

ANALISIS KEKUATAN BANGKU TAMAN BERBAHAN *CEMENTITIOUS COMPOSITE* DENGAN CAMPURAN *FLY ASH* DAN PASIR LIMBAH *SANDBLASTING*

M. Rizal Fahmi^{1*}, Wiwik Dwi Pratiwi², Fitroh Resmi³, Hanum Wardah Anggraeni⁴,
Luqman Cahyono⁵, Endang Fitria Rahmawati⁶

*E-mail Korespondensi: rizal.fahmi@ppns.ac.id

¹Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

^{2,5}Teknik Pengolahan Limbah,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

³Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

⁴Teknik Desain dan Manufaktur,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

⁶Environmental Engineering Department,
Chung Yuan Christian University

ABSTRAK

Meningkatnya kebutuhan akan ruang terbuka yang nyaman dan berkelanjutan mendorong inovasi dalam pemilihan material furnitur luar ruangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bangku taman berbahan *cementitious composite* ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah industri berupa *fly ash*, pasir *sandblasting*, dan *fiberglass* sebagai bahan penguat. *Cementitious composite* yang kuat, tahan cuaca ekstrem, tahan terhadap serangan serangga serta jamur serta fleksibilitas dalam desain membuatnya menjadi pilihan ideal untuk penggunaan di luar ruangan. Empat variasi campuran dibuat dengan substitusi *fly ash* sebesar 0%, 20%, 30%, dan 40%. Pembuatan spesimen sampel uji tekan dan tarik dilakukan pada 4 variasi dengan 3 kali replikasi untuk masing-masing varian. Hasil cetakan didiamkan terlebih dahulu selama 24 jam kemudian dilanjutkan dengan proses *curing* selama 28 hari. Seluruh spesimen uji tekan dan tarik diuji dengan menggunakan standar ASTM C-39 dan C-307. Pengujian kuat tekan dan tarik dilakukan untuk menentukan varian dengan performa mekanik terbaik. Hasil menunjukkan bahwa substitusi *fly ash* sebesar 20% menghasilkan kekuatan tekan dan tarik tertinggi, yaitu 30,27 MPa dan 4,16 MPa. Desain bangku taman selanjutnya disimulasikan menggunakan *software* Fusion 360 dengan masukan data material dari hasil uji laboratorium. Analisis menunjukkan bahwa desain memiliki nilai *safety factor* minimum 3,46 dan nilai *von misses stress* maksimum 0,884 MPa yang berada jauh di bawah batas kerusakan material. Dengan demikian, bangku taman yang dirancang terbukti aman dan layak digunakan, sekaligus berkontribusi terhadap pengurangan limbah industri dan peningkatan estetika ruang publik secara berkelanjutan.

Kata kunci: bangku taman; fiberglass; fly ash; cementitious composite; pasir limbah sandblasting.

ABSTRACT

The increasing need for comfortable and sustainable outdoor spaces drives innovation in the selection of outdoor furniture materials. This study aims to develop an environmentally friendly cementitious composite park bench by utilizing industrial waste in the form of fly ash, sandblasting sand, and fiberglass as reinforcing materials. Strong cementitious composite, resistant to extreme weather, resistant to insect and fungal attacks and flexibility in design make it an ideal choice for outdoor use. Four variations of the mixture were made with fly ash substitution of 0%, 20%, 30%, and 40%. The manufacture of compressive and tensile test sample specimens was carried out on 4 variations with 3 replications for each variant. The mold results were left for 24 hours first and then continued with a curing process for 28 days. All compressive and tensile test specimens were tested using ASTM C-39 and C-307 standards. Compressive and tensile strength tests were carried out to determine the variant with the best mechanical performance. The results showed that 20% fly ash substitution produced the

highest compressive and tensile strengths, namely 30.27 MPa and 4.16 MPa. The park bench design was then simulated using Fusion 360 software with input of material data from laboratory test results. The analysis shows that the design has a minimum safety factor value of 3.46 and a maximum von misses stress value of 0.884 MPa which is far below the material damage limit. Thus, the designed park bench is proven to be safe and suitable for use, while contributing to the reduction of industrial waste and the improvement of the aesthetics of public spaces in a sustainable manner.

Keywords: cementitious composite; fiberglass; fly ash; park bench; sandblasting waste sand.

