

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TINGGI TERHADAP KUAT TEKAN BETON YANG MENGGUNAKAN TERAK NIKEL SEBAGAI AGREGAT KASAR

*Yudhi Dwi Hartono¹, Nini Hasriani Aswad², Baso Mursidi³ & Dian Puteri Nurbaity⁴

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Kendari, Indonesia

^{2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo, Indonesia

⁴Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Kendari, Indonesia

yudhi@umkendari.ac.id *Corresponding Author

Abstrak: Analisis Pengaruh Temperatur Tinggi Terhadap Kuat Tekan Beton yang Menggunakan Terak Nikel sebagai Agregat Kasar. Seiring dengan pesatnya perkembangan infrastruktur, kebutuhan akan beton sebagai material struktur terus meningkat. Beton dipilih karena keuntungan dari sifat mekanik yang dapat direncanakan sesuai keinginan, terjangkau, keserbagunaan dan kemudahan perawatan dibandingkan bahan konstruksi lainnya. Di samping itu, tidak seperti kayu yang mudah terbakar atau baja yang mudah meleleh, beton termasuk material yang sangat tahan terhadap suhu tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan beton yang menggunakan terak nikel setelah terekspos suhu tinggi, serta sisa kuat tekan beton terhadap variasi suhu tinggi yang diperoleh. Penelitian ini menggunakan metode quantitative dengan membandingkan dua jenis benda uji yaitu beton konvensional dan beton yang menggunakan terak nikel. Kedua benda uji direncanakan pada kekuatan K200. Kedua jenis benda uji dibakar selama masing-masing 3 jam dengan variasi suhu antara 200 – 800 °C, dengan selisih kenaikan suhu sebesar 100 °C. Semua benda uji kemudian diukur kuat tekannya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pembakaran, semakin besar pula penurunan kekuatan ke dua jenis beton. Beton yang menggunakan terak nikel sebagai agregat kasar memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi yang lebih baik dari beton konvensional di semua tingkat kenaikan suhu pembakaran. Pada suhu pembakaran tertinggi yaitu 800 °C, kuat tekan beton turun drastis dan hanya tersisa sebesar 39,90%.

Kata kunci: Kuat tekan beton; terak nikel; suhu tinggi

Abstract: *The Analysis of High-Temperature Effect on Compressive Strength of Concrete with Nickel Slag as Coarse Aggregate.* As the rapid development of infrastructure, the need for concrete as a structural material continues to increase. Concrete was chosen because of the advantages of its customizable mechanical properties, affordability, versatility and ease of maintenance compared to other construction materials. In addition, unlike wood that is flammable or steel which melts easily, concrete is a material that is highly resistant to high temperatures. This study aims to evaluate the strength of concrete using nickel slag after high temperature exposure, as well as the remaining concrete compressive strength against the variation in high temperature obtained. This study uses a quantitative method by comparing two types of test samples, namely conventional concrete and concrete using nickel slag. Both types of samples were designed at the strength of K200. These samples were burned for 3 hours each with a temperature variation between 200 - 800 °C, with an increase of 100 °C, and then measured for compressive strength. The test results show that the higher the combustion temperature, the greater the decrease in strength for the two types of concrete. Concrete that uses nickel slag as coarse aggregate has better high temperature resistance than conventional concrete at all levels of rising combustion temperatures. At the highest combustion temperature, which is 800 °C, the compressive strength of concrete drops dramatically and only 39.90% remains.

Keyword: Concrete compressive strength; nickel slag; high temperature

*History & License of Article Publication:**Received: 13/11/2021 Revision: 23/12/2021 Published: 28/12/2021*

DOI: <https://doi.org/10.37971/radial.v9i2.237>

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan utama penyusun struktur bangunan dan sudah dikenal oleh masyarakat luas karena mempunyai banyak keunggulan dibandingkan bahan bangunan lainnya (Mohamad et al., 2020; P Nugraha, 2007). Beton dipilih tidak hanya karena memiliki kuat tekan yang tinggi, tetapi juga biaya rendah, ketahanan api yang baik, serta keserbagunaan dan kemudahan perawatan dibandingkan bahan konstruksi lainnya (Hongen et al., 2017; Behera et al., 2014). Saat ini, seiring dengan meningkatnya pembangunan infrastruktur, kebutuhan akan beton sebagai material struktur terus meningkat pesat (Akbari and Jafari Deligani, 2020; Holan et al., 2020; Varona et al., 2020).

