



Analisis Pengaruh Pencampuran Nanomaterial: *Graphene Oxide* Terhadap Kuat Tekan Beton

Berly A. Kalembiro^{#a}, Reky S. Windah^{#b}, Steenie E. Wallah^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^abkalembiro@gmail.com; ^brekywindah@unsrat.ac.id; ^csteeenie@unsrat.ac.id

Abstrak

Beton merupakan bahan konstruksi yang sangat penting dan paling dominan digunakan dalam pembangunan struktur bangunan. Dalam beberapa kasus, campuran beton memerlukan penggunaan bahan tambahan untuk meningkatkan kinerjanya, terutama dalam hal kuat tekan beton. Salah satu bahan tambahan yang menarik perhatian adalah *graphene oxide*, sebuah material baru yang ditemukan dalam dunia nanoteknologi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *graphene oxide* terhadap kekuatan beton melalui pengujian kuat tekan. *Graphene oxide* disintesis dari grafit menggunakan metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE), dan karakterisasi dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis, dengan puncak absorbansi yang diperoleh pada panjang gelombang 224,70 nm. Pada tahap pengujian kuat tekan beton, dilakukan variasi presentase penambahan *graphene oxide* sebesar 0%, 0,05%, 0,1%, dan 0,2% dari berat semen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan *graphene oxide* sebesar 0,1% dan 0,2% menghasilkan peningkatan kuat tekan beton sebesar 5,187% dan 10,136% dibandingkan dengan beton tanpa penambahan *graphene oxide*. Namun, pada presentase 0,05% terjadi penurunan kuat tekan sebesar 2,231% dari beton tanpa penambahan *graphene oxide*. Sebagai kesimpulan, penelitian ini menunjukkan potensi positif dari penggunaan *graphene oxide* dalam meningkatkan kekuatan beton.

Kata kunci: graphene oxide, kuat tekan, liquid phase exfoliation

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Beton merupakan bahan konstruksi yang sangat penting dan paling dominan digunakan dalam pembangunan struktur bangunan. Beton digunakan sebagai bahan konstruksi utama dalam berbagai jenis bangunan, termasuk gedung, infrastruktur air, sarana transportasi, dan bangunan lainnya. Dalam beberapa kasus, campuran beton memerlukan penggunaan bahan tambahan untuk meningkatkan kinerjanya. Tujuan dari penggunaan bahan tambahan adalah untuk mengubah satu atau lebih sifat beton, baik saat masih dalam keadaan segar maupun setelah mengeras. Salah satu tujuan umum dari penambahan bahan tambahan adalah untuk meningkatkan kuat tekan beton. Bahan tambahan tersebut dapat berupa bahan kimia atau bahan lainnya.

Seiring perkembangan teknologi terdapat penelitian yang memperkenalkan teknologi terbaru khususnya di dunia nanoteknologi. Salah satu hal yang menarik dalam dunia nanoteknologi adalah penciptaan material baru yang berskala nanometer, dan memiliki kualitas sangat baik dilihat dari berbagai aspek seperti ukuran dan strukturnya. Material yang ditemukan oleh Andre K. Geim dan Konstantin Novoselov pada tahun 2004 tersebut dinamakan material *graphene* (Randviir E. P., 2014). *Graphene* adalah material baru yang terbentuk dari satu lapis atom karbon yang memiliki struktur hexagonal menyerupai sarang lebah. *Graphene* memiliki sifat mekanik, ketahanan termal dan elektrik yang baik. Sifat-sifat unggul yang dimiliki *graphene*

tersebut menarik perhatian para ilmuwan atau akademisi untuk mengembangkan material ini, baik dalam produksi maupun dalam pengaplikasiannya terhadap beton.

Beberapa negara telah mengembangkan produk beton dengan campuran *graphene* dan telah menerapkannya dalam konstruksi bangunan. Namun, di Indonesia, penerapan campuran *graphene* dalam beton masih terbatas, yang juga disebabkan oleh keterbatasan produksi *graphene* karena berkaitan dengan *graphene* yang sulit untuk diperoleh. Dalam penelitian ini, akan dilakukan sintesis *graphene oxide* berbahan dasar grafit dengan menggunakan metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE) yang dapat lebih mudah diperoleh dibandingkan *graphene*. *Graphene oxide* memiliki sifat hidrofilik yang memungkinkannya terdispersi dengan baik dalam air dan larutan air seperti yang digunakan dalam campuran beton. Sementara itu, *graphene* memiliki sifat hidrofobik dan cenderung sulit terdispersi dalam larutan air (Amalia & Rahayu, 2020). Oleh karena itu, *graphene oxide* lebih mudah untuk diintegrasikan ke dalam matriks beton yang berbasis air. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan *graphene oxide* terhadap kekuatan beton melalui pengujian kuat tekan beton.

Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam meningkatkan pemahaman dan penerapan teknologi *graphene oxide* pada industri konstruksi di Indonesia. Diharapkan bahwa hasil penelitian ini dapat memberikan bukti eksperimental yang mendukung penggunaan *graphene oxide* sebagai bahan tambahan dalam beton untuk meningkatkan kekuatan beton. Sebagai hasil dari penelitian ini, diharapkan bahwa penggunaan campuran *graphene* dalam beton dapat diimplementasikan secara lebih luas, yang pada gilirannya akan memberikan manfaat dalam pengembangan infrastruktur yang lebih kuat, tahan lama, dan berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Perlunya kajian tentang pengaruh yang diberikan oleh *graphene oxide* terhadap nilai kuat tekan beton.
2. Kajian tentang cara memperoleh *graphene oxide* dengan jumlah yang cukup dengan metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE) berbahan dasar grafit.
3. Informasi tentang komposisi *graphene oxide* terhadap beton masih terbatas dan perlu diuji secara eksperimental.

1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, terdapat beberapa batasan masalah yang perlu diperhatikan terkait dengan karakteristik material pembentuk beton. Berikut adalah batasan masalah dari penelitian ini:

1. Metode yang digunakan untuk pengujian agregat dan perencanaan campuran beton adalah menggunakan metode Standar Nasional Indonesia.
2. Campuran beton yang digunakan adalah campuran beton normal dengan mutu sedang, dengan kuat tekan rencana lebih dari 25 MPa.
3. Untuk mendapatkan *graphene oxide*, peneliti melakukan sintesis dengan metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE) dari bahan yang mudah didapat yaitu grafit pensil ataupun serbuk grafit.
4. Karakterisasi material *graphene oxide* menggunakan uji spektrofotometer UV-Vis.
5. Penelitian ini menggunakan presentase *graphene oxide* sebesar 0%, 0,05%, 0,1%, dan 0,2% dari berat semen.

1.4. Tujuan Penelitian

Dalam penelitian ini, tujuan yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh yang diberikan oleh *graphene oxide* terhadap kuat tekan beton.
2. Membandingkan kuat tekan beton normal dengan kuat tekan beton yang ditambahkan *graphene oxide*.
3. Mengetahui komposisi campuran beton dengan penggunaan *graphene oxide* yang optimal.

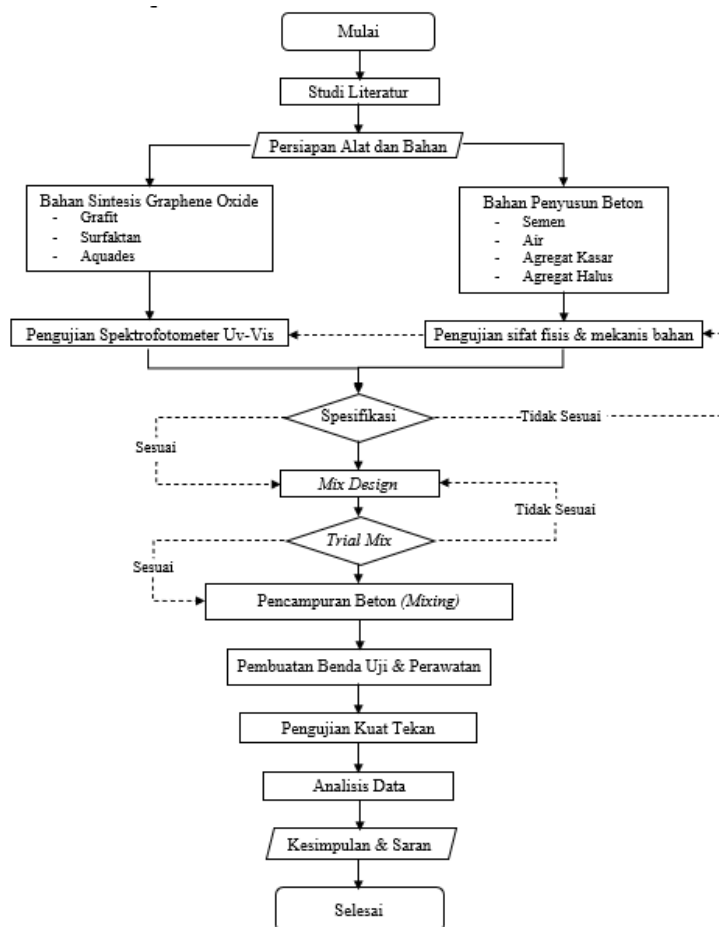
1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan *graphene oxide* dengan metode yang mudah dengan menggunakan alat yang tersedia di laboratorium dan mengetahui pengaruh jika ditambahkan *graphene oxide* ke dalam campuran beton dan dapat membandingkan perbedaan antara kuat tekan beton normal dan kuat tekan beton dengan tambahan *graphene oxide* dengan presentase yang telah ditentukan, di samping itu dengan penelitian ini bisa memberikan informasi serta menambah wawasan dan pengetahuan tentang inovasi terbaru dalam bahan tambahan, yaitu *graphene oxide*. Penelitian ini dapat menjadi referensi bagi penelitian berikutnya dalam pengembangan dan penerapan *graphene oxide* dalam berbagai bidang, termasuk konstruksi beton. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan beton yang lebih kuat dan inovatif dengan penggunaan *graphene oxide* sebagai bahan tambahan.

