

P3TIR/P.65/2000

PEMBUATAN KOMPOSIT MARMER-  
POLIESTER-SERAT TANDAN KOSONG  
SAWIT DENGAN IRADIASI SINAR- $\gamma$  Co-  
60

Sugiarto Danu, Darsono dan Anik Sunarni

# PEMBUATAN KOMPOSIT MARMER - POLIESTER - SERAT TANDAN KOSONG SAWIT DENGAN IRADIASI SINAR- $\gamma$ Co-60\*

Sugiarto Danu, Darsono, dan Anik Sunarni

## ABSTRAK

PEMBUATAN KOMPOSIT MARMER - POLIESTER - SERAT TANDAN KOSONG SAWIT DENGAN IRADIASI SINAR- $\gamma$  Co-60. Penelitian untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik komposit yang terdiri dari butiran marmer, resin poliester tak jenuh dan serat tandan kosong sawit (TKS) telah dilakukan dengan pengeringan (*curing*) menggunakan radiasi sinar- $\gamma$  dari Co-60. Butiran marmer dengan ukuran antara 32 dan 64 mesh dicampur resin poliester tak jenuh dan serat TKS. Konsentrasi poliester dalam komposit dibuat dengan variasi konsentrasi 20 ; 25 ; 30 dan 35 % berat campuran dengan marmer, sedangkan serat TKS divariasi menjadi 4 ; 8 dan 12 % berat campuran marmer dan poliester. Campuran dimasukkan ke dalam tabung kaca berukuran panjang 150 mm dan diameter 14 mm. Iradiasi dilakukan menggunakan sinar- $\gamma$  Co-60 pada dosis 10 kGy dengan laju dosis 7,5 kGy/jam. Parameter yang diukur meliputi densitas, kekerasan, kuat tekan dan tegangan putus. Hasil percobaan menunjukkan bahwa serat TKS dapat meningkatkan tegangan putus, tetapi menurunkan kekerasan, kuat tekan dan densitas komposit.

---

\* Dibawakan pada "Seminar Nasional III, Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI)", Bandung, 22-23 Agustus 2000.

\*\* PUSLITBANG Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN.

## ABSTRACT

**PREPARATION OF MARBLE - POLYESTER - EMPTY FRUIT BUNCHES FIBRES OF OIL PALM COMPOSITES BY USING  $\gamma$ -RAY IRRADIATION OF CO-60.** The experiment to study the physical and mechanical properties of composites which made of marble particle, unsaturated polyester resin and empty fruit bunches (EFB) fibres of oil palm has been done by curing using  $\gamma$ -ray radiation of Co-60. Marble particle with the size of 32-64 mesh was mixed with unsaturated polyester resin and EFB fibres of oil palm. Concentrations of polyester in the composites were 20 ; 25 ; 30 and 35 % by weight of its mixture with marble, whereas the concentrations of EFB fibres of oil palm were 4 ; 8 and 12 % by weight based on marble and polyester mixture. The mixture was placed in a glass tube of 150 mm long and 14 mm diameter. Irradiation was conducted by using  $\gamma$  - ray irradiation of Co-60 at the dose of 10 kGy and dose rate of 7.5 kGy/hr. Parameters observed were density, hardness, compression strength and tensile strength. Experimental results showed that EFB fibres of oil palm may increase tensile strength but decreases the hardness, compression strength and density of composites.

## PENDAHULUAN

Menurut data dari Departemen Perindustrian yang dikutip oleh HERYONO [1], kebutuhan mineral industri secara nasional meningkat rata-rata 11,59 % setiap tahun. Salah satu bahan mineral industri yang mempunyai nilai ekonomis tinggi adalah batu marmer. Batu marmer dalam bentuk bahan terolah banyak dipakai oleh industri dengan nilai tambah tinggi. Pada umumnya batuan marmer dipakai sebagai bahan bangunan misalnya lantai dan dinding karena sifatnya yang keras dan penampilan yang menarik. Limbah berupa potongan-

potongan kecil dari industri marmer sangat banyak jumlahnya. Potongan-potongan atau pecahan batuan marmer yang ukurannya kecil dan tidak mempunyai nilai ekomis tinggi ini dapat dimanfaatkan untuk pembuatan komposit marmer dengan menghancurkannya menjadi butiran kemudian ditambah polimer sebagai perekatnya.