PENDAHULUAN

Penggunaan ruang terbuka semakin diminati, menuntut adanya fasilitas yang nyaman dan tahan lama. Bangku taman menjadi salah satu elemen penting dalam menciptakan ruang publik yang menarik. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan *cementitious composite* sebagai bahan baku pembuatan bangku taman semakin populer. *Cementitious composite* menawarkan sejumlah keunggulan dibandingkan bahan tradisional seperti kayu atau besi. Sifatnya yang kuat, tahan cuaca ekstrem, dan tahan terhadap serangan serangga serta jamur membuatnya menjadi pilihan ideal untuk penggunaan di luar ruangan. Penggunaan beton sebagai furnitur dapat mengurangi biaya produksi serta membutuhkan biaya perawatan yang rendah. (Bedoya dkk., 2019)

Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, pemilihan material bangunan yang ramah lingkungan menjadi semakin penting. *Cementitious composite* sebagai material yang terbuat dari campuran semen *Portland* dengan bahan tambahan seperti *fly ash* atau *slag*, merupakan alternatif yang menarik. Penggunaan *fly ash* pada produksi beton mampu mengurangi jumlah limbah *fly ash* yang digunakan sebagai *landfill* serta mengurangi penambahan material untuk pembuatan semen. Hal tersebut dapat mengurangi dampak sosial dan lingkungan yang terjadi di masyarakat secara signifikan. (W. Wang dkk., 2017)

Keamanan penggunaan *fly ash* didukung oleh standar seperti ASTM C618 yang mengatur spesifikasi *fly ash* untuk beton, serta berbagai penelitian yang menunjukkan peningkatan kekuatan, durabilitas, dan kinerja beton secara keseluruhan. *Fly ash* dapat mengurangi permeabilitas, melindungi baja tulangan dari korosi, serta mengurangi risiko retak dan meningkatkan ketahanan terhadap serangan sulfat dan bahan kimia. Penggunaan *fly ash* hingga 50% dalam pembuatan beton

dapat meningkatkan kekuatan beton tersebut serta dapat mengurangi limbah *fly ash* dan emisi CO₂ secara global. (Thangaraj & Thenmozhi, 2013). Dengan demikian, penggunaan *fly ash* dalam beton adalah solusi yang aman, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Pernyataan ini juga senada dengan keterangan dari Kementerian ESDM dalam siaran press nomor: SP.078/HUMAS/PP/HMS.3/3/2021, yang menyatakan bahwa hasil uji terhadap limbah *fly ash* dari 19 PLTU di Indonesia masih berada di bawah baku mutu karakter limbah B3.

Penelitian ini berfokus pada pengembangan material *cementitious composite* yang inovatif dengan memanfaatkan limbah *fly ash*. Mengutip Setiawati (2018), *fly ash* merupakan residu halus dari pembakaran batu bara yang memiliki sifat pozzolan. Pozzolan adalah material silika atau silika dan alumina yang secara alami tidak memiliki sifat semen, namun dalam bentuk halus dan dengan adanya air, dapat bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)₂) pada suhu kamar untuk membentuk senyawa yang memiliki sifat semen. Reaksi ini dikenal sebagai reaksi pozzolanik, yang menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang berkontribusi pada kekuatan dan durabilitas beton. (Becerra-Duitama & Rojas-Avellaneda, 2022)

Meskipun *fly ash* sebagai bahan pengganti semen telah banyak diteliti (Luan, 2020), penelitian ini menawarkan penggabungan dari beberapa material limbah seperti *fly ash* dan pasir limbah dari proses *sandblasting*, serta penggunaan *fiberglass* sebagai material untuk perkuatan beton.

Metode *sandblasting* merupakan salah satu cara yang umum digunakan untuk membersihkan permukaan kapal dari berbagai jenis kotoran, misalnya karat, sisa oli, ataupun lapisan cat. Selain untuk membersihkan, teknik ini juga bisa dipakai untuk mengubah sifat atau tekstur permukaan suatu benda, seperti

menjadikannya lebih kasar atau justru lebih licin, dan biasanya diaplikasikan pada material logam. Proses *sandblasting*, atau lebih tepatnya proses *sandblasting* kering, dilakukan dengan menembakkan bahan yang bersifat mengikis (abrasif) umumnya pasir silika atau butiran baja (steel grit) dengan kekuatan tekanan yang cukup besar ke arah permukaan yang dituju. (Hendrawan dkk., 1970). Walaupun metode *sandblasting* kering yang biasa digunakan tergolong efektif dan hemat biaya, metode ini memiliki kekurangan yaitu menghasilkan banyak sekali debu dan sisa material yang disebut limbah *abrasive blasting media* (ABM). Limbah ABM ini terdiri dari campuran bahan abrasif itu sendiri, kikisan cat, serta karat. Sekarang ini, limbah ABM yang berasal dari industri perkapalan (galangan kapal) umumnya hanya dibuang ke tempat pembuangan akhir atau diolah bersamaan dalam proses pembuatan semen di tanur. Meski demikian, terdapat pilihan cara lain untuk mengelola limbah ABM ini, misalnya dengan menghilangkan racunnya menggunakan panas (detoksifikasi termal), membuatnya stabil dan padat (stabilisasi/solidifikasi), memisahkan komponen-komponennya secara fisik atau kimia-fisik, hingga memanfaatkannya kembali sebagai bahan dalam pembuatan beton, aspal, ataupun semen. (Qi dkk., 2021)