2. Metode Penelitian

2.1. Bagan Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan di tiga lokasi: Laboratorium Struktur dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi untuk pembuatan benda uji dan pengujian kuat tekan, Laboratorium Farmasi, Universitas Sam Ratulangi untuk sintesis *graphene oxide* menggunakan metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE), dan Laboratorium Terpadu untuk karakterisasi sampel *graphene oxide* menggunakan spektrofotometer Uv-Vis. Tahapan penelitian meliputi persiapan bahan, pemeriksaan agregat, perencanaan campuran, pembuatan benda uji, dan pengujian kuat tekan beton pada usia 28 hari. Penelitian ini dilakukan sesuai pedoman dan kondisi laboratorium yang berlaku, dengan analisis dan pembahasan hasil guna mencapai tujuan penelitian.



Gambar 1. Bagan Alir

2.2. Benda Uji

Benda uji yang digunakan adalah silinder dengan ukuran 10 cm x 20 cm. Setiap variasi presentase *graphene oxide* dilakukan pengujian kuat tekan menggunakan 5 sampel.

Tabel 1. Jumlah Benda Uji

Jenis Beton	Presentasi <i>Graphene oxide</i> pada campuran	Waktu Pengujian	Jumlah Sampel
Campuran 1	0%	28 hari	5
Campuran 2	0,05%	28 hari	5
Campuran 3	0,1%	28 hari	5
Campuran 4	0,2%	28 hari	5

Semua benda uji dikeluarkan dari cetakannya setelah berumur satu hari dan dilakukan perawatan dengan cara direndam dalam bak air hingga waktu pengujian dilakukan yaitu pada umur 28 hari.

2.3. Komposisi Campuran

Belum ada standar yang secara khusus mengatur campuran beton dengan bahan tambahan *graphene oxide*. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, komposisi campuran beton didasarkan pada standar SNI 03-2834-2000 sebagai acuan umum dalam mix design beton. Kuat tekan yang direncanakan untuk beton adalah lebih dari 25 MPa.

Tabel 2. Komposisi Campuran Beton

Nama Sampel	Volume Total Benda Uji (m ³)	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	<i>Graphene oxide</i> (kg)
GO-0%	7854	4.01	1.76	5.24	9.91	-
GO-0.05%		4.01	1.76	5.24	9.91	0.002005
GO-0.1%		4.01	1.76	5.24	9.91	0.00401
GO-0.2%		4.01	1.76	5.24	9.91	0.00802

2.4. Pembuatan *Graphene Oxide* Dari Grafit

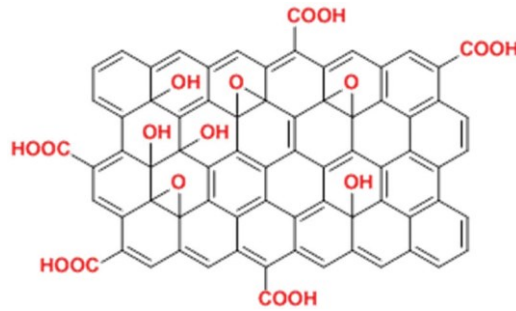
Graphene oxide dapat dihasilkan melalui proses sintesis grafit dengan metode *Liquid Phase Exfoliation*. Untuk memperoleh *graphene oxide* penulis menggunakan metode yang mengacu pada beberapa jurnal. Dari beberapa jurnal tersebut penulis memutuskan untuk menggunakan metode dari Buky Wahyu Pratama dan Wipar Dwandaru tentang *Synthesis of reduced graphene oxide based on thermally modified liquid-phase exfoliation* karena dengan metode ini *graphene oxide* berhasil dikarakterisasi oleh penulis. Berikut adalah langkah-langkah pembuatan *graphene oxide* dari grafit:

- Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
- Menimbang serbuk grafit sebanyak 5 gram dan dicampurkan dengan aquades sebanyak 140 ml.
- Menimbang surfaktan sebanyak 5 gram dan dicampurkan dengan aquades sebanyak 50 ml.
- Mencampurkan larutan grafit dan larutan surfaktan kedalam gelas beaker.
- Sampel yang sudah tercampur disonikasi selama 5 jam dengan frekuensi 48 kHz.
- Setelah disonikasi, sampel dидiamkan selama 24 jam, kemudian sampel disaring menggunakan kertas filter untuk memisahkan partikel padatan dari larutan dengan menggunakan tabung erlenmeyer dan corong kaca.
- Kemudian sampel dikeringkan menggunakan oven selama 4 jam dengan suhu 80°C.
- Sampel diuji spektrofotometer Uv-Vis.