Dari semua bahan material bangunan, beton merupakan material yang paling tepat untuk merepresentasikan kekuatan dalam merespon panas. Tidak seperti kayu, beton tidak terbakar, sehingga tidak akan menyebarkan api ataupun asap ketika terpapar temperatur tinggi. Dibandingkan dengan baja, beton pun tidak meleleh ketika terpapar panas tinggi, misalnya di atas 800 °C. Selain itu, karena struktur beton lebih masif, memiliki lebih kecil konduktifitas, dan memiliki lebih tinggi kapasitas panas dibandingkan dengan baja, inti dari bagian struktur tetap dingin lebih lama ketika terekspos suhu tinggi (Holan et al., 2020; Varona et al., 2020).

Meskipun memiliki banyak kelebihan pada karakteristik di atas dibandingkan dengan kayu dan baja, beton tetap memiliki perubahan parah yang tidak bisa dipulihkan ketika terekspos suhu tinggi (Holan et al., 2020; Varona et al., 2020). Senada dengan ini, Akbari and Jafari Deligani, 2020; Düğenci et al., 2015; Aswani Ahmad et al., 2009 mengemukakan bahwa beton akan mengalami kerusakan atau penurunan kekuatan jika terkena suhu tinggi, misalnya jika terbakar. Penelitian yang dilakukan oleh Düğenci et al., (2015) menunjukkan bahwa, kuat tekan beton, modulus elastisitas, nilai kekerasan beton akan mengalami penurunan ketika terekspos terhadap suhu tinggi. Variasi kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, porositas dan kehilangan massa adalah beberapa sifat yang paling penting untuk diselidiki ketika struktur beton mengalami suhu ekstrim (Pathak & Siddique, 2012). Oleh karena itu, penting untuk menginvestigasi bagaimana meningkatkan kemampuan beton agar lebih rentan terhadap suhu tinggi.

Pengetahuan tentang karakteristik beton bila terpapar temperatur tinggi sangat penting untuk merencanakan ketahanan struktur yang terekspos suhu tinggi pada waktu tertentu, karena menurut Karimi and Nematzadeh, 2020 api adalah fenomena destruktif utama bagi bangunan, yang menyebabkan kerusakan bernilai miliaran dolar setiap tahunnya. Selain itu, hal ini dapat juga digunakan untuk memperkirakan pengurangan kekuatan yang dapat terjadi pada saat terjadi kebakaran pada suatu gedung.

Api atau panas yang melanda suatu bangunan seringkali menyebabkan kerusakan pada elemen strukturnya (Larissa et al., 2020). Kualitas dan kekuatan beton akan semakin menurun seiring dengan kenaikan suhu dan lamanya kebakaran. Selain itu hal lain yang juga mempengaruhi penurunan kekuatan beton ini adalah jenis material strukturnya (Murdock & Brook, 2003).

Beton merupakan material bangunan yang tersusun dari pasir (agregat halus), semen, kerikil (agregat kasar) serta air. Kerikil merupakan salah satu bahan utama yang komposisinya cukup tinggi pada beton. Ukuran dan kekuatan kerikil juga menjadi salah satu faktor penentu pada kekuatan beton.

Banyak penelitian telah dilakukan dengan berfokus pada substitusi dari salah satu atau lebih bahan material penyusun beton, contohnya kerikil. Salah satu penelitian populer yaitu substitusi agregat kasar dengan terak nikel. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggantian agregat kasar dengan terak nikel dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Akan tetapi, sampai saat ini belum ada penelitian yang bertujuan untuk mencari tahu apakah terak nikel ini dapat membantu beton dalam mempertahankan kekuatannya saat terekspos suhu tinggi, dikarenakan kandungan silika pada slag nikel tersebut. Padahal, agregat kasar yang mengandung silika tinggi tidak mengalami perubahan kimiawi pada suhu tinggi seperti yang ditemukan pada terak nikel. Penelitian yang dilakukan oleh Netinger et al., 2011 menunjukkan bahwa beton yang menggunakan agregat dari slag tidak menunjukkan perubahan volume atau sifat fisik lainnya secara tiba-tiba.

Agregat kasar terak nikel merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pengolahan nikel. Salah satu perusahaan tambang nikel terbesar yang menghasilkan limbah nikel slag yang cukup melimpah adalah PT. Aneka Tambang (Antam) terletak di Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Perseroan ini mampu memproduksi 300 - 400 ton nikel slag per hari per tungku listrik yang harus dibuang yang hingga saat ini masih sangat minim penggunaannya.

