

OPTIMASI UKURAN PARTIKEL DAN KOMPOSISI DALAM PEMBUATAN TEGEL KOMPOSIT PARTIKULAT GRANIT

Budiarto, Parikin, dan Mohammad Dani

Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) - BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang

ABSTRAK

OPTIMASI UKURAN PARTIKEL DAN KOMPOSISI DALAM PEMBUATAN TEGEL KOMPOSIT PARTIKULAT GRANIT. Bahan tegel komposit partikulat granit bermatriks epoxy dapat diharapkan sebagai bahan lantai yang kedap air dan cukup ulet. Penggunaan bahan komposit bagi industri rumah tangga menjadi penting dan cukup menjanjikan. Pembuatan bahan dimulai dari pembubukan batuan granit hingga ukuran mesh 100, 140 dan 200. Bubuk ini kemudian dicampur dengan epoxy yang telah diberi *hardener versamid*, dalam wadah plastik. Sambil diaduk hingga terlihat homogen. Pencetakan spesimen uji dilakukan dalam wadah kaca yang diberi wax dan di-curing dalam *ambient* temperatur selama 48 jam. Bahan spesimen dipotong-potong sesuai kebutuhan pengujian; kerapatan, kekerasan, kompresi dan *bending*. Hasil uji kekerasan dan kerapatan memperlihatkan perubahan nilai yang jelas dari komposisi partikulat (34, 40, 50 dan 70) dan matriks (66, 60, 50 dan 30). Sedang pengujian kompresi dan *bending* memperlihatkan optimum ukuran partikulat antara angka 120-123 μ m dan komposisi partikulat granit berada diantara angka 55-61% berat. Nilai-nilai akurat ini dapat diprediksi dengan proses diferensiasi. Disimpulkan untuk mendapatkan sifat mekanik bahan komposit yang optimum, partikulat granit harus dibuat berukuran sekitar 121 μ m dan komposisi partikulat granit 57%.

Kata kunci : Tegel komposit, partikulat granit, epoksi

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF PARTICLE SIZE AND COMPOSITION IN FABRICATION OF GRANIT PARTICLE COMPOSITE FLOORTILES. Granit particle composite floortile materials, that have epoxy matrix, may be utilized as water resist and ductile materials. The utility of composite materials for industrial households is, however, very important and very promising indeed. Starting from powdering the granit refuges into particles of 100, 140 and 200 in mesh, the powder was mixed by epoxy containing versamid hardener and stirred till highly homogenized. Specimens were mould in glass frame and dried in ambient temperature for 48 hours. The specimens were prepared into certain dimensions, conformed to testing needs: hardness, density, compression and bending. The hardness and density data show clearly the value change of particulate composition (34, 40, 50 and 70) and matrix (66, 60, 50 and 30) as well. From bending and compression tests, the optimum grain size (μ m) and composition (%) of granit particles reveal between the number of 120-123 and 55-61 respectively. The accurate point of the values can be determined by using differential method. As conclusion, for the better mechanical properties of granit particles composite floortiles, the grains should be 121 in μ m and 57 % composition of granit particles.

Key words : Composite floortiles, granit particles, epoxy

PENDAHULUAN

Perkembangan industri konstruksi di Indonesia meningkat pesat, sehingga para peneliti berusaha untuk menciptakan bahan bangunan alternatif yang memiliki sifat lebih unggul dibandingkan dengan bahan bangunan konvensional[1]. Salah satu bahan bangunan alternatif yaitu bahan komposit yang merupakan campuran dari dua atau lebih unggul dari sifat-sifat bahan penyusunnya[2]. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat komposit adalah matriks, penguat, dan perbandingan komposisi fraksi volume antara matriks dan penguat [3]. Paduan partikel batuan granit dengan resin polimer sebagai bahan komposit, diharapkan menjadi bahan

berorientasi pasar dan mudah diproduksi dalam skala industri kecil. Bahan komposit ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan tegel atau bahan untuk dinding bangunan yang kedap air dan cukup ulet.