3. Kajian Literatur

3.1. Graphene Oxide

Graphene oxide merupakan senyawa turunan dari *graphene* yang memiliki karakteristik dan struktur yang mirip dengan *graphene*. Perbedaan *graphene oxide* dengan *graphene* yaitu struktur yang terbentuk planar, sedangkan pada *graphene oxide* terdapat lengkungan karena adanya gugus oksigen dalam bentuk karboksil dan karbonil di dalamnya (Bete, Bukit, Johannes, & Pingkan, 2019).



Gambar 2. Struktur Kimia *Graphene oxide*

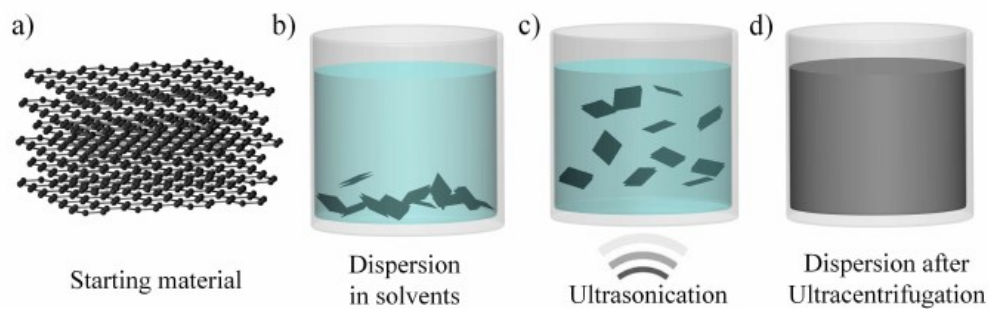
(sumber: www.tcichemicals.com/en/us/support-download/tcimapil/application/167-06.html)

Graphene oxide sebagai lapisan tunggal dari grafit memiliki sifat yang unik, yaitu memiliki ukuran yang sangat tipis. Dengan ukurannya yang sangat tipis (Gong, 2015) mengungkapkan pada penelitiannya bahwa *graphene oxide* dapat meningkatkan kekuatan semen karena terdapat pengurangan struktur pori pada sempel semen, dan dapat meningkatkan derajat hidrasi semen. Sifat mekanik dari *graphene oxide* memiliki potensi besar dalam berbagai aplikasi khususnya pada penelitian ini.

3.2. Liquid Phase Exfoliation (LPE)

Metode LPE adalah metode sintesis *graphene* dalam fasa cair menggunakan surfaktan dan proses sonikasi. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Coleman, dkk. pada tahun 2009 (Wang, Yi, & Shen, 2016). Sintesis menggunakan LPE dilakukan dengan cara mencampur serbuk grafit ke dalam larutan surfaktan anionik (fungsi pembersih) (Coleman, 2009).

Surfaktan dalam metode ini berfungsi untuk melemahkan ikatan van der Waals antar lembaran *graphene* pada sebuah material grafit. Pelemahan ikatan van der Waals tersebut menyebabkan lembaran-lembaran *graphene* saling terlepas. Material grafit yang terdiri dari banyak lembaran *graphene* dapat disintesis menjadi beberapa lembar *graphene* berkat peran dari surfaktan. Metode LPE menjadi metode yang efisien karena caranya yang mudah, murah dan dapat menghasilkan lembaran *graphene* dengan kualitas yang baik. (Zaman, 2021).