Terak nikel ini mengandung setidaknya 70% Silika (SiO_2), dimana dengan kandungan Silika yang tinggi tersebut, terak nikel berpotensi untuk menjaga kuat tekan beton saat terkena suhu tinggi.

Atas dasar ini, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan atau substitusi terak nikel sebagai agregat kasar terhadap ketahanan beton jika terpapar suhu yang cukup tinggi, misalnya pada saat kebakaran.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa permukaan beton dapat mencapai suhu 100 °C dan transfer panas ini akan meningkatkan suhu pada bagian dalam beton mencapai 300°C–700°C (Choe et al., 2015).

METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan membandingkan dua jenis benda uji yaitu beton konvensional dengan perencanaan kekuatan K200 yang dibandingkan dengan beton dengan agregat kasar terak nikel, dengan perencanaan kekuatan yang sama. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 30 cm dengan jumlah masing-masing 3 buah per suhu percobaan. Benda uji yang digunakan ada yang dibakar ada juga yang tidak. Kedua benda uji (beton konvensional dan beton dengan terak nikel) akan dibakar selama masing-masing 3 jam pada tungku pembakaran

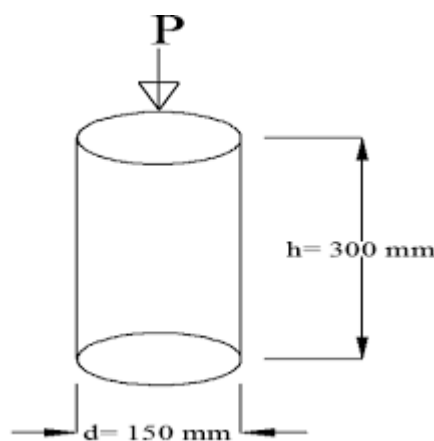
Analisis Pengaruh Temperatur Tinggi Terhadap Kuat Tekan Beton Yang Menggunakan Terak Nikel Sebagai Agregat Kasar (**Hartono**)

yang diukur dengan termometer khusus dengan variasi suhu antara 200 – 800 °C, dengan selisih kenaikan sebesar 100 °C. Semua benda uji baik yang dibakar maupun tidak akan diuji kuat tekannya di laboratorium.

Kuat tekan adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan dengan menggunakan alat uji tekan beton (*Compressive Strength Test*) SNI 03-1974-1990). Rumus perhitungan yang digunakan yaitu:

$$f_c' = \frac{P}{A} \text{ (Mpa)} \dots \dots \dots (1)$$

dimana: P adalah beban maksimum (N/mm²) dan A luas penampang (mm)



Gambar 1. Ilustrasi Pengujian Beton Silinder

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan selama ± 2 bulan di Laboratorium Konstruksi dan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo Kendari, Sulawesi Tenggara.