Resin poliester merupakan salah satu polimer yang banyak digunakan sebagai bahan pelapis radiasi (*radiation curable materials*) yang mempunyai sifat cukup baik yaitu keras, kuat dan bening, serta harganya relatif murah [2]. Di dalam perdagangan, resin poliester dijual dalam keadaan sudah dicampur dengan monomer stiren sebagai diluen reaktif. Penelitian pembuatan komposit marmer – poliester menggunakan radiasi sinar- $\gamma$  dari Co-60 yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sifat liat dan rapuh komposit dipengaruhi kandungan komponennya. Semakin tinggi kandungan poliester semakin liat sifat kompositnya [3].

Untuk meningkatkan kekuatan suatu komposit pada umumnya dilakukan penambahan serat. Serat yang diperlukan dapat berupa serat alam atau serat buatan. Pemanfaatan serat dari limbah industri atau produk suatu agroindustri di Indonesia masih relatif rendah. Data estimasi penggunaan serat dari hasil pertanian untuk pembuatan pulp [4] menunjukkan bahwa pemanfaatan serat hasil pertanian di Indonesia masih relatif rendah, yaitu hanya sekitar 10,1 % jika dibandingkan misalnya dengan Thailand (100 %), Cina (84,3 %) dan Vietnam (40,0 %). Salah satu serat dalam bentuk limbah dapat diperoleh dari tandan kosong sawit. Menurut GURITNO dkk. dalam ERWINSYAH dkk. [5], pabrik pengolahan kelapa sawit dengan kapasitas 30 ton / jam menghasilkan limbah tandan sawit sekitar 20 % dari tandan buah segar yaitu 6 ton. Pada tahun 1997 jumlah TKS sekitar 2,2 juta ton, dan diperkirakan mencapai 2,8 juta ton berat kering pada tahun 2000. Berlimpahnya TKS ini

dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Pada umumnya, TKS dipakai untuk pupuk kalium setelah dibakar di *incinerator*, bahan bakar untuk boiler dan bahan baku kompos. Berbagai upaya telah dilakukan untuk memanfaatkan limbah tersebut agar dapat menghasilkan produk yang mempunyai nilai ekonomis tinggi. Beberapa penelitian dan pengembangan telah dilakukan, misalnya untuk pembuatan papan serat semen, pulp, dan kertas [6,7].

Selain dapat dipakai untuk pembuatan papan serat semen, pulp, dan kertas, serat TKS diharapkan dapat dipakai untuk bahan penguat suatu komposit. Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan komposit campuran marmer, resin poliester dan serat TKS dengan pengeringan menggunakan radiasi sinar- $\gamma$  dari Co-60. Sifat komposit yang diukur meliputi densitas, kekerasan pensil, kuat tekan dan tegangan putus.

## TATA KERJA

### *Bahan*

1. Marmer dalam bentuk pecahan berasal dari PT. Gramer, Lampung.
2. Serat TKS diperoleh dari PTPN VIII Kelapa Sawit, Malingping, Jawa – Barat.
3. Resin poliester tak jenuh dengan nama komersial Polylyte 8009 buatan PT. Pardic Jaya Chemicals, Tangerang.

### *Alat*

1. Mesin pemecah batu tipe Jaw Crusher buatan KHD Humboldt Wedag AG, Jerman.
2. Ayakan.
3. Tabung kaca dengan panjang 150 mm dan diameter 14 mm.
4. Sumber radiasi sinar- $\gamma$  dari Co-60 berupa Iradiator Panorama dengan aktivitas

*Percobaan*

Pecahan marmer dengan tebal sekitar 8 mm dihancurkan menggunakan mesin pemecah batu. Marmer yang telah dihancurkan kemudian diayak untuk mendapatkan butiran berukuran antara 32 dan 64 mesh. Serat TKS dipotong menjadi berukuran  $\pm 3$  cm, dicuci menggunakan air kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu  $60^{\circ}$  C sampai berat tetap. Batuan marmer dan serat dicampur resin poliester kemudian diaduk sampai homogen. Konsentrasi poliester divariasikan menjadi 20; 25 ; 30 dan 35 % berat campuran dengan marmer. Konsentrasi serat dalam campuran sebanyak 4 ; 8 dan 12 % berat campuran marmer dan poliester. Campuran dimasukkan ke dalam tabung kaca, ditekan agar padat, kemudian ditutup parafilm supaya kedap udara. Tabung yang sudah diisi bahan komposit selanjutnya diiradiasi sinar- $\gamma$  dari Co-60 pada dosis 10 kGy dengan laju dosis 7,5 kGy/jam. Komposit yang dihasilkan dikeluarkan untuk diukur sifat-sifatnya. Densitas ditentukan dari pengukuran berat dan volume. Kekerasan permukaan diukur menggunakan pensil standar Uni-Mitsubishi sesuai dengan JIS 5401 – 70 [8]. Kuat tekan diukur menggunakan alat tekan Paul Weber, dihitung dari hasil bagi gaya dengan luas penampang contoh uji. Tegangan putus ditentukan menggunakan alat uji tarik Model Instron 1122 menurut ASTM D 2370-68 [9].