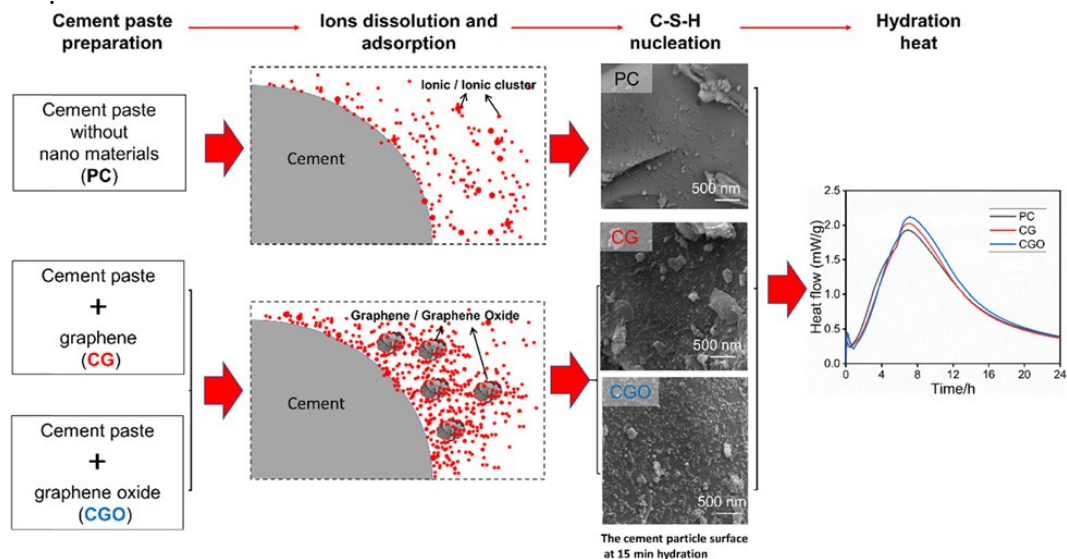


Gambar 3. Metode *Liquid Phase Exfoliation*

(sumber: https://www.researchgate.net/figure/Liquid-phase-exfoliation-of-LMsa-Starting-material-eg-graphite-b-chemical_fig2_263767366)

3.3. Peran Graphene Oxide pada Campuran Beton

Penelitian yang dilakukan oleh (Lin, Wei, & Hu, 2016). Mereka menemukan bahwa *graphene oxide* berperan sebagai katalis dalam proses hidrasi semen. Hal ini disebabkan oleh keberadaan gugus fungsi *graphene oxide* yang mengandung oksigen, yang memberikan tempat adsorpsi bagi air dan semen.



Gambar 4. Perbedaan Reaksi Pasta Semen PC, CG dan CGO
(sumber: Meng, Ouyang, Fu, Niu, & Ma, 2021)

Partikel *graphene* mampu menyerap sejumlah besar ion Ca^{2+} pada permukaannya, sementara partikel *graphene oxide* memiliki kemampuan adsorpsi ion Ca^{2+} yang lebih tinggi dibandingkan dengan partikel *graphene*. Seiring berjalannya waktu, konsentrasi ion Ca^{2+} di sekitar *graphene/graphene oxide* secara perlahan meningkat. Hal ini memfasilitasi mobilitas ion dalam pasta semen, memungkinkan pengembangan gugus ionik, dan menghasilkan partikel C-S-H berbentuk jarum yang melapisi permukaan semen (Meng, Ouyang, Fu, Niu, & Ma, 2021). Dengan demikian, penggunaan *graphene* dan *graphene oxide* dalam campuran semen dapat mempengaruhi reaksi kimia dan pembentukan C-S-H, serta meningkatkan mobilitas ionik dalam pasta semen.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil dan Analisa Pengujian Agregat

Pemeriksaan agregat dilakukan untuk memastikan bahwa agregat memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar teknis dan spesifikasi yang berlaku. Melalui pemeriksaan yang dilakukan di Laboratorium Rekayasa Material Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, diperoleh data sebagai berikut:

a) Agregat kasar

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Ukuran maksimum agregat	: 19,05 mm
Modulus Kehalusan	: 7,44892
<i>Bulk Specific Gravity Oven Dry</i>	: 2,635
<i>Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry</i>	: 2,657
<i>Apparent Specific Gravity</i>	: 2,687
Absorpsi Maksimum	: 0,857 %
Berat Volume (Cara Pemasatan)	: 1,491 cm^3
Berat Volume (Cara Gembur)	: 1,376 cm^3

Kadar Air	: 0,482 cm ³
Keausan	: 17,17 %

Hasil pengujian menunjukkan agregat kasar memiliki gradasi kasar, berat jenis normal, penyerapan air moderat, berat volume sesuai standar, kadar air cukup, dan tingkat keausan yang memenuhi persyaratan untuk pembuatan beton.