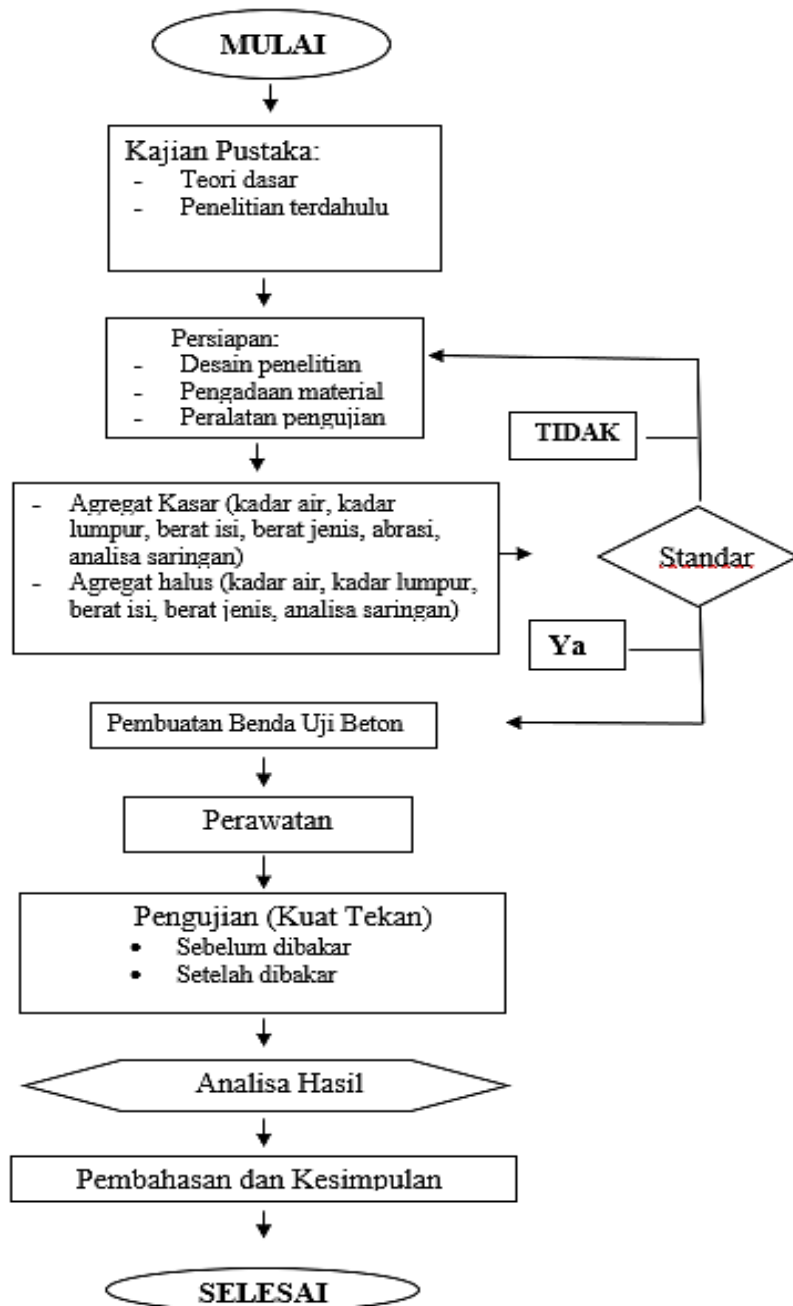
Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Saringan, pemisah partikulat berdasarkan ukuran partikel
 2. Timbangan digital, dengan ketelitian 0,01 gram
 3. Gelas kimia, volume 1000 ml
 4. Piknometer, volume 500
 5. Penumbuk baja
 6. Termometer ruang
 7. Lingkaran indikator warna zat organik (*organik plate*)
 8. Oven pengering, bertemperatur 220 °C
 9. Silinder pengukur berat volume agregat, kapasitas 2,781 dan 1,862 liter
 10. *Jaw Crusher*, reduktor ukuran agregat
 11. Cetakan Beton silinder ukuran 15cm x 30 cm
 12. Mesin uji kuat tekan beton (*Universal Testing Machine*), berkapasitas 100 ton;
- Analisis Pengaruh Temperatur Tinggi Terhadap Kuat Tekan Beton Yang Menggunakan Terak Nikel Sebagai Agregat Kasar (**Hartono**)

13. Alat Pembakar (Tungku tanah liat, Thermocouple, Thermocontrol, dan Kompor bertekanan tinggi);
14. Limbah Terak Nikel (*Nickel slag*) dari PT. ANTAM (Aneka Tambang), Pomalaa
15. Semen Portland tipe I (PC) merek “Tonasa”
16. Air sumur bor Laboratorium Struktur dan Konstruksi, Universitas Halu leo.
17. Agregat halus (pasir Pohara).

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada umumnya bahan penyusun beton adalah Semen Portland (sebagai perekat), Agregat Kasar (split, slag), Agregat Halus (Pasir) dan Air (sebagai pelarut). Untuk mendapatkan mutu beton yang baik, agregat harus melalui beberapa tahapan pengujian, sehingga didapatkan agregat yang memenuhi persyaratan. Oleh karena itu, agregat yang akan digunakan perlu diuji untuk mengetahui apakah agregat tersebut memenuhi persyaratan-persyaratan yang dikehendaki yaitu mengacu kepada standar ASTM C33. Cara pengujian agregat mengacu kepada standar *American Society for Testing and Material* (ASTM).

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian Kuat Tekan dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Halu Oleo. Jumlah sampel untuk pengujian kuat tekan 24 buah untuk benda uji yang menggunakan terak terak nikel, dan 24 buah untuk benda uji beton konvensional. Pengujian Kuat Tekan pada penelitian ini dilakukan dengan metode *crushing test*. Pengujian *crushing test* ini menggunakan alat tekan hidrolik. Sebelum dilaksanakan uji tekan, benda uji ditimbang untuk mengetahui beratnya.

Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada umur beton 28 hari, dimana pada hari ke 28, kekuatan beton yang direncanakan sudah mencapai lebih dari 95%. Pengujian dilakukan dengan meletakkan benda uji pada alat tekan hidrolik. Kemudian beban tekan ditingkatkan sedikit demi sedikit sampai beton mencapai kemampuan maksimalnya dalam menerima beban dan hancur. Data yang diperoleh berupa gaya tekan (N) yang akan dibagi dengan luas penampang (mm^2) untuk mendapatkan tegangan (MPa). Pada Tabel 1 berikut ini disajikan hasil pengujian kuat tekan beton yang menggunakan terak nikel pada masing-masing benda uji.