Batu granit adalah salah satu varitas dari batuan *chalcedony*, mengandung Ca dan Si sebagai unsur kandungan terbanyak dalam bentuk senyawa-senyawa SiO₂, CaCO₃, dan CaCl₂, merupakan salah satu sumber daya alam batu hias yang banyak didapatkan di Indonesia[4]. Dalam bentuk batu alamnya granit hampir sama dengan Agate, tetapi mempunyai garis-garis lurus, menampilkan campuran warna hitam-putih-abu-abu,

kekerasan 7 dalam skala Mohs (SM) dan berat jenis rata-rata 2,63 g/cm³, seperti halnya marmer batu ini mengkilat bila digosok. Kelebihannya granit bisa meneruskan cahaya dan diberi warna lain yang berbeda dari warna aslinya. Oleh karena itu granit biasanya digunakan sebagai bahan untuk barang-barang hiasan dan alat rumah tangga, seperti pernak-pernik, lampu hias, meja, hiasan dinding, sanitari dan furniture. Perhiasan dari batu granit ini sudah menjadi komoditi ekspor negeri ini.

Perkembangan industri yang mengolah batu granit ini, mengakibatkan semakin meningkatnya jumlah limbah buangan granit baik berupa butiran, serpihan, potongan maupun bentuk pecahan. Salah satu pemanfaatan limbah itu dengan membuatnya menjadi bahan komposit berupa tegel. Tegel ini diharapkan bisa menjadi satu alternatif pengganti tegel yang telah kita kenal selama ini, dibuat dengan teknologi pembuatan sangat sederhana dan bisa dikembangkan oleh industri kecil.

Dalam penelitian ini, bertujuan membuat tegel komposit partikel granit dengan menggunakan resin sebagai matriks dan partikel granit sebagai penguat dan mempelajari karakteristik komposit terhadap sifat fisik (kerapatan), serta sifat mekanik (kekerasan, kuat patah, *bending*). Resin yang digunakan adalah epoksi, dengan pertimbangan bahwa resin ini tahan terhadap panas, berwujud cair, sehingga relatif mudah meresap dan membasahi permukaan penguat, pengerasan pada suhu ruang dan teknik pengerjaan relatif mudah. Diharapkan tegel komposit yang dibuat merupakan tegel unggul yang kuat, ulet, keras, tahan korosi serta kedap air sehingga bisa berumur panjang, pembuatannya sederhana, dan mudah dibentuk.

METODE PERCOBAAN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan batu granit yang didapatkan dari Padalarang berupa butiran dan serpihan, resin epoksi, versamid dan *waks* merek *glaze*.

Cara Kerja

Serpihan batuan granit dibersihkan dari kotoran dan dihaluskan dengan cara ditumbuk. Selanjutnya diayak menggunakan ayakan bernomor 100 *mesh*, 140 *mesh* dan 200 *mesh*. Dimana semakin besar angka *mesh* semakin kecil ukuran diameter rata-rata butiran partikel granit, yaitu masing-masing 77 μ m, 108 μ m dan 152 μ m.

Selanjutnya bubuk partikel granit ini dicampur dengan resin epoksi yang telah diberi *hardener versamid* (sebagai pemercepat pengerasan), berdasarkan perbandingan fraksi volume antara partikel granit dan resin epoksi serta berdasarkan distribusi besar partikel granit, kemudian diaduk supaya lebih homogen. Variasi komposisi partikel granit, resin epoksi dan ukuran

butiran; *mesh* dalam pembuatan tegel komposit tersusun dalam Tabel 1. Spesimen dicetak dalam wadah cetakan teflon berukuran 5 cm x 5 cm dan 5 cm x 25 cm dengan ketebalan 1 cm di atas landasan kaca yang telah diberi *waks*, untuk menghindari terjadinya pelekatan antara bahan dengan cetakan. Kemudian spesimen dibiarkan mengering dalam suhu kamar dan dikeluarkan dari cetakan setelah sekitar 48 jam. Untuk keperluan pengujian kuat tekan dan kuat patah spesimen dipotong-potong menjadi berukuran masing-masing (3 x 1 x 1) cm³ dan (6 x 1 x 1) cm³.