Sebagai pembandingan, dilakukan pula pembuatan komposit secara konvensional menggunakan katalisator peroksida metil etil keton sebanyak 2 % berat campuran marmer - poliester. Komposisi campuran marmer dan poliester adalah 65 : 35 dengan konsentrasi serat sebanyak 4; 8 dan 12 %.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Komposisi Komposit*

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu [3], dosis 10 kGy telah menghasilkan komposit marmer poliester yang mempunyai sifat kekerasan dan kuat tekan yang cukup baik. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini dipakai dosis 10 kGy. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat fisik dan mekanik komposit adalah konsentrasi komponen penyusun komposit, yaitu marmer, resin poliester dan serat TKS. Komposit yang terdiri dari campuran marmer, resin poliester dan serat dengan susunan acak dapat digolongkan ke dalam komposit partikel (*particulate composites*) karena butiran marmer berada dalam matriks perekat poliester, tetapi juga termasuk komposit berserat (*fibrous composites*) karena adanya serat dalam matriks campuran polimer dan marmer. Marmer sebagai komponen utama komposit mempunyai sifat keras dan penampilan yang menarik tetapi agak rapuh. Resin poliester sebagai matriks polimer berfungsi sebagai perekat butiran marmer dan serat. Semakin banyak poliester, semakin rapat (tidak berongga) dan mudah dibentuk / dicetak suatu komposit. Jika poliester terlalu banyak, biaya pembuatan komposit menjadi lebih mahal karena harga resin poliester jauh lebih mahal dibanding butiran marmer atau serat tandan sawit. Serat berfungsi sebagai bahan penguat dan menjadikan komposit relatif lebih ringan. Tetapi, jika kandungan serat terlalu tinggi dapat mengurangi kekuatan dan penampilan sebagai produk marmer. Dengan variasi komposisi ketiga bahan penyusun tersebut dapat diperoleh hubungan antara komposisi dengan sifat fisik dan mekanik komposit yang dihasilkan. Konsentrasi poliester sebanyak 20 % tidak menghasilkan komposit yang baik pada penggunaan serat sebanyak 12 %.

### *Densitas*

Densitas komposit dipengaruhi oleh konsentrasi dan densitas penyusunnya. Marmer, mempunyai densitas  $2,527 \text{ g/cm}^3$  sedangkan densitas poliester yang diiradiasi 10 kGy adalah  $1,225 \text{ g/cm}^3$ . Secara teoritis, densitas komposit akan berada diantara nilai tersebut, tergantung pada kontribusi penyusunnya. Semakin tinggi konsentrasi marmer semakin tinggi densitas komposit. Tanpa penambahan serat, densitas komposit pada konsentrasi marmer 80 % adalah  $2,0921 \text{ g/cm}^3$ , sedangkan pada konsentrasi marmer 65 % nilainya  $1,7511 \text{ g/cm}^3$  (Tabel 1). Semakin tinggi konsentrasi serat semakin rendah densitas. Sebagai contoh, pada konsentrasi marmer sebanyak 75 %, penambahan serat sebanyak 4, 8 dan 12 % menurunkan densitas, masing-masing menjadi  $2,0094$ ,  $1,6471$ ,  $1,5447$  dan  $1,1823 \text{ g/cm}^3$ .