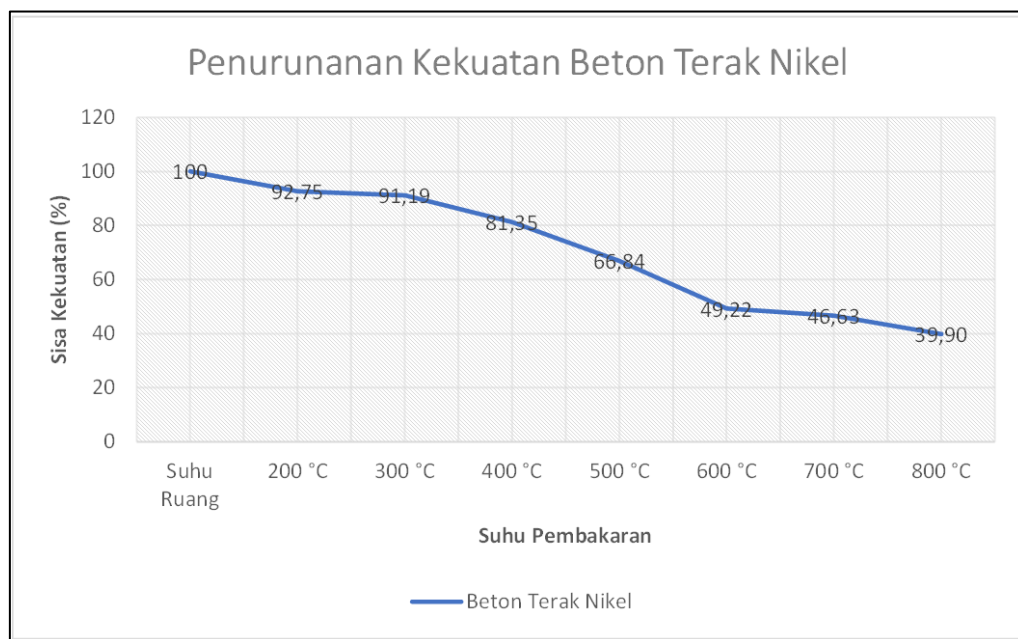
Tabel 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton yang menggunakan Terak Nikel

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Umur	Kuat Tekan (MPa)	Rerata (MPa)	Kekuatan Sisa (%)
25-30	28 hari	20.3	19,30	100,00
	28 hari	18.4		
	28 hari	19.2		
200	28 hari	17.5	17,90	92,75
	28 hari	18.4		
	28 hari	17.7		
300	28 hari	18.4	17,60	91,19
	28 hari	17.0		
	28 hari	17.3		
400	28 hari	16.6	15,70	81,35
	28 hari	15.9		
	28 hari	14.8		
500	28 hari	12.5	12,90	66,84
	28 hari	13.3		
	28 hari	12.9		
600	28 hari	8.9	9,50	49,22
	28 hari	10.3		

Suhu (° C)	Umur	Kuat Tekan (MPa)	Rerata (MPa)	Kekuatan Sisa (%)
700	28 hari	9.2	9,00	46,63
	28 hari	8.9		
	28 hari	9.6		
	28 hari	8.5		
800	28 hari	8.1	7,70	39,90
	28 hari	7.4		
	28 hari	7.7		

Sumber: Hasil Analisa Penulis 2021

Dari tabel di atas terlihat bahwa kekuatan beton terus menurun seiring dengan bertambahnya suhu pembakaran. Sebelum dibakar, rata-rata beton memiliki kekuatan 19,30 MPa pada usia 28 hari. Penurunan kekuatan yang paling signifikan yaitu pada suhu pembakaran dari 300 °C sampai 600 °C, seperti yang jelas terlihat pada grafik di Gambar 3 di bawah ini. Grafik penurunan kekuatan beton mulai landai pada suhu di antara 600 °C sampai 800 °C. Kekuatan beton hanya tersisa 39,90% atau setara 7,70 MPa pada suhu pembakaran 800 °C.