Tabel 1. Variasi komposisi komposit partikel granit

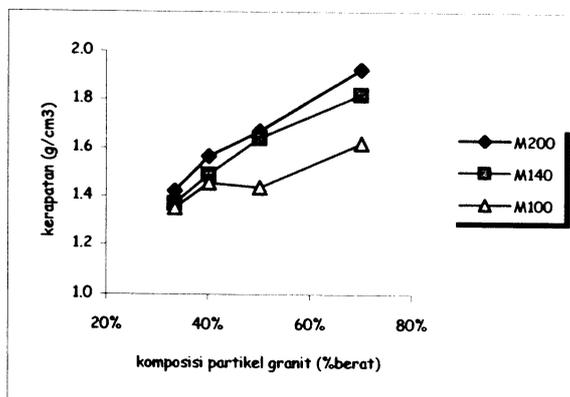
Kode Spesimen	Komposisi % berat Granit : epoksi	Ukuran partikel granit (μ m)
GE 34 A	34 : 66	77
GE 34 B		108
GE 34 C		152
GE 40 A	40 : 60	77
GE 40 B		108
GE 40 C		152
GE 50 A	50 : 50	77
GE 50 B		108
GE 50 C		152
GE 70 A	70 : 30	77
GE 70 B		106
GE 70 C		150

Karakterisasi bahan dilakukan di Laboratorium Bidang Bahan Industri, untuk uji kerapatan menggunakan teknik *Archimedes*, sedangkan pengujian kekerasan menggunakan alat uji *Shore Scleroscope*, dan pengujian kuat tekan dan kuat patah menggunakan alat uji *Universal Testing Machine* di Laboratorium Keramik, Puslit Fisika, LIPI.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kerapatan

Hasil pengujian kerapatan dari komposit partikel granit-resin epoksi, dapat dilihat sebagai gambar hubungan nilai kerapatan dengan komposisi partikel granit pada Gambar 1. Nilai-nilai ini merupakan nilai rata-rata dari pengukuran terhadap 3 spesimen yang sejenis. Nilai kerapatan bahan tegel komposit partikel granit-resin epoksi secara umum bisa dikatakan mengikuti kaidah campuran, yaitu nilai kerapatan berbanding langsung dengan fraksi volume matriks dan penguatnya. Kerapatan komposit meningkat ketika komposisi partikel granit bertambah dalam daerah kerapatan 1,35 – 1,92 g/cm³ [9].



Gambar 1. Kurva hubungan komposisi partikel granit dengan kerapatan komposit, dengan ukuran a). 100 mesh, b).140 mesh, dan c).200 mesh.

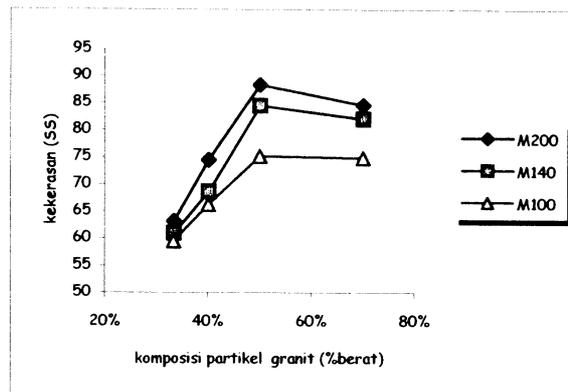
Nilai kerapatan ini berada diatas harga kerapatan resin epoksi $1,15 \text{ g/cm}^3$ [10], dibawah nilai kerapatan rata-rata batuan granit $2,63 \text{ g/cm}^3$, nilai kerapatan komposit ini memenuhi persyaratan kerapatan komposit bahan tegel untuk sanitari yaitu $1,50 - 2,70 \text{ g/cm}^3$ [9].