### *Kekerasan*

Kekerasan pensil semakin rendah dengan kenaikan kandungan serat dalam komposit. Semakin tinggi kandungan poliester, semakin tinggi kekerasan. Jika kandungan poliester terlalu rendah, jumlah poliester tidak cukup banyak untuk merekat butiran marmer dan serat membentuk komposit yang padat. Akibatnya, dapat menimbulkan terbentuknya rongga berisi udara yang berarti terdapatnya oksigen di dalam komposit. Hal ini terjadi apabila penekanan pada saat pembuatan komposit tidak sempurna. Adanya udara di dalam komposit menghambat proses polimerisasi radikal. Molekul oksigen sebagai penangkap radikal (*radical scavenger*) membentuk radikal peroksi yang stabil, sehingga tidak dapat memicu terjadinya polimerisasi pada tahap reaksi propagasi. Dengan demikian tingkat polimerisasi ikatan silang menjadi relatif rendah sehingga proses pengeringan tidak berjalan dengan sempurna [10]. Akibatnya, kekerasan permukaan komposit menjadi relatif rendah. Jadi, semakin tinggi kandungan serat dan semakin rendah kandungan poliester semakin rendah

kekerasan komposit. Tabel 2 menunjukkan bahwa tanpa penambahan serat, komposit pada semua konsentrasi poliester mempunyai kekerasan yang tinggi yaitu  $> 7 H$ . Tetapi, dengan penambahan serat sebanyak 4 % kekerasan turun beberapa tingkat tergantung konsentrasi poliester. Jika konsentrasi serat ditingkatkan menjadi 12 % maka pada konsentrasi poliester sebanyak 20 dan 25 % kekerasan komposit tidak dapat diukur. Kekerasan marmer alam rata-rata adalah  $> 7H$ . Dengan penambahan serat, kekerasan komposit menjadi lebih rendah dibandingkan kekerasan marmer alam.

#### *Kuat tekan.*

Tabel 3 menunjukkan pengaruh konsentrasi penyusun komposit terhadap kuat tekan. Kenaikan konsentrasi poliester sampai dengan 30 % cenderung meningkatkan kuat tekan. Kenaikan lebih lanjut yaitu pada konsentrasi poliester sebanyak 35 % menurunkan kuat tekan jika konsentrasi seratnya rendah. Pada konsentrasi poliester 20 % jika konsentrasi serat terlalu tinggi maka komposit yang dihasilkan terlalu lunak sehingga pengukuran sulit dilakukan. Dari data tersebut terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi serat semakin rendah kuat tekan. Sebagai contoh, pada konsentrasi poliester 25 % dengan penambahan serat sebanyak 12 % kuat tekan turun dari  $553 \text{ kg/cm}^2$  menjadi  $195 \text{ kg/cm}^2$ . Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi poliester dan semakin rendah konsentrasi serat, semakin tinggi kuat tekan. Beberapa komposit yang dibuat tanpa penambahan serat dengan konsentrasi poliester  $\geq 25 \%$ , atau komposit dengan konsentrasi poliester 30 % dan serat 4 % mempunyai kuat tekan lebih tinggi dibanding kuat tekan marmer alam yang besarnya  $470 \text{ kg/cm}^2$ . Baik komposit marmer hasil percobaan maupun marmer alam mempunyai kuat tekan yang relatif jauh lebih rendah dibanding kuat tekan matriks poliester yang diiradiasi pada dosis 10 kGy, yaitu  $1300 \text{ kg/cm}^2$ .

### *Tegangan Putus*

Tegangan putus komposit pada berbagai konsentrasi penyusun terdapat pada Tabel 4. Jika konsentrasi poliester terlalu rendah dan konsentrasi serat terlalu tinggi maka pengukuran tegangan putus tidak dapat dilakukan, yaitu pada konsentrasi poliester sebanyak 20 dan 25 % sedangkan konsentrasi seratnya 12 %. Kecenderungan data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa penambahan serat meningkatkan tegangan putus. Tetapi, jika konsentrasi serat terlalu tinggi maka tegangan putus akan menurun. Hal ini terlihat jelas misalnya pada konsentrasi poliester 30 dan 35 %. Pada konsentrasi poliester tersebut, nilai tegangan putus mencapai maksimum pada penambahan serat sebanyak 4 %, dengan nilai tegangan putus masing-masing 65,22 dan 52,55 kg/cm<sup>2</sup>. Poliester merupakan polimer termoset yang sifatnya kuat tetapi agak rapuh, sedangkan serat tandan kosong sawit sifatnya liat. Jika konsentrasi serat terlalu tinggi, jumlah resin poliester tidak mampu untuk merekat butiran marmer dan serat sehingga ikatan antara partikel serat dan poliester menjadi lemah dan akibatnya tegangan putusnya menjadi turun. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil yang diperoleh OWOLABI dkk. yang dikutip oleh BLEDZKI dan GASSAN [11] pada penggunaan serat sabut kelapa untuk memperkuat komposit menggunakan matriks poliester. Kenaikan serat sabut kelapa meningkatkan tegangan putus, tetapi jika konsentrasinya terlalu tinggi akan menurunkan tegangan putus.