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Beton dengan 100% Terak Nikel Sebagai Agregat Kasar (MPa)

Adapun hasil pengujian kuat tekan beton pada beton konvensional dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton konvensional

Suhu (° C)	Umur	Kuat Tekan (MPa)	Reratad (MPa)	Kekuatan Sisa (%)
25-30	28 hari	19,89	20,33	100,00

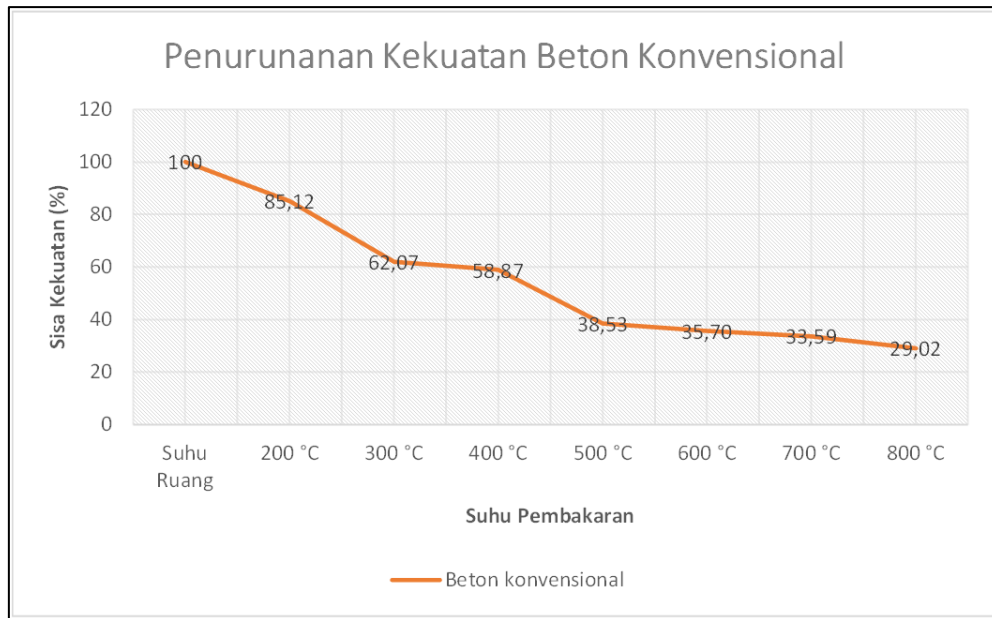
Analisis Pengaruh Temperatur Tinggi Terhadap Kuat Tekan Beton Yang Menggunakan Terak Nikel Sebagai Agregat Kasar (**Hartono**)

Suhu (° C)	Umur	Kuat Tekan (MPa)	Reratad (MPa)	Kekuatan Sisa (%)
	28 hari	22,03		
	28 hari	19,06		
200	28 hari	18,37		
	28 hari	18,32	17,30	85,12
300	28 hari	15,21		
	28 hari	12,62	12,62	62,07
400	28 hari	12,62		
	28 hari	11,14		
500	28 hari	12,15	11,97	58,87
	28 hari	12,60		
600	28 hari	8,34		
	28 hari	8,77	7,83	38,53
700	28 hari	6,39		
	28 hari	8,26		
800	28 hari	5,13	7,26	35,70
	28 hari	8,37		
	28 hari	5,71		
	28 hari	7,41	6,83	33,59
	28 hari	7,37		
	28 hari	4,59		
	28 hari	6,43	5,90	29,02
	28 hari	6,68		

Sumber: Hasil Analisa Penulis 2021

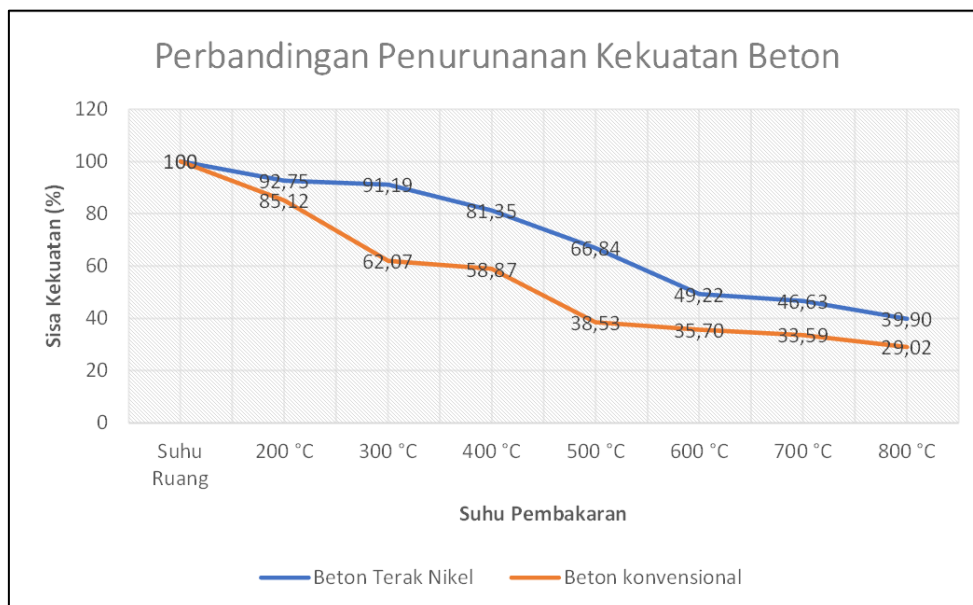
Seperti halnya beton yang menggunakan terak nikel, beton konvensional pun mengalami reduksi kekuatan yang cukup signifikan terutama pada suhu pembakaran 200 °C sampai 500 °C. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 di bawah ini, penurunan tertinggi terjadi di suhu 300 °C dan 500 °C, dimana penurunannya mencapai 20%.