Secara teori penambahan nilai kerapatan akan berbanding linier terhadap komposisi. Akan tetapi nilai kerapatan hasil pencampuran kali ini berfluktuasi walaupun tetap memperlihatkan kecenderungan linier. Nilai-nilai ini berada dibawah nilai perkiraan (perhitungan) dengan perbedaan nilai berkisar antara 10% sampai dengan 26%. Perbedaan ini diperkirakan karena pencampuran komposit kali ini dilakukan dengan cara yang sangat sederhana yaitu dengan diaduk yang memungkinkan timbulnya rongga-rongga kecil antara partikel sehingga tingkat kehomogenan dari campuran kurang sempurna yang bisa menyebabkan menurunnya nilai kerapatan. Untuk setiap komposisi komposit nilai rasio ketepatan terhadap nilai perkiraan semakin besar seiring dengan semakin kecilnya ukuran batuan granit. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel penguat semakin mudah proses pencampuran komponen-komponen pembentuk komposit yang berarti semakin mudah matriks menyelimuti seluruh permukaan partikel granit. Hal tersebut memperkecil kemungkinan terjadinya kekosongan diantara partikel-partikel penguat, sehingga mengakibatkan naiknya nilai kerapatan.

Analisis Kekerasan Komposit

Hasil pengujian kekerasan komposit granit-epoksi disajikan dalam Gambar 2. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan komposit terhadap deformasi pada permukaannya, karena kekerasan sendiri adalah ukuran ketahanan dari suatu bahan terhadap indentasi permukaan. Semakin tinggi tingkat kekerasan suatu bahan maka semakin tangguh bahan tersebut untuk menahan beban yang terdapat pada permukaannya. Kekerasan komposit granit-epoksi yang dibuat pada penelitian ini berkisar antara 60,63 sampai dengan 89,45 SS (Skala *Scleroscope*) atau sekitar 4,3 sampai dengan 6,6 SM (Skala *Mohs*). Harga tersebut

merupakan harga rata-rata pengukuran, yaitu harga rata-rata ketinggian pantulan bandul alat ukur “Shore Scleroscope” yang dijatuhkan pada permukaan spesimen di 50 titik yang berbeda. Ketinggian pantulan akan kecil bila bandul jatuh pada permukaan lunak (resin epoksi) dan sebaliknya akan tinggi bila jatuh pada permukaan keras (partikel granit). Untuk ketiga jenis ukuran partikel granit pada komposit granit-epoksi yang diuji, nilai kekerasan semakin tinggi mengikuti naiknya komposisi partikel granit sampai dengan komposisi 50%.



Gambar 2. Kurva hubungan antara komposisi partikel penguat dengan kekerasan Komposit, dengan ukuran a). 100 mesh, b).140 mesh, dan c).200 mesh.

Selanjutnya nilai kekerasan cenderung mendatar atau bahkan menurun pada komposisi partikel 70%. Penurunan ini bisa terjadi karena rendahnya tingkat kehomogenan komposit yang diakibatkan oleh komposisi partikel granit yang terlalu besar. Akan tetapi seperti diketahui dari Gambar 2, walaupun pada komposisi 70% nilai rata-rata rasio ketepatannya paling rendah, nilai kekerasan komposit pada komposisi tersebut nilai kekerasannya menurun dibanding ukuran 200 mesh.