### *Komposit Dengan Pengeringan Menggunakan Katalisator*

Pembuatan komposit dengan pengeringan menggunakan katalisator pada dasarnya hampir sama dengan menggunakan radiasi. Perbedaannya terletak pada proses pengeringannya. Pembuatan secara radiasi tidak memerlukan katalisator tetapi memerlukan radiasi sinar- $\gamma$ , sedangkan pembuatan menggunakan katalisator peroksida metil etil keton

tidak memerlukan radiasi. Dengan mempertimbangkan pengaruh serat terhadap komposit yang dihasilkan dan agar relatif mudah dalam pengujian sifat-sifatnya, maka dibuat komposit dengan perbandingan marmer dan poliester 65 : 35. Tabel 5 menunjukkan bahwa kecenderungan pengaruh serat terhadap komposit sama dengan yang diperoleh dengan cara radiasi. Semakin tinggi konsentrasi serat, semakin rendah densitas, kekerasan dan kuat tekan. Semakin tinggi konsentrasi serat sampai nilai tertentu semakin tinggi tegangan putus, tetapi kenaikan lebih lanjut akan menurunkan tegangan putus. Komposit yang dibuat dengan pengeringan menggunakan katalisator mempunyai densitas dan kekerasan yang relatif hampir sama, sedangkan kuat tekan dan tegangan putusnya relatif lebih rendah dibanding komposit dengan komposisi yang sama, tetapi dibuat secara radiasi. Jika dibandingkan dengan marmer alam, komposit yang dibuat dengan cara radiasi pada komposisi tertentu mempunyai sifat lebih baik, terutama tegangan putusnya. Marmer alam walaupun keras tetapi sifat yang rapuh terlihat dari rendahnya nilai tegangan putus, yaitu hanya  $0,41 \text{ kg/cm}^2$ .

Dari hasil percobaan diatas dapat disimpulkan bahwa kondisi optimum dicapai pada perbandingan berat marmer dan poliester 70 : 30 dengan penambahan serat TKS sebanyak 4 % dari campuran marmer dan poliester. Pada kondisi ini komposit mempunyai densitas  $1,8221 \text{ g/cm}^3$ , kekerasan pensil 5 H, kuat tekan  $516 \text{ kg/cm}^2$  dan tegangan putus  $65,22 \text{ kg/cm}^2$ .

## KESIMPULAN

Dari data hasil percobaan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Sifat komposit yang dibuat dari campuran serbuk marmer, resin poliester tak jenuh dan serat tandan kosong sawit dipengaruhi oleh komposisi komponen penyusunnya. Semakin tinggi konsentrasi poliester semakin rendah densitas dan semakin tinggi kekerasan, kuat

tekan dan tegangan putus komposit. Semakin tinggi kandungan serat, semakin rendah densitas, kekerasan dan kuat tekan, dan semakin tinggi tegangan putus sampai batas tertentu.

2. Kondisi optimum dicapai pada perbandingan berat marmer dan poliester 70 : 30 dengan kandungan serat sebanyak 4 %. Komposit dengan komposisi tersebut mempunyai densitas  $1,8281 \text{ g/cm}^3$ , kekerasan pensil 5 H, kuat tekan  $516 \text{ kg/cm}^2$  dan tegangan putus  $65,22 \text{ kg/cm}^2$ .
3. Pada perbandingan berat marmer dan poliester 65 : 35, komposit yang dibuat dengan cara radiasi mempunyai densitas dan kekerasan yang hampir sama, sedangkan kuat tekan dan tegangan putusnya lebih tinggi dibanding komposit yang dibuat dengan pengeringan menggunakan katalisator.
4. Komposit campuran marmer - poliester dengan perbandingan berat 70 : 30 dengan penambahan tandan kosong sawit sebanyak 4 % pada umumnya mempunyai sifat lebih baik dibanding marmer alam.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sdr. Sungkono dari Bidang Proses Industri yang telah membantu mempersiapkan pembuatan dan pengujian contoh uji, petugas iradiator sinar- $\gamma$  yang telah memberikan layanan iradiasi, serta PTPN VIII Kelapa Sawit, Malingping, yang telah memberikan tandan kosong sawit untuk bahan percobaan..