Penggunaan *fly ash* dan limbah pasir *sandblasting* sebagai campuran untuk *cementitious composite* memiliki potensi yang besar dalam menghasilkan dampak positif terhadap lingkungan serta masyarakat sosial. Selain mampu mengurangi limbah dan kebutuhan tambang untuk pembuatan semen, *cementitious composite* yang dihasilkan juga dapat digunakan untuk mendukung fasilitas umum seperti pembuatan bangku taman. Meski demikian perlu adanya penelitian untuk menentukan komposisi campuran beton yang tepat serta desain bangku taman yang aman untuk digunakan di ruang publik. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada dunia akademik dan masyarakat umum sebagai rujukan praktis dalam membuat sebuah bangku taman yang aman dan ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini ditujukan untuk menghasilkan produk bangku taman dengan material *cementitious composite* memiliki campuran *fly ash*, limbah pasir *sandblasting* dan *fiberglass*. Untuk mendapatkan komposisi campuran beton yang ideal, maka campuran

beton tersebut dibuat menjadi beberapa variasi. Masing-masing varian tersebut selanjutnya diuji tekan dan tarik untuk mengetahui seberapa besar kuat tekan dan tarik dari tiap variasi. Variasi campuran yang menghasilkan beton dengan kekuatan paling tinggi kemudian dipilih sebagai bahan untuk membuat bangku taman. Namun sebelum dilakukan proses produksi bangku taman, desain bangku taman diuji terlebih dahulu dengan cara membuat model 3D dan melakukan analisis terhadap kekuatan strukturnya.

Pengujian Tekan

Proses pengujian tekan dan pengujian tarik membutuhkan sampel yang berbeda baik dalam bentuk cetakan serta volume sampel yang diuji. Oleh karena itu, terdapat perbedaan pada komposisi dan cara penyiapan sampel yang akan diuji.

Tabel 1. Komposisi material pada tiap varian untuk uji tekan (dalam satuan gram)

Sampel	FA0	FA20	FA30	FA40
Semen	636,05	504,90	439,33	373,76
FA	0,00	131,14	196,72	262,29
CaCO ₃	19,67	19,67	19,67	19,67
Air (0,3)	196,72	196,72	196,72	196,72
SP	13,11	13,11	13,11	13,11
<i>Sandblasting</i>	1141,29	1157,97	1166,32	1174,66
<i>Fiberglass</i>	0,72	0,73	0,73	0,74

Keterangan:

FA = *fly ash*

SP = Superplasticizer

Tabel 1 menjelaskan tentang komposisi material yang digunakan pada tiap variasi untuk pengujian tekan. Varian FA0 merupakan variasi yang tidak menggunakan campuran *fly ash* sama sekali, sementara varian FA20 memiliki campuran *fly ash* sebesar 20%, FA30 memiliki campuran *fly ash* 30%, serta FA40 dengan campuran *fly ash* sebesar 40%. Komposisi semen pada masing-masing varian disesuaikan dengan persentase *fly ash* yang digunakan. Pasir yang digunakan sebagai campuran beton merupakan pasir limbah dari proses *sandblasting* yang dilakukan di galangan kapal.

Pembuatan spesimen sampel uji tekan dilakukan pada 4 variasi dengan 3 kali replikasi untuk masing-masing varian. Perbandingan antara binder dan agregat adalah 45:55. Seluruh spesimen diaduk dengan menggunakan mixer dan kemudian ditambahkan *fiberglass* sedikit demi sedikit. Adukan beton tersebut selanjutnya dicetak dan didiamkan selama 24 jam. Sampel

beton yang telah mengeras dapat dikeluarkan dari cetaknya dan dilanjutkan dengan proses *curing* selama 28 hari. Tahap terakhir adalah proses pengujian tekan di laboratorium yang telah ditentukan.

Pengujian Tarik

Varian campuran beton yang diuji pada pengujian tarik pada dasarnya memiliki komposisi yang hampir serupa dengan yang ada pada pengujian tekan, hanya saja perlu disesuaikan dengan kebutuhan dan persyaratan sampel untuk pengujian tarik.