Dari bentuk gambar nilai kekerasan terhadap komposisi % berat partikel penguat didalam komposit pada Gambar 2, menurunnya nilai kekerasan pada komposisi 70% bisa juga dikarenakan oleh karena kurva nilai kekerasan pada komposit Granit-epoksi ini memang mempunyai kecenderungan polinomial [9]. Kecenderungan seperti itu memberikan komposisi optimal paduan komposit Granit-epoksi dengan nilai kekerasan maksimum - untuk setiap ukuran partikel yang diuji - seperti dicantumkan dalam Tabel 2. Dari data tersebut diketahui bahwa komposisi partikel penguat

Tabel 2. Perkiraan nilai optimum kekerasan untuk setiap ukuran dan komposisi partikel.

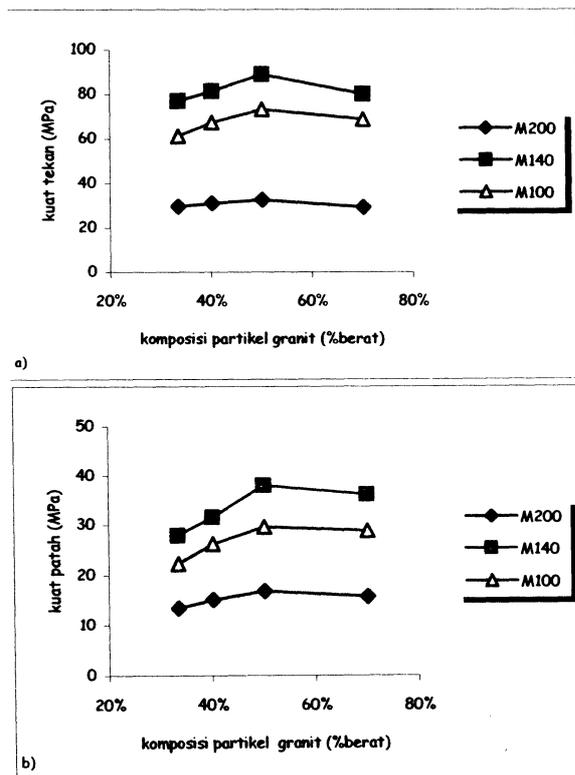
Kode spesimen (ukuran partikel)	komposisi optimum (%berat)	kekerasan optimum (SS)
M200 - (77 μm)	59,64 %	92,77
M140 - (108 μm)	60,83 %	92,49
M100 - (152 μm)	60,92 %	75,79

optimum untuk setiap ukuran partikel penguat pada komposit granit-epoksi berada pada daerah komposisi partikel penguat 59% sampai dengan 61% berat.

Nilai kekerasan komposit granit epoksi ini untuk beberapa spesimen melebihi nilai kekerasan batu marmer yaitu 4,32 SM (sekitar 60,5 SS), walaupun masih lebih kecil dari nilai kekerasan batu granit sendiri yaitu 7 SM. Dengan memperbaiki nilai kerapatan komposit kemungkinan nilai kekerasan bisa diperbaiki menjadi lebih baik. Dengan memperhatikan proses produksi yang begitu sederhana dan tanpa pemanasan, nilai kekerasan komposit yang dibuat dan diuji kali ini bisa dikatakan sudah cukup baik untuk dipergunakan di lapangan.

Analisis Kuat Tekan dan Kuat Patah

Pengujian terhadap kuat tekan dan kuat patah dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* bertujuan untuk mendapatkan informasi yang dapat menjelaskan berapa besar gaya yang diperlukan untuk mematahkan bahan (membuat deformasi pada bahan) dengan cara ditekan atau dibengkokkan. Kedua sifat mekanik ini mengikuti kaidah campuran, dimana peningkatan komposisi dan nomor *mesh* partikel penguat, pada dasarnya mampu meningkatkan nilai kuat tekan dan kuat patah komposit. Hasil pengujian kuat tekan dan kuat patah dari komposit partikel granit-resin epoksi, dilihat pada Gambar 3, berupa gambar hubungan antara



Gambar 3. Kurva hubungan antara komposisi partikel penguat dengan nilai kekuatan komposit Granit-epoksi. a) kuat tekan (ukuran 100 mesh, 140 mesh dan 200 mesh), dan b). kuat patah komposit (ukuran 100 mesh, 140 mesh dan 200 mesh).

kekuatan tekan dan kekuatan patah komposit Granit-epoksi dengan komposisi % berat partikel penguatnya.