#### DAFTAR PUSTAKA

1. HERYONO, P., Penelitian skala laboratorium potensi batu marmer di desa Ngebleng kecamatan Panggul Kabupaten Trenggalek Propinsi Jawa Timur dan prospek

- pengembangannya, Media Teknik XVIII 3 (1996) 26.
2. LAWSON, K., UV/EB Curing in North America 1993, Proceedings of RadTech Asia'93, Tokyo (1993) 7.
  3. DANU, S., DARSONO., dan SUNARNI, A., "Sifat mekanik komposit campuran marmer-poliester yang diradiasi sinar- $\gamma$  Co-60", Prosiding Konferensi Nasional I Kimia Dalam Pembangunan Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia, Yogyakarta (1997) 479.
  4. ROWELL, R. M., YOUNG, R. A., and ROWELL, J. K., Paper and Composites from Agro-based Resources, Lewis Publishers, London (1997).
  5. ERWINSYAH, GURITNO, P., dan POELOENGAN, Z., "Tandan kosong sawit sebagai bahan baku alternatif industri pulp dan kertas", Proceedings Seminar Nasional - I Masyarakat Penelitian Kayu Indonesia (MAPEKI), 1998, Fakultas Kehutanan IPB, Bogor (1999) 265.
  6. KASIM, A., dan PRANANSHA, H., "Pemanfaatan tandan kosong sawit, tandan pisang, dan kertas koran untuk pembuatan papan serat semen", Proceedings Seminar Nasional - I Masyarakat Penelitian Kayu Indonesia (MAPEKI), 1998, Fakultas Kehutanan IPB, Bogor (1999) 165.
  7. AWAY, Y., GOENADI, D. H., PASARIBU, R. A., dan SANTOSA, G. I., "Biopulping tandan kosong kelapa sawit untuk kertas koran skala pilot", Proceedings Seminar Nasional - I Masyarakat Penelitian Kayu Indonesia (MAPEKI), 1998, Fakultas Kehutanan IPB, Bogor (1999) 275.
  8. ANONYMOUS., Japanese Industrial Standard, Testing Methods for Organic Coatings, JIS K 5401 (1970) 26.
  9. ANONYMOUS, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, part 27, ASTM, Philadelphia (1982) 477.
  10. ALLEN, N. S., JOHNSON, M. A., OLDRING, P.K.T., and SALIM, M. S., Chemistry and Technology of UV & EB Formulation for Coating, Inks & Paints, SITA, London, (1991).
  11. BLEDZKI, A. K., and GASSAN, J., Composites reinforced with cellulose based fibres, Prog. Polym. Sci. 24 (1999) 221 - 274.

Tabel 1. Densitas komposit hasil iradiasi sinar- $\gamma$ .

Marmar / Poliester	Serat, %	Densitas, g/cm <sup>3</sup>
80 / 20	0	2,0921
	4	1,6050
	8	1,3551
	12	1,1608
75 / 25	0	2,0094
	4	1,6471
	8	1,5447
	12	1,1823
70 / 30	0	1,7181
	4	1,8281
	8	1,5455
	12	1,2999
65 / 35	0	1,7511
	4	1,7138
	8	1,5857
	12	1,4981

Densitas rata-rata marmar alam : 2,527 g/cm<sup>3</sup>

Densitas poliester yang diiradiasi pada dosis 10 kGy : 1,225 g/cm<sup>3</sup>

Tabel 4. Tegangan putus komposit hasil iradiasi sinar- $\gamma$ .

Marmer / Poliester	Serat, %	Tegangan putus, $\text{kg/cm}^2$
80 / 20	0	5,75
	4	4,57
	8	4,04
	12	-
75 / 25	0	5,83
	4	31,25
	8	5,71
	12	-
70 / 30	0	37,00
	4	65,22
	8	28,89
	12	-
65 / 35	0	28,32
	4	52,55
	8	33,40
	12	20,81

Tegangan putus marmer alam rata-rata :  $0,41 \text{ kg/cm}^2$

Tabel 5. Densitas, kekerasan pensil, kuat tekan dan tegangan putus komposit hasil pengeringan dengan katalisator (perbandingan berat marmer / poliester = 65 / 35).

Serat, %	Densitas, $\text{gr/cm}^3$	Kekerasan	Kuat tekan, $\text{kg/cm}^2$	Tegangan putus, $\text{kg/cm}^2$
0	1,8793	> 7 H	612	22,15
4	1,7314	5 H	259	33,49
8	1,6510	4 H	211	36,19
12	1,5223	3 H	188	23,95