b) Agregat halus

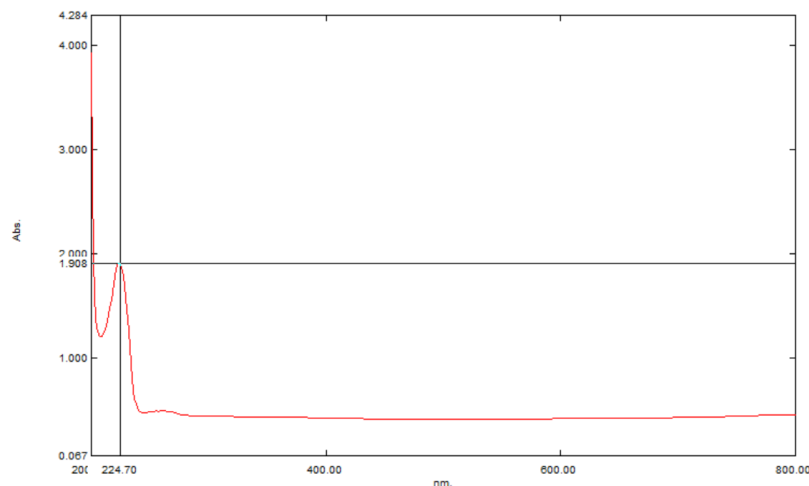
Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Halus

Ukuran maksimum agregat	: 4,75 mm
Modulus Kehalusan	: 3,4191
<i>Bulk Specific Gravity Oven Dry</i>	: 2,037
<i>Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry</i>	: 2,283
<i>Apparent Specific Gravity</i>	: 2,703
Absorpsi Maksimum	: 0,121 %
Berat Volume (Cara Pemasakan)	: 1,287 cm ³
Berat Volume (Cara Gembur)	: 1,198 cm ³
Kadar Air	: 9,697 cm ³
Kadar Lumpur	: 1,133 %
Persentase Endapan Lumpur	: 3,461 %

Hasil pengujian menunjukkan modulus kehalusan agregat kasar sebesar 3,4191%, berat jenis dalam batas normal, penyerapan air mencapai 12,0951%, berat satuan memenuhi batas minimum metode pemasakan, kadar air dalam material rendah, dan kandungan lumpur dalam batas maksimal. Agregat halus aman digunakan dalam campuran beton.

4.2. Hasil Karakterisasi Graphene Oxide

Untuk mengetahui keberadaan *graphene oxide* dalam larutan sampel yang dihasilkan dari sintesis material *graphene oxide* menggunakan bahan grafit, dilakukan uji spektrofotometer UV-Vis. Karakterisasi hasil uji tersebut akan ditampilkan dalam bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara absorbansi dan panjang gelombang, yang kemudian dibandingkan dengan literatur terkait. Nilai absorbansi dari sampel material *graphene oxide* diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis dalam rentang panjang gelombang 200-800 nm. Jika terdapat puncak absorbansi pada panjang gelombang tertentu, hal ini dapat mengindikasikan bahwa sampel tersebut merupakan material *graphene oxide*. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. Hasil Spektrofotometer Uv-Vis Sampel 4 *Graphene oxide*

Hasil uji spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa sampel 4, dengan perbandingan 0,1 mg *graphene oxide* dalam 10 ml aquades, menghasilkan puncak absorbansi pada 224,70 nm. Puncak absorbansi tersebut mengindikasikan bahwa sampel *graphene oxide* yang disintesis dari bahan dasar grafit menggunakan metode LPE berhasil disintesis, di mana puncak absorbansi *graphene oxide* terletak pada rentang panjang gelombang antara 223 nm hingga 273 nm (Uran, Alhani, & Silva, 2017).

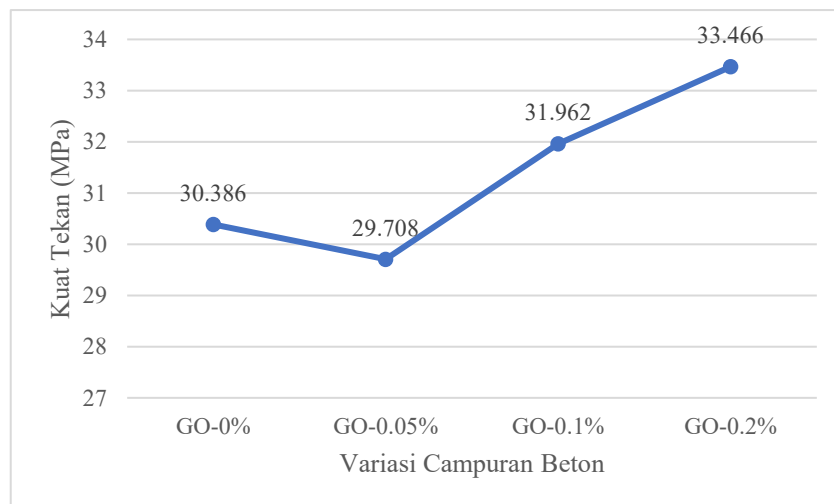
4.3. Hasil Pengujian Slump

Tabel 5. Hasil Pengujian *Slump*

Variasi Campuran	Tinggi <i>Slump</i> (mm)
GO-0%	30
GO-0.05%	40
GO-0.1%	40
GO-0.2%	45

Berdasarkan data hasil pengujian, diperoleh bahwa nilai *slump* seluruh campuran beton berada dalam rentang *slump* rencana yaitu 30 mm hingga 60 mm.