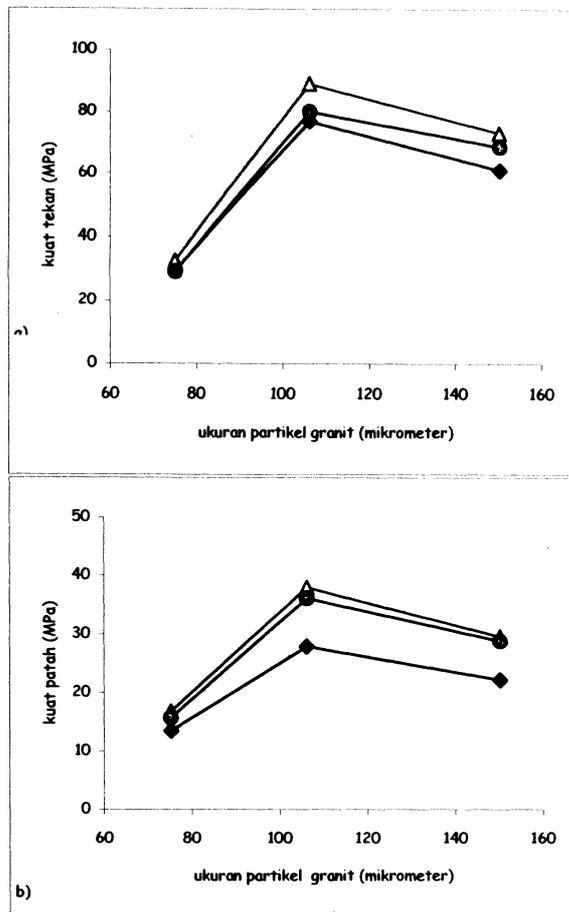
Nilai kuat tekan semakin besar seiring dengan kenaikan komposisi partikel penguat sampai pada komposisi 50% berat, dan cenderung turun pada komposisi 70% berat, berkisar pada daerah 28,5 MPa sampai dengan 89,5 MPa, dengan nilai tertinggi dicapai oleh spesimen GE50B yaitu komposit dengan ukuran partikel penguat 108 μ m pada komposisi partikel penguat 50% berat, dengan nilai 89,50 MPa. Nilai kuat patah komposit terhadap komposisi partikel granit juga mengalami kenaikan sampai pada komposisi partikel penguat 50% berat, dan turun pada komposisi penguat 70% berat. Hasil pengujian menunjukkan nilai kuat patah berkisar pada daerah 14,12 MPa sampai dengan 37,8 MPa, dengan nilai tertinggi diberikan spesimen GE50B yaitu 37,80 MPa.

Dari data pengujian diketahui bahwa semua komposisi komposit dengan ukuran partikel penguat 108 μ m (kode B), memiliki nilai kuat tekan yang memenuhi kekuatan tegel yang disyaratkan yaitu 70 MPa sampai dengan 100 MPa. Syarat tersebut juga dicapai oleh komposit dengan ukuran partikel 152 μ m (C) pada komposisi 50% dan 70% berat. Sedangkan komposit dengan partikel 77 μ m (A) tidak memberikan komposisi yang memenuhi syarat tersebut.