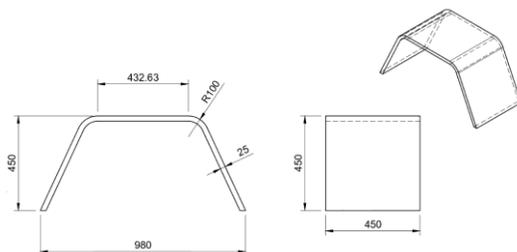
Tabel 2. Komposisi material pada tiap varian untuk uji tarik (dalam satuan gram)

Sampel	FA0	FA20	FA30	FA40
Semen	80,49	63,90	55,60	47,30
FA	0,00	16,60	24,89	33,19
CaCO ₃	2,49	2,49	2,49	2,49
Fas (0,3)	24,89	24,89	24,89	24,89
SP	1,66	1,66	1,66	1,66
Sandblasting	144,43	146,54	147,60	148,65
Fiberglass	5,66	5,74	5,78	5,82

Cara pembuatan adukan beton untuk sampel uji tarik juga memiliki proses yang sama dengan sampel uji tekan, hanya saja terdapat penambahan *fiberglass wiremesh* sebanyak 7 lapisan saat adukan beton dituang ke dalam cetakan. Hasil cetakan juga didiamkan terlebih dahulu selama 24 jam sebelum dikeluarkan dan kemudian dilanjutkan dengan proses *curing* selama 28 hari.

Desain dan Simulasi Bangku Taman

Desain bangku taman dibuat agar terlihat sederhana namun tetap memiliki nilai estetika. Untuk itu, desain bangku taman yang dipilih adalah menyerupai bentuk trapesium dengan bagian dudukan yang datar dan kaki-kaki bangku yang miring. Visualisasi desain bangku taman tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1 Desain bangku taman

Desain bangku taman pada Gambar 1 memiliki dimensi panjang 450 mm, lebar dudukan 450 mm dan tinggi 450 mm. Bangku tersebut juga didesain menggunakan beton

setebal 25 mm. Simulasi kekuatan struktur dilakukan menggunakan *software* Fusion 360 yang memerlukan data material hasil pengujian tekan dan tarik yang sudah dilakukan pada tahap sebelumnya. Data material *properties* yang perlu dimasukkan ke dalam simulasi secara garis besar dapat dibagi menjadi 3 kategori utama yaitu *basic thermal properties*, *mechanical properties*, serta *strength properties*.

Data *basic thermal properties* terdiri dari nilai konduktivitas termal (*thermal conductivity*), kalor jenis (*specific heat*), dan koefisien ekspansi termal (*thermal expansion coefficient*). Nilai konduktivitas termal untuk data material *properties* yang dimasukkan ke dalam *software* sebesar 1,694 W/m.K. (W. Wang dkk., 2017) Nilai kalor jenis yang digunakan pada penelitian ini sebesar 1,16 kJ/kg.K. (Talebi dkk., 2020) Sementara itu, nilai koefisien ekspansi termal sebesar 10,5 μ /°C. (H. Wang dkk., 2019).

Data *mechanical properties* terdiri dari nilai modulus Young (*Young modulus*), *poisson ratio*, *shear modulus* (modulus geser), serta *density* (densitas atau massa jenis). Nilai *density* atau massa jenis dapat dihitung dari besaran massa benda dibagi dengan volume benda. (Yong & Wai, 2007) Sementara itu, *Young modulus* merupakan kemampuan suatu material untuk meregang dan kembali ke bentuk aslinya ketika diberi beban. Perhitungan nilai modulus Young dapat dilihat berdasarkan persamaan 1. (Badan Standar Nasional, 2019)

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

dengan,

E_c = Modulus elastisitas / Young (MPa)

f'_c = Nilai Kuat Tekan (MPa)

Nilai *poisson ratio* sebesar 0,2. (H. Wang dkk., 2019) Nilai modulus geser dapat dihitung berdasarkan persamaan 2 yang juga masih memerlukan hasil perhitungan modulus Young. (Gere & Goodno, 2009)

$$G = \frac{E_c}{2 \cdot (1 + \nu)} \quad (2)$$

dengan,

G = Modulus Geser (MPa)

E_c = Modulus Elastisitas / Young (MPa)

ν = *Poisson Ratio*

Kategori material *properties* yang ketiga yaitu *strength properties* yang terdiri dari nilai *yield strength* dan nilai *tensile strength* didapatkan dari hasil pengujian tarik yang dilakukan di laboratorium uji material. Semua nilai

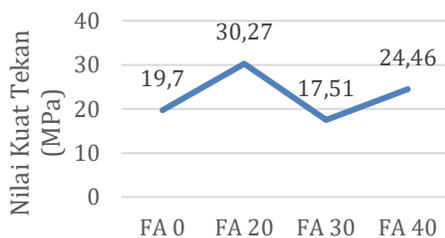
material *properties* harus dimasukkan ke dalam *software* Fusion 360 sebelum dilakukan static analisis.