Dari grafik juga terlihat bahwa penurunan kekuatan cukup landai di suhu antara 500 °C sampai 800 °C. Kekuatan beton di suhu 800 °C hanya tersisa 29,02% yang setara dengan 5,90 MPa, dimana kekuatan beton sebelum dibakar sebesar 20,33 MPa.



Gambar 4. Grafik Penurunan Kuat Tekan Beton Konvensional

Grafik perbandingan penurunan kekuatan beton yang menggunakan terak nikel dan beton konvensional dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini:



Gambar 5. Grafik perbandingan penurunan kekuatan beton terak nikel dan beton biasa

Dari grafik di atas terlihat bahwa kedua jenis beton mengalami tren penurunan yang hampir sama, turun sangat signifikan di beberapa suhu dan melandai di suhu yang lain.

Dari kedua jenis beton di atas, perbedaan penurunan yang signifikan terlihat pada suhu pembakaran 300 °C dimana beton dengan terak nikel masih menunjukkan performa yang cukup baik karena kekuatannya masih tersisa lebih dari 90%, sementara kekuatan pada beton konvensional hanya tersisa sekitar 62% saja. Pada suhu ini, untuk beton dengan terak nikel masih memungkinkan untuk tetap dipertahankan pada bangunan, selama tidak terjadi kerusakan yang signifikan.

Analisis Pengaruh Temperatur Tinggi Terhadap Kuat Tekan Beton Yang Menggunakan Terak Nikel Sebagai Agregat Kasar (**Hartono**)

<https://stitek-binataruna.e-journal.id/radial/index>

Walaupun penurunan kekuatan pada beton konvensional cukup landai pada suhu 400 °C, di suhu 500 °C, ke dua beton memiliki tren penurunan yang hampir sama. Walaupun begitu, beton dengan campuran terak nikel masih memiliki performa yang cukup baik dengan selisih sisa kekuatan di kisaran 25%.

Pada suhu pembakaran dari 500 °C sampai 800 °C juga memiliki tren penurunan yang hampir sama yaitu cukup landai. Sekali lagi, beton dengan terak nikel masih memiliki performa yang cukup baik dibandingkan dengan beton konvensional dengan selisih sisa kekuatan sebesar 10%.

Pada suhu puncak ini kedua beton sudah mengalami reduksi kekuatan yang sangat signifikan dibandingkan ketika beton belum di bakar yaitu hanya tersisa kekuatan 39,90% pada beton dengan terak nikel dan 29,02% pada beton konvensional.

Ketika hal ini terjadi pada beton di bangunan, beton tersebut sudah tidak dapat lagi digunakan sebagai komponen struktur bangunan. Walaupun demikian, dari grafik ini dapat disimpulkan bahwa beton dengan terak nikel memang terbukti dapat lebih tahan terhadap suhu tinggi dibandingkan dengan beton konvensional seperti yang telah disinggung oleh penelitian-penelitian sebelumnya, misalnya yang dilakukan oleh Netinger et al., 2011.

Kekuatan tekan yang lebih tinggi pada beton dengan slag nikel disebabkan karena adanya perbaikan interface antara mortar dan agregat kasar sedangkan pada beton tanpa slag tidak terdapat perbaikan interface. Selain itu, terak nikel memiliki kandungan kimia yang lebih tahan terhadap suhu tinggi dan juga tidak mengalami perubahan volume secara tiba-tiba pada suhu tinggi sehingga dapat mengurangi keretakan pada beton pada saat terbakar atau mengalami suhu tinggi.

