Substitusi Parsial Batu Apung Sebagai Agregat Kasar," in Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 4. p. 173 – 180.
- [3] N. Usriana, 2018, "Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Hybrid dengan Substitusi Semen dan Agregat Halus Serta Penambahan Nano Material Buih Besi." J. Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan vol. 1, no.1, p, 179 – 188.
- [4] Moh. Ervianto, F. Saleh, and H. Prayuda, 2016, "Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambah Abut Terbang dan Zat Adiktif," SINERGI, vol. 20, no. 3, p. 199.
- [5] A. Yusra, T. B. Aulia, and J. Jufriadi, 2018, "Pengaruh Bahan Tambah Fly Ash Batu Bara Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi," J. Tek. Sipil Dan Teknol. Konstr., vol. 1, no. 1, 2, doi: 10.35308/jts-utu.v1i1.717.
- [6] M.Z. Ardian, 2016, "Pengaruh Substitusi Parsial Agregat dan Aditif Terhadap Sifat Mekanis Beton Mutu Tinggi." J. Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala . 2016.