Desain kursi taman akan dianggap berhasil apabila mampu menahan beban seberat 100 kg tanpa mengalami kerusakan struktural atau deformasi yang berarti. Nilai beban 100 kg ini diambil berdasarkan data rata-rata berat badan penduduk Indonesia yang menunjukkan bahwa rata-rata berat badan untuk kelompok usia 10 hingga 80 tahun adalah 51,8 kg. (Muljati dkk., 2016) Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan simulasi pembebanan sebesar 100 kg sebagai langkah antisipatif untuk meningkatkan faktor keamanan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Tekan

Seluruh spesimen uji tekan diuji dengan menggunakan standar ASTM C-39 dan dilakukan di laboratorium uji material. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2 Hasil Uji Tekan

Evaluasi kekuatan tekan pada *cementitious composite* berpenguat *fiberglass* berumur 28 hari mengungkapkan bahwa spesimen tanpa *fly ash* memiliki kekuatan $19,7 \pm 1,04$ MPa. Performa spesimen yang menggunakan 20% *fly ash* menghasilkan peningkatan kekuatan tekan paling signifikan, mencapai $30,27 \pm 0,86$ MPa (kenaikan 53,6%). Di sisi lain, spesimen dengan kadar *fly ash* 30% menurunkan kekuatan tekan menjadi $17,51 \pm 0,13$ MPa (penurunan 11,12%), sementara spesimen dengan kadar FA 40% meningkatkan kekuatan menjadi $24,46 \pm 0,79$ MPa (kenaikan 25,64%). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa substitusi *fly ash* 20% adalah yang paling efektif, dengan kekuatan tekan rata-rata $30,27 \pm 0,86$ MPa. Kesimpulan ini diperkuat oleh riset yang menyatakan bahwa beton dengan 20% *fly ash* menunjukkan kekuatan tekan puncak 31,10 MPa, atau 24,75% (6,17 MPa) lebih tinggi dari beton standar (24,93 MPa). (Herman dkk., 2018).

Sebagaimana terlihat pada Gambar 2, penambahan *fly ash* dalam persentase tertentu memberikan efek pada nilai kuat tekan. Mekanisme peningkatan kekuatan ini terjadi karena *fly ash*, yang bersifat pozzolanik akibat kandungan SiO₂ aktifnya, berinteraksi dengan Ca(OH)₂ (hasil hidrasi semen). Interaksi ini menghasilkan C-S-H tambahan, yang esensial untuk kekuatan *cementitious composite*. (Fatimah dkk., 2018) Di sisi lain, penggunaan *fly ash* yang terlalu banyak dapat melemahkan *cementitious composite*. Penyebabnya adalah reaktivitas *fly ash* sangat dipengaruhi oleh kuantitas Ca(OH)₂ yang berasal dari semen. Jika persentase substitusi *fly ash* terlalu tinggi, maka kandungan semen menurun, yang berujung pada sedikitnya Ca(OH)₂ yang dihasilkan. (Putra dkk., 2020) Keseimbangan dalam reaksi kimia ini menentukan batas maksimal substitusi *fly ash*. Oleh karena itu, penelitian ini menyimpulkan bahwa tingkat substitusi *fly ash* sebesar 20% merupakan formulasi optimal untuk memaksimalkan kekuatan tekan *cementitious composite*.

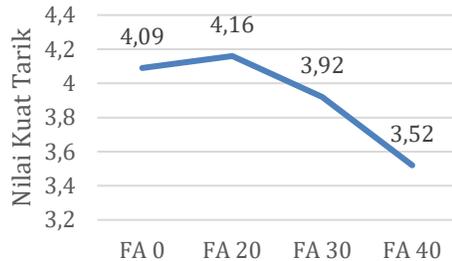
Penggunaan campuran *fly ash* sebesar 20% sebagai komposisi yang ideal juga telah diteliti oleh beberapa peneliti terdahulu. Penggunaan *fly ash* sebagai campuran beton sebesar 20% dapat meningkatkan kekuatan tekan secara signifikan. Meski demikian persentase penggunaan *fly ash* yang lebih besar justru dapat mengurangi kekuatan beton. (Gopalan & Haque, 1989). Selain itu, penggunaan *fly ash* sebesar 20% dapat meningkatkan kekuatan tekan beton setelah mengalami *curing* selama 90 hari dan 180 hari. Namun, pada kondisi *curing* yang lebih singkat, yaitu selama 7 hari dan 28 hari, kekuatan tekan beton masih belum maksimal. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* memang dapat meningkatkan kekuatan beton pada jangka panjang. (Kosior-Kazberuk & Lelusz, 2007).