Seperti halnya pada nilai kekerasan, hasil pengujian kekuatan komposit granit-epoksi pada komposisi partikel granit 70% berat, tidak mengikuti kaidah pencampuran, yang berarti peningkatan komposisi partikel menjadi 70% berat tidak mampu meningkatkan nilai kuat tekan dan kuat patah komposit. Hal tersebut terjadi kemungkinan karena komposisi partikel 70% berat sudah merupakan komposisi yang melewati titik jenuh bagi matriks epoksi untuk bisa mengikat keseluruhan partikel granit dengan baik. Buruknya ikatan antara matriks dengan partikel penguat mengakibatkan komposit yang terbentuk menjadi lebih rapuh, sehingga nilai kekuatan komposit pada komposisi ini menjadi lebih kecil dari nilai kekuatan yang diharapkan terjadi. Hal ini kemungkinan bisa menjadi lebih buruk lagi bila proses pencampuran komposit dilakukan kurang baik.

Dari Gambar 4 diketahui bahwa kekuatan komposit dengan ukuran partikel 75 μ m (M200) cenderung tidak berubah banyak pada setiap komposisi komposit yang diuji, yaitu berkisar antara 28,50 MPa sampai dengan 32,92 MPa untuk kuat tekan dan 14,2 MPa sampai dengan 16,89 MPa untuk kuat patah. Harga-harga tersebut hanya sedikit di atas nilai kuat tekan dan kuat patah resin epoksi yaitu masing-masing 16,5 MPa dan 9,3 MPa.

Bila ditinjau dari sudut ukuran partikel granit, kekuatan komposit granit-epoksi mengikuti kaidah pencampuran komposit pada spesimen M100 dan M140, yaitu kekuatan komposit bertambah besar ketika ukuran partikel yang ditambahkan pada campuran semakin kecil.



Gambar 4. Hubungan antara ukuran partikel penguat komposit dengan kekuatannya, a) kuat tekan dan b) kuat patah.

Akan tetapi, hasil pengujian kekuatan pada spesimen M200 menunjukkan bahwa kekuatan komposit mengalami penurunan yang tajam dari kekuatan spesimen M140 (Gambar 4). Untuk semua komposisi komposit yang diuji, kekuatan tertinggi didapat pada ukuran partikel penguat 108 μm.

Kekuatan komposit menurun tajam pada ukuran partikel 77 μm setelah mengalami kenaikan ketika ukuran partikel penguat semakin kecil. Perkiraan komposisi optimum untuk nilai kekuatan komposit yang paling besar untuk setiap ukuran partikel penguat dan komposisi komposit, diperoleh dari kurva kecenderungan Gambar 3 dan Gambar 4. Untuk setiap ukuran partikel yang diuji kondisi kekuatan komposit yang optimum diperoleh pada daerah komposisi partikel penguat antara 54% sampai dengan 60% berat, dan untuk setiap komposisi partikel granit, kondisi optimum didapatkan pada ukuran mesh partikel penguat antara 118 μm sampai dengan 123 μm. Gambaran kondisi optimum tersebut dirangkum pada Tabel 3.

Untuk komposit granit-epoksi dalam pengujian ini, kondisi optimum diperkirakan berada pada ukuran partikel penguat 120 μm sampai dengan 123 μm dengan komposisi partikel penguat 55% sampai dengan 61 %

berat. Jadi ukuran mesh ayakan yang mendekati nilai optimum adalah ayakan mesh M120 dengan diameter rata-rata partikel 125 μm.

KESIMPULAN

Tabel 3. Gambaran komposisi optimum untuk kekuatan komposit yang paling besar.

Ukuran partikel penguat	Kondisi kuat tekan maksimum		Kondisi kuat tekan maksimum	
	Komposisi	Nilai (MPa)	Komposisi	Nilai (MPa)
M200 - 75 μm	53,36 %	32,92	56,29 %	16,89
M140 - 106 μm	56,14 %	89,50	58,67 %	37,80
M100 - 150 μm	55,22 %	73,55	57,42 %	29,62

Kode spesimen	Kondisi kuat tekan maksimum		Kondisi kuat patah maksimum	
	Besar partikel (μm)	Nilai (MPa)	Besar partikel (μm)	Nilai (MPa)
GE 34	122,0	80,84	120,9	28,43
GE 40	122,8	85,82	121,6	32,12
GE 50	122,9	94,60	122,2	41,04
GE 70	123,8	84,96	121,3	37,23