4.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan



Gambar 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pada gambar 4. menunjukkan hasil dari pengujian kuat tekan beton dengan berbagai presentase *graphene oxide* sebesar 0%, 0,05%, 0,1%, dan 0,2% dari berat semen. Campuran beton tanpa adanya penambahan *graphene oxide* yakni sebesar 30,386 MPa, sedangkan setelah penambahan *graphene oxide* mengalami peningkatan pada penambahan 0,1% sebesar 31,962 MPa dan 0,2% sebesar 33,466 MPa. Dari hasil pengamatan grafik di atas, pada presentase 0,05% terjadi penurunan dengan nilai kuat tekan sebesar 29,708 MPa, sehingga penambahan *graphene oxide* dengan presentase 0,02% merupakan presentase yang menghasilkan nilai kuat tekan yang optimum.

5. Kesimpulan

Berdasarkan uraian dan penjelasan mengenai Analisis Pengaruh Pencampuran Nanomaterial: *Graphene oxide* Terhadap Kuat Tekan Beton maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan *graphene oxide* pada campuran beton dengan persentase 0,1% dan 0,2% menghasilkan peningkatan nilai kuat tekan. Pada persentase 0,1%, terjadi peningkatan

- sebesar 5,187% dari nilai kuat tekan beton tanpa penambahan *graphene oxide*, sedangkan pada persentase 0,2% terjadi peningkatan sebesar 10,136%.
2. Pada persentase 0,05%, terjadi penurunan nilai kuat tekan sebesar 2,231% dibandingkan dengan beton tanpa penambahan *graphene oxide*. Penurunan ini dapat disebabkan oleh faktor kesalahan yang terjadi selama pelaksanaan, yang perlu diperhatikan untuk penelitian selanjutnya.
 3. Persentase optimum pada penelitian ini adalah sebesar 0,2% dari berat semen. Hal ini didasarkan pada hasil pengujian yang menunjukkan nilai kuat tekan beton paling tinggi pada persentase tersebut.
 4. *Graphene oxide* berhasil disintesis menggunakan metode *Liquid Phase Exfoliation* dari bahan dasar grafit. Hal ini terkonfirmasi melalui pengujian spektrofotometer UV-Vis yang menunjukkan puncak absorbansi pada panjang gelombang 224,70 nm.

6. Saran

Dengan merujuk pada hasil pengujian dan analisis penelitian, dapat diberikan beberapa saran yang bertujuan untuk pengembangan penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap penggunaan *graphene oxide*, dengan menggunakan metode sintesis, perencanaan mix design, benda uji, persentase penambahan bahan dan pengujian yang berbeda. Hal ini akan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang pengaruh *graphene oxide* pada campuran beton.
2. Perhatikan dengan lebih teliti perlakuan terhadap beton, termasuk waktu pengecoran, proses pemadatan, dan faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi kualitas beton. Hal ini akan membantu meminimalkan potensi kesalahan dalam proses penelitian.
3. Mengkarakterisasi sampel *graphene oxide* sebaiknya dilakukan pengujian yang lebih advance agar dapat mengetahui kualitas dari sampel tersebut.
4. Saat melakukan pengujian kuat tekan beton, pastikan permukaan benda uji beton rata. Perhatikan proses capping dengan hati-hati untuk menghindari kesalahan yang dapat menyebabkan adanya kecondongan pada permukaan benda uji. Hal ini akan memastikan hasil pengujian kuat tekan yang akurat.

Dengan mengikuti saran-saran tersebut, diharapkan penelitian selanjutnya dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang pengaruh *graphene oxide* pada campuran beton dan memperbaiki metodologi serta kualitas pengujian yang dilakukan.