Perbedaan yang terjadi pada penelitian ini yaitu kekuatan beton dengan campuran FA sebesar 20% telah mengalami peningkatan dibandingkan dengan beton tanpa FA dengan jangka waktu *curing* 28 hari. Hal tersebut dapat dimungkinkan karena adanya campuran lain yaitu *fiberglass*. Penambahan limbah *fiberglass* sebagai campuran beton dapat meningkatkan kekuatan beton tersebut setelah jangka waktu 30 hari. Hal tersebut menunjukkan bahwa kombinasi antara campuran *fly ash* sebesar 20% dan *fiberglass* pada beton mampu meningkatkan kekuatan

tekan beton setelah mengalami *curing* selama 28 hari. (Ribeiro dkk., 2023)

Hasil Pengujian Tarik

Uji kuat tarik pada penelitian ini dilakukan di laboratorium yang sama dengan proses uji tekan serta mengacu pada standar ASTM C-307. Hasil dari uji tarik tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3 Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik yang dilakukan pada *cementitious composite* berpenguat *Fiberglass* berumur 28 hari menunjukkan bahwa spesimen tanpa *fly ash* memiliki kekuatan tarik sebesar $4,09 \pm 0,54$ MPa. Sedangkan variasi dengan substitusi *fly ash*, sebesar 20% menghasilkan kekuatan tarik $4,16 \pm 0,19$ MPa, yang merupakan peningkatan sebesar 1,71%. Sebaliknya, substitusi 30% menurunkan kekuatan tarik menjadi $3,92 \pm 0,27$ MPa (turun 4,34%), dan substitusi 40% menurunkannya lebih lanjut menjadi $3,52 \pm 0,29$ MPa (turun 13,95%). Kesimpulan dari pengujian tarik ini adalah bahwa spesimen dengan substitusi *fly ash* 20% menunjukkan performa kekuatan tarik paling optimal, dengan nilai $4,16 \pm 0,19$ MPa.

Hasil Simulasi Desain Bangku Taman

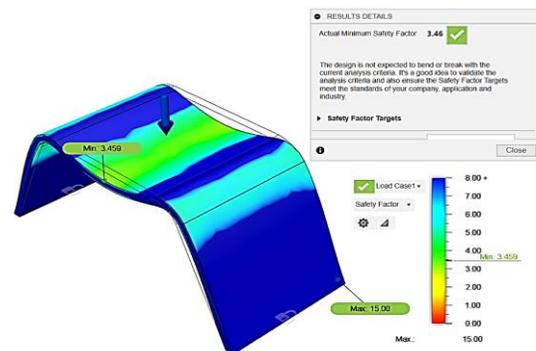
Simulasi menggunakan bantuan *software* dilakukan untuk menguji apakah desain bangku taman yang ada sudah aman untuk digunakan atau tidak. Simulasi tersebut membutuhkan model 3 dimensi dan beberapa data material *properties* yang perlu dimasukkan ke dalam *software*. Berdasarkan hasil perhitungan persamaan 1 dengan memasukkan nilai kuat tekan *cementitious composite* varian FA 20, maka nilai modulus Young yang didapatkan adalah sebesar 25.858 MPa atau 25, 858 GPa. Sedangkan nilai *shear modulus* yang didapatkan dari persamaan 2 adalah sebesar 10.774,358 MPa. Selain itu, nilai densitas yang didapatkan adalah sebesar $1,915 \text{ g/cm}^3$. Nilai *yield strength* dan *tensile strength* yang didapatkan dari hasil pengujian kuat tarik varian FA 20 berturut-turut adalah

3,057 MPa dan 4,16 MPa. Data material *properties* yang dimasukkan ke dalam *software* dapat dilihat pada Gambar 4 berikut:

Basic Thermal	
Thermal Conductivity	1,694E+00 W/(m·K)
Specific Heat	1,160 J/(g·°C)
Thermal Expansion Coefficient	10,500 $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$
Mechanical	
Young's Modulus	25,858 GPa
Poisson's Ratio	0,20
Shear Modulus	10774,358 MPa
Density	1,915 g/cm^3
Damping Coefficient	0,00
Strength	
Yield Strength	3,057 MPa
Tensile Strength	4,160 MPa