Telah dilakukan pembuatan dan pengujian terhadap komposit dengan matriks resin epoksi dan penguat partikel batuan granit. Dari uji kekerasan terhadap komposit ini diketahui, kekerasan komposit granit-epoksi dengan komposisi partikel 40%, 50% dan 70% berat makin besar kekerasan. Dari uji kerapatan komposit didapatkan hasil yang cukup bagus dengan nilai kesalahan terhadap nilai teori pencampuran komposit berkisar antara 10% sampai dengan 26%. Kekuatan tekan komposit berkisar antara 28,5 MPa sampai dengan 89,50 MPa, sedangkan kuat patahnya 14,12 MPa sampai dengan 37,8 MPa.

Jadi sebagian komposit yang diuji bisa memenuhi syarat kekuatan tegel standar. Komposisi terbaik komposisi uji diberikan oleh komposisi partikel 50% berat dengan ukuran partikel 106 μm yang memberikan nilai kekerasan 84,43 SS, kuat tekan dan kuat patah masing-masing 89,09 MPa dan 38,03 MPa. Perkiraan kondisi optimum yang menghasilkan kekuatan dan kekerasan terbaik adalah komposit dengan ukuran partikel penguat sekitar 120 μm sampai dengan 123 μm dengan komposisi partikel penguat 55% sampai dengan 61% berat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan tulus hati penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada; Kepala P3IB-BATAN (Drs. Gunanjar, SU), Drs. W.Prasuad (sebagai Pimpro P3IB), serta semua pihak yang langsung dan tak langsung terkait.

DAFTARACUAN

- [1]. FELDMAN, D DAN A.J.HARTOMO, *Bahan Polimer Konstruksi Bangunan*, Gramedia Pustaka Utama, (1995)
- [2]. COLLING, DAVID A., AND THOMAS V., *Industrial Materials: Polymer Ceramics and Composites 2*, Prentice Hall, Inc. USA, (1995)
- [3]. SCHWARTZ, M.M., *Composite Material Handbook*, McGraw Hill, Inc., New York, USA, (1984)
- [4]. MANGGASA, ANDRIAS, DKK, Pengembangan Pembuatan Ubin Marmer dengan Memanfaatkan Limbah Pengolahan Marmer, *Laporan Penelitian*, Balai Industri Ujung Pandang, Badan Penelitian dan Pengembangan Industri dan Perdagangan, Departemen Perindustrian dan Perdagangan, (1998)
- [5]. ARSLAN, A., Bahan Komposit, *Modul Pelatihan Ilmu Bahan*, P3IB-BATAN, Serpong, (1996)
- [6]. KIRK, OTHMER, *Composite Materials in: Encyclopedia of Chemical Technology*, 7 Edition. Wiley – Interscience, (1987)
- [7]. JONES, ROBERT M., *Mechanics of Composite Materials*, International Student Edition, Mc. Graw Hill Kogakusha Ltd., Tokyo, (1989)
- [8]. NURHASANAH, Pembuatan dan Karakterisasi Komposit Partikel Marmer Sebagai Bahan Tegel Komposit, *Skripsi S-1*, Jurusan Fisika, FMIPA, IPB, Bogor, (2002)
- [9]. SAYUTI, R., Sintesis dan Karakterisasi Komposit Partikel Granit-Resin Epoksi, *Skripsi S-1*, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Andalas, Padang, (2002)
- [10]. TATA SURDIA, SHINROKU SAITO, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, (1989)
- [11]. JOHN B., WAHMAN JR., *Ceramics, Treastise on Materials Science and Technology*, 29, Firsted, Academic Press, Inc., Toronto, (1985)
- [12]. VAN VLACK, SRIATI DJAPRIE, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Edisi keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta, (1983)