Referensi

- Amalia, A. N., & Rahayu, E. F. (2020). *Pengaruh Massa Graphene Oxide dan Daya Microwave terhadap Sintesis Graphene melalui Iradiasi Microwave*. Indonesian Journal of Chemical Science.
- ASTM C.136-96a, *Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Agregates*.
- ASTM C117 – 13, *Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*.
- ASTM C127-01, *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*.
- ASTM C128-01, *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*.
- ASTM C131-03, *Los Angeles Abrasion Test*.
- ASTM C29M-97, *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*.
- ASTM C40/C40M-11, *Standart Test Method for Organic Impurities in Aggregates for Concrete*.
- ASTM C566-97, *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*.
- Bete, Y., Bukit, M., Johannes, A., & Pingkan, R. (2019). *Kajian Awal Sifat Optik Graphene oxide Berbahan Dasar Arang Tongkol Jagung yang Disintesis dengan Metode Liquid Phase Exfoliation*. Jurnal Fisika : Fisika Sains dan Aplikasinya., 114-120.
- Coleman, J. N. (2009). *Liquid-Phase Exfoliation of Nanotubes and Graphene*. Advanced Functional Materials, 3680-3695.
- Dwandaru, W. S., Wijaya, R. I., & Parwati, L. D. (2019). *Nanomaterial Graphene oxide Sintesis dan Karakterisasinya*. Yogyakarta: UNY Press.
- Geim, A., & Novoselov, K. (2007). *The Rise of Graphene*. Nature Materials, 183-191.
- Gong, K. (2015). *Reinforcing effects of graphene oxide on Portland cement paste*. Journal of Materials in Civil Engineering, 27(2), 1-6.

- Li, J. (2014). *The Preparation of Graphene oxide and Its Derivatives and Their Application in Bio-Tribological Systems*. 137-161.
- Lin, C., Wei, W., & Hu, Y. H. (2016). *Catalytic behavior of graphene oxide for cement hydration process*. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 128-133.
- M. Devasena, J. K. (2015, February). *Investigation On Strength Properties of Graphene oxide Concrete*. *International Journal of Engineering Science Invention Research & Development*, Vol. I Issue VIII, 307-310.
- Meng, S., Ouyang, X., Fu, J., Niu, Y., & Ma, Y. (2021). *The role of graphene/graphene oxide in cement*. *Nanotechnology Reviews*, 768-778.
- Mulyono, T. (2003). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Pratama, B. W., & Dwandaru, W. D. (2021). *Synthesis of reduced graphene oxide based on thermally modified liquid-phase exfoliation*. *Nano Express*.
- Rafitasari, Y., Suhendar, H., & Istiqomah, N. (2016). *Sintesis Graphene oxide dan Reduced Graphene oxide*. *Seminar Nasional Fisika 2016 UNJ*.
- Randviir, E. P. (2014, June). *A decade of graphene research: Production, applications and outlook*. *Materials Today*, Volume 00, Number 00, 1-7.
- Samekto, W. (2001). *Teknologi beton*. Yogyakarta. SII No. 52-1980, *Mutu Dan Cara Uji Agregat Beton*.
- SK SNI S-04-1989-F, *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan bangunan bukan logam)*.
- SNI 03-1968-1990, *Metode Pengujian Tentang Analisa Saringan*.
- SNI 03-1969-2016, *Metode pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar*.
- SNI 03-1970-2016, *Metode pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus*.
- SNI 03-1971-2011, *Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan*.
- SNI 03-1972-1990, *Metode pengujian slump beton*.
- SNI 03-2417-1991, *Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*.
- SNI 03-2834-2000, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- SNI 03-3676-1999, *Metode pengujian berat isi agregat*.
- SNI 03-4142-1996, *Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200*.
- SNI 03-4804-1998, *Metode pengujian berat isi agregat*.
- SNI 1969:2008, *Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar*.
- SNI 1970:2008, *Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus*.
- SNI 1974-2011, *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder yang dicetak*.
- SNI 2816:2014, *Metode uji bahan organik dalam agregat halus untuk beton*.
- SNI 2847:2013, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*.
- SNI 7064: 2014, *Semen Portland Komposit*.
- SNI 8321:2016, *Spesifikasi agregat beton*.
- SNI ASTM 136:2012, *Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar*.
- Tjokrodinuljo. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan.
- Uran, S., Alhani, A., & Silva, C. (2017). *Study of ultraviolet-visible light absorbance of exfoliated graphite forms*. *AIP Advances* 7, 035323.
- Wang, S., Yi, M., & Shen, Z. (2016). *The effect of surfactants and their concentration on the liquid exfoliation of graphene*. *RSC Advances*, 56705-56710.
- Wisnuwijaya, R. I., Purwanto, A., & Dwandaru, W. S. (2017). *UV-Visible Optical Absorbance of Graphene oxide Synthesized from ZincCarbon Battery Waste via a Custom-Made Ultrasound Generator based on*. *Makara Journal of Science*, 175-181.
- Yudono, B. (2017). *Spektrometri*. Palembang: SIMETRI.
- Zaman, K. (2021). *Pengaruh Graphene oxide (GO) Grafit Pensil sebagai Additive untuk Meningkatkan Strength Semen Pemboran*.
- Zhang, T., Xue, Q., Zhang, S., & Dong, M. (2012). *Theoretical approaches to graphene and graphene-based materials*. *Nano Today*, 180-200.