Gambar 4 Data Material Properties

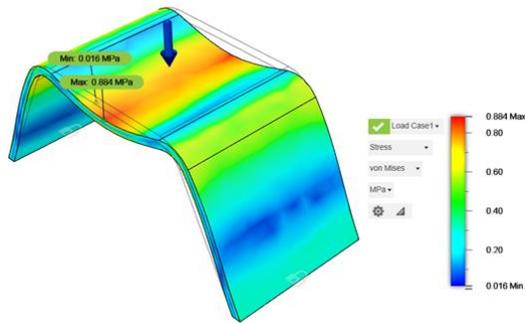
Setelah semua material *properties* dimasukkan, kemudian dilakukan analisis *static stress* pada model 3D bangku taman dengan pembebanan sebesar 980, 6 Newton yang didasarkan pada berat beban 100 Kg. Hasil yang didapatkan adalah berupa persebaran nilai *safety factor* dan nilai *von mises stress* pada semua bagian model 3D bangku taman. seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5 Analisis Nilai Safety Factor

Berdasarkan Gambar 5, dapat dilihat bahwa desain bangku taman memiliki nilai *safety factor* maksimum sebesar 15 dan nilai minimum sebesar 3,46. Hal tersebut menunjukkan bahwa desain bangku taman telah melebihi syarat keamanan nilai *safety factor* yaitu sebesar 1,5. Maka dari itu desain kursi taman tersebut telah layak dan aman

untuk diproduksi dan digunakan dengan beban maksimum sebesar 100 Kg.



Gambar 6 Analisis Nilai Von Mises Stress

Selain itu, hasil analisis nilai *von mises stress* pada Gambar 6 juga menunjukkan bahwa nilai tegangan minimum adalah sebesar 0,016 MPa serta nilai maksimum sebesar 0,884 MPa. Nilai tegangan maksimum dari bangku taman tersebut masih lebih rendah dari nilai *yield strength* sebesar 3,057 MPa maupun nilai tegangan izin dengan *safety factor* sebesar 1,5 yaitu sebesar 2,038 MPa.

Aplikasi *Cementitious Composite* Sebagai Bangku Taman

Pada penelitian ini, sebuah prototipe bangku taman yang menggunakan *cementitious composite*, atau lebih tepatnya varian FA20, telah berhasil dibuat. Pembuatan bangku tersebut memerlukan cetakan khusus agar bentuknya sesuai dengan desain yang telah direncanakan.



Gambar 7 Bentuk cetakan bangku taman

Bentuk cetakan yang digunakan untuk membuat bangku taman pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 7. Cetakan tersebut dibuat dengan bahan kayu triplek dan kayu rangka. Campuran beton yang sesuai dengan varian FA20 kemudian dituangkan ke dalam cetakan dengan menambahkan 7 lapisan *fiberglass mesh* yang dibagi secara merata pada ketebalan bangku

taman.



Gambar 8 Hasil pembuatan bangku taman dengan campuran beton varian FA20

Hasil pembuatan bangku taman dapat dilihat pada gambar 8. Dimensi dari prototipe bangku taman tersebut telah sesuai dengan desain yang ada pada gambar 1. Ketebalan yang dihasilkan juga sudah sesuai dengan adanya sedikit perbedaan sebesar 5 mm pada salah satu sisi kaki bangku. Bangku tersebut juga telah dicoba dan aman untuk digunakan oleh orang dewasa.

PENUTUP

Hasil uji tarik dan uji tekan material *cementitious composite* menunjukkan bahwa varian dengan substitusi *fly ash* sebesar 20% (FA 20) menghasilkan nilai kuat tekan dan kuat tarik paling baik, yaitu 30,27 MPa dan 4,16 MPa, apabila dibandingkan dengan varian tanpa substitusi FA, serta varian FA 30 dan FA 40. Selain itu, berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* Fusion 360, tegangan maksimum yang terjadi pada kursi taman yaitu sebesar 0,884 MPa. Tegangan tersebut masih berada di bawah batas tegangan yang diizinkan yaitu 2,038 MPa. Selain itu, nilai *safety factor* terendah yang diperoleh adalah 3,46, lebih tinggi dibandingkan dengan standar *safety factor* yang diterapkan sebesar 1,5. Oleh karena itu, desain kursi taman yang menggunakan material *cementitious composite* dengan substitusi *fly ash* sebesar 20% dapat dinyatakan aman untuk digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada P3M PPNS yang telah mendanai penelitian ini melalui skema DIPA. Serta terima kasih atas kerja keras dan

dedikasi semua pihak yang terlibat dalam penyuntingan dan penerbitan jurnal ini. Muljati,