Selain hal di atas, yang turut menyebabkan beton terak nikel lebih kuat terhadap suhu adalah nilai ketahanan abrasi dan berat volume terak nikel dimana dari hasil pengujian bahan diperoleh nilai ketahanan abrasi untuk slag nikel sebesar 16,93% dan kisaran 27% untuk batu pecah biasa, sementara untuk pengujian berat volume, diperoleh nilai 1,59 gr/cm³ untuk terak nikel dan kisaran 1,49 gr/cm³ untuk batu pecah biasa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian pengaruh temperatur tinggi terhadap kuat tekan beton diperoleh kesimpulan bahwa semakin tinggi suhu pembakaran, semakin besar pula penurunan kekuatan ke dua jenis beton: beton dengan terak nikel dan beton konvensional.

Beton yang menggunakan terak nikel sebagai agregat kasar memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi yang lebih baik dari beton konvensional di semua tingkat kenaikan suhu pembakaran. Selain itu, kekuatan beton terak nikel berangsur-angsur menurun seiring dengan penambahan suhu pembakaran, dimana di suhu pembakaran 800 oC, kuat tekan beton turun drastis dan hanya tersisa sebesar 39,90 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbari, M., & Jafari Deligani, V. (2020). Data driven models for compressive strength prediction of concrete at high temperatures. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 14(2), 311–321. <https://doi.org/10.1007/s11709-019-0593-8>
- Aswani Ahmad, I., Anny Suryaningsih Taufieq, N., & Hamid Aras, A. (2009). Analisis Pengaruh Temperatur terhadap Kuat Tekan Beton. *Agustus*, 16(2).

- Behera, M., Bhattacharyya, S. K., Minocha, A. K., Deoliya, R., & Maiti, S. (2014). Recycled aggregate from C & D waste & its use in concrete – A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review. *CONSTRUCTION & BUILDING MATERIALS*, 68, 501–516. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.003>
- Choe, G., Kim, G., Gucunski, N., & Lee, S. (2015). Evaluation of the mechanical properties of 200 MPa ultra-high-strength concrete at elevated temperatures and residual strength of column. *Construction and Building Materials*, 86, 159–168. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.074>
- Dülenci, O., Haktanir, T., & Altun, F. (2015). Experimental research for the effect of high temperature on the mechanical properties of steel fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 75, 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.005>
- Holan, J., Novák, J., Müller, P., & Štefan, R. (2020). Experimental investigation of the compressive strength of normal-strength air-entrained concrete at high temperatures. *Construction and Building Materials*, 248, 118662. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118662>
- Hongen, Z., Feng, J., Qingyuan, W., Ling, T., & Xiaoshuang, S. (2017). Influence of Cement on Properties of Fly-Ash-Based Concrete. *ACI Materials Journal*, 114(5).
- Karimi, A., & Nematzadeh, M. (2020). Axial compressive performance of steel tube columns filled with steel fiber-reinforced high strength concrete containing tire aggregate after exposure to high temperatures. *Engineering Structures*, 219(March), 110608. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110608>
- Larissa, L. C., Marcos, M. A., Maria, M. V., S. L. de Souza, N., & de Farias, E. C. (2020). Effect of high temperatures on self-compacting concrete with high levels of sugarcane bagasse ash and metakaolin. *Construction and Building Materials*, 248, 118715. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118715>
- Mohamad, R. M., Rachman, A., & Mointi, R. (2020). Kuat tekan beton untuk mutu tinggi 45 MPa dengan fly ash sebagai bahan pengganti sebagian semen. *Radial*, 8(1), 25–33.
- Murdock, L. J., & Brook, K. . (2003). *Bahan dan Praktek Beton* (Cetakan Ke). Erlangga.
- Netinger, I., Kesegic, I., & Guljas, I. (2011). The effect of high temperatures on the mechanical properties of concrete made with different types of aggregates. *Fire Safety Journal*, 46(7), 425–430. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2011.07.002>
- P Nugraha. (2007). *Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi* (P. Nugraha (ed.)). Universitas Kristen Offset.
- Pathak, N., & Siddique, R. (2012). Effects of elevated temperatures on properties of self-compacting-concrete containing fly ash and spent foundry sand. *Construction and Building Materials*, 34, 512–521. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.026>
- Varona, F. B., Baeza-Brotons, F., Tenza-Abril, A. J., Baeza, F. J., & Bañón, L. (2020). Residual compressive strength of recycled aggregate concretes after high temperature exposure. *Materials*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/MA13081981>