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standar Nasional. (2019). SNI-2847-2019-Persyaratan-Beton-Struktural-Untuk-Bangunan-Gedung-1.
- Becerra-Duitama, J. A., & Rojas-Avellaneda, D. (2022). Pozzolans: A review. *Engineering and Applied Science Research*, 49(4), 495–504.
<https://doi.org/10.14456/easr.2022.496>
- Bedoya, M., Rivera, F., Rico, M., Vélez, D., Urrego, A., & Hernandez, S. (2019). Sustainable Concrete Application in the Manufacture of University Urban Furniture.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/2019>
- Fatimah, I. N., Budi, A. S., & Sangadji, S. (2018). PENGARUH KADAR FLY ASH TERHADAP KUAT TEKAN PADA HIGH VOLUME FLY ASH-SELF COMPACTING CONCRETE (HVFA-SCC) BENDA UJI D 15 CM X 30 CM USIA 28 HARI.
- Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2009). *Mechanics of Materials* (7 ed.).
- Gopalan, M. K., & Haque, M. N. (1989). MIX DESIGN FOR OPTIMAL STRENGTH DEVELOPMENT OF FLY ASH CONCRETE. Dalam *CEMENT and CONCRETE RESEARCH* (Vol. 19).
- Hendrawan, A., Lusiani, & Aprilian, R. (1970). SANDBLASTING PADA KAPAL MV. BERLIAN INDAH. *Saintara: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Maritim*, 4(2), 25–32.
<https://doi.org/10.52475/saintara.v4i2.27>
- Herman, F., Rau, D., Sudirman Indra, I., Erfan, M., & St, M. T. (2018). ANALISA PENGARUH PEMAKAIAN FLY ASH SEBAGAI SEMENTISUS PADA BETON MUTU SEDANG TERHADAP KUAT TEKAN BETON (Vol. 1).
- Kosior-Kazberuk, M., & Lelusz, M. (2007). Strength development of concrete with fly ash addition. *Journal of Civil Engineering and Management*, 13(2), 115–122.
<https://doi.org/10.1080/13923730.2007.9636427>
- Triwinarto, A., Utami, N., Hermina Pusat Penelitian dan Pengembangan Upaya Kesehatan Masyarakat, dan, Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, B., & Kesehatan Jl Percetakan, K. R. (2016). PADA PENDUDUK INDONESIA YANG SEHAT BERDASARKAN HASIL RISKESDAS 2013 (DESCRIPTION OF MEDIAN NUMBER OF WEIGHT AND HEIGHT CLASSIFIED BY AGE GROUP ON HEALTHY INDONESIAN CITIZENS BASED ON RISKESDAS 2013 RESULT).
- Putra, W. A., Olivia, M., & Saputra, E. (2020). Wandala, Ketahanan Beton Semen Portland Composite Cement (PCC) (Vol. 14, Nomor 1).
- Qi, C., Weinell, C. E., Dam-Johansen, K., & Wu, H. (2021). A review of blasting waste generation and management in the ship repair industry. Dalam *Journal of Environmental Management* (Vol. 300). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.13714>
- Ribeiro, R. P., Jaramillo Nieves, L. J., & Bernardin, A. M. (2023). Effect of fiberglass waste and fly ash addition on the mechanical performance of Portland cement paste. *Cleaner Materials*, 7.
<https://doi.org/10.1016/j.clema.2023.100176>
- Talebi, H. R., Kayan, B. A., Asadi, I., Bin, Z. F., & Hassan, A. (2020). Investigation of Thermal Properties of Normal Weight Concrete for Different Strength Classes. Dalam *Journal of Environmental Treatment Techniques* (Vol. 2020, Nomor 3).
<http://www.jett.dormaj.com>
- Thangaraj, R., & Thenmozhi, R. (2013). Pozzoalanic reaction. 12, 315–320.
www.neptjournal.com
- Wang, H., Mang, H., Yuan, Y., & Pichler, B. L. A. (2019). Multiscale thermoelastic analysis of the thermal expansion coefficient and of microscopic thermal stresses of mature concrete. *Materials*, 12(7).
<https://doi.org/10.3390/ma12172689>
- Wang, W., Lu, C., Li, Y., & Li, Q. (2017). An investigation on thermal conductivity of

fly ash concrete after elevated temperature exposure. *Construction and Building Materials*, 148, 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.068>

Yong, L. W., & Wai, L. K. (2007). *Physics Insights "O" Level* (2